

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 736**

51 Int. Cl.:

<b>B29C 64/118</b>	(2007.01)
<b>H05K 1/16</b>	(2006.01)
<b>H05K 3/12</b>	(2006.01)
<b>B29C 64/106</b>	(2007.01)
<b>B29C 64/336</b>	(2007.01)
<b>B29L 31/34</b>	(2006.01)
<b>B33Y 10/00</b>	(2015.01)
<b>B33Y 50/02</b>	(2015.01)
<b>B33Y 80/00</b>	(2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.12.2015 PCT/EP2015/079259**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **16.06.2016 WO16092021**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2015 E 15808173 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 3230043**

54 Título: **Procedimiento de fabricación aditiva de un objeto mecatrónico 3D**

30 Prioridad:

**11.12.2014 FR 1462231**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.04.2019**

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (50.0%)  
3, rue Michel Ange  
75016 Paris, FR y  
UNIVERSITÉ PARIS-SUD (50.0%)**

72 Inventor/es:

**AMMI, MEHDI**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 707 736 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**

Procedimiento de fabricación aditiva de un objeto mecatrónico 3D

El campo de la invención es el de la fabricación de un objeto mecatrónico 3D que comprende como componentes:

- 5 - un sensor (de fuerza, de presión, de flexión, etc.) y/o un accionador (vibrador, transformador, etc.),
  - un circuito electrónico conectado al sensor y/o al accionador y provisto de pistas eléctricamente conductoras,
- estos componentes están dispuestos en una estructura mecánica principal.

La solución más utilizada para poner en práctica un objeto mecatrónico 3D, consiste:

- 10 - a partir de varios materiales (dieléctricos, eléctricamente conductores, etc.), en fabricar, por una parte, el sensor y/o el accionador en un sustrato plano,
- por otra parte, en fabricar la estructura mecánica destinada a recibir el sensor y/o el accionador y en esta realizar el circuito electrónico correspondiente,
- ensamblar estos dos elementos transfiriendo el sensor y/o el accionador a la estructura, y conectándolo al circuito electrónico.

15 Hoy en día, las técnicas de fabricación aditiva (o impresión 3D) permiten realizar objetos 3D completos por adición de material. Actualmente, existen diferentes procedimientos con el fin de controlar las propiedades mecánicas (p. ej., densidad del material, tipo de material) o la apariencia de los objetos impresos (p. ej., color global o local o textura). Sin embargo, estos procedimientos solo producen objetos pasivos sin la capacidad de percibir o actuar sobre el entorno.

20 Existen técnicas de impresión de impresión 3D por chorro de tinta para imprimir diferentes componentes electrónicos, como condensadores, transistores de efecto de campo, células fotovoltaicas, diodos electroluminiscentes orgánicos o pantallas de diodos electroluminiscentes orgánicos (OLED). Para la realización de circuitos que necesitan sustratos flexibles o sustratos de grandes tamaños, también se estudian enfoques de impresión 3D en banda continua o rotativa (flexografía, huecograbado, de rollo a rollo, etc.), por ejemplo para Impresión de pantallas flexibles de matriz activa de diodos electroluminiscentes orgánicos (AMOLED).

25 Estas diferentes técnicas de impresión se han podido desarrollar gracias a la aparición de la electrónica orgánica. Esta rama de la electrónica utiliza materiales conductores y semiconductores cuya formulación se basa en la química del carbono: los polímeros. Esta rama de la electrónica es relativamente nueva ya que los primeros polímeros conductores se desarrollaron en 1977 (Heeger, McDiarmid, Shirakawa, Premio Nobel de Química 2000) y los primeros componentes electrónicos que utilizaron estos materiales nacieron a mediados de 1980: transistor de efecto de campo orgánico (Mitsubishi, 1986); diodo electroluminiscente orgánico (Kodak, 1987). Hoy en día, la electrónica orgánica permite realizar numerosos componentes electrónicos que van desde biosensores electroquímicos basados en transistores orgánicos (OFET), como sensores de PH o de enzimas, hasta accionadores a base de polímeros electroactivos (EAPS), como los músculos artificiales o los accionadores vibrotáctiles. Sin embargo, estos trabajos utilizan procedimientos de fabricación básicos al realizar los componentes  
30 elementales (electrodo, conector, etc.) por separado y luego ensamblarlos para formar el componente electrónico general.

Actualmente hay algunas investigaciones interesadas en el uso de técnicas de fabricación aditiva para realizar algunos componentes electrónicos. Sin embargo, estos procedimientos solo producen componentes en sustratos planos o que necesitan operaciones adicionales de ensamblaje.

40 El documento US 2014 328964 A1 desvela un procedimiento de fabricación de un objeto mecatrónico 3D según el preámbulo de la reivindicación 1. El objeto de la invención es atenuar estos inconvenientes.

El procedimiento se basa principalmente en:

- una elección particular de materiales; se trata de materiales poliméricos que presentan diferentes propiedades mecánicas, eléctricas y electroactivas.
- 45 - Una generación automática de un modelo del objeto 3D a partir de las funciones mecatrónicas del objeto, propiedades de los polímeros y factores tecnológicos o incluso humanos.
- Una impresión 3D utilizando el modelado por deposición de material fundido (o "FDM" acrónimo de la expresión en inglés *Fuse Deposition Modeling*) que permite depositar según el modelo generado, los polímeros elegidos con el fin de fabricar el objeto 3D, es decir, los diferentes componentes del objeto (sensor, accionador, circuito  
50 electrónico, embalaje, etc.), durante las mismas etapas de modelado.

Más específicamente, la invención tiene por objeto un procedimiento de fabricación de un objeto mecatrónico 3D que tiene funciones mecatrónicas predeterminadas, conforme a la reivindicación 1.

Este procedimiento permite:

- la realización de objetos mecatrónicos completos sin tener que recurrir a una operación de montaje y, por lo tanto, sin los inconvenientes inherentes a un montaje (estanqueidad, vida útil y control de la expansión de una junta, etc.),
- una integración óptima de los componentes en diferentes planos:

- 5
- o espacial: reducción del volumen,
  - o mecánico: accionador/sensor integrado en la estructura, mejor contacto/transmisión mecanotérmica,
  - o eléctrico: enrutamiento electrónico óptimo, circuito electrónico con estructura 3D,

- la fácil personalización de los objetos mecatrónicos, en el plano estructural y funcional,
  - un tiempo de realización muy corto, desde unos pocos minutos hasta unas pocas horas,
- 10
- el uso de materiales de bajo coste (polímeros posiblemente dopados).

La deposición de capas de polímeros fundidos se puede realizar por medio de varios cabezales de deposición, cada cabezal está dedicado a un polímero diferente. Al menos un cabezal está, por ejemplo, dedicado a un polímero dieléctrico y al menos otro cabezal está dedicado a un polímero conductor.

- 15
- La invención también se refiere a un programa informático que comprende instrucciones en código que permite efectuar las etapas del procedimiento, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, conforme a la reivindicación 6.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán tras la lectura de la siguiente descripción detallada, dada a modo de ejemplo no limitativo y con referencia a los dibujos anexos, en los que:

- 20
- las figuras 1 ilustran esquemáticamente los cambios dimensionales inducidos por un campo eléctrico aplicado a un polímero electrónico (fig. 1a), y a un polímero iónico (fig. 1b);
  - la figura 2 representa esquemáticamente un cabezal de deposición acoplado a un mecanismo de dopaje.

De una figura a otra, los mismos elementos se identifican con las mismas referencias.

- 25
- El objeto mecatrónico 3D a fabricar se define por sus funciones mecatrónicas implementadas por componentes, sensores y/o accionadores, circuitos electrónicos, estructura mecánica principal, constituidos por varios polímeros de diferentes propiedades electrónicas o electromecánicas. La estructura mecánica principal puede comprender en sí articulaciones, posiblemente controladas.

El procedimiento de fabricación de este objeto comprende las siguientes etapas:

- 30
- determinar los polímeros que se utilizarán para fabricar este objeto, en función de las propiedades de los polímeros, como la temperatura de fusión, la compatibilidad química, las propiedades eléctricas o electromecánicas,
  - determinar un modelo numérico del objeto 3D, incluida su forma, el enrutamiento de las pistas eléctricamente conductoras, y la estructura y la composición de los componentes mecatrónicos. La definición del modelo toma en consideración las funciones mecatrónicas predeterminadas del objeto, las propiedades de los polímeros, el rendimiento predeterminado de los objetos,
- 35
- imprimir en 3D el sensor y/o el accionador, el circuito electrónico y la estructura principal durante las mismas etapas de modelado por deposición de capas de material fundido, algunas capas están constituidas de varios polímeros.

- 40
- El procedimiento se basa en el uso de polímeros. Estos materiales son interesantes ya que son ligeros, sintetizables a bajas temperaturas, fáciles de usar a escala industrial, reciclables, baratos y compatibles con el modelado por deposición de material fundido.

- 45
- Los polímeros son conocidos principalmente por sus propiedades dieléctricas. La investigación ha logrado resaltar la capacidad de ciertos polímeros para conducir electricidad. En las últimas décadas, los polímeros han surgido como "materiales inteligentes" ("Smart Materials"). Estos polímeros presentan diferentes comportamientos, por ejemplo, mecánicos o electroluminiscentes, bajo la acción de estímulos físicos tales como luz, acidez, calor, un campo magnético o eléctrico. En el caso de una reacción a un campo eléctrico, se habla de polímeros electroactivos. Estos polímeros tienen la capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, por ejemplo, por deformación (flexión, compresión, dilatación, etc.). Esta propiedad es adecuada para realizar diversos transductores electromecánicos como accionadores o sensores.

- 50
- Estas diferentes propiedades (aislante eléctrico, conductor eléctrico, transductor electromecánico) se utilizan para realizar los diferentes componentes pasivos y activos de los objetos mecatrónicos.

Las tres principales familias de polímeros utilizadas en este procedimiento son:

- polímeros dieléctricos,
- polímeros conductores eléctricos,
- polímeros electroactivos.

I) Polímero dieléctrico

Se trata de un material termoplástico que sirve para construir la estructura mecánica principal del objeto y que desempeña el papel de aislante eléctrico en la realización de los diferentes componentes y estructuras electrónicas. Existe una amplia variedad de materiales termoplásticos que presentan diferentes propiedades físicas. La elección del material depende de las propiedades que uno desea atribuir al objeto o a ciertas partes o componentes del objeto, tales como:

- 5           ○ Propiedades dieléctricas (soporte de componentes, aislante/condensador, carcasa de componentes, etc.): rigidez dieléctrica, ángulo de pérdida, electricidad electrostática, etc.
- 10          ○ Propiedades mecánicas globales (esqueleto) y locales (zonas de agarre/contacto, sensor de fuerza/flexión, transmisión mecánica, etc.): masa volumétrica, rigidez, flexibilidad, elasticidad, resistencia a la presión/flexión/torsión, etc.
- Propiedades térmicas: capacidad térmica, conductividad térmica, etc.
- Propiedades biológicas: reacción/inercia química, toxicidad, etc.
- Propiedades visuales: transparencia/opacidad, color, brillo/rugosidad, etc.
- 15          ○ Propiedades ergonómicas: confort de contacto, rugosidad de la superficie, textura, etc.

Otro punto importante guía la elección del material: el punto de fusión del polímero dieléctrico y los otros polímeros implicados en la fabricación del objeto (polímeros conductores, electromecánicos, etc.). De hecho, es necesario utilizar materiales que presenten puntos de fusión cercanos para no fundir las partes ya impresas y que estarán en contacto con el material que se deposita.

20       La siguiente tabla presenta algunos polímeros dieléctricos compatibles de una impresión 3D por deposición fundida.

Material	Punto de fusión	Propiedades
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	130°	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Duro</li> <li>• Anti-golpes</li> <li>• Ligero</li> <li>• Opaco</li> </ul>
Ácido poliláctico (PLA)	145°	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transparente</li> <li>• Material compostable</li> </ul>
Poliéster (PCL)	60°	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No tóxico</li> <li>• Antialérgico</li> <li>• Aislante térmico</li> <li>• Aislante acústico</li> <li>• Hidrófobo</li> </ul>
Poliepóxido (epoxi)	50°	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inercia biológica</li> </ul>
Polivinilcloruro (PVC)	180°	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferentes niveles de rigidez mecánica</li> <li>• Opaco/transparente</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antideslizante</li> <li>• Mate/iridiscente</li> <li>• Inercia biológica</li> </ul>
Polycarbonato (PC)	140°	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente resistencia a los golpes</li> <li>• Estabilidad dimensional en ambiente húmedo</li> <li>• Buena resistencia térmica (-135 °C y 135 °C)</li> <li>• Inocuidad fisiológica</li> <li>• Transparente</li> </ul>
Polipropileno (PP)	145° -> 175°	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Duro/semirrígido</li> <li>• Hidrófobo</li> <li>• Resistente a la abrasión</li> <li>• Resistente a la flexión</li> <li>• Translúcido/opaco</li> </ul>

(continuación)

Material	Punto de fusión	Propiedades
Poliestireno (PS)	240°	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anti-golpes</li> <li>• Resistencia a la compresión</li> <li>• Impermeabilidad/facilidad de limpieza</li> <li>• Baja densidad</li> <li>• Aislamiento térmico</li> </ul>
Poliuretano (TPU)	230°	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elasticidad (tipo caucho)</li> <li>• Resistencia al cizallamiento</li> <li>• Resistencia a la abrasión</li> <li>• Transparencia</li> </ul>

II) Polímero conductor eléctrico

El material conductor interviene en la realización de diferentes componentes del objeto mecatrónico:

- 5 - Pistas conductoras eléctricas y conectores de componentes
- Componentes electrónicos: electrodos de condensador, cable de inductancia, resistencia, etc.
- Transductores
  - o Mecánicos (sensor): contacto, presión, flexión, etc.
  - o Térmicos (accionador): elemento calefactor
- 10 - Conductores térmicos: estimulación térmica, refrigeración, etc.

Existen dos tipos principales de polímeros conductores:

15 A) Los polímeros conductores intrínsecos (PCI), cuya conductividad debe aumentarse mediante el dopaje con átomos donadores o átomos aceptores de electrones (dopaje químico, electroquímico, etc.). Actualmente, entre los polímeros conductores intrínsecos dopados que tienen una buena estabilidad química y buenas propiedades mecánicas, se puede mencionar: poliparafenileno, politiofeno, polipirrol o polianilina. Sin embargo, estos materiales no son adecuados para modelar por deposición material fundido ya que las temperaturas de fusión alteran parcial o totalmente sus propiedades eléctricas o incluso mecánicas.

20 B) Los polímeros conductores por dopaje intersticial: se trata de un polímero compuesto constituido de un polímero no conductor dopado con cargas conductoras con el fin de aumentar la conductividad del polímero compuesto. El dopaje consiste en agregar partículas cargadas al polímero no conductor en estado líquido. No hay reacción química entre los dos materiales durante o después del dopaje. Las propiedades mecánicas del polímero compuesto son cercanas a las del polímero no conductor, y sus propiedades eléctricas son cercanas a las de las cargas conductoras. Es necesario utilizar para el polímero no conductor y las cargas conductoras, materiales que son compatibles con las temperaturas del modelado por deposición de material fundido: es preciso que la temperatura de degradación >> punto de fusión.

La conductividad del polímero compuesto resultante depende de:

- La conductividad de las cargas conductoras,
- La proporción de cargas conductoras en la matriz del polímero,
- La forma de las cargas conductoras,
- 30 - La distribución espacial de las cargas conductoras,
- La interacción estructural y eléctrica del polímero/cargas conductoras.

Sobre la base de la forma y distribución de las cargas conductoras, es posible definir el "factor de empaquetamiento" (F) que expresa el volumen proporcional de las cargas en el compuesto.

$$F = \frac{V_{car}}{V_{car} + V_{com}}$$

35  $V_{car}$ : Volumen ocupado por las cargas.  
 $V_{com}$ : Volumen del compuesto.

Este factor F define varias propiedades y parámetros del compuesto:

- Conductividad (S/m)
- Umbral de percolación
- Propiedades mecánicas
- Propiedades térmicas.

5 La siguiente tabla presenta algunos tipos de cargas conductoras y ciertas características del polímero compuesto resultante:

Cargas conductoras	Polímero no conductor	Punto de fusión	Resistividad	Otras propiedades
Partículas metálicas: níquel, cobre, plata, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PS</li> <li>• Poliimida siloxano (SIM-2030M)</li> <li>• Epoxi</li> <li>• PVC</li> </ul>	260° (PS/níquel)  200-300° (SIM/níquel)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10-5 Ω-m (PS/níquel)</li> <li>• 10-6 Ω-m (SIM/níquel)</li> <li>• 10-6 Ω-m (SIM/plata)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy buena conductividad eléctrica</li> <li>• Buena conductividad térmica</li> </ul>
Negro de carbón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PP</li> <li>• PMMA</li> <li>• PEHD</li> <li>• ABS</li> <li>• PCL</li> </ul>	60° (PCL) ->  190° (PEHD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10-1 Ω-m -&gt;</li> <li>• 10 Ω-m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Punto de fusión bajo</li> <li>• Cantidad reducida de cargas</li> <li>• Piezorresistivo</li> <li>• Antiestático</li> </ul>
Nanotubos de carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPU</li> <li>• PU</li> <li>• Poliamino amida</li> </ul>	400° (TPU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10-2 Ω-m -&gt;</li> <li>• 10-6 Ω-m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena resistencia mecánica</li> <li>• Buena elasticidad (PU)</li> <li>• Buen conductor térmico</li> </ul>
Fibras de carbono	• HDPE	130° (HDPE)	• 10-4 Ω-m (FC+grafito)	• Textil activo
	• EVA		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10-2 Ω-m (FC) -&gt;</li> <li>• 102 Ω-m (FC)</li> </ul>	
Cerámica conductora: PZT, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HDPE</li> <li>• PMMA</li> <li>• Epoxi</li> </ul>	130° (HDPE)	• 10-1 Ω-m (HDPE)	• Piezoeléctrica

También se pueden utilizar otros tipos de cargas conductoras:

- Fibras metálicas
- Partículas minerales metalizadas
- Partículas de polímeros conductores intrínsecos.

Además de controlar la conductividad eléctrica del polímero compuesto, el material de las cargas conductoras permite influir en ciertas propiedades mecánicas o térmicas del polímero compuesto al hacerlo más sólido (fibra de carbono) o más térmicamente conductor (cargas metálicas). También puede conferirle nuevas funcionalidades (véase a continuación con los polímeros electroactivos), por ejemplo la piezoelectricidad (cerámica) o piezorresistividad (negro de carbón).

### III) Polímero electroactivo

Este material permite la realización de componentes electroactivos necesarios, en particular, para dotar al objeto la capacidad mecánica de percepción y acción. Se pueden realizar dos clases principales de componentes:

- 1) los sensores (contacto, presión, etc.) y/o
- 2) los accionadores (accionador vibrotáctil, accionador de flexión, accionador lineal, etc.).

El procedimiento según la invención utiliza polímeros electroactivos (*Electroactive polymers*: EAPS), especialmente como transductores electromecánicos. Estos polímeros ligeros y flexibles son capaces de responder a una estimulación eléctrica por un cambio de dimensiones y de formas (modo accionador). También es posible polarizarlos bajo el efecto de un estrés mecánico (modo sensor).

Existen dos categorías principales de polímeros electroactivos: la familia electrónica y la familia iónica.

5 A) Los polímeros electrónicos (Electronics EAPS) son activados por un campo eléctrico externo. En general, el polímero electrónico se coloca entre dos electrodos, por ejemplo, en base a un polímero conductor, con el fin de aplicarle un campo eléctrico, por ejemplo, para medir su polarización, su tensión. El campo eléctrico somete el polímero electrónico a fuerzas resultantes de la polarización eléctrica (fuerzas intrínsecas) y a la fuerza de Coulomb ejercida sobre los electrodos (fuerzas extrínsecas). Estas fuerzas conducen a cambios dimensionales (contracción transversal => expansión longitudinal), como ilustra la figura 1a.

La familia de los polímeros electrónicos está compuesta por subfamilias que presentan diferentes propiedades eléctricas intrínsecas y procedimientos de activación:

- 10 - Polímero ferroeléctrico
- Electretos
- Elastómero dieléctrico
- Elastómero electrostrictivo injertado
- 15 - Papel electroactivo
- Elastómero electroviscoelástico
- Elastómero LCE (*liquid cristal elastomer*, elastómero de cristal líquido)

20 B) Los polímeros iónicos (Ionic EAPS) se basan en una difusión en el material de iones o moléculas, inducida por un campo eléctrico. Esta difusión de iones o moléculas produce cambios dimensionales en el material (contracción/expansión de los electrodos => flexión de la estructura general) como se ilustra en la figura 1b. Los accionadores que utilizan este tipo de polímeros comprenden dos electrodos entre los cuales se aplica una tensión, por ejemplo, en base a un polímero conductor, separados por un electrolito de polímero sólido (o líquido).

La familia de polímeros iónicos también está compuesta por subfamilias que sacan provecho de diferentes principios físicos o químicos:

- 25 - Gel iónico
- Compuesto iónico (IPMC)
- Polímero conductor iónico (CP)
- Nanotubos de carbono
- Fluido electro-reológico.

30 Estas dos categorías principales de polímeros electroactivos presentan diferentes propiedades electromecánicas que determinan su rendimiento:

- El coeficiente de acoplamiento electromecánico que refleja la capacidad de convertir energía eléctrica en energía mecánica,
- El campo eléctrico de activación que incluye el campo eléctrico mínimo para inducir un cambio dimensional,
- 35 - La deformación máxima que refleja el cambio dimensional máximo (longitudinal),
- La presión máxima que puede aplicar el polímero,
- El módulo de Young, que expresa la rigidez/elasticidad del material,
- La densidad de energía que expresa la energía mecánica máxima por ciclo y por unidad de volumen del material,
- El tiempo de respuesta,
- 40 - La vida útil.

La siguiente tabla resume las principales ventajas e inconvenientes de cada categoría.

Categoría	Ventajas	Inconvenientes
<b>Polímeros electrónicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fuerza generada importante</li> <li>■ Tiempo de respuesta bajo</li> <li>■ Vida útil importante</li> <li>■ Funcionamiento en condición ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Campo eléctrico de activación importante (20 a 150 MV/m)</li> <li>■ Sentido de deformación único</li> </ul>
<b>Polímeros iónicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Desplazamientos importantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tiempo de respuesta importante</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Campo eléctrico de activación bajo (10 kV/m)</li> <li>■ Sentido de deformación relacionado con la polaridad del campo eléctrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fuerza generada pequeña</li> <li>■ Funcionamiento en las condiciones específicas</li> <li>■ Bajo acoplamiento electromecánico</li> </ul>

La siguiente tabla proporciona para cada categoría y ciertas subfamilias polímeros electroactivos, un ejemplo de material compatible con el modelado por deposición de material fundido.

Subfamilia	Ejemplo de material	Campo eléctrico de activación (V/m)	Presión máxima (MPa)	Coefficiente de acoplamiento (%)	Comentarios
Polímero ferroeléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Polímeros PVDF</li> <li>■ Copolímero P (VDF-TrFE)</li> <li>■ Macrofibras compuestas (MFC)</li> <li>■ Fibra activa compuesta (AFC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PVDF: <math>10^5</math></li> <li>■ AFC: <math>10^4</math></li> <li>■ MFC: <math>10^3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PVDF: 5</li> <li>■ AFC: 40</li> <li>■ MFC: 31</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PVDF: 33</li> <li>■ AFC: 73</li> <li>■ MFC: 72</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Coste de fabricación elevado</li> <li>■ Rendimiento bajo</li> <li>■ Fuerza útil elevada</li> <li>■ Deformación muy pequeña</li> <li>■ Tamaño pequeño =&gt; frecuencia importante</li> </ul>
Elastómero electrostrictivo injertado	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Terpolímero P (VDF-TrFE1-CTFE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <math>10^7</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 20</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 25 a 55</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pequeñas pérdidas</li> <li>■ Precio elevado</li> <li>■ Alta tensión de alimentación</li> </ul>
Elastómero dieléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Acrílico 3M VHB 4910</li> <li>■ Silicona Nusil CF 19-2186</li> <li>■ Poliuretano Deerfield PT</li> <li>■ 6100 S</li> <li>■ Fluoroelastómero LaurenL 143HC</li> <li>■ Polibutadieno Aldrich PBD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Silicona Nusil: <math>10^8</math></li> <li>■ Poliuretano Deerfield: <math>10^8</math></li> <li>■ Fluoroelastómero LaurenL: <math>10^8</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Silicona Nusil: 0,72</li> <li>■ Poliuretano Deerfield: 3,8</li> <li>■ Fluoroelastómero LaurenL: 0,39</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Silicona Nusil: 54</li> <li>■ Poliuretano Deerfield: 21</li> <li>■ Fluoroelastómero LaurenL: 15</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gran deformación</li> <li>■ Pequeño coste</li> <li>■ Vida útil importante</li> </ul>
Polímero conductor iónico (CP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PANI (polianilina)</li> <li>■ PPy (polipirrol)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 34</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1 a 12</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PPy: punto de fusión 300 °C</li> </ul>
IPMC	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nafión</li> <li>■ Flemión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nafión: 10 a <math>10^2</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nafión: 10 a 30</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nafión: 3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fabricación compleja</li> <li>■ Tensión de alimentación muy baja</li> </ul>

La elección del material a utilizar para la realización de los electrodos también es importante. Con el fin de ofrecer el mejor compromiso entre la conductividad eléctrica para una aplicación óptima del campo eléctrico y la elasticidad necesaria para acompañar los cambios dimensionales del polímero electromecánico, se utilizan polímeros elastoméricos dopados con cargas conductoras (véase la sección de polímeros conductores).

5 Por ejemplo, es posible realizar un accionador táctil (vibrador) con los polímeros AFC o MFC colocados entre dos electrodos conductores realizados con el polímero HDPE.

Los polímeros que se utilizarán para la fabricación han sido elegidos, la siguiente etapa es la generación automática de un modelo del objeto 3D por software.

10 El modelo se genera a partir de:

- funciones mecatrónicas del objeto a realizar, que están predeterminadas,



- polímeros seleccionados y
- especificaciones básicas introducidas por el usuario a través de una interfaz de usuario. Introduce información básica de tipo: brazaletes, vibrotáctil, dimensión de la muñeca, etc.

5 El software es responsable de proponer una estructura mecánica principal y dimensionar y colocar el circuito electrónico y los otros componentes.

El dimensionamiento de los componentes está relacionado con las propiedades mecánicas, eléctricas y electroactivas de los polímeros utilizados, factores humanos (psicofísica, umbrales de percepción, etc.) y funcionalidades especificadas por el usuario.

10 El uso simultáneo de varios componentes electrónicos en la fabricación del objeto necesita un enrutamiento óptimo de las pistas electrónicas. Más allá de las propiedades eléctricas, el software también tiene en cuenta las propiedades mecánicas y estructurales (puntos de flexión, rigidez, etc.) del objeto.

El software de diseño sigue el siguiente procedimiento:

- 15 - Posicionamiento de los accionadores/sensores teniendo en cuenta factores ergonómicos: estructura externa del objeto (brazaletes, objeto a agarrar, etc.), morfología del usuario (tamaño, forma, etc.), zonas de estimulación, sensibilidad (táctil), umbral de percepción relativa y absoluta, etc.,
- Dimensionamiento de accionadores/sensores teniendo en cuenta factores psicofísicos y electromecánicos,
- Dimensionamiento y forma de la estructura mecánica principal teniendo en cuenta factores mecánicos, electromecánicos y ergonómicos: transmisión mecánica y térmica, intensidad de deformación/vibración, integración estructural, etc.,
- 20 - Enrutamiento electrónico teniendo en cuenta factores eléctricos y electrónicos: conductividad de una pista/electrodo, influencia entre pistas, enrutamiento de pistas electrónicas, etc.

25 Por ejemplo, para añadir una función vibrotáctil a un brazaletes, el software toma en consideración los umbrales de percepción táctil mínimo y relativo al nivel de la muñeca. Basado en este umbral, determina la intensidad de la percepción que debe aplicar el componente vibrador. Luego, el software dimensiona el polímero central (colocado entre los electrodos como se muestra en las figuras 1a y 1b) que es, por ejemplo, un AFC o MFC, y los electrodos de estimulación con el fin de generar la presión requerida. El conjunto se coloca automáticamente en la superficie interior del brazaletes para estar en contacto con el brazo del usuario.

30 Para agregar un sensor táctil de presión a un objeto inteligente ("*Smart Object*"), el software considera la ubicación del contacto y el intervalo de fuerza aplicado para crear un motivo 2D en la superficie del objeto con un polímero conductor piezoeléctrico (HDPE o PMMA). La deformación del motivo conduce a una modificación de la resistividad del conductor que permite medir la fuerza aplicada.

35 El modelo del objeto 3D así obtenido se envía a una impresora específica que lo corta en partes y deposita los polímeros capa por capa para obtener el objeto 3D final. Según la invención, algunas capas están constituidas de varios polímeros, como se puede ver en la figura 2 (zona dopada, zona no dopada) y se pueden perforar (la superficie no está completamente cubierta).

40 La impresión 3D utiliza un modelado por deposición de material fundido o FDM. Se recuerda que este modelado consiste en fundir un filamento de polímero a través de un cabezal de deposición (o boquilla o extrusora) calentado a una temperatura que varía entre 160 y 270 °C. Sobresale un pequeño cable de polímero fundido, con un diámetro del orden de una décima de milímetro. Este cable se deposita en línea y se pega por refusión en lo que se ha depositado de antemano.

Se pueden utilizar dos estrategias de deposición de material por fusión para lograr los objetos electromecánicos.

45 La primera estrategia de deposición consiste en utilizar una impresora 3D convencional por modelado por deposición de material fundido, pero con varios cabezales de deposición (también denominados boquillas de extrusión) en lugar de solo uno, cada cabezal está dedicado a la deposición de un polímero diferente. Se requieren al menos dos cabezales de deposición para depositar un material conductor y un material aislante. Esta configuración permite realizar la estructura mecánica y los componentes pasivos (pista conductora, sensor resistivo de presión/contacto, etc.). La adición de otro cabezal de deposición permite depositar un polímero electroactivo para la realización de transductores activos como los accionadores vibrotáctiles o los accionadores de flexión. La temperatura de funcionamiento de cada cabezal de deposición depende del punto de fusión del polímero depositado. Por consiguiente, es necesario elegir un conjunto de polímeros (aislante, conductor y electroactivo) con puntos de fusión cercanos.

50 La segunda estrategia de deposición consiste en utilizar una matriz de base (es decir, un polímero dieléctrico de base) y enriquecerla con partículas cargadas en el momento de la deposición. En función de la naturaleza de las partículas inyectadas, el polímero adquiere diferentes propiedades de conducción o electromecánicas. Este enfoque

permite un mejor control de dopaje y, por lo tanto, de las propiedades eléctricas (conductividad/resistividad eléctrica), mecánicas (rigidez/elasticidad), térmicas (conductividad) y electromecánicas (coeficiente de acoplamiento electromecánico, etc.) del material depositado. Este enfoque tiene la ventaja de utilizar el mismo polímero de base para la realización del conjunto del objeto, lo que permite evitar el problema de compatibilidad química y los puntos de fusión diferentes entre polímeros diferentes. De hecho, las propiedades mecánicas del polímero de base siguen siendo dominantes con respecto a las propiedades del dopante.

5

A tal fin, se utiliza una impresora 3D de modelado por deposición de material fundido equipada con un cabezal de deposición. Un solo cabezal de deposición 1 es suficiente en la medida en que está acoplado a un mecanismo 2 de dopaje o enriquecimiento con partículas como se muestra en la figura 2; se trata de un dopaje intersticial para obtener diferentes polímeros para una misma capa. Este mecanismo es un cabezal de expulsión de partículas (por ejemplo, por presión) colocado antes o después del mecanismo de calentamiento del cabezal de deposición principal.

10

Es posible utilizar una pluralidad de cabezales de dopaje acoplados respectivamente a mecanismos de dopaje con el fin de inyectar diferentes tipos de partículas.

15 Entre los objetos mecatrónicos que se pueden fabricar, se pueden mencionar: estructuras mecánicas rígidas o flexibles (brazalete), tarjetas electrónicas, sensores como un extensómetro, un sensor de inductancia electrodérmica, una sonda térmica, accionadores como un altavoz, un vibrador, un accionador lineal, componentes electrónicos como una resistencia, un condensador, un inductor.

20 Este procedimiento de fabricación puede implementarse en particular a partir de elementos de hardware y/o software. Puede estar disponible como un producto de programa informático que comprende instrucciones de código que permiten efectuar las etapas del procedimiento de fabricación. Este programa está grabado en un soporte legible por ordenador. El soporte puede ser electrónico, magnético, óptico, electromagnético o ser un soporte de difusión de tipo infrarrojo. Dichos soportes son, por ejemplo, memorias con semiconductores (Random Access Memory RAM, memoria de acceso aleatorio, Read-Only Memory ROM, memoria de solo lectura), cintas, disquetes o discos magnéticos u ópticos o (Compact Disk - Read Only Memory (CD-ROM), disco compacto para memoria de solo lectura, Compact Disk - Read/Write, disco compacto regrabable (CD-R/W) y DVD).

25

Si bien la invención se ha descrito en relación con modos de realización particulares, es obvio que no está limitada a ello y que comprende todos los equivalentes técnicos de los medios descritos así como sus combinaciones si están dentro del alcance de la invención que se define por el objeto de las reivindicaciones 1 a 6.

30

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento de fabricación de un objeto mecatrónico 3D con funciones mecatrónicas predeterminadas, que comprende como componentes al menos un sensor y/o un accionador, un circuito electrónico conectado al sensor y/o al accionador por medio de pistas eléctricamente conductoras, estos componentes están dispuestos en una estructura mecánica principal, y que está constituido de varios polímeros con propiedades electrónicas y/o electroactivas diferentes, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:
- determinar dichos polímeros en función de su temperatura de fusión, su compatibilidad química, sus propiedades eléctricas y/o electroactivas,
  - 10 - determinar un modelo digital 3D del objeto que incluye su forma y el enrutamiento de las pistas, a partir de las funciones mecatrónicas del objeto, las propiedades de dichos polímeros y el rendimiento del objeto predeterminados,
  - imprimir en 3D el sensor y/o el accionador, el circuito electrónico y la estructura principal durante las mismas etapas de modelado según el modelo generado, por deposición de capas de dichos polímeros fundidos, estando algunas capas constituidas de varios polímeros, **caracterizado porque** la deposición de capas se realiza por medio de al menos una cabeza dedicada a un polímero de base (1) y acoplada a un mecanismo de dopaje (2) apto para inyectar partículas cargadas en el polímero de base, por dopaje intersticial para obtener los diferentes polímeros.
- 20 2. Procedimiento de fabricación de un objeto mecatrónico 3D según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la deposición de capas de polímeros fundidos se realiza por medio de varias cabezas de deposición, estando cada cabeza dedicada a un polímero diferente.
3. Procedimiento de fabricación de un objeto mecatrónico 3D según la reivindicación precedente, **caracterizado porque** al menos una cabeza está dedicada a un polímero dieléctrico y al menos otra cabeza está dedicada a un polímero conductor.
- 25 4. Procedimiento de fabricación de un objeto mecatrónico 3D según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la estructura mecánica principal comprende articulaciones.
5. Procedimiento de fabricación de un objeto mecatrónico 3D según la reivindicación precedente, **caracterizado porque** las articulaciones son controladas.
- 30 6. Un producto de programa informático, comprendiendo dicho programa informático instrucciones de código que permiten efectuar las etapas del procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.

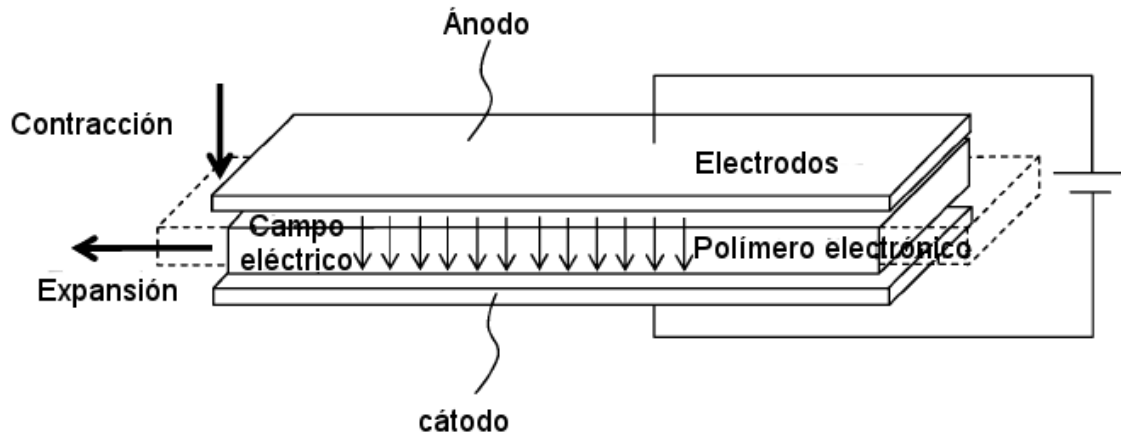


FIG.1a

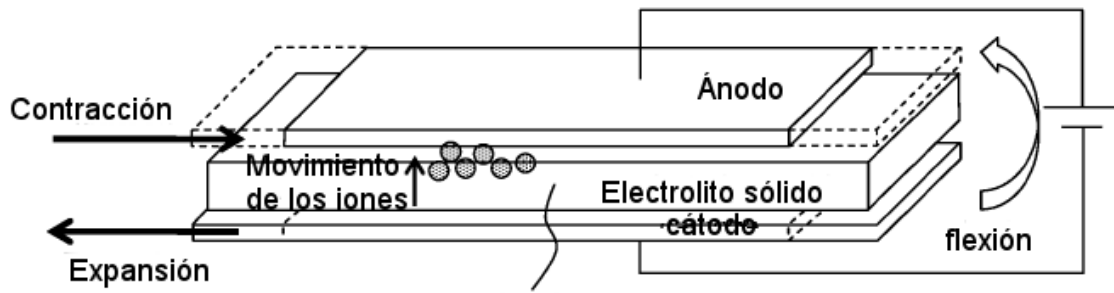


FIG.1b

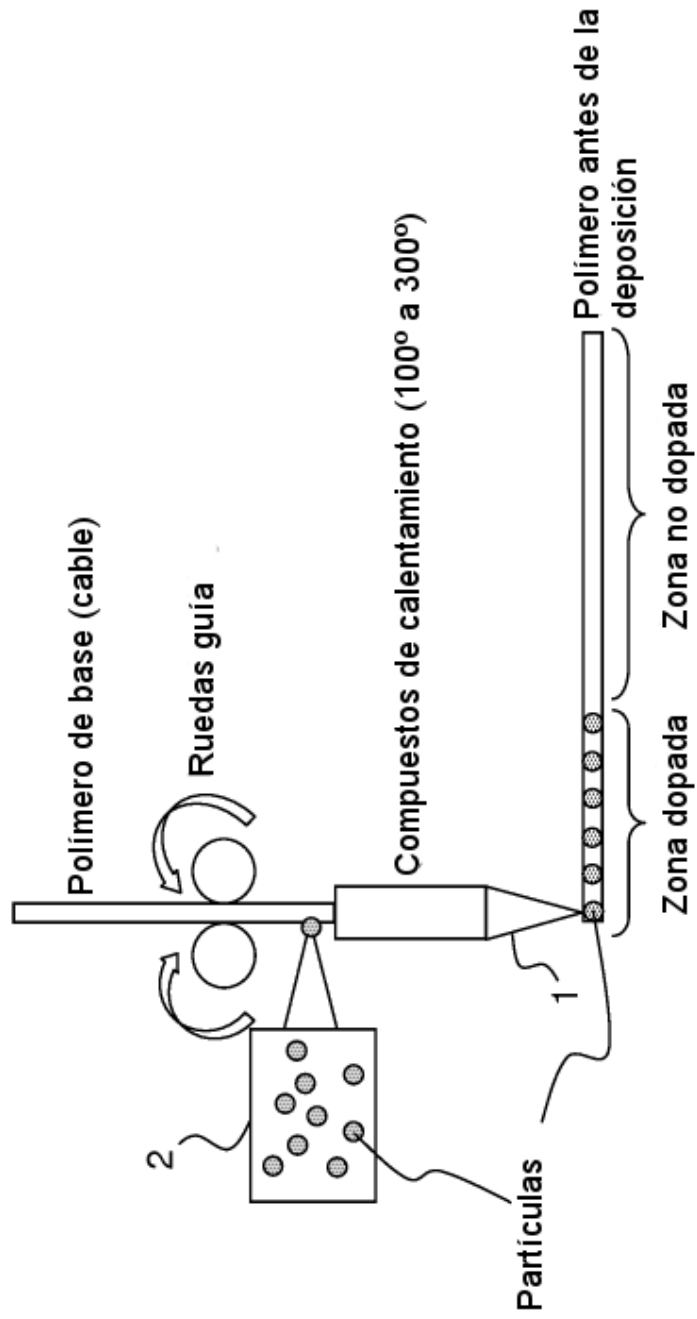


FIG.2