

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 098**

51 Int. Cl.:

H01L 41/087 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.05.2015** **E 15169045 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017** **EP 3096368**

54 Título: **Estructura de hilo compuesto**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.11.2017

73 Titular/es:

SANKO TEKSTIL ISLETMELERI SAN. VE TIC. A.S.
(100.0%)
Organize Sanayi Bölgesi 3. Cadde
16400 Inegöl-Bursa, TR

72 Inventor/es:

COBANOGLU, ÖZGÜR;
IYIDOGAN, DENİZ y
AKDEMİR, ÖZGÜR

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 642 098 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Estructura de hilo compuesto

La presente invención versa acerca de una estructura de hilo compuesto, en particular acerca de una estructura piezoeléctrica de hilo en los campos de ingeniería de construcción textil y de física de dispositivos flexibles.

5 La piezoelectricidad es la carga eléctrica que se genera en ciertos materiales en respuesta a un esfuerzo mecánico aplicado. En general, los materiales piezoeléctricos desarrollan un potencial eléctrico a través de capas definidas del material por presión, deformación o impulsos o una combinación de los mismos.

10 El efecto piezoeléctrico es reversible, es decir, los materiales en los que se genera una carga eléctrica por un esfuerzo mecánico aplicado también exhiben la generación interna de una deformación mecánica resultante de un campo eléctrico aplicado. Los fenómenos piezoeléctricos son conocidos y han sido estudiados durante más de un siglo.

Se utilizan dispositivos piezoeléctricos en muchos campos técnicos, por ejemplo en válvulas y para aplicaciones de detección y de aprovechamiento de energía. En particular, el aprovechamiento de energía en textiles ha sido investigado activamente; con este fin se han proporcionado hilos piezoeléctricos.

15 El documento WO 2014/161920 da a conocer un procedimiento para producir una fibra piezoeléctrica y piroeléctrica, en el que la fibra tiene un material de alma que comprende un material compuesto termoplástico flexible eléctricamente conductor que comprende al menos un polímero y al menos un material de carga conductor. La fibra comprende, además, un material circundante fabricado de un polímero polarizable permanentemente.

20 Por lo tanto, tal documento da a conocer un hilo que tiene un centro conductor rodeado por un polímero en el que dicho hilo consigue características piezoeléctricas.

El hilo piezoeléctrico puede ser trenzado adicionalmente junto con un hilo conductor.

25 El documento EP 0187829 B1 da a conocer una estructura de cable que permite una respuesta piezoeléctrica sensible en un cable coaxial piezoeléctrico. Con este fin, el cable coaxial tiene un alma polimérica conductora que comprende un material polimérico en el que se proporcionan partículas conductoras, una capa polimérica piezoeléctrica que rodea el alma polimérica conductora y un conductor externo que rodea la capa polimérica piezoeléctrica. El cable también está dotado de una camisa externa de protección.

30 El documento GB 2516987 da a conocer un tejido que tiene una estructura separadora tridimensional, que comprende un material piezoeléctrico que actúa como un separador entre capas de tejido tricotado o de calada, para aprovechar energía mediante la conversión de energía mecánica en energía eléctrica. Las capas de tejido comprenden fibras conductoras, mientras que los hilos separadores piezoeléctricos de interconexión comprenden fibras piezoeléctricas, que pueden ser monofilamentosas y/o multifilamentosas. De forma alternativa, las capas primera y segunda pueden comprender materiales de tejido resistentes o similares a una película.

35 En el documento US 6271621 se puede encontrar un ejemplo adicional de la técnica anterior. Un problema común de los tejidos piezoeléctricos conocidos es que la intensidad del efecto piezoeléctrico está limitada. Para mejorar el aprovechamiento de energía, se están llevando a cabo varios estudios sobre las estructuras de tejido que podrían mejorar la cantidad de energía generada.

Un objetivo de la presente invención es aumentar la producción de energía en un tejido que comprende hilos piezoeléctricos.

Un objetivo adicional de la invención es proporcionar un hilo piezoeléctrico con un mayor efecto piezoeléctrico.

40 Se consiguen estos y otros objetivos mediante una estructura de hilo que tiene las características enumeradas en la reivindicación 1.

45 De forma general, la invención versa acerca de una estructura de hilo compuesto que tiene un primer elemento que comprende un monofilamento flexible coaxial de dos componentes que incluye un componente conductor y un componente termoplástico que exhibe propiedades piezoeléctricas; al menos un segundo elemento conductor dispuesto en torno a al menos parte del primer elemento para proporcionar un hilo piezoeléctrico, caracterizado porque dicho hilo piezoeléctrico tiene propiedades auxéticas.

Las realizaciones preferentes son el objeto de las reivindicaciones dependientes.

Con más detalle, la invención versa acerca de una estructura de hilo compuesto que tiene:

50 - un primer elemento que comprende un monofilamento flexible coaxial de dos componentes que incluye un componente conductor y un componente termoplástico que exhibe propiedades piezoeléctricas,

- al menos un segundo elemento trenzado en torno al primer elemento,

en la que el segundo elemento tiene una elasticidad menor con respecto a la elasticidad del primer elemento, de forma que, tras el alargamiento de la estructura de hilo en una primera dirección, la estructura de hilo se expande en una segunda dirección, por lo que se aumentan las dimensiones del hilo en las direcciones tanto primera como

5 segunda para generar una fuerza adicional sobre dicho componente piezoeléctrico del primer elemento.
El segundo elemento es un elemento conductor o comprende un elemento conductor para proporcionar el efecto piezoeléctrico requerido. El segundo elemento puede ser inelástico, es decir, puede tener una capacidad limitada de estiramiento (alargamiento), inferior que las propiedades de estiramiento (alargamiento) del primer elemento; en otras palabras, el segundo elemento no se alarga o se alarga muy poco.

10 El comportamiento del hilo es comparable o idéntico al comportamiento de un hilo auxético; teniendo elasticidad reducida la limitación contra el alargamiento proporcionada por el segundo elemento o, en otras palabras, una rigidez elevada obliga que el primer elemento filamentosos se expanda transversalmente con respecto a la dirección del alargamiento, flexionándose y trenzándose en torno al segundo elemento estirado. En otras palabras, en una condición no estirada del hilo compuesto de la presente invención la forma del primer elemento tiene una forma

15 sustancialmente rectilínea; se trenza el segundo elemento en torno al primer elemento rectilíneo en una espiral.
Tras el estiramiento, se lleva el segundo elemento a una forma sustancialmente o casi rectilínea, en la dirección de estiramiento - alargamiento, una vez que se ha traccionado el segundo elemento hasta una condición sustancialmente rectilínea, no puede ser estirado adicionalmente debido a sus propiedades inelásticas, es decir, debido a que el segundo elemento no puede ser alargado de la misma forma que el primer elemento. Este cambio de estado del segundo elemento no elástico del hilo de la presente invención obliga que el primer elemento elástico cambie de su forma rectilínea inicial hasta un estado helicoidal/sinusoidal en el que se trenza el primer elemento en

20 torno al segundo elemento. El resultado es un aumento en las dimensiones generales del hilo, en concreto de la anchura total del hilo; por lo tanto, se puede decir que el hilo compuesto tiene propiedades auxéticas.
La invención proporciona una nueva clase de estructuras de hilo que pueden crear, por medio de una combinación de un efecto auxético y uno piezoeléctrico, una mayor diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores.

25 Otro objeto de la invención es un artículo que aprovecha tal combinación de los efectos auxéticos y piezoeléctrico para aumentar la diferencia de potencial eléctrico creado en el artículo. Los artículos ejemplares son tejidos, prendas de vestir, ropa y cuerdas.

30 Otro objeto de la invención es proporcionar un hilo textil y un tejido que incluye tales hilos textiles que pueden emplearse en una aplicación, tales como sensores textiles.

35 Se conocen los materiales auxéticos desde finales de la década de 1980. Los materiales auxéticos son materiales que aumentan de grosor y/o de anchura en una primera dirección, tras estirarse en una segunda dirección perpendicular a la primera dirección, al contrario que muchos materiales normales. También se conoce el comportamiento contrario, en concreto el estrechamiento por presión, en vez de ensancharse como cabe esperar de materiales normales.

Se han empleado tejidos auxéticos en un número limitado de usos específicos, tales como sensores, filtros y vendajes inteligentes. Según se ha mencionado, un efecto de la invención es que cuando se somete a la estructura de hilo a una fuerza que actúa en una dirección axial, toda la estructura también se expande en una dirección transversal, dando lugar a un efecto auxético.

40 Dado que la estructura de hilo es piezoeléctrica, la combinación de las propiedades de auxeticidad y de piezoelectricidad en un único hilo aumenta la presión producida sobre el material piezoeléctrico por efecto de la expansión del hilo; por ende, se aumenta la diferencia de potencial eléctrico generado.

45 Según una realización ejemplar de la invención, tras el alargamiento de la estructura de hilo en una primera dirección, se estira el segundo elemento hasta una posición casi rectilínea y deforma el primer elemento de tal forma que se conforme el primer elemento de forma helicoidal en la segunda dirección, en torno al primer elemento.

Un efecto de esta realización es que cuando se utiliza la estructura de hilo en un tejido, el efecto auxético aumenta la anchura de todos los hilos piezoeléctricos en el tejido, un fenómeno que produce una presión adicional a través de todos los componentes piezoeléctricos, dando lugar a un desarrollo adicional de potencial entre conductores respectivos.

50 Otro aspecto de la invención proporciona un material textil que comprende una pluralidad de estructuras de hilo compuesto, en el que dichas estructuras de hilo compuesto comprenden:

- un primer elemento que comprende un monofilamento flexible coaxial de dos componentes que incluye un componente conductor y un componente termoplástico que exhibe propiedades piezoeléctricas,

- un segundo elemento trenzado en torno al primer elemento,

en el que el segundo elemento es un elemento conductor o comprende un elemento conductor y tiene una menor elasticidad con respecto a la elasticidad del primer elemento, de forma que, tras el alargamiento de la estructura de hilo en una primera dirección, la estructura de hilo se expande en una segunda dirección, por lo que se aumentan las dimensiones del hilo en las direcciones tanto primera como segunda para generar una fuerza adicional sobre dicho componente piezoeléctrico del primer elemento.

La dirección en la que se expande el primer elemento está inclinada con respecto a la primera dirección, y puede ser sustancialmente perpendicular a la misma, según una realización ejemplar.

Se describirá ahora la invención con mayor detalle, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos ejemplares y no limitantes, en los que los números similares denotan elementos similares, y en los que:

Las Figuras 1A y 1B muestran una estructura de hilo compuesto según una primera realización de la invención en una primera configuración (1A) y en una segunda configuración (1B);

la Figura 2 es una sección a lo largo del plano A-A de la estructura de la Figura 1A.

La Figura 3 es una vista en sección de una estructura de hilo que exhibe únicamente piezoelectricidad;

la Figura 4 es una vista en sección de una estructura de hilo que exhibe propiedades de piezoelectricidad y auxeticidad;

la Figura 5 muestra una porción de un tejido que comprende una pluralidad de estructuras de hilo compuesto según una realización de la invención;

la Figura 6 muestra una curva que representa un potencial eléctrico a través de una resistencia eléctrica de terminación de valor arbitrario, a través de electrodos, como una función de una fuerza aplicada sobre la estructura de hilo en la configuración de la Figura 1A;

la Figura 7 muestra una curva que representa un potencial eléctrico a través de una resistencia eléctrica de terminación de valor arbitrario, a través de electrodos, como una función de una fuerza aplicada sobre la estructura de hilo en la configuración de la Figura 1 B; y

la Figura 8 muestra una curva que representa un potencial eléctrico a través de una resistencia eléctrica de terminación de valor arbitrario, a través de electrodos, como una función de fuerzas aplicadas sobre el tejido de la Figura 5.

La Figura 1A muestra una realización de la estructura 10 de hilo compuesto, según la invención, en dos configuraciones distintas.

La estructura 10 de hilo compuesto comprende un primer elemento 15 que comprende un monofilamento flexible coaxial de dos componentes que incluye un componente conductor 20 y un componente termoplástico 30 que exhiben propiedades piezoeléctricas. Según se ve en las Figuras 1-2, en una realización de la invención, el componente termoplástico 30 rodea el componente conductor 10.

Los materiales adecuados para el componente conductor 20 son mezclas de polietileno de baja densidad (LDPE) o polietileno de alta densidad (HDPE) con nanotubos de carbono (CNT), grafito, nanoláminas de grafeno, negro de humo (carbono amorfo), polianilina (dopada), polipirrol (dopado).

Los materiales adecuados para el componente termoplástico 30 son un homopolímero de fluoruro de polivinilideno (PVDF) y sus copolímeros con trifluoroetileno P(VDF-co-TrFE) o tetrafluoroetileno P(VDF-co-TFE), poliamidas (PA) de números impares tales como PA5, PA7, PA11, etcétera.

Según se ha mencionado anteriormente, los componentes 20 y 30, que forman el primer elemento 15, tienen propiedades elásticas y pueden ser alargados.

La estructura 10 de hilo compuesto comprende, además, un segundo elemento 40 trenzado en torno al primer elemento 15. El segundo elemento 40 tiene una mayor resistencia a la tracción que una resistencia a la tracción del primer elemento 15. Además, el segundo elemento 40 tiene una menor elasticidad con respecto a la elasticidad del primer elemento 15 o, en otras palabras, una mayor rigidez con respecto a la rigidez del primer elemento 15.

La Figura 1A muestra la disposición del hilo compuesto de la invención en una condición sin estirar; en esta condición, el primer elemento 15 se extiende en una dirección sustancialmente rectilínea y se trenza el segundo elemento 40 en torno al primer elemento 30 para proporcionar una pluralidad de espiras. La diferencia en elasticidad entre los elementos primero y segundo es tal que, tras el estiramiento y el alargamiento de la estructura 10 del hilo

en una primera dirección (véase la fig. 1B), es decir en la dirección del eje del primer elemento, se deforma la forma inicial de la estructura 10 mediante el movimiento del segundo elemento 40; en concreto la estructura del hilo se expande en una segunda dirección que está inclinada o sustancialmente perpendicular a la primera dirección, es decir, hacia la dirección de alargamiento del hilo, que corresponde a la dirección de la flecha F en las figuras 1 y 2.

5 Este fenómeno tiene como resultado la generación de una fuerza adicional sobre dicho componente piezoeléctrico 30 del primer elemento 15.

Tras el alargamiento de la estructura 10 de hilo, se alinea sustancialmente el segundo elemento 40 con la dirección de alargamiento y se expande el primer elemento 15 formando una serie de curvas en torno al segundo elemento 40. Tales curvas están inclinadas con respecto a la dirección de alargamiento un ángulo α comprendido entre 30° y 90°, preferentemente desde 30° hasta 80°, según se muestra en la Figura 1B.

Como sabe el experto, una forma posible para medir la elasticidad es utilizar el módulo de Young, también conocido como el módulo de tracción o módulo de elasticidad, en concreto una medida de la rigidez de un material elástico definida como la relación del esfuerzo (fuerza por área unitaria) a lo largo de un eje con respecto a la deformación (relación de deformación con respecto a la longitud inicial) a lo largo de ese eje en el intervalo del esfuerzo en el que se cumple la ley de Hooke. La ley de Hooke, según se conoce en la técnica, afirma que la fuerza necesaria para extender o comprimir un material cierta distancia es proporcional a esa distancia.

En general, en una realización preferente la resistencia a la tracción del primer elemento se encuentra en el intervalo de 15 - 78 MPa. La resistencia a la tracción del segundo elemento se encuentra, preferentemente, en el intervalo de 0,5 - 2,0 GPa. La diferencia en resistencia a la tracción del segundo elemento al primero es de al menos 422 MPa. Se mide la resistencia a la tracción según ASTM D638. Se pueden utilizar otros procedimientos para medir la resistencia a la tracción.

Los materiales adecuados para el segundo elemento son plata/cobre recubiertos con hilos de poliéster/poliamida o con hilos de filamentos completamente metálicos; por ejemplo, fabricados de acero.

Según una realización ejemplar de la invención, el segundo elemento 40 puede estar fabricado de al menos un filamento metálico.

Por lo tanto, la estructura divulgada 10 de hilo compuesto puede ser utilizada como un sensor de hilo piezoeléctrico flexible que también exhibe características auxéticas, para maximizar su rendimiento cuando se utiliza en una construcción de tejido o en otro artículo fabricado de hilos.

Con más detalle, según puede verse en la Figura 1, cuando se somete la estructura 10 de hilo compuesto a una fuerza F mayor que cero en una dirección longitudinal, por ejemplo a lo largo del eje, del hilo compuesto, se produce una transformación de forma de la estructura 10 de hilo compuesto. En concreto, se alarga la estructura 10 una longitud L pero, al mismo tiempo, la estructura 10 se expande transversalmente en una dirección perpendicular o inclinada con respecto a la dirección de la fuerza F. Según es visible en las figuras, el hilo aumenta su anchura general después de ser estirado mediante la fuerza F, partiendo desde una anchura inicial de X y alcanzando una mayor anchura de X + Y.

En otras palabras, en la estructura 10 de hilo compuesto, tras el alargamiento de la estructura 10 de hilo en una primera dirección, el segundo elemento 40 alarga y, al mismo tiempo, estira el primer elemento 15 de tal forma que se conforme el primer elemento 15 de una forma casi sinusoidal en la segunda dirección. En otras palabras, el hilo se expande transversalmente.

Por lo tanto, la aplicación de fuerza F a la estructura 10 de hilo compuesto da lugar a un mayor desarrollo de potencial eléctrico entre el componente conductor 20 del primer elemento 15 y el segundo elemento 40. Tal potencial eléctrico puede ser aprovechado mediante una circuitería externa (no representada en aras de la sencillez), por ejemplo, en una aplicación tal como sensores.

Considerando una estructura de tejido que comprende una pluralidad de estructuras 10 de hilo compuesto según se ha descrito anteriormente, también se puede realizar un efecto piezo-auxético sinérgico por todo el tejido si al menos dos hilos compuestos de la invención son adyacentes entre sí, es decir, están suficientemente cerca para polarizarse mutuamente por la etapa de expansión.

En la Figura 5 se representa una estructura ejemplar tal como la descrita anteriormente.

Se crea tal efecto piezo-auxético sinérgico en el tejido mediante dos componentes como sigue. El primer efecto es el hecho de que la estructura 10 de hilo exhibe características piezoeléctricas gracias a la presión transversal a través del material piezoeléctrico creada tras el estiramiento, por ejemplo aplicando la fuerza F.

El segundo efecto es que esta presión es exponencialmente mayor en un tejido en comparación con un único hilo de la misma estructura, gracias al hecho de que se ensanchan los hilos piezoeléctricos que forman el tejido, un

fenómeno que produce una presión adicional a través de todos los componentes piezoeléctricos, llevando a un desarrollo adicional de potencial entre conductores respectivos.

5 En cualquier caso, la estructura 10 de hilo compuesto puede crear una mayor diferencia de potencial entre dos conductores mediante la piezoelectricidad y exhibe una relación negativa de Poisson, tras un estiramiento, por lo que se define la relación de Poisson como el porcentaje de expansión dividido por el porcentaje de compresión en la dirección transversal de un material.

10 En una estructura de tejido de calada o una estructura 10 de cuerda, el hilo compuesto de la invención, utilizando sus características auxéticas, produce una mayor diferencia de potencial eléctrico debido a fuerzas adicionales que se originan por el hecho de que las fibras individuales experimentan una mayor presión transversal en comparación con los hilos que son piezoeléctricos pero no auxéticos en la misma estructura tejida.

Estas fuerzas adicionales tienen distintas direcciones, por lo tanto, hay en uso distintas constantes piezoeléctricas, tales como d33, en concreto el cambio de volumen cuando se somete a un material piezoeléctrico a un campo eléctrico, en vez de d31.

15 Según se conoce, las constantes piezoeléctricas, también conocidas como coeficientes de piezoelectricidad, cuantifican el cambio de volumen cuando se somete a un material piezoeléctrico a un campo eléctrico, o su polarización al aplicar un esfuerzo.

En las diversas realizaciones de la invención, se traduce una porción de estímulos de tracción a estímulos transversales en una construcción de tejido debido a la auxeticidad.

20 Esto significa que los estímulos físicos cambian de dirección que, a su vez, significa que se utiliza un conjunto distinto de coeficientes piezoeléctricos para generar una salida eléctrica.

Por la presente memoria, se proporciona una comparación esquemática visual entre una estructura de hilo que exhibe únicamente piezoelectricidad (Figura 3) con una estructura de hilo que exhibe propiedades de piezoelectricidad y auxeticidad (Figura 4).

25 En la figura 3 no hay auxeticidad, la constante piezoeléctrica utilizada es d1 únicamente, que es una constante de aprovechamiento de energía dada por la fórmula $d1 = V1/F1$, en la que V1 es el potencial eléctrico generado y F1 es la fuerza longitudinal (Figura 3).

30 Cuando también se somete al primer elemento 15, es decir el elemento de dos componentes, a una presión hacia su centro, entonces entra en juego otra constante piezoeléctrica como adición, en concreto d2, dado por la fórmula $d2 = V1/F1 + V2/F2$, en la que V1 y V2 son potenciales eléctricos generados, F1 es la fuerza longitudinal y F2 es una fuerza perpendicular a F1 (Figura 4).

En el caso de estructuras de tejido o de cuerda (tales como la representada en la Figura 5) que están fabricadas con una pluralidad de estructuras de hilo, según las diversas realizaciones de la invención, se puede definir una fuerza adicional F3.

35 La fuerza F3 define, además de las fuerzas F1 y F2, otro factor adicional de ganancia cuando se implementa el hilo en un tejido o en una cuerda.

Dado que cada hilo se alarga debido a su comportamiento auxético, la fuerza F2 en la Figura 4 aumenta más que en el caso de un hilo aislado.

En tal caso, la fuerza total que actúa sobre el componente piezoeléctrico 30 aumenta hasta un valor de F2+F3.

40 El valor F3 representa el valor de la fuerza que se origina del hecho de que los hilos colindantes en la estructura de tejido o de cuerda, que también podría ser auxética, ejercen fuerzas adicionales uno contra el otro resistiendo su ensanchamiento debido al efecto auxético.

Este fenómeno puede aumentar la presión total sobre el material piezoeléctrico del componente 30. En un cierto intervalo, este fenómeno ayuda a obtener una mayor eficacia general del hilo final como un sensor de deformación.

45 Un parámetro adicional que debe tenerse en cuenta puede ser el ángulo de trenzado del segundo elemento 40, que define el número de espiras por longitud unitaria de todo el hilo. El ángulo de trenzado está definido, por ejemplo, por la ductilidad del bicomponente central y puede calibrarse en consecuencia: si el número de espiras es mayor del necesario, entonces el comportamiento auxético no estará presente, dado que el bicomponente central tendrá suficiente resistencia mecánica contra su flexión.

50 Como norma general, y con referencia a la Figura 1, el número de espiras debe ser suficiente para abarcar la longitud L1 de la estructura 10 de hilo en una configuración no alargada y para permitir alcanzar la longitud L1 + L cuando la estructura de hilo se encuentra en una configuración alargada. Si el número de espiras es menor que el

necesario, entonces el coeficiente d_2 no tendrá un término adicional significativo; por lo tanto, la ganancia adicional no será tan grande como podría ser de otro modo.

5 Considerando el grosor de la capa piezoeléctrica, su grosor se encuentra, normalmente, en el intervalo desde unos centenares de nanómetros hasta unos centenares de micrómetros radialmente, en concreto 100 nm hasta 800 nm medidos radialmente, tomando como centro el centro del primer elemento de dos componentes.

En una realización de la invención, se pueden utilizar segundos elementos adicionales, siempre y cuando los segundos elementos adicionales sigan estrictamente el recorrido del segundo elemento conductor 40 para no destruir la geometría del hilo requerida para crear el fenómeno de auxeticidad.

10 En otras palabras, todos los segundos elementos opcionales de trenzado deberían estar en fase o sincronizados entre sí. Para crear tal estructura alternativa de filamento, se debería trenzar en primer lugar el segundo elemento conductor 40 y todos los segundos elementos adicionales posibles para crear un haz de filamentos de trenzado; entonces, se trenza el haz de filamentos de trenzado en torno al elemento central 15 de dos componentes. Los segundos elementos adicionales opcionales pueden ser conductores o aislantes.

Se han llevado a cabo simulaciones sobre las diversas realizaciones de la invención.

15 Se explicará en la presente memoria el resultado de tales simulaciones con referencia particular a las Figuras 6-8.

La Figura 6 muestra una curva V que representa el potencial eléctrico como una función de una fuerza F aplicada a la estructura de hilo en la configuración de la Figura 1A; en el caso de la Figura 6, se aplica una fuerza F relativamente pequeña a la estructura 10 de hilo, dejándola sustancialmente en la configuración representada en la Figura 1A. Por lo tanto, no hay presente una deformación auxética significativa.

20 En la Figura 6, la curva F representa (no a escala) la fuerza aplicada a la estructura 10 de hilo y la curva V el potencial eléctrico debido al efecto piezoeléctrico que sigue una distribución uniforme de potencial de tipo Landau en función del tiempo. Se debe hacer notar también que no se distorsiona la forma de la curva de potencial.

25 En cambio, la Figura 7 muestra una curva V' que representa un potencial eléctrico como una función de una fuerza mayor (curva F') aplicada a la estructura de hilo en la configuración de la Figura 1B. En este caso, debido al fenómeno de auxeticidad se genera un desarrollo adicional (curva V') de potencial eléctrico y se añade al representado en la Figura 6.

30 Además, en la Figura 7 el desarrollo del potencial eléctrico en el tiempo es distinto del caso sin fenómeno auxético, al igual que la distinta intensidad de potencial, llevando ambos fenómenos a una distorsión en la forma del desarrollo de potencial eléctrico. También se debería hacer notar que las áreas bajo las curvas V y V' representan la salida total de energía generada, que es mayor en el caso de la Figura 7.

Finalmente, la Figura 8 muestra una curva V'' que representa un potencial eléctrico como una función de fuerzas (curva F'') aplicadas cuando se embebe la estructura de hilo en el tejido de la Figura 5.

35 En este caso, se incorpora una pluralidad de estructuras de hilo en una construcción de tejido o una estructura de cuerda o textil similar en la que cada estructura de hilo experimenta el efecto de hilos auxéticos colindantes y la presión creada por tales hilos colindantes. Este fenómeno distorsiona adicionalmente la forma (curva V'') del potencial eléctrico debido a que las estructuras de hilo experimentan una tercera componente de la fuerza, en concreto F_3 . Se encuentra en uso una combinación ponderada de los coeficientes piezoeléctricos.

El área bajo la curva V'' aumenta adicionalmente, lo que da lugar a una mayor salida de energía para una fuerza fija F'' dada, lo que, a su vez, significa mayor eficacia.

40 En la estructura 10 de hilo compuesto, el componente conductor 20 del primer hilo 10 puede estar fabricado de un material conductor elástico. Como ejemplo, el material conductor elástico del componente conductor 20 del primer elemento 10 puede ser un polímero que incluye impurezas metálicas conductoras. Por ejemplo, tales impurezas metálicas conductoras pueden estar constituidas de plata o cobre.

45 Como alternativa, el material conductor elástico del componente conductor 20 del primer elemento 15 puede ser un polímero intrínsecamente conductor. Por ejemplo, tales polímeros intrínsecamente conductores pueden ser polianilina (PANI) o polipirrol (PPy). El componente termoplástico de la estructura 10 de hilo compuesto puede estar fabricado de fluoruro de polivinilideno (PVDF) o de cualquier otro polímero termoplástico adecuado.

50 Para crear una fase piezoeléctrica en el polímero termoplástico, los componentes coaxiales extendidos son polarizados bajo un campo eléctrico intenso tras un calentamiento para alinear la cadena polimérica termoplástica. Se puede escoger una relación de extensión óptima para realizar la extensión, en ausencia de un campo eléctrico, de los componentes coaxiales para imponer la fase piezoeléctrica en el polímero termoplástico.

Las posibles aplicaciones de la estructura de hilo de la invención son, entre otras,

i) tecnología de detección en prendas de vestir para una monitorización de la posición del cuerpo en forma de tejido y

5 ii) monitorización de la tracción de cuerdas utilizadas en una variedad de aplicaciones desde alpinismo hasta aplicaciones marinas industriales.

En algunas realizaciones de la invención, el componente termoplástico 30 puede tener propiedades auxéticas *per se*, además del efecto auxético proporcionado a toda la estructura 10 de hilo por el segundo elemento 40.

10 Aunque se ha presentado al menos una realización ejemplar en el sumario y en la descripción detallada anteriores, se debería apreciar que existe un gran número de variaciones. También se debería apreciar que la realización ejemplar o las realizaciones ejemplares son únicamente ejemplos, y no se concibe que limiten el alcance, aplicabilidad o configuración de ninguna forma.

15 Más bien, el sumario y la descripción detallada anteriores proporcionarán a los expertos en la técnica una hoja de ruta conveniente para implementar al menos una realización ejemplar, comprendiéndose que se pueden realizar diversos cambios en la función y en disposiciones de los elementos descritos en una realización ejemplar sin alejarse del alcance según se define en las reivindicaciones adjuntas y en sus equivalentes legales.

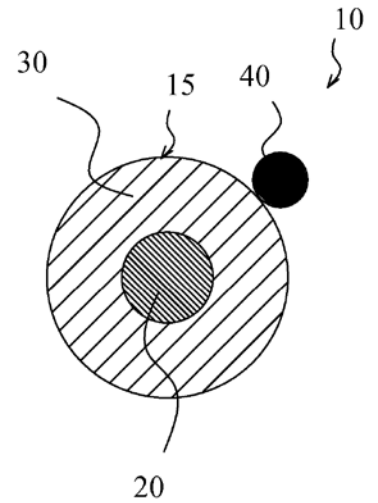
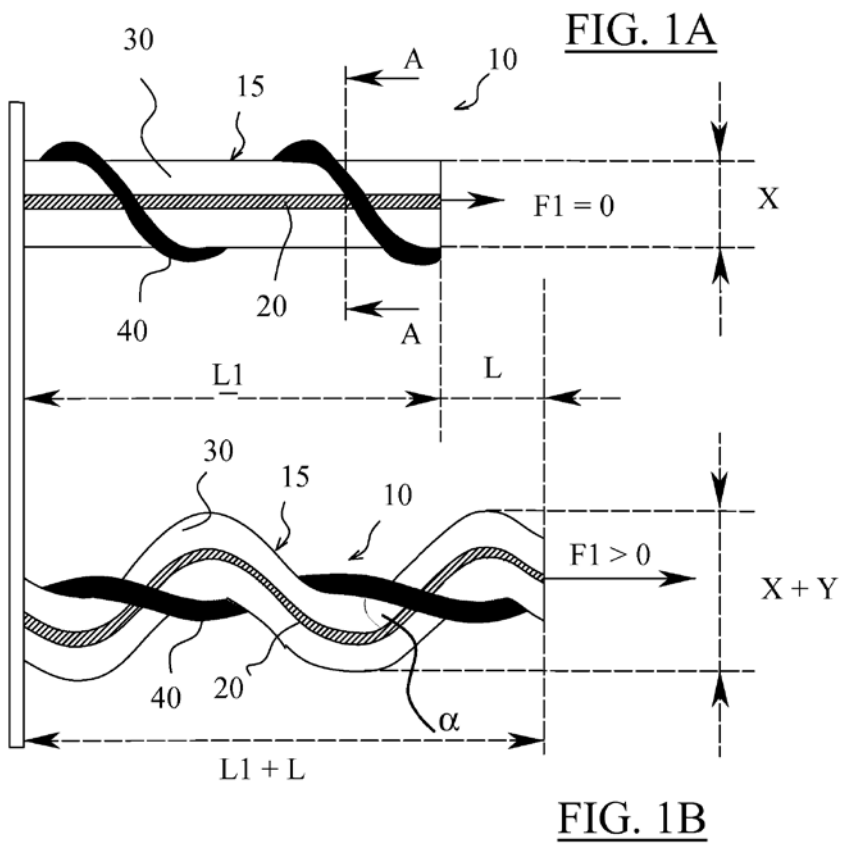
REIVINDICACIONES

- 5 1. Una estructura (10) de hilo compuesto que tiene un primer elemento (15) que comprende un monofilamento flexible coaxial de dos componentes que incluye un componente conductor (20) y un componente termoplástico (30) que exhiben propiedades piezoeléctricas; al menos un segundo elemento conductor (40) dispuesto en torno a al menos parte del primer elemento (15) para proporcionar un hilo piezoeléctrico (10), caracterizada porque tanto el componente conductor (20) como el componente termoplástico (30) que forman el primer elemento (15) tienen propiedades elásticas y pueden alargarse de tal forma que dicho hilo piezoeléctrico (10) exhiba propiedades auxéticas.
- 10 2. Una estructura (10) de hilo compuesto según la reivindicación 1, que comprende:
 - un primer elemento (15) que comprende un monofilamento flexible coaxial de dos componentes que incluye un componente conductor (20) y un componente termoplástico (30) que exhiben propiedades piezoeléctricas,
 - al menos un segundo elemento (40) trenzado en torno al primer elemento (15),
 en la que el segundo elemento (40) tiene una menor elasticidad con respecto a la elasticidad del primer elemento (15), de forma que, tras el alargamiento de la estructura (10) de hilo en una primera dirección, la estructura (10) de hilo se expande en una segunda dirección, por lo que se aumentan las dimensiones del hilo en las direcciones tanto primera como segunda para generar una fuerza adicional sobre dicho componente piezoeléctrico del primer elemento.
- 15 3. La estructura (10) de hilo compuesto según la reivindicación 2, en la que dicho segundo elemento (40) es un elemento conductor o comprende un elemento conductor.
- 20 4. La estructura de hilo compuesto de la reivindicación 3, en la que tras el alargamiento de la estructura (10) de hilo en dicha primera dirección, el segundo elemento (40) conforma el primer elemento (15) de tal forma que proporcione un efecto auxético.
- 25 5. La estructura de hilo compuesto de la reivindicación 4, en la que dicho segundo elemento conforma el primer elemento (15) en una espiral en torno a dicho segundo elemento.
6. La estructura (10) de hilo compuesto según cualquier reivindicación precedente, en la que el componente conductor (20) del primer elemento (15) está fabricado de un material conductor elástico.
7. La estructura (10) de hilo compuesto según la reivindicación 6, en la que el material conductor elástico del componente conductor del primer elemento (15) es un polímero que incluye impurezas metálicas conductoras.
- 30 8. La estructura (10) de hilo compuesto según la reivindicación 6, en la que el material conductor elástico del componente conductor del primer elemento (15) es un material escogido entre mezclas de polietileno de baja densidad (LDPE) o polietileno de alta densidad (HDPE) con nanotubos de carbono (CNT), grafito, nanoláminas de grafeno, carbono amorfo, polianilina dopada o polipirrol dopado, o mezclas de los mismos.
- 35 9. La estructura (10) de hilo compuesto según la reivindicación 6, en la que el material conductor elástico del componente conductor del primer elemento (15) es un polímero intrínsecamente conductor.
10. La estructura (10) de hilo compuesto según la reivindicación 1, en la que la resistencia a la tracción del primer elemento (15) está comprendida en el intervalo de 15 - 78 MPa y la resistencia a la tracción del segundo elemento (40) está comprendida en el intervalo de 0,5 - 2,0 GPa.
- 40 11. La estructura (10) de hilo compuesto según cualquier reivindicación precedente, en la que el componente termoplástico (30) comprende un material escogido entre homopolímero de fluoruro de polivinilideno (PVDF) y sus copolímeros con trifluoroetileno P(VDF-co-TrFE) o tetrafluoroetileno P(VDF-co-TFE) o poliamidas (PA) de números impares.
12. La estructura (10) de hilo compuesto según cualquier reivindicación precedente, en la que el componente termoplástico (30) exhibe propiedades auxéticas.
- 45 13. La estructura (10) de hilo compuesto según cualquier reivindicación precedente, en la que el segundo elemento (40) comprende una pluralidad de filamentos, siendo al menos un filamento un filamento conductor, preferentemente un filamento metálico.
14. La estructura (10) de hilo compuesto según cualquier reivindicación precedente, en la que dichos componentes del primer elemento (15) están coextrudidos.
- 50 15. Un artículo que comprende al menos una estructura (10) de hilo compuesto según cualquier reivindicación precedente.

16. Un artículo según la reivindicación 15, en el que al menos dos hilos según cualquier reivindicación 1 a 14 están dispuestos adyacentes entre sí para polarizarse mutuamente tras ser alargados.

17. Un artículo según la reivindicación 15 o 16, seleccionándose dicho artículo de un tejido, una prenda de vestir, ropa y una cuerda.

5



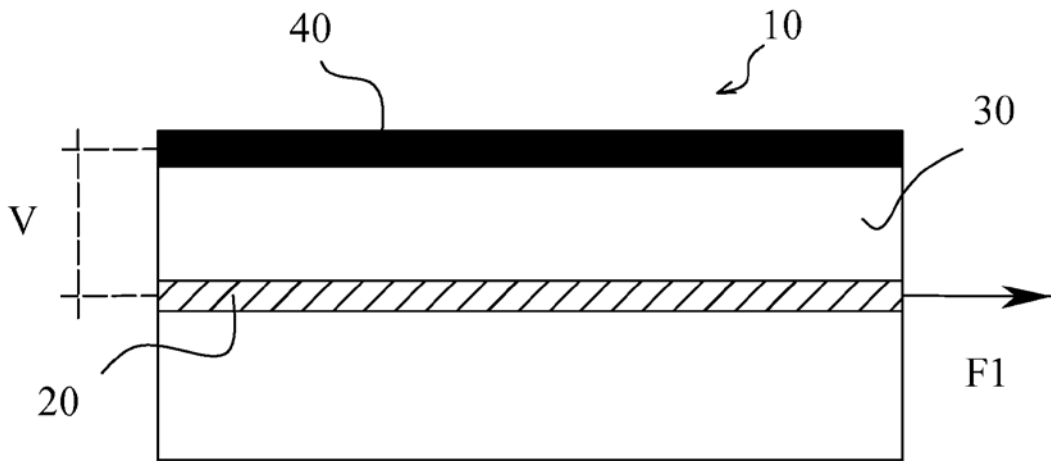


FIG. 3

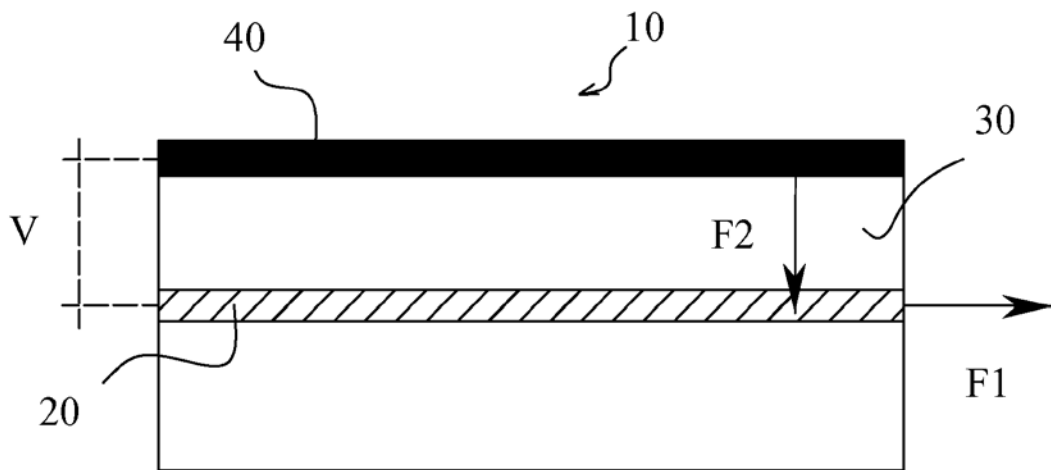


FIG. 4

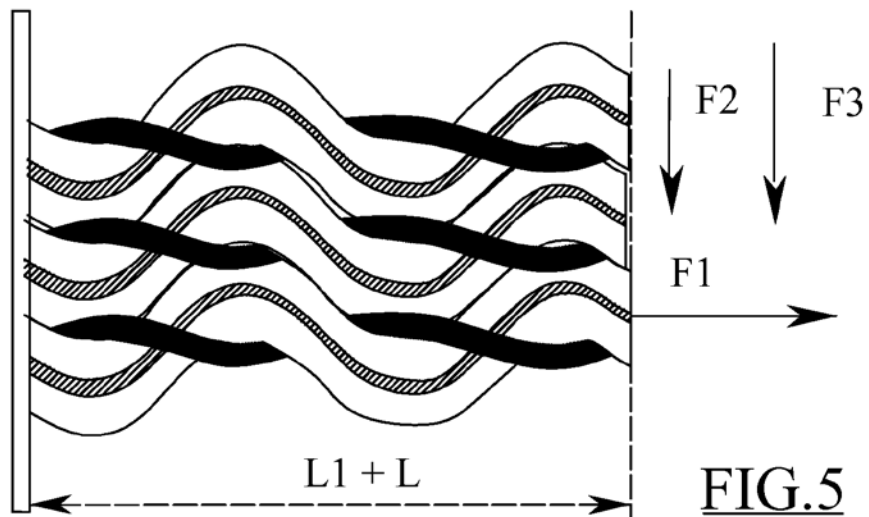


FIG. 5

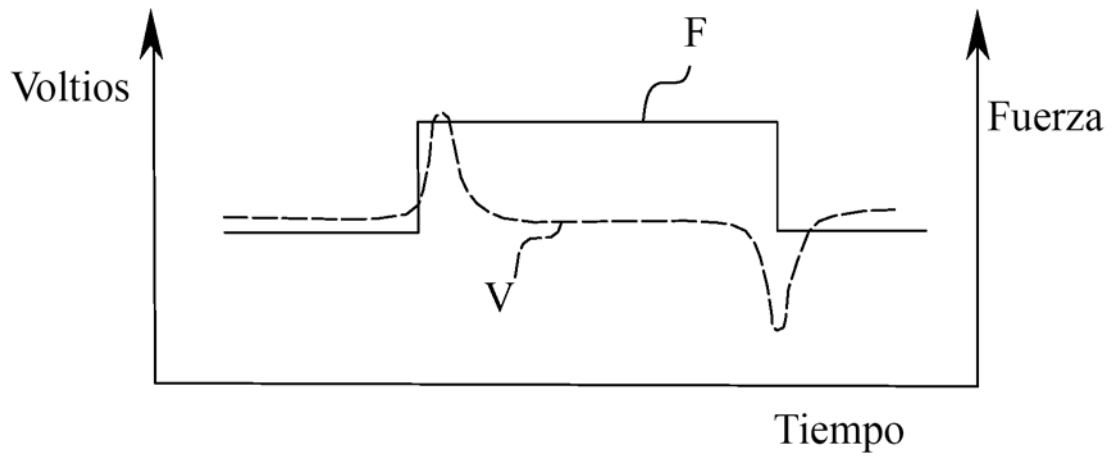


FIG.6

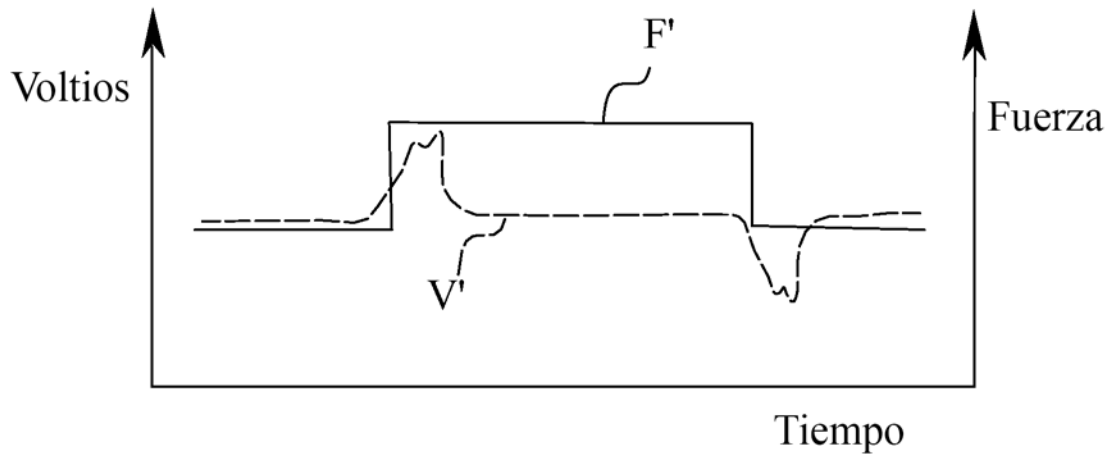


FIG.7

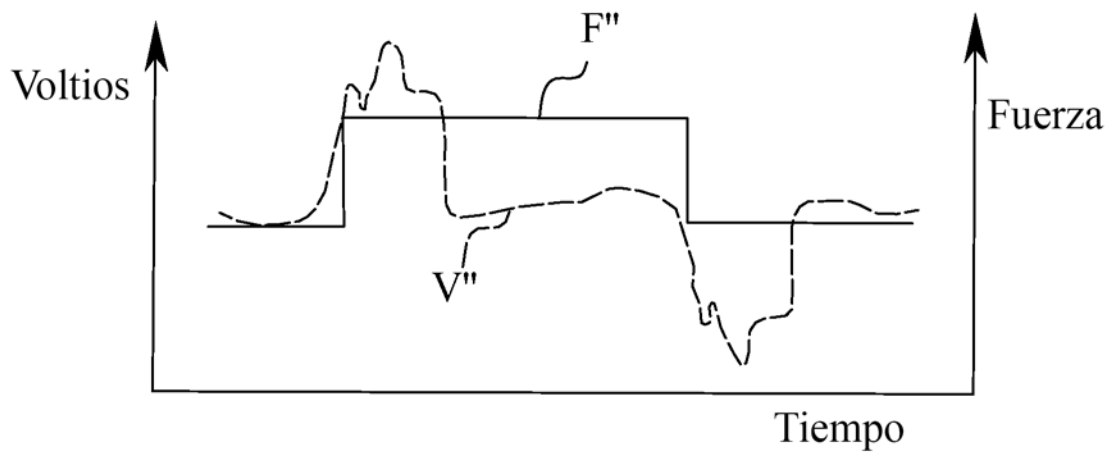


FIG.8