

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 298**

51 Int. Cl.:

**H01L 41/087** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.05.2016 PCT/EP2016/061264**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2016 WO16188853**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.05.2016 E 16725460 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 3298634**

54 Título: **Estructura de hilo de material compuesto**

30 Prioridad:

**22.05.2015 EP 15169045**

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

**05.03.2020**

73 Titular/es:

**SANKO TEKSTIL ISLETMELERI SAN. VE TIC. A.S.  
(100.0%)**

**Organize Sanayi Bölgesi 3. Cadde  
16400 Inegol - Bursa, TR**

72 Inventor/es:

**COBANOGLU, ÖZGÜR;  
IYIDOGAN, DENİZ y  
AKDEMİR, ÖZGÜR**

74 Agente/Representante:

**TORNER LASALLE, Elisabet**

**ES 2 746 298 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 de material compuesto

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

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 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. Se conocen los fenómenos piezoeléctricos y han sido estudiados durante más de un siglo.

Los dispositivos piezoeléctricos se utilizan en muchos campos técnicos, por ejemplo en válvulas y para hacer acopio de energía y para aplicaciones de detección. En particular, se ha investigado activamente el acopio de energía en textiles; 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 relleno conductor. La fibra comprende, además, un material circundante fabricado de un polímero permanentemente polarizable.

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 logra características piezoeléctricas. El hilo piezoeléctrico puede ser trenzado, además, 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 vaina protectora externa.

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 hacer acopio de 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 monofilamentos y/o multifilamentos. De forma alternativa, las capas primera y segunda pueden comprender materiales de tejido de tipo película o sólido.

En el documento US6271621 se puede encontrar un ejemplo adicional de la técnica anterior que divulga un sensor piezoeléctrico de presión en forma de un cable coaxial.

35 Un problema común de los tejidos piezoeléctricos conocidos es que la intensidad del efecto piezoeléctrico está limitada. Para mejorar el acopio de energía, se han llevado 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.

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

Se logran estos y otros objetos mediante una estructura de hilo que tiene las características enumeradas en la reivindicación 1.

45 De una forma general, la invención versa acerca de una estructura de hilo de material 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 exhiben 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 mayor detalle, la invención versa acerca de una estructura de hilo de material 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 exhiben propiedades piezoeléctricas,
- al menos un segundo elemento trenzado en torno al primer elemento,

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

10 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), menor que las propiedades de estiramiento (alargamiento) del primer elemento; en otras palabras, el segundo elemento no se alarga o se alarga muy poco.

15 El comportamiento del hilo es comparable o igual al comportamiento de un hilo auxético; la restricción contra el alargamiento proporcionada por el segundo elemento que tiene una elasticidad reducida, o en otras palabras, una alta rigidez, obliga al primer elemento filamentosos a expandirse transversalmente con respecto a la dirección del alargamiento, flexionándose y trenzándose en torno al segundo elemento alargado. En otras palabras, en una condición no alargada del hilo de material compuesto de la presente invención, la forma del primer elemento tiene una forma sustancialmente rectilínea; el segundo elemento es trenzado en torno al primer elemento rectilíneo en una espiral.

20 Tras el estiramiento, se pone el segundo elemento en una forma sustancialmente o casi rectilínea, a lo largo de la dirección de estiramiento - alargamiento; una vez 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 al primer elemento elástico a cambiar desde su forma rectilínea inicial hasta una condición helicoidal/sinusoidal en la que el primer elemento es trenzado en torno al segundo elemento. El resultado es un aumento de las dimensiones totales del hilo, en concreto de la anchura total del hilo; por lo tanto, se puede decir que el hilo de material compuesto puede tener propiedades auxéticas.

30 La invención proporciona una nueva clase de estructuras de hilo que puede crear, por medio de una combinación de un efecto auxético y uno piezoeléctrico, una mayor diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores.

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

35 Otro objeto de la invención es proporcionar un hilo textil y un tejido que incluye tales hilos textiles que pueden emplearse en aplicaciones tales como sensores textiles.

40 Se conocen los materiales auxéticos desde finales de la década de 1980. Los materiales auxéticos son materiales que se engrosan y/o se ensanchan a lo largo de una primera dirección, tras el estiramiento a lo largo de 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 vendas inteligentes. Según se ha mencionado, un efecto de la invención es que cuando se somete a la estructura del 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.

45 Dado que la estructura del 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 el efecto de la expansión del hilo, por lo tanto se aumenta la diferencia de potencial eléctrico generado.

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

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

Otro aspecto de la invención proporciona un tejido textil que comprende una pluralidad de estructuras de hilo de material compuesto, en el que dichas estructuras de hilo de material 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 del hilo en una primera dirección, la estructura de hilo se expande en una segunda dirección, por lo que se aumentan las dimensiones del hilo tanto en la primera dirección como en la 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, 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, denotando los números similares elementos similares, y en los que:

Las Figuras 1A y 1B muestran una estructura de hilo de material 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 auxéticas;

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

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

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

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

La estructura 10 del hilo de material 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. Como puede verse 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 de polietileno de alta densidad (HDPE) con nanotubos de carbono (CNT), grafito, nanoláminas de grafeno, negro de humo (carbono amorfo) polianilina (dopado), polipirrol (dopado).

Los materiales adecuados para el componente termoplástico 30 son homopolímero de fluoruro de polivinilideno (PVDF) y sus copolímeros con trifluoroetileno P(VDF-co-TrFE) o tetrafluoroetileno P(VDF-co-TFE), poliamidas (PA) de número impar 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 del hilo de material compuesto comprende, además, un segundo elemento 40 trenzado en torno al primer elemento 15. El segundo elemento 40 tiene una resistencia a la tracción superior a la 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 de material compuesto de la invención en una condición no estirada; en esta condición, el primer elemento 15 se extiende en una dirección sustancialmente rectilínea y el segundo elemento 40 es trenzado en torno al primer elemento 30 para proporcionar una pluralidad de vueltas. La diferencia en elasticidad entre los elementos primero y segundo es tal que, tras un estiramiento y un 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, la forma inicial de la estructura 10 es deformada por el movimiento del segundo elemento 40; en concreto, la estructura del hilo se expande en una segunda dirección que está inclinada con respecto a la primera dirección, o es sustancialmente perpendicular a la misma, es decir, con respecto a la dirección de alargamiento del hilo, que se corresponde con la dirección de la flecha F en las figuras 1 y 2.
- 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 del hilo, el segundo elemento 40 se alinea sustancialmente con la dirección de alargamiento y el primer elemento 15 se expande formando una serie de curvas entorno al segundo elemento 40. Tales curvas están inclinadas con respecto a la dirección de alargamiento un ángulo  $\alpha$  comprendido entre  $30^\circ$  y  $90^\circ$ , preferentemente  $30^\circ$  hasta  $80^\circ$ , según se muestra en la Figura 1B.
- Como sabe el experto, una posible forma para medir la elasticidad es utilizar el módulo de Young, también conocido como el módulo de elasticidad a la tracción o módulo de elasticidad, en concreto una medida de la rigidez de un material elástico definido 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 longitud inicial) a lo largo del eje en el intervalo de esfuerzo en el que se cumple la ley de Hooke. Según se conoce en la técnica, la ley de Hooke enuncia 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 la resistencia a la tracción entre los elementos segundo y primero es de al menos 422 MPa. La resistencia a la tracción se mide según ASTM D638. Se pueden utilizar otros procedimientos para medir la resistencia a la tracción.
- Los materiales adecuados para el segundo elemento son hilos de poliéster/poliamida revestidos con plata/cobre o hilos de filamento completamente metálico, por ejemplo fabricado 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 10 del hilo de material compuesto divulgada 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 se ve en la Figura 1, cuando se somete a la estructura 10 del hilo de material compuesto a una fuerza F superior a cero en una dirección longitudinal, por ejemplo a lo largo del eje, del hilo de material compuesto, se produce una transformación de la forma de la estructura 10 del hilo de material compuesto. En concreto, la estructura 10 se alarga 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. Como puede verse en las figuras, el hilo aumenta su anchura total tras ser estirado por la fuerza F, comenzando desde una anchura inicial de X y alcanzando una mayor anchura de X + Y.
- En otras palabras, en la estructura 10 del hilo de material compuesto, tras un alargamiento de la estructura 10 del hilo en una primera dirección, el segundo elemento 40 alarga y, al mismo tiempo, estira al primer elemento 15 de tal manera que se dé forma al primer elemento 15 de una manera casi sinusoidal en la segunda dirección. En otras palabras, el hilo se expande transversalmente.
- Por lo tanto, la aplicación de la fuerza F sobre la estructura 10 del hilo de material 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 objeto de acopio por una circuitería externa (no representada en aras de la sencillez), por ejemplo en aplicaciones tales como sensores.
- Considerando una estructura de tejido que comprende una pluralidad de estructuras 10 de hilo de material compuesto según se ha descrito anteriormente, también se puede realizar un efecto piezo-auxético sinérgico en todo el tejido si al menos dos hilos de material compuesto de la invención son adyacentes entre sí, es decir se encuentran suficientemente cerca para darse un sesgo mutuo por la etapa de expansión.
- En la Figura 5 se representa una estructura ejemplar tal como la descrita anteriormente.
- Tal efecto piezo-auxético sinérgico en el tejido es creado por dos componentes como sigue. El primer efecto es el hecho de que la estructura 10 del hilo exhibe características piezoeléctricas gracias a la presión transversal a través del material piezoeléctrico creado 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 todos los hilos piezoeléctricos que forman el tejido se ensanchan, un fenómeno que produce presión adicional a través de todos los componentes piezoeléctricos, lo que da lugar a un desarrollo de potencial adicional entre los conductores respectivos.

5 En cualquier caso, la estructura 10 del hilo de material compuesto puede crear una mayor diferencia de potencial entre dos conductores mediante piezoelectricidad y exhibe un coeficiente de Poisson negativo, tras el estiramiento, por lo que se define el coeficiente 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 de cuerda, el hilo de material compuesto de la invención, 10, al utilizar 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.

15 Estas fuerzas adicionales tienen distintas direcciones, por lo tanto, se utilizan distintas constantes piezoeléctricas, tales como  $d_{33}$ , en concreto el cambio de volumen cuando un material piezoeléctrico es sometido a un campo eléctrico, en vez de  $d_{31}$ . Como es sabido, las constantes piezoeléctricas, también conocidas como coeficientes piezoelectricidad, cuantifica el cambio de volumen cuando se somete un material piezoeléctrico a un campo eléctrico, o su polarización tras la aplicación de un esfuerzo.

20 En las diversas realizaciones de la invención, se traduce una porción de los estímulos de tracción en estímulos transversales en una construcción de tejido debido a la auxeticidad. Esto significa que los estímulos físicos cambian de dirección, lo que a su vez significa que se utiliza un conjunto distinto de coeficientes piezoeléctricos para generar una salida eléctrica.

Por la presente, 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 auxéticas (Figura 4).

25 En la figura 3 no hay auxeticidad, la constante piezoeléctrica utilizada es únicamente  $d_1$  que es una constante de acopio de energía proporcionada por la fórmula  $d_1 = V_1/F_1$ , en la que  $V_1$  es el potencial eléctrico generado y  $F_1$  es la fuerza longitudinal (Figura 3).

30 Cuando el primer elemento 15, es decir el elemento de dos componentes, también es sometido a una presión hacia su centro, entonces entra en juego otra constante piezoeléctrica como una adición, en concreto  $d_2$  proporcionado por la fórmula  $d_2 = V_1/F_1 + V_2/F_2$ , en la que  $V_1$  y  $V_2$  son potenciales eléctricos generados,  $F_1$  es la fuerza longitudinal y  $F_2$  es una fuerza perpendicular a  $F_1$  (Figura 4).

En el caso de estructuras de tejido o de cuerda (tales como la representada en la Figura 5) que se fabrican con una pluralidad de estructuras de hilo, según las diversas realizaciones de la invención, se puede definir una fuerza  $F_3$  adicional.

35 La fuerza  $F_3$  define, además de las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$ , otro factor de ganancia adicional cuando se implementa el hilo en un tejido o en una cuerda.

Dado que cada hilo se agranda debido a su comportamiento auxético, la fuerza  $F_2$  en la Figura 4 aumenta más que en el caso de un hilo por sí solo.

En tal caso, la fuerza total que actúa sobre el componente piezoeléctrico 30 aumenta hasta un valor de  $F_2+F_3$ .

40 El valor  $F_3$  representa el valor de la fuerza que se origina del hecho de que los hilos colindantes en la estructura del tejido o de cuerda, que también podrían ser auxéticos, ejercen fuerzas adicionales unos contra otros 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 total 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 vueltas por longitud unitaria de todo el hilo. El ángulo de trenzado se define, por ejemplo, por la ductilidad del bicomponente central y puede calibrarse en consecuencia: si el número de vueltas es más del necesario, entonces el comportamiento auxético no estará presente, ya 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 vueltas debe ser suficiente para cubrir la longitud  $L_1$  de la estructura 10 del hilo en una configuración no alargada y para permitir alcanzar la longitud  $L_1 + L$  cuando la estructura de hilo se encuentra en una configuración alargada. Si el número de vueltas es inferior al necesario, entonces el coeficiente  $d_2$  no tendrá un término adicional significativo, por lo tanto, la ganancia adicional no será tan

alta como lo podría ser en otro caso. 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  $\mu\text{m}$  medidos radialmente, teniendo como centro el centro del primer elemento de dos componentes.

- 5 En una realización de la invención, se pueden utilizar segundos elementos adicionales, siempre que 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.

En otras palabras, todos los segundos elementos de trenzado opcionales deberían encontrarse en fase o sincronizados entre sí. Para crear tal estructura alternativa de filamento, el segundo elemento conductor 40 y todos los posibles segundos elementos adicionales deberían ser trenzados primero para crear un haz de filamentos trenzado; entonces, se trenza el haz de filamentos trenzándolo 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 en las diversas realizaciones de la invención.

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

- 15 La Figura 6 muestra una curva V que representa un potencial eléctrico como una función de una fuerza F aplicada a la estructura del 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 del hilo, dejándola sustancialmente en la configuración representada en la Figura 1A. Por lo tanto, no hay presente ninguna deformación auxética significativa.

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

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

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

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

En este caso, se incorpora una pluralidad de estructuras de hilo en una construcción de tejido o una cuerda o estructura 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 del potencial eléctrico (curva V'') debido a que una tercera componente de la fuerza, en concreto F3, es experimentada por las estructuras de hilo. Se encuentra en uso una combinación ponderada de los coeficientes piezoeléctricos.

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

40 En la estructura 10 del hilo de material compuesto, el componente conductor 20 del primer elemento 15 puede estar fabricado de un material conductor elástico. Como ejemplo, el material conductor elástico del componente conductor 20 del primer elemento 15 puede ser un polímero que incluye impurezas metálicas conductoras. Por ejemplo, tales impurezas metálicas conductoras pueden estar hechas 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 del hilo de material 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 estirados son polarizados con un campo eléctrico intenso después de su calentamiento para alinear la cadena polimérica termoplástica. Se puede escoger una proporción de estiramiento óptima para llevar a cabo el estiramiento, en presencia de un campo eléctrico, de los componentes coaxiales para imponer la fase piezoeléctrica en el polímero termoplástico.

Posibles aplicaciones de la estructura del hilo de la invención son, entre otras, i) tecnología de sensores en prendas de vestir para la monitorización del cuerpo en forma de tejido y ii) monitorización de la tracción de cuerdas utilizadas en una variedad de áreas desde alpinismo hasta aplicaciones marinas intensas.

5 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 del hilo mediante 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 la o las realizaciones ejemplares son únicamente ejemplos, y no se concibe que limiten en forma alguna el alcance, la aplicabilidad o la configuración. 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, sin alejarse del alcance según se define en las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Una estructura (10) de hilo de material 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 exhibe 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 dicho hilo piezoeléctrico (10) tiene propiedades auxéticas, y porque el componente conductor (20) del primer elemento (15) está fabricado de un polímero conductor elástico que incluye impurezas metálicas conductoras o con un material escogido entre mezclas de polietileno de baja densidad (LDPE) o polietileno de alta densidad (HDPE) con al menos uno de nanotubos de carbono (CNT), grafito, nanoláminas de grafeno, carbono amorfo, polianilina dopada o polipirrol dopado o mezclas de los mismos.
2. Una estructura (10) de hilo de material 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 el 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) del hilo en una primera dirección, la estructura (10) del hilo se expanda en una segunda dirección, por lo que aumentan las dimensiones del hilo tanto en la primera dirección como en la segunda para generar una fuerza adicional sobre dicho componente piezoeléctrico del primer elemento.
3. La estructura (10) de hilo de material compuesto según la reivindicación 2, en la que dicho segundo elemento (40) es un elemento conductor o comprende un elemento conductor.
4. La estructura de hilo de material 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 se proporcione un efecto auxético.
5. La estructura de hilo de material 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 de material compuesto según la reivindicación 1, en la que el material conductor elástico del componente conductor del primer elemento (15) es un polímero intrínsecamente conductor.
7. La estructura (10) de hilo de material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en la que el componente termoplástico (30) comprende un material escogido entre un 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 número impar.
8. La estructura (10) de hilo de material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en la que el componente termoplástico (30) exhibe propiedades auxéticas.
9. La estructura (10) de hilo de material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en la que el segundo elemento (40) comprende una pluralidad de filamentos, siendo al menos un filamento un filamento conductor, preferentemente un filamento metálico.
10. La estructura (10) de hilo de material compuesto según cualquier reivindicación anterior, en la que se coextruden dichos componentes del primer elemento (15).
11. Un artículo que comprende al menos una estructura (10) de hilo de material compuesto según cualquier reivindicación anterior.
12. Un artículo según la reivindicación 11, en el que al menos dos hilos según cualquier reivindicación 1 a 10 están dispuestos adyacentes entre sí para darse un sesgo mutuo tras ser alargados.
13. Un artículo según la reivindicación 11 o 12, seleccionándose dicho artículo entre un tejido, una prenda de vestir, ropa y una cuerda.

FIG. 1A

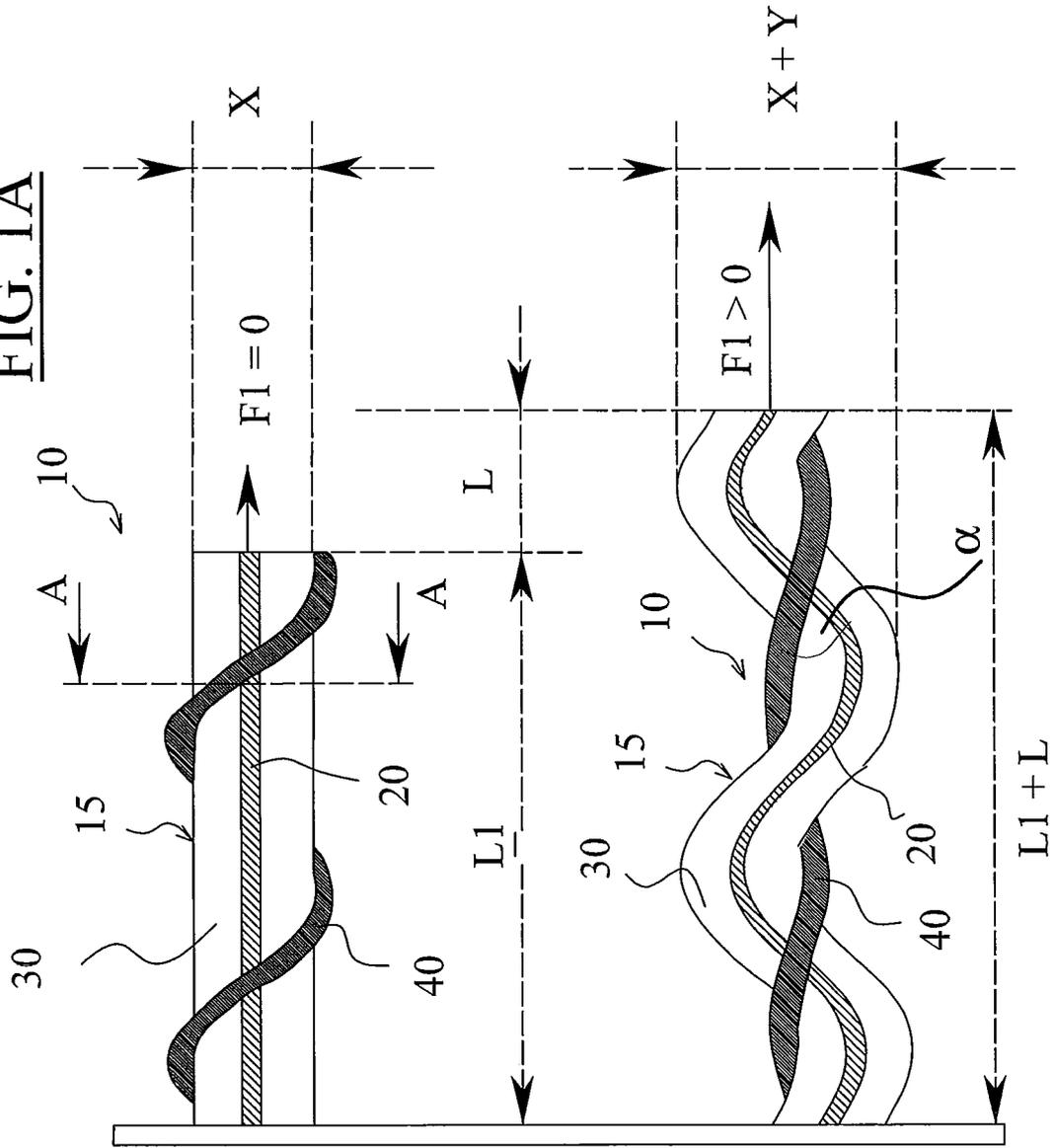


FIG. 1B

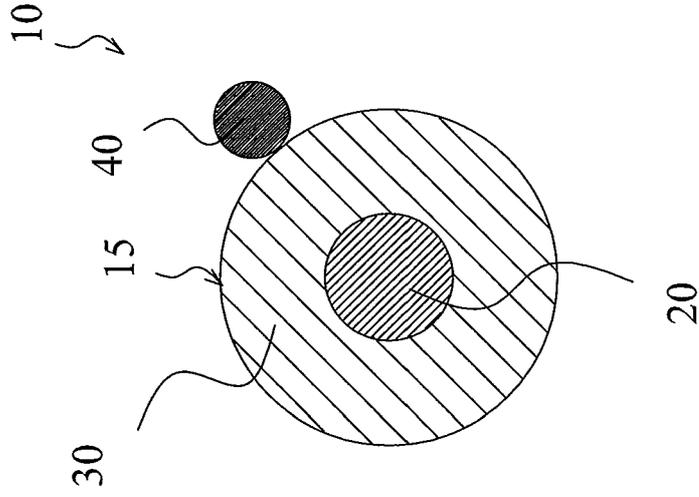
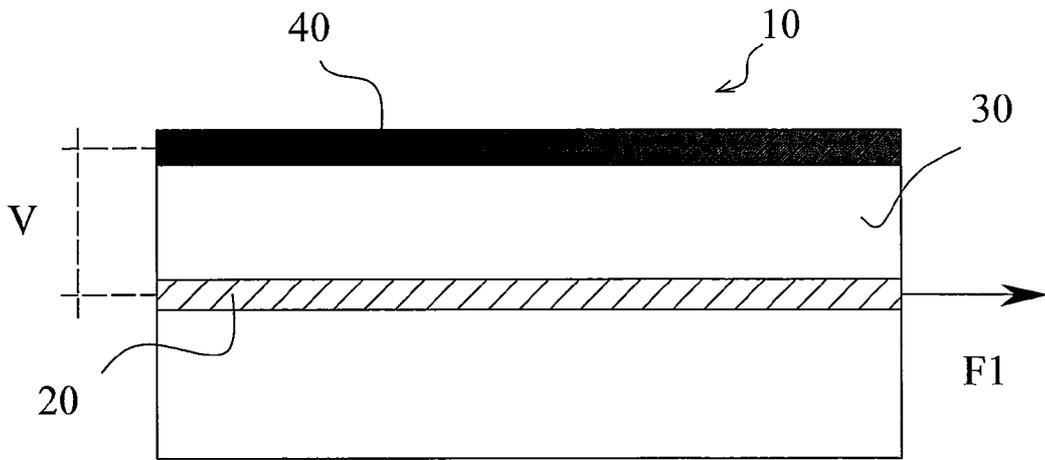
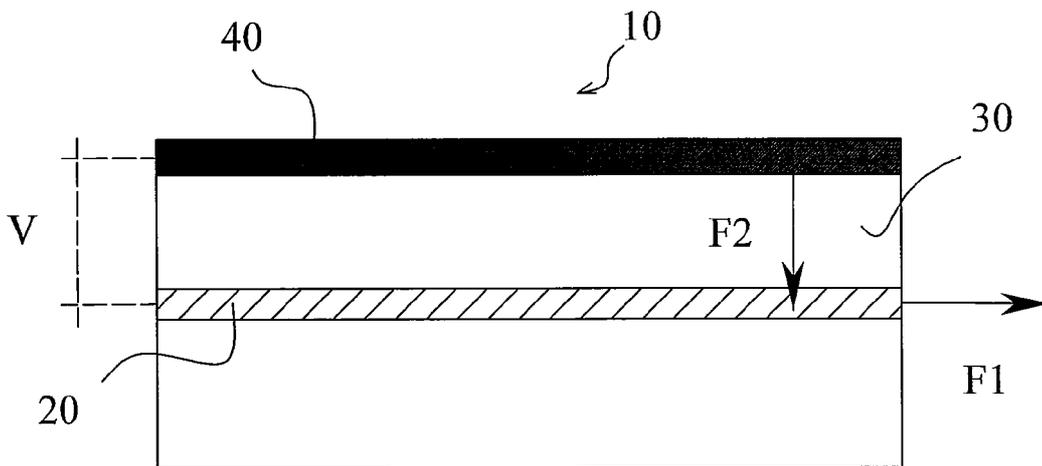


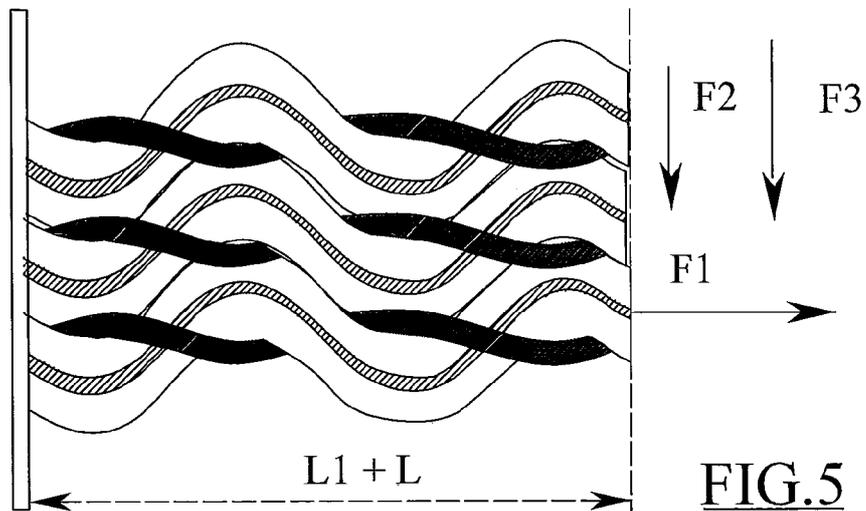
FIG. 2



**FIG. 3**



**FIG. 4**



**FIG. 5**

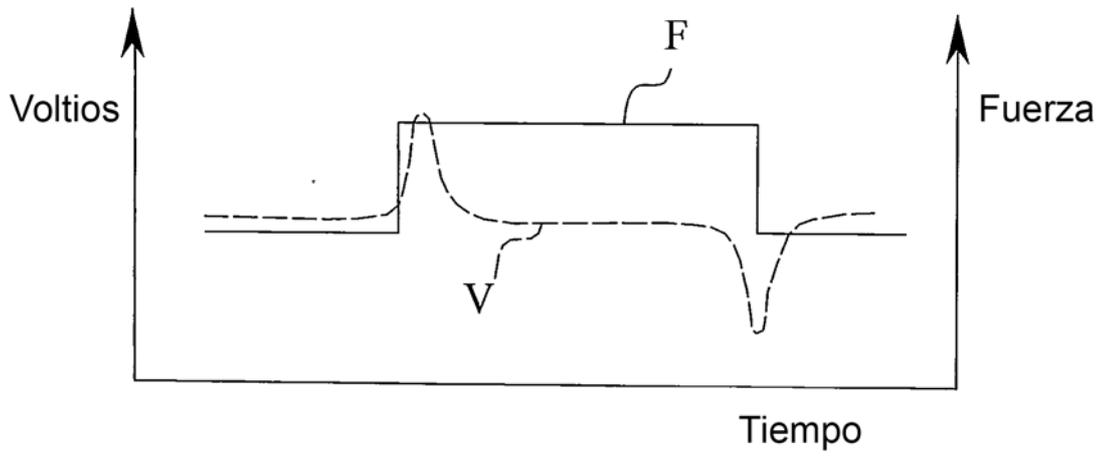


FIG.6

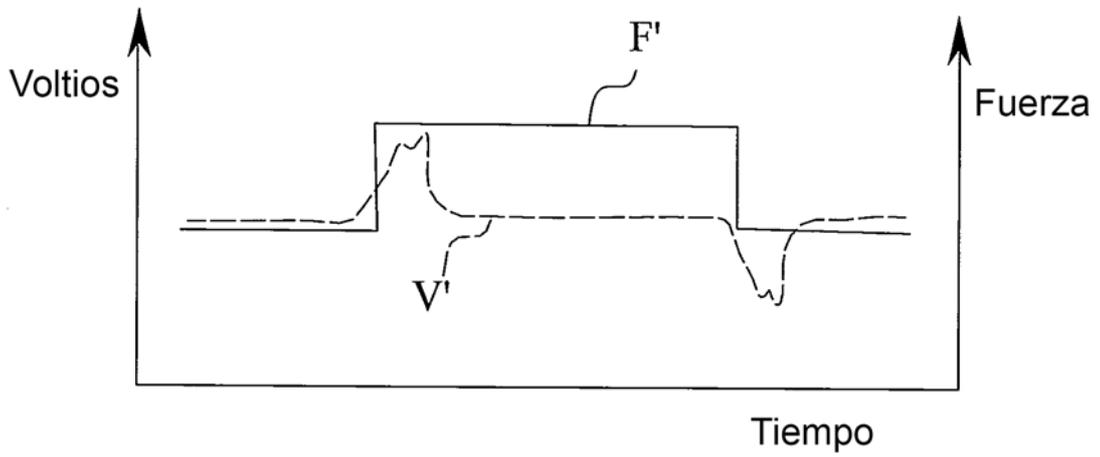


FIG.7

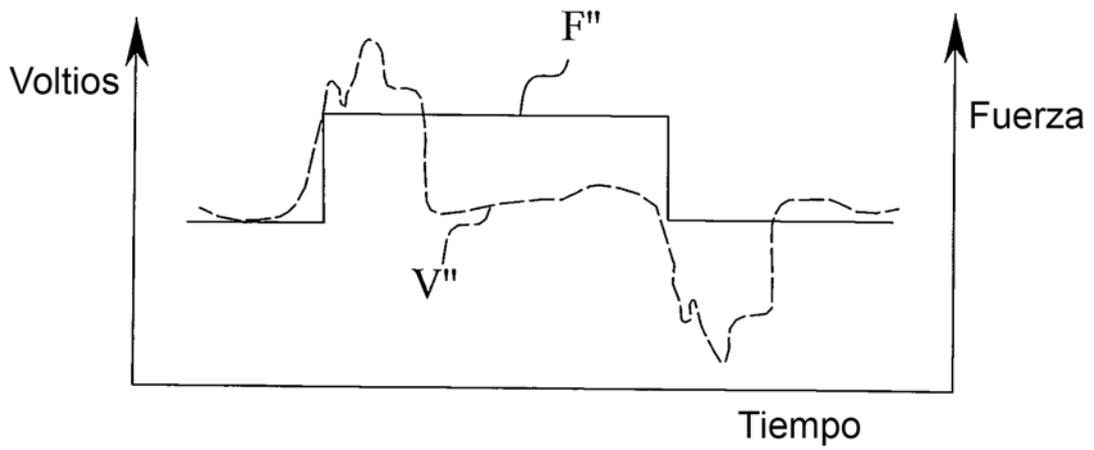


FIG.8