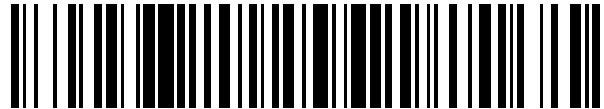


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 613 846**

21 Número de solicitud: 201631485

51 Int. Cl.:

**F01B 19/00** (2006.01)  
**H01L 41/00** (2013.01)  
**H04R 17/00** (2006.01)  
**H01M 10/00** (2006.01)  
**H01M 4/02** (2006.01)  
**H01M 10/44** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**18.11.2016**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**26.05.2017**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA  
(100.0%)  
Ed. "La Milagrosa" Plaza Cronista Isidoro  
Valverde, s/n  
30202 CARTAGENA (Murcia) ES**

72 Inventor/es:

**FERNÁNDEZ OTERO, Toribio y  
MARTÍNEZ GIL, José Gabriel**

74 Agente/Representante:

**TEMIÑO CENICEROS, Ignacio**

54 Título: **DISPOSITIVO BIOMIMÉTICO MULTIFUNCIONAL: ACTUADOR, SENSOR, BATERÍA**

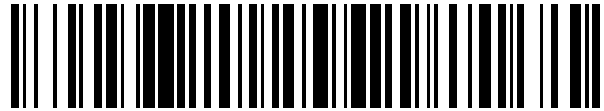
**ES 2 613 846 A1**

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 613 846**

21 Número de solicitud: 201631485

57 Resúmen:

Dispositivo biomimético multifuncional: actuador, sensor, batería.

La presente invención se refiere a un dispositivo multifuncional actuador/sensor/batería (6) que comprende:

- una estructura en tricapa constituida por una capa de material electroactivo (1) unida longitudinalmente a una capa de material no reactivo (2), que a su vez se une longitudinalmente a otra capa de material electroactivo (1'),

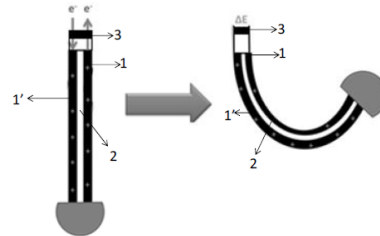
- un circuito de alimentación (3) y descarga que comprende un acumulador (7) y que se conecta a cada una de las capas de material electroactivo (1) y (1') a través de cada uno de los polos de dicho circuito (3),

- un medio electrolítico (4) en el que está inmerso el dispositivo multifuncional (6),

caracterizado porque al aplicar una corriente desde el circuito de alimentación (3) se produce una reacción de oxidación en una de las capas de material electroactivo (1) y una reacción de reducción en la otra capa de material electroactivo (1') que produce un movimiento del dispositivo multifuncional (6), la carga del acumulador (7) y un cambio en la diferencia de potencial en el dispositivo multifuncional (6).

La presente invención se refiere también al procedimiento para generar de forma simultánea, movimiento, información cuantitativa sobre variables físico-químicas y para recargar un acumulador en un dispositivo multifuncional actuador/sensor/batería (6) de la presente invención.

FIG.1A



**DESCRIPCIÓN**

**DISPOSITIVO BIOMIMÉTICO MULTIFUNCIONAL: ACTUADOR, SENSOR, BATERÍA**

**Objeto de la invención**

5 La presente invención se encuadra de forma general en el campo de la macro, micro y ultramicromecánica y de forma más particular, se refiere a dispositivos biomiméticos capaces de realizar diferentes tareas simultáneamente impulsados por una reacción electroquímica.

**Estado de la técnica**

10 Como pasos anteriores a este dispositivo existen otras patentes pertenecientes a nuestro grupo de trabajo sobre las que nos hemos basado para desarrollarlo y cuyos registros son ES2048086, ES2062930 y ES2233171.

La patente ES2048086 describe un dispositivo laminar bicapa polímero conductor/polímero no conductor, capaz de provocar movimientos mecánicos.

15 La patente ES2062930 se refiere a un dispositivo laminar formado por multicapas de polímeros conductores y materiales adherentes flexibles y elásticos capaces de transformar la energía eléctrica que fluye por los polímeros conductores en energía mecánica a través de reacciones de oxidación o reducción en las láminas de polímero conductor.

20 La patente ES2233171, describe un proceso de preparación de un dispositivo de músculo artificial para desplazamientos longitudinales construido a partir de tres capas adheridas entre sí: polímero conductor/polímero adherente y flexible/polímero conductor.

25 Los dispositivos mencionados en las tres patentes son capaces de desarrollar movimientos (angulares los dos primeros y lineales los últimos) en corto espacio de tiempo, manteniendo fijo uno de sus extremos, aplicando corrientes, cargas o diferencias de potencial en un medio electrolítico que puede ser una disolución. Dichos dispositivos, aprovechan las variaciones simultáneas del volumen y del potencial eléctrico para desarrollar dispositivos que actúan al mismo tiempo como actuadores mecánicos (motores) y como varios sensores.

30 Sería pues interesante, proporcionar un dispositivo que además de realizar las funciones anteriormente descritas, también sea capaz de recuperar parte de la energía aplicada para realizar el trabajo mecánico una vez realizado dicho trabajo.

### Breve descripción de la invención

5 La presente invención proporciona un dispositivo que trabaja de forma simultánea como un motor que produce movimiento, como varios sensores de distintas variables físico-químicas y como una batería/supercondensador que permite el almacenamiento de cargas durante la actuación y su recuperación durante el movimiento contrario.

Así pues, en un primer aspecto la presente invención se refiere a un dispositivo multifuncional actuador/sensor/batería (de aquí en adelante dispositivo de la presente  
10 invención) que comprende:

- una estructura en tricapa constituida por una capa de material electroactivo unida longitudinalmente a una capa de material no reactivo, que a su vez se une longitudinalmente a otra capa de material electroactivo,
- un circuito de alimentación y descarga que comprende un acumulador y que se  
15 conecta a cada una de las capas de material electroactivo a través de cada uno de los polos de dicho circuito,
- un medio electrolítico en el que está inmerso el dispositivo multifuncional,

caracterizado por que al aplicar una corriente desde el circuito de alimentación se produce una reacción de oxidación en una de las capas de material electroactivo y una reacción de  
20 reducción en la otra capa de material electroactivo que a su vez produce un movimiento del dispositivo de la presente invención, genera energía para cargar el acumulador y genera un cambio en la diferencia de potencial entre las dos capas de material electroactivo del dispositivo multifuncional de la presente invención, comportándose dicho dispositivo de forma simultánea como varios sensores, una batería y un motor.

25 En la presente invención por material electroactivo se refiere cualquier material que reacciona ante un estímulo eléctrico.

En la presente invención por variables físico-químicas se refiere a cualquier variable térmica, química, mecánica y eléctrica que tiene relación con el dispositivo de la presente invención.

30 En la presente invención por acumulador se refiere a cualquier dispositivo capaz de almacenar energía por procedimientos electroquímicos y de la que se puede disponer en

forma de electricidad al revertir la reacción electroquímica que se ha producido durante la carga mediante la aplicación en sus electrodos de una corriente eléctrica procedente de un generador externo.

5 En un aspecto particular de la invención las capas de material electroactivo están constituidas por un material seleccionado de entre polímeros conductores, nanotubos de carbono y sus derivados, grafeno y sus derivados y composites que incluyen los materiales anteriormente nombrados.

10 En un aspecto más en particular, el material electroactivo es polipirrol, polianilina, politiofeno, polifurano, policarbazol, o cualquier polímero con intercambio mayoritario de aniones, cationes o mixto, ya sea por dopado-p o por dopado-n, o cualquier derivado de los mismos: polímeros sustituidos, copolímeros, polímeros redox, electrolitos poliméricos o polímeros autodopados.

En otro aspecto más en particular, la capa de material electroactivo está constituida por nanotubos de carbono y/o sus derivados.

15 En otro aspecto más en particular, la capa de material electroactivo está constituida por grafenos y/o sus derivados.

20 En otro aspecto más en particular, la capa de material electroactivo está constituida por composites: polímero conductor-macroiones, polímero conductor-polímero no conductor, polímero conductor-nanotubos de carbono, polímero conductor-grafeno, grafeno-nanotubos de carbono.

En otro aspecto más en particular, la capa de material electroactivo está constituida por polímeros redox.

25 En otro aspecto particular, el medio electrolítico, es seleccionado de entre agua o un disolvente orgánico con sales disueltas, geles poliméricos con disoluciones de sales, líquidos iónicos, geles de electrolitos sólidos.

En otro aspecto particular, el dispositivo de la presente invención, se encuentra inmerso en el medio electrolítico rodeado por una capa de material no electroactivo, impermeable y flexible en forma de cápsula y sellada en su conjunto.

30 En otro aspecto particular de la presente invención, la aplicación de una corriente eléctrica desde el circuito de alimentación a través del dispositivo de la presente invención, produce de forma simultánea la oxidación de una de las capas electroactivas y la reducción de la

otra capa electroactiva, generando cambios de volumen y el movimiento de combado del dispositivo de la presente invención, generando a la vez, una diferencia de potencial entre dichas capas electroactivas que genera energía para la carga de un acumulador y genera información cuantitativa sobre variables físico-químicas del dispositivo de la presente invención.

5

En otro aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para generar de forma simultánea, movimiento, información cuantitativa sobre variables físico-químicas y energía para recargar un acumulador (de aquí en adelante, procedimiento de la presente invención) en el dispositivo multifuncional actuador/sensor/batería de la presente invención, que comprende las siguientes etapas:

10

a) aplicar una carga eléctrica en el dispositivo de la presente invención, para generar de forma simultánea una reacción de oxidación en una de las dos capas de material electroactivo y una reacción de reducción en la otra capa de material electroactivo,

b) las reacciones de oxidación/reducción de la etapa a), producen:

15

– una variación del volumen de las capas de material electroactivo que genera un movimiento de combado en el dispositivo multifuncional de la presente invención,

– la carga del acumulador en el dispositivo multifuncional con la carga eléctrica aplicada en la etapa a) de la presente invención,

20

– una diferencia de potencial entre las dos capas de material electroactivo, el potencial muscular, en el dispositivo multifuncional de la presente invención,

c) medir la diferencia de potencial generada en la etapa b) para obtener información sobre condiciones físico-químicas del dispositivo de la presente invención y su entorno.

En un aspecto particular, el procedimiento de la presente invención, comprende una etapa adicional consistente en interrumpir la carga eléctrica suministrada en la etapa a), para que, al ser conectado a un circuito de descarga, las capas de material electroactivo, retornen a su estado de oxidación/reducción inicial, produciendo dichas reacciones un movimiento de recuperación de la posición inicial del dispositivo multifuncional, y una diferencia de potencial que genera una energía.

25

En un aspecto más en particular, la energía generada en la etapa adicional del

30

procedimiento de la presente invención es utilizada en un dispositivo eléctrico externo al dispositivo multifuncional.

5 En otro aspecto en particular, la energía generada en la etapa adicional del procedimiento de la presente invención es utilizada en el dispositivo multifuncional de la presente invención.

En otro aspecto, la presente invención se refiere al uso del dispositivo de la presente invención para generar de forma simultánea un movimiento de combado, información útil sobre variables físico-químicas del dispositivo de la presente invención y su entorno y para generar energía para recargar un acumulador.

10 En una realización en particular, el dispositivo multifuncional actuador/sensor/batería de la presente invención se usa en combinación con al menos otro dispositivo multifuncional actuador/sensor/batería.

### **Descripción de las figuras**

15 La figura 1A muestra el dispositivo de la presente invención en la etapa de actuación del motor, carga de la batería y obtención de información de los sensores; la figura 1B muestra el dispositivo de la presente invención en la etapa de retorno del motor al origen con descarga de la batería. La figura 1A' y la figura 1B' muestran el desplazamiento real del dispositivo trasladando una masa (en forma de anillo metálico) desde un punto inicial hasta un punto final más elevado durante la etapa de actuación y desde dicho punto final hasta el punto inicial durante la etapa de retorno, respectivamente.

20 La figura 2A muestra la evolución de la diferencia de potencial medida entre las dos capas electroactivas durante el movimiento de una tricapa polipirrol/cinta adhesiva/polipirrol, al aplicar una corriente de 0.5 mA, durante 40 s (con un consumo de 20 mC), en una disolución acuosa 0.1 M NaNO<sub>3</sub> para describir el movimiento reflejado en la ilustración 1A', elevando diferentes masas indicadas en la figura. La figura 2B, muestra la diferencia de potencial alcanzada en los experimentos mostrados en la figura 2A, tras 25 s de experimento en función de la masa arrastrada. La figura 2C, muestra la energía eléctrica consumida para realizar el movimiento descrito en la figura 1A' en las condiciones expresadas en la figura 2A.

30 La figura 3A muestra la evolución de la corriente eléctrica de descarga de la batería, medida a su paso por una resistencia de 10 Ω (equivalente a la bombilla de la figura 1B) y la figura

3B muestra la evolución de la diferencia de potencial, medidas entre los bordes de dicha resistencia, alimentada por la descarga de la batería del dispositivo multifuncional tripaca polipirrol/cinta adhesiva/polipirrol. Durante la descarga el dispositivo realiza el movimiento mostrado en la figura 1B'.

- 5 La figura 4 muestra el dispositivo multifuncional de la presente invención, en una realización particular en la que comprende una capsula (5) de material no electroactivo, permeable y flexible.

**Descripción detallada de la invención.**

La presente invención se refiere a un dispositivo multifuncional actuador/sensor/batería (6) formado por capas de materiales reactivos (tales como polímeros conductores) y no reactivos alternados. Al aplicar una corriente (o carga) eléctrica, el dispositivo (6) se mueve mientras la evolución de la diferencia de potencial entre sus capas, o la de la energía eléctrica consumida para realizar el movimiento, ofrecen información cuantitativa acerca de la concentración química, la temperatura, el trabajo mecánico que debe realizar para hacer el movimiento o la corriente eléctrica aplicada. La carga aplicada queda almacenada en el dispositivo (6): dicha carga hace que el estado de oxidación de una capa de material electroactivo (1') se incremente durante la actuación, mientras que el estado de reducción de la otra capa de material electroactivo (1) también avance, como ocurre en la carga de una batería. Parte de esta carga puede ser recuperada al realizar el movimiento contrario, o de vuelta. Ello permite un ahorro de energía del sistema triple actuador-sensor-batería con un incremento importante de su rendimiento respecto a los sistemas duales descritos anteriormente de actuadores-sensores.

Los actuadores mecánicos son dispositivos capaces de realizar un trabajo mecánico consumiendo energía. Los actuadores poliméricos electro-químico-mecánicos, o músculos artificiales, son transductores de energía eléctrica en energía mecánica a través de reacciones electroquímicas que se producen en el material que compone partes del actuador.

El dispositivo de la presente invención (6), está basado en la utilización de materiales reactivos en los que la reacción originada por el paso de una corriente (carga) eléctrica provoca el cambio simultáneo del volumen, el potencial eléctrico y el estado de carga del material.



El procedimiento de preparación de las láminas de polímeros conductores para formar la estructura tricapa del dispositivo de la presente invención se basó en la patente ES2008311, que se incorpora a la presente solicitud de patente por referencia.

5 A continuación se construyó la estructura tricapa formada por láminas de material electroactivo (1)/polímero no electroactivo adherente y flexible (2)/ material electroactivo (1) tal y como está especificado en la patente ES2062930 y que se incorpora a la presente solicitud de patente por referencia. Cada una de las capas de material electroactivo (1) y (1') se conecta a uno de los polos del circuito de alimentación (3) de corriente eléctrica continua y se sitúa en el interior de un medio electrolítico (4). Al pasar corriente el dispositivo describe  
10 un movimiento angular (figura 1).

Utilizando las conexiones empleadas para aplicar la corriente eléctrica, se midió la evolución de la diferencia de potencial entre las dos láminas de material electroactivo (1) y (1') durante la actuación. Dicho potencial, o la energía eléctrica consumida durante la actuación (diferencia de potencial x carga consumida) actúan como magnitudes sensoras (ofrecen  
15 información) de las diferentes variables mecánicas, térmicas, químicas o eléctricas: el actuador siente, mientras trabaja, las variables de trabajo o cualquier variación de las mismas (Otero and Martinez, Prog. Polym. Sci. 44 (2015) 62-78).

Una vez realizado el movimiento del dispositivo (6), la corriente eléctrica se detuvo y el movimiento se paró. Durante el movimiento apareció entre las dos láminas de material  
20 electroactivo (1) y (1') una diferencia de carga y de potencial: una batería cargada. Es posible descargarla para alimentar cualquier otro dispositivo eléctrico, que será entonces alimentado por la carga almacenada en las láminas de material electroactivo, pudiendo así recuperar la mayor parte de la carga eléctrica utilizada para realizar el movimiento anterior. Durante la descarga el motor recupera la posición original.

25 Los materiales electroactivos tales como polímeros conductores de los que está compuesto este dispositivo (6) son capaces de variar sus propiedades (conductividad, volumen, color, carga almacenada, potencial eléctrico, distancia entre poros o contenido iónico) durante reacciones de oxidación y reducción de forma reversible y continua (Otero, Conducting Polymers, Electrochemistry and Biomimicking Processes, in White et al. (Eds.) Modern  
30 Aspects of Electrochemistry (1999) Springer, New York). El grado de oxidación/reducción controla, de forma reversible dentro de un rango de funcionamiento, el valor de cada una de las propiedades mencionadas.

Durante el proceso de oxidación, se generan cargas positivas por extracción de electrones de las cadenas poliméricas del material electroactivo (1) y (1'). Ello provoca la repulsión entre las cadenas que componen el material, con generación de espacio libre en el interior del material, que va a ser ocupado por iones que entran desde el electrolito (4) para compensar el exceso de cargas positivas y mantener la electroneutralidad del material, y por moléculas de disolvente que entran para mantener el equilibrio osmótico, formando un gel denso. Se produce de esta forma un incremento del volumen del material para dar cabida a los iones y el disolvente. El incremento de volumen será tanto mayor cuanto mayor sea el número de iones y disolvente incorporados al material. El número de iones que se incorpora al material está controlado por el número de electrones extraídos de las cadenas: por la carga eléctrica que fluye por el sistema.

Durante el proceso de reducción ocurre el proceso contrario, el disolvente y los iones son expulsados de vuelta al electrolito (4) al ir desapareciendo el espacio libre y las cargas que los habían hecho entrar al material. Se produce por tanto la disminución del volumen del material.

Cuando se adhieren una lámina de material electroactivo (1) y una lámina de polímero adherente flexible no electroactivo (2) para formar una bicapa, los cambios de volumen que se generan en la lámina de material electroactivo generan una tensión en la interfase con la lámina de material no electroactivo provocando el comado del dispositivo. Cuando la lámina de material electroactivo aumenta su volumen por la entrada de iones y disolvente debido a la reacción electroquímica, dicha lámina empuja a la lámina no electroactiva. Cuando la lámina de material electroactivo disminuye su volumen por la salida de iones y disolvente debido a la reacción electroquímica, dicha lámina tira de la lámina no electroactiva. De esta forma, la posición alcanzada está controlada por la carga consumida durante la reacción electroquímica origen del movimiento (Otero and Cortes, Chem. Commun. (2004) 284-285; Otero and Sansiñena, Bioelectrochem. Bioenerg. 42 (1997) 117-122). Utilizando una película de material no electroactivo adherente por las dos caras, es posible construir el dispositivo multicapa: material electroactivo (1)/polímero adherente y flexible (2)/ material electroactivo (1'). Al aplicar una corriente eléctrica en una de las láminas de material electroactivo se oxida (o reduce) y se produce un aumento (o disminución) del volumen empujando (o tirando) del dispositivo. En la otra lámina se produce la reacción contraria: reducción (oxidación) con el consiguiente descenso (aumento) del volumen, tirando (empujando) del dispositivo. Las dos reacciones

complementarias cooperan realizando un trabajo en la misma dirección para provocar el movimiento del dispositivo.

- A la vez que cambia el volumen, durante las reacciones de oxidación/reducción, otra de las propiedades del material que varía es su potencial eléctrico (Otero, *Conducting Polymers, Electrochemistry and Biomimicking Processes*, in White et al. (Eds.) *Modern Aspects of Electrochemistry* (1999) Springer, New York). Dicho potencial resulta ser función de las condiciones físicas y químicas que afectan a la reacción electroquímica que origina el movimiento (Otero et al., *J. Phys. Chem. B* 116 (2012) 5279-5290). De esta forma, es posible medir la diferencia de potencial entre las dos láminas de material electroactivo (1) y (1') mientras el dispositivo (6) realiza un movimiento. Este potencial medido ofrece información cuantitativa (Ecuación básica de Butler–Volmer) acerca de las condiciones térmicas (temperatura), las condiciones químicas (concentración), las condiciones mecánicas (trabajo mecánico necesario para realizar un movimiento determinado) o las condiciones eléctricas (corriente eléctrica aplicada para realizar un movimiento). Solamente los dos cables, necesarios para cerrar el circuito eléctrico, soportan el flujo de corriente que origina el movimiento (magnitud actuadora) y entre ellos se mide la evolución de la diferencia de potencial ( $\Delta E$ , figura 1a) que provee información acerca de diferentes variables de trabajo (magnitud sensora). Esa información es útil para el control del dispositivo.
- 20 Durante un movimiento de combado, iniciado con un dispositivo estirado (las dos películas electroactivas (1) y (1') tienen igual estado de oxidación/reducción) el flujo de corriente continua provoca la oxidación de una las películas electroactiva (1') mientras que la otra película electroactiva (1) se reduce, generando una diferencia de potencial entre las mismas: la carga eléctrica que origina el movimiento carga, simultáneamente, una batería.
- 25 Si se interrumpe el flujo de corriente cuando la película está combada el movimiento se para manteniéndose la posición alcanzada (Otero and Cortes, *Chem. Commun.* (2004) 284-285; Otero and Sansiñena, *Bioelectrochem. Bioenerg.* 42 (1997) 117-122), las reacciones de oxidación y reducción se paran y existe una diferencia de potencial entre la lámina oxidada y la reducida: potencial de pila. La carga almacenada y la diferencia de potencial suministran
- 30 una energía que puede ser utilizada en sucesivos movimientos de dispositivo (6) o para alimentar cualquier dispositivo eléctrico. Mientras la suministra el dispositivo se descarga, retornando al estado de equilibrio inicial. Las dos películas vuelven al mismo estado de

oxidación/reducción y el dispositivo recupera la posición estirada original: se produce movimiento y energía eléctrica.

De tal forma que el dispositivo de la presente invención (6) realiza una actuación mecánica, a la vez que ofrece información (siente) acerca del entorno que le rodea y, por primera vez, 5 las cargas almacenadas durante parte de la actuación son recuperadas y reutilizadas durante el movimiento inverso. Utilizando solamente los dos cables de conexión necesarios para cerrar el circuito eléctrico el dispositivo es a la vez, un actuador mecánico, varios sensores de las condiciones de trabajo y una batería/supercondensador.

El dispositivo descrito se preparó a partir de películas de polipirrol para las capas de material electroactivo (1) y (1') y cinta adhesiva de doble cara para la capa de material no reactivo 10 (2). Las películas de polipirrol se obtuvieron tal y como se describe en Otero et al., J. Phys. Chem. B 116 (2012) 5279-5290 (que se incorpora a la presente solicitud de patente por referencia) mediante electropolimerización a partir de una disolución 0.2 M de pirrol (preferiblemente destilado previamente en vacío), 0.1 M de sal de perclorato de litio, y 1 % 15 de agua ultrapura en acetonitrilo. Para la electropolimerización se utilizaron electrodos de acero: el electrodo de trabajo posicionado en el centro y dos contraelectrodos colocados paralelos al de trabajo y a la misma distancia. Como electrodo de referencia se utilizó un electrodo Ag/AgCl. Para la electrogeneración se aplicó una onda cuadrada de potencial cuyo primer semiperiodo consiste en aplicar un potencial constante de -0.322 V respecto al 20 electrodo de referencia, durante un tiempo de 2 s, y el segundo semiperiodo consiste en aplicar un potencial constante de 0.800 V durante 8s. Dicha onda se puede aplicar con un potencióstato, a la vez que este registra la corriente y la carga que pasan por el electrodo de trabajo. Esta onda de potencial se repitió hasta alcanzar una carga total (que pasa por el electrodo de trabajo, considerando las corrientes en ambos sentidos) de 25 C. De esta 25 forma se obtiene una película de polipirrol sobre el electrodo de trabajo.

Una vez generada dicha película, se aplicó un potencial intermedio de 0.030 V durante 300 segundos con el fin de obtener un estado de oxidación intermedio. Después de esto, se lavó la película con agua y se dejó secar.

Una vez seca la tricapa se construyó tal y como se describe en García-Córdova et al., J. Mater. Chem. 21 (2011) 17265-17272), (y que se incorpora a la presente solicitud de 30 patente por referencia), se cortaron los bordes de la película de polipirrol con una cuchilla y se adhiere, a uno de los lados del electrodo una cinta adhesiva con adhesivo por sus dos

caras. Tras aplicar una presión mecánica moderada, la película de polipirrol se adhiere a la cinta adhesiva y puede ser retirada fácilmente del electrodo de acero sobre el que se generó. A continuación, se procede de igual manera con el otro lado del electrodo (sobre el que todavía queda adherido polipirrol), esta vez con la cara de la cinta adhesiva todavía  
5 limpia, obteniendo finalmente una tricapa polipirrol/cinta adhesiva/polipirrol.

La triple funcionalidad actuación/sensado/recuperación de carga del dispositivo deben realizarse en un medio electrolítico tal como una disolución acuosa 0.1 M de  $\text{NaNO}_3$ . Se empleó un potencióstato-galvanostato, cuyas salidas fueron conectadas de la siguiente forma: electrodo de trabajo a una de las películas de polipirrol de la tricapa; electrodo de  
10 referencia y contraelectrodo en cortocircuito entre ellas y conectadas a la otra película de polipirrol. Se aseguró además aislamiento eléctrico entre las dos capas de polipirrol con el fin de evitar cortocircuitos entre ellas. Se aplicó el flujo de una corriente eléctrica constante entre los dos electrodos de polipirrol. Mientras se mueve el dispositivo se registra la evolución de la diferencia de potencial entre las dos películas de polipirrol durante la  
15 actuación. La posición original se recupera pasando igual carga en sentido contrario. Al repetir el experimento desde la misma posición inicial a la misma posición final cada vez variando la temperatura de trabajo, la concentración del electrolito, la masa adherida al dispositivo (figura 2A) y arrastrada por él, se obtienen distintas evoluciones del potencial: la evolución del potencial sienta las condiciones de trabajo, figura 2B. También la energía  
20 eléctrica consumida sienta las condiciones de trabajo, figura 2C.

Para la nueva funcionalidad como batería consideramos que durante el paso de corriente una de las películas de polímero conductor se oxida y la otra se reduce y el dispositivo se mueve desde la posición inicial (figura 1A) a la posición final (figura 1B). Al interrumpirse el paso de corriente (figura 1B) existe una diferencia de potencial ( $\Delta E$ ) entre las dos películas  
25 de polipirrol debido a su diferente estado de oxidación: se ha cargado una batería. Para comprobar la carga y la energía almacenada se conecta cada una de las películas de polipirrol (cada polo de la batería) a los bornes de una resistencia de 10  $\Omega$ . Al cerrar el circuito se registra el flujo de corriente eléctrica a través de la resistencia (figura 3A) así como la evolución de la caída de potencial en la misma (figura 3B) generada por dicho paso  
30 de corriente. Durante la descarga del dispositivo a través de la resistencia, las películas de polipirrol (los electrodos de la batería) evolucionan hacia el mismo estado de oxidación/reducción: el músculo recupera la posición inicial (figura 1B') realizando el movimiento en sentido contrario al realizado durante su carga.

Se midió la recuperación de carga en estos experimentos y se comprobó que la recuperación fue de hasta un 87% de la carga aplicada para realizar el movimiento y un 8 % de la energía eléctrica consumida para realizar el movimiento. Esta carga y energía se pueden utilizar para mover otro músculo artificial, para cargar una batería o un condensador.

- 5 Esta recuperación producirá un incremento del rendimiento del dispositivo.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo multifuncional actuador y sensor y batería (6) que comprende:
- una estructura en tricapa constituida por una capa de material electroactivo (1) unida longitudinalmente a una capa de material no reactivo (2), que a su vez se une longitudinalmente a otra capa de material electroactivo (1'),
  - un circuito de alimentación (3) y descarga que comprende un acumulador (7) y que se conecta a cada una de las capas de material electroactivo (1) y (1') a través de cada uno de los polos de dicho circuito (3),
  - un medio electrolítico (4) en el que está inmerso el dispositivo multifuncional (6),
- 10 caracterizado por que al aplicar una corriente desde el circuito de alimentación (3) se produce una reacción de oxidación en una de las capas de material electroactivo (1) y una reacción de reducción en la otra capa de material electroactivo (1') que produce un movimiento del dispositivo multifuncional (6), la carga del acumulador (7) y un cambio en la diferencia de potencial en el dispositivo multifuncional (6).
- 15 2. Dispositivo multifuncional actuador y sensor y batería (6) según la reivindicación 1, donde el material electroactivo de las capas (1) y (1') es un material seleccionado de entre polímeros conductores, nanotubos de carbono, grafeno y composites.
3. Dispositivo multifuncional actuador y sensor y batería (6) según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, donde el medio electrolítico (4), es seleccionado de entre agua o un
- 20 disolvente orgánico con sales disueltas, geles poliméricos con disoluciones de sales, líquidos iónicos, geles de electrolitos sólidos.
4. Dispositivo multifuncional actuador y sensor y batería (6) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el dispositivo multifuncional (6) se encuentra inmerso en el medio electrolítico (4) y está rodeado por una capa de material no
- 25 electroactivo, impermeable y flexible en forma de cápsula (5) sellada en su conjunto.
5. Dispositivo multifuncional actuador y sensor y batería (6) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la aplicación de la corriente eléctrica desde el circuito de alimentación (3) produce de forma simultánea una reacción de oxidación en una de las capas de material electroactivo (1) y una reacción de reducción en
- 30 la otra capa de material electroactivo (1') generando un movimiento en el dispositivo, energía para la carga de un acumulador (7) y una diferencia de potencial que a su vez

proporciona información cuantitativa sobre variables físico-químicas del dispositivo multifuncional (6) y su entorno.

5 6. Procedimiento para generar de forma simultánea, movimiento, información cuantitativa sobre variables físico-químicas y para recargar un acumulador en un dispositivo multifuncional actuador y sensor y batería (6) según cualquiera de las reivindicaciones 1-5 caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

a) aplicar una carga eléctrica en el dispositivo multifuncional (6) para generar de forma simultánea una reacción de oxidación de una de las capas de material electroactivo (1) y una reacción de reducción en la otra capa de material electroactivo (1'),

10 b) las reacciones de oxidación y reducción de la etapa a), producen:

- una variación del volumen de las capas de material electroactivo (1) y (1') que genera un movimiento de combado en el dispositivo multifuncional (6),
- la carga del acumulador (7) en el dispositivo multifuncional (6) con la carga eléctrica aplicada en la etapa a),

15 – una diferencia de potencial entre las dos capas de material electroactivo (1) y (1'),

c) medir la diferencia de potencial generada en la etapa b) para obtener información sobre las condiciones físico-químicas del dispositivo multifuncional (6) y su entorno.

20 7. Procedimiento según la reivindicación 6, que comprende una etapa adicional consistente en interrumpir la carga eléctrica suministrada en la etapa a), para que las capas de material electroactivo (1) y (1') retornen a su estado de oxidación y reducción inicial, produciendo dichas reacciones un movimiento de recuperación de la posición inicial del dispositivo multifuncional (6) y una diferencia de potencial que genera una energía a través del circuito de descarga.

25 8. Procedimiento según la reivindicación 7, donde la energía generada es utilizada en un dispositivo eléctrico externo al dispositivo multifuncional (6).

9. Procedimiento según la reivindicación 7, donde la energía generada es utilizada en el dispositivo multifuncional (6).

30 10. Uso de dispositivo multifuncional actuador y sensor y batería (6) según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, para generar de forma simultánea un movimiento, información sobre condiciones físico-químicas del dispositivo, y energía para la recarga de un acumulador.



11. Uso del dispositivo multifuncional actuador y sensor y batería (6) según la reivindicación 10, que comprende la combinación con al menos otro dispositivo multifuncional actuador/sensor/batería.

FIG.1A

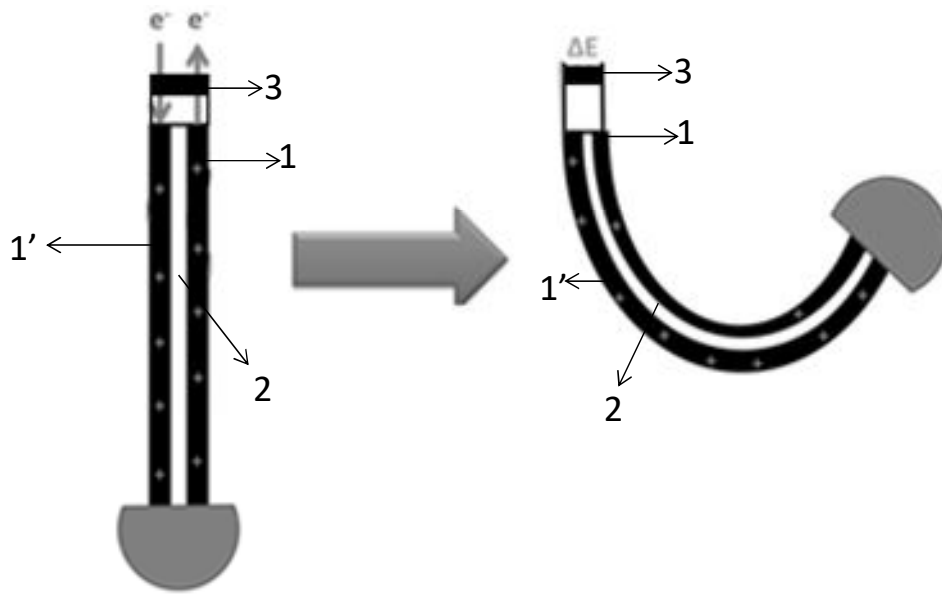


FIG.1A'



FIG.2B

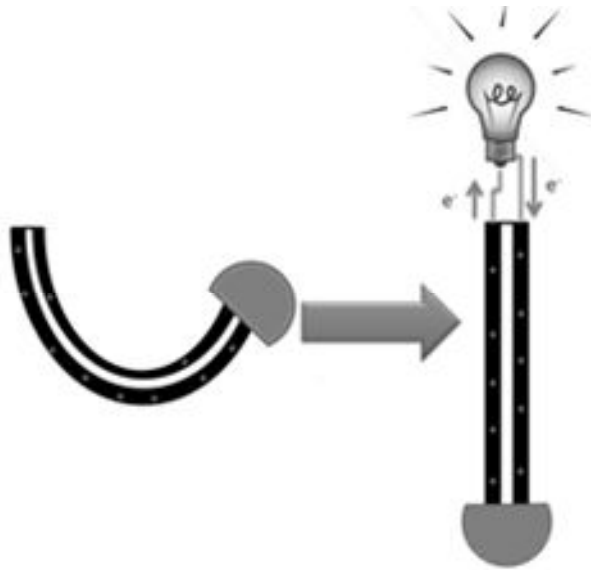


FIG.2B'

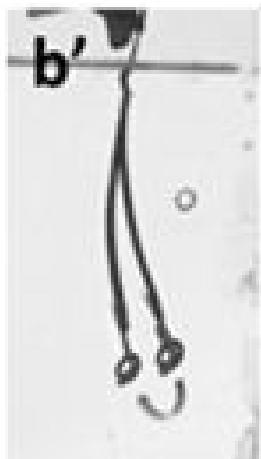


FIG.3

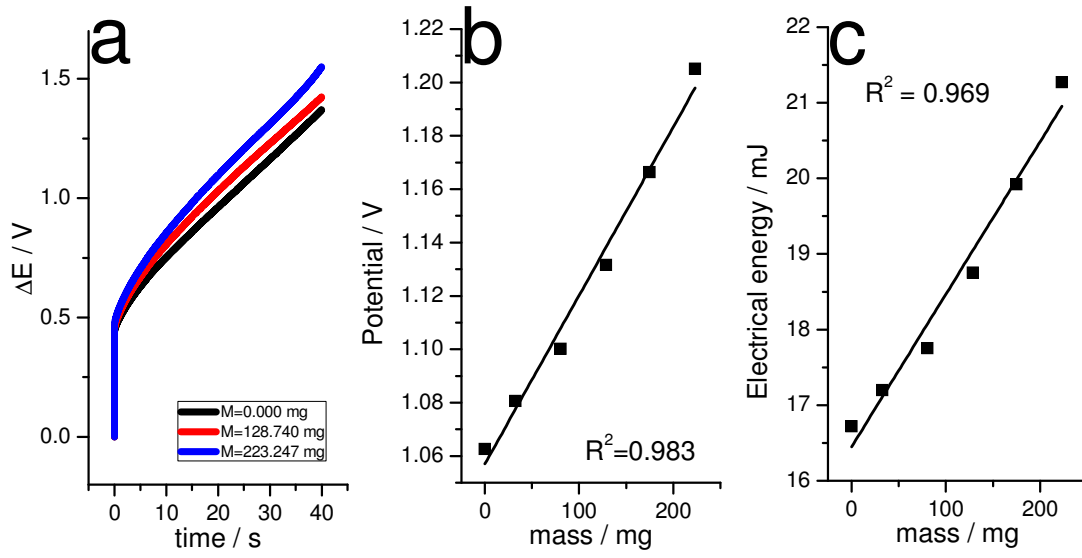
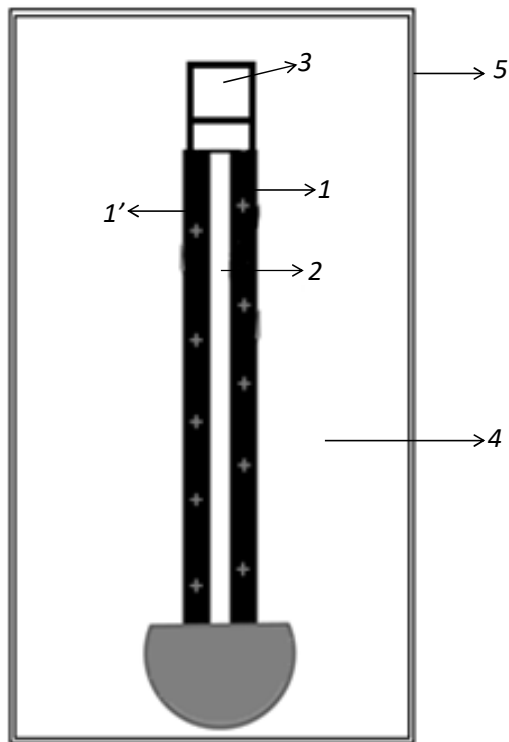


FIG. 4





- ②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201631485  
②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 18.11.2016  
③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ <sup>6</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	ES 2048086 A1 (UNIV PAIS VASCO) 01/03/1994,	1
A	WO 2016129528 A1 (KANEKA CORP) 18/08/2016,	1
A	EP 2835855 A1 (HUAWEI TECH CO LTD) 11/02/2015,	1
A	US 2013260217 A1 (MATSUI TAKAAKI et al.) 03/10/2013,	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe  
18.05.2017

Examinador  
M. d. González Vasserot

Página  
1/5

## CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**F01B19/00** (2006.01)  
**H01L41/00** (2013.01)  
**H04R17/00** (2006.01)  
**H01M10/00** (2006.01)  
**H01M4/02** (2006.01)  
**H01M10/44** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F01B, H01L, H04R, H01M

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 18.05.2017

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-11	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-11	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	ES 2048086 A1 (UNIV PAIS VASCO)	01.03.1994
D02	WO 2016129528 A1 (KANEKA CORP)	18.08.2016
D03	EP 2835855 A1 (HUAWEI TECH CO LTD)	11.02.2015
D04	US 2013260217 A1 (MATSUI TAKAAKI et al.)	03.10.2013

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Así, la invención reivindicada se considera que cumple los requisitos de novedad, actividad inventiva y aplicación industrial.

1.- El objeto de la presente solicitud de patente se encuadra de forma general en el campo de la macro, micro y ultramicromecánica y de forma más particular, se refiere a dispositivos biomiméticos capaces de realizar diferentes tareas simultáneamente impulsados por una reacción electroquímica. Se refiere a un dispositivo multifuncional actuador o sensor o batería que comprende:

\*\*\*una estructura en tricapa constituida por una capa de material electroactivo unida longitudinalmente a una capa de material no reactivo, que a su vez se une longitudinalmente a otra capa de material electroactivo,

\*\*\*un circuito de alimentación y descarga que comprende un acumulador y que se conecta a cada una de las capas de material electroactivo a través de cada uno de los polos de dicho circuito,

\*\*\*un medio electrolítico en el que está inmerso el dispositivo multifuncional,

en el que al aplicar una corriente desde el circuito de alimentación se produce una reacción de oxidación en una de las capas de material electroactivo y una reacción de reducción en la otra capa de material electroactivo que produce un movimiento del dispositivo multifuncional, la carga del acumulador y un cambio en la diferencia de potencial en el dispositivo multifuncional.

También se refiere al procedimiento para generar de forma simultánea, movimiento, información cuantitativa sobre variables físico-químicas y para recargar un acumulador en un dispositivo multifuncional actuador o sensor o batería.

2.- El problema planteado por el solicitante es proporcionar un dispositivo capaz de desarrollar movimientos (angulares o lineales) en corto espacio de tiempo, manteniendo fijo uno de sus extremos, aplicando corrientes, cargas o diferencias de potencial en un medio electrolítico que puede ser una disolución. Dicho dispositivo, aprovecha las variaciones simultáneas del volumen y del potencial eléctrico para desarrollar un dispositivo que actúa al mismo tiempo como actuador mecánicos (motor) y como sensor. Sería pues interesante, proporcionar un dispositivo que además de realizar las funciones anteriormente descritas, también sea capaz de recuperar parte de la energía aplicada para realizar el trabajo mecánico una vez realizado dicho trabajo.

El documento D1 puede considerarse como el representante del estado de la técnica más cercano ya que en este documento confluyen la mayoría de las características técnicas reivindicadas.

Análisis de las reivindicaciones independientes

El estado de la técnica más cercano al objeto de la invención está representado por el documento

D01, que divulga:

Dispositivo multifuncional actuador y sensor y batería que comprende:

\*\*\*una estructura en tricapa constituida por una capa de material electroactivo unida longitudinalmente a una capa de material no reactivo, que a su vez se une longitudinalmente a otra capa de material electroactivo,

\*\*\*un circuito de alimentación y descarga que comprende un acumulador y que se conecta a cada una de las capas de material electroactivo a través de cada uno de los polos de dicho circuito,

\*\*\*un medio electrolítico en el que está inmerso el dispositivo multifuncional,

No divulga y se diferencia en que:

No realiza:

al aplicar una corriente desde el circuito de alimentación se produce una reacción de oxidación en una de las capas de material electroactivo y una reacción de reducción en la otra capa de material electroactivo que no produce un movimiento del dispositivo multifuncional, la carga del acumulador y un cambio en la diferencia de potencial en el dispositivo multifuncional.

La reivindicación 1 es nueva (Art. 6.1 LP 11/1986) y tiene actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986).

Análisis del resto de los documentos



De este modo, ni el documento D1, ni ninguno del resto de los documentos citados en el Informe del Estado de la Técnica, tomados solos o en combinación, revelan la invención en estudio tal y como es definida en las reivindicaciones independientes, de modo que los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. Además, en los documentos citados no hay sugerencias que dirijan al experto en la materia a una combinación que pudiera hacer evidente la invención definida por estas reivindicaciones y no se considera obvio para una persona experta en la materia aplicar las características incluidas en los documentos citados y llegar a la invención como se revela en la misma.