

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 785 153**

51 Int. Cl.:

B29C 64/118 (2007.01)

B33Y 80/00 (2015.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

B29C 64/336 (2007.01)

B29L 31/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.06.2017 PCT/EP2017/063606**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.12.2017 WO17215971**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.06.2017 E 17727246 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020 EP 3471947**

54 Título: **Procedimiento y aparato para la fabricación de un sistema mecatrónico por impresión tridimensional**

30 Prioridad:

15.06.2016 FR 1655552

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

06.10.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**AMMI, MEHDI y
LONGNOS, FLORIAN**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 785 153 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 y aparato para la fabricación de un sistema mecatrónico por impresión tridimensional

La invención trata sobre un procedimiento de fabricación de un sistema mecatrónico, así como sobre un aparato de fabricación adaptado para implementar un procedimiento de este tipo. La invención se basa en unas técnicas de impresión tridimensional (3D), denominada también fabricación aditiva. Se presta a unas aplicaciones muy numerosas, como, por ejemplo, la fabricación de:

- sensores fisiológicos o de actividad portátiles (de ritmo cardíaco, glucemia...);
- dispositivos de rehabilitación;
- interfaces de interacción bi o tridimensionales;
- objetos conectados;
- etc.

Hoy en día, las técnicas de fabricación aditiva (o impresión 3D) conocen un auge importante en diferentes campos y se preparan para revolucionar el sector industrial, pero, igualmente, el modo de consumo de los particulares. Estos últimos años se han elaborado diferentes procedimientos, con el fin de diseñar una gran variedad de objetos y estructuras mecánicas. Permiten controlar las propiedades mecánicas locales o globales o también la apariencia de los objetos (ej., color o textura). No obstante, estos procedimientos no producen más que unos objetos pasivos, sin capacidades de percibir o de actuar sobre el entorno.

Para hacer estos objetos activos, hay que integrar ahí unos componentes y funciones electrónicos, que, en la actualidad, se fabrican por separado, por unos métodos sustancialmente sustractivos, luego, se ensamblan con una estructura mecánica en unas cadenas industriales para la realización de un objeto final. La integración de funciones electrónicas dentro de una estructura mecánica no planar y sin ensamblaje es un desafío.

Estos últimos años, unos numerosos actores se han interesado en el uso de materiales de polímeros para la realización de una electrónica denominada maleable u orgánica. Esta rama de la electrónica es relativamente reciente, puesto que los primeros polímeros conductores se elaboraron en 1977 y los primeros componentes electrónicos que usan estos materiales surgieron a mediados de los años 1980. Hoy en día, la electrónica orgánica permite realizar unos numerosos componentes electrónicos, como los transistores de efecto de campo (OFET), las células fotovoltaicas (OPV), los diodos electroluminiscentes orgánicos (OLED), unos biosensores electroquímicos, incluso unos actuadores a base de polímeros electroactivos (EAPS). Para realizar esta electrónica se han desarrollado unos nuevos procedimientos y, en este momento, ciertos de ellos se usan a escala industrial, como la impresión en banda continua o rotativa (flexografía, huecogrado, ...). La impresión por chorro de tinta (IJP) y por chorro de aerosol (AJP), que forman parte de los procedimientos de impresión 3D, permiten realizar ciertos componentes electrónicos orgánicos, en concreto, unos sensores [Muth, 2014; Sitthi-Amorn, 2015] y, actualmente, son objeto de investigaciones intensas sobre este tema.

No obstante, estos procedimientos no producen más que unos componentes sobre unos sustratos planares [Rossiter, 2009] o que necesitan unas operaciones suplementarias de ensamblaje, que, por lo tanto, no permiten el diseño de estructuras 3D mecatrónicas completas. Recientemente, se ha propuesto usar unos polímeros conductores con el procedimiento de impresión 3D por depósito de filamento fundido (FDM, del inglés "Fused Deposition Modeling") para imprimir unos sensores de presión sobre unos objetos 3D [Leigh, 2012]. Igualmente, se ha propuesto usar unos termoplásticos funcionales para la impresión de componentes elementales, tales como unas antenas [O'Brien, 2015].

Ya se ha demostrado el potencial de los compuestos de matriz de polímero para unas numerosas aplicaciones, como los sensores y actuadores: [Coiai, 2015], [Deng, 2014]. Por lo demás, la ciencia de los nanocompuestos y de las nanopartículas (nanoarcillas catiónicas, nanoarcillas aniónica, nanopartículas de metal noble, nanotubos de carbono, etc.) ha permitido una mejor comprensión y un mejor control de los procedimientos de síntesis de estos materiales. En particular, los termoplásticos que incorporan unas cargas de carbono son prometedores para la fabricación de sensores, por ejemplo, de deformación, de fuerza, de temperatura, electroquímicos (detección de líquido o gas), etc. Unos compuestos con un núcleo metálico (por ejemplo, de cobre) y una matriz termoplástica, desarrollados e integrados en una impresora FDM, permiten realizar unas galgas extensométricas, se conocen, igualmente (véase US 2014/328964).

En la actualidad, sin embargo, no es posible fabricar por impresión 3D unos sistemas mecatrónicos completos. Unos procedimientos híbridos permiten hoy en día esto, pero con unas potencialidades limitadas. La más exitosa de entre ellas es la plataforma de Voxel8 (www.voxel8.co), derivada de la Universidad de Harvard, que combina el FDM para la estructura del objeto, una tinta metálica para las pistas conductoras del circuito y un sistema de posicionamiento de componentes discretos.

Se conoce por el documento US 2015/173.203 un procedimiento de fabricación de un sistema mecatrónico que comprende un componente eléctrico. No obstante, este componente eléctrico no es un transductor. El documento US 2015/173.203 divulga, igualmente, un aparato para la implementación de dicho procedimiento que comprende tres cabezales de impresión solidarios.

Se conoce, igualmente, por el documento WO 2014/209.994 un aparato para la implementación de un procedimiento con depósito de hilo fundido que comprende varios cabezales de impresión que pueden pilotarse independientemente. Por lo demás, el documento US 2010/0021580 A1 divulga un aparato de fabricación aditiva según el preámbulo de la reivindicación 7.

5 La invención tiene como objetivo superar los inconvenientes y limitaciones citados anteriormente de la técnica anterior. Más particularmente, tiene como objetivo permitir la fabricación, en una sola pieza y por un mismo procedimiento de impresión 3D, del subsistema mecánico y de al menos una parte del subsistema eléctrico de un sistema mecatrónico. El término "eléctrico" debe interpretarse en el sentido amplio, que consta de unas funcionalidades de tipo electrónico y/o electromagnético, incluso optoelectrónico.

10 De conformidad con la invención, esta finalidad se alcanza usando la técnica de impresión tridimensional por depósito de hilo fundido para fabricar a la vez una estructura mecánica y al menos un componente eléctrico (pista conductora, resistencia, sensor...) solidario con dicha estructura, por ejemplo, dispuesto en su superficie. Esto necesita el uso de al menos dos materiales distintos: un primer material, eléctricamente aislante, usado para imprimir la estructura y al menos un segundo material, conductor o resistivo, usado para imprimir el o los componentes eléctricos. De este modo,
15 se evitan los inconvenientes de las técnicas híbridas: sobrecoste debidos a las etapas de ensamblajes, fragilidad mecánica, espacio necesario...

Por lo tanto, un objeto de la invención es un procedimiento de fabricación de un sistema mecatrónico de conformidad con la reivindicación 1.

20 También otro objeto de la invención es un aparato para la implementación de un procedimiento, tal como se ha mencionado más arriba, de conformidad con la reivindicación 7.

Otras características, detalles y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto a la lectura de la descripción hecha con referencia a los dibujos adjuntos dados a título de ejemplo y que representan, respectivamente:

- la figura 1, el esquema funcional de un aparato según un modo de realización de la invención;
- las figuras 2A - 2C, una representación esquemática de una etapa de recocido local de un procedimiento de
25 fabricación según la invención;
- la figura 3, una boquilla de pulverización de un promotor de adhesión usada en un procedimiento de fabricación según un modo de realización de la invención;
- las figuras 4A - 4E, diferentes patrones conductores realizados por un procedimiento de fabricación según un modo de realización de la invención;
- 30 - las figuras 5A - 5C, unos gráficos que ilustran la evolución de la resistencia de diferentes patrones resistivos realizados por un procedimiento de fabricación según un modo de realización de la invención en función de sus parámetros geométricos;
- las figuras 6A y 6B, unas piezas de prueba de tracción equipadas con galgas extensométricas uniaxiales, realizados por un procedimiento de fabricación según un modo de realización de la invención;
- 35 - las figuras 7A - 7C, unos gráficos que ilustran los resultados de mediciones efectuadas durante pruebas de tracción de piezas de prueba del tipo ilustrado en las figuras 6A y 6B;
- la figura 8, un sensor de flexión bidimensional realizado por un procedimiento de fabricación según un modo de realización de la invención;
- las figuras 9A - 9E, la secuencia de fabricación de un sensor de fuerza multiaxial realizado por un procedimiento
40 de fabricación según un modo de realización de la invención y la figura 9F, una vista lateral de este sensor;
- la figura 10, una vista en corte de un sensor acústico realizado por un procedimiento de fabricación según un modo de realización de la invención;
- las figuras 11A a 11H, unos diagramas de flujo que ilustran un algoritmo de generación de un archivo de impresión para una resistencia eléctrica realizada por un procedimiento de fabricación según un modo de realización de la
45 invención;
- las figuras 12A - 12C, unas ilustraciones de la noción de llenado de una superficie; y
- la figura 13, un diagrama de flujo que ilustra un algoritmo de generación de un archivo de impresión para de una galga de deformación piezorresistiva realizada por un procedimiento de fabricación según un modo de realización de la invención

50 La figura 1 ilustra, de manera esquemática, un aparato para la fabricación de objetos mecatrónicos tridimensionales de conformidad con un modo de realización de la invención. Estos objetos, fabricados por depósito de filamento fundido y, en particular, de termoplásticos funcionales, incluyen una estructura mecánica, eventualmente articulada y unos componentes electrónicos tales como unos componentes pasivos (resistencia, condensador, antena, etc.), unos sensores y unos actuadores. El aparato de la figura 1 permite imprimir unos objetos 3D complejos dotados de
55 capacidades de interacciones con su entorno o el usuario, con un ciclo de diseño y de fabricación cortos, unos costes reducidos, una gran maleabilidad en la forma de los objetos y su uso.

El aparato comprende sustancialmente una impresora tridimensional I3D, del tipo por depósito de filamento fundido - o FDM - adaptada para la implementación de un procedimiento según la invención. Puede comprender, igualmente, una interfaz de diseño de componentes eléctricos/electrónicos impresos. Esta interfaz puede comprender una base

de datos BDM, almacenados en un soporte legible por ordenador, tal como un disco duro, que contiene una biblioteca de componentes electrónicos y transductores realizados por impresión tridimensional usando unos termoplásticos funcionales, con sus modelos de comportamiento. Puede comprender, igualmente, un sistema informático SGF (típicamente un ordenador) configurado para recibir como entrada, por mediación de un terminal de usuario y eventualmente de una interfaz gráfica, las propiedades eléctricas y geométricas deseadas de un componente eléctrico y que explota los modelos de la base de datos para generar un archivo de impresión FI que contiene todas las instrucciones que permiten que la impresora I3D fabrique el dispositivo eléctrico diseñado de este modo. Las etapas que dan lugar a la generación del archivo FI se describirán en la continuación de este documento, con referencia a las figuras 11A - 11H y 13.

Como se representa en la figura 1, la impresora tridimensional I3D comprende al menos dos cabezales de extrusión TE1, TE2 dispuestos uno al lado del otro, llevados por un mismo carro de impresión CI, móvil según tres direcciones ortogonales, x, y y z - correspondiendo la dirección z a la dirección de extrusión de los dos cabezales de extrusión - gracias a un mecanismo de desplazamiento MD, cuya estructura no se representa en detalle, ya que es convencional, pilotado por un sistema informático (ordenador o tarjeta de microcontrolador) SIP. El uso de dos cabezales de extrusión distintos facilita el depósito de al menos dos materiales termoplásticos diferentes: un material aislante M1 usado para la fabricación de la estructura mecánica SM del sistema mecatrónico y un material funcional (conductor o resistivo) M2 usado para la fabricación de al menos un componente eléctrico CE. La naturaleza de estos materiales se discutirá de manera detallada más adelante. De una manera general, se tratará lo más a menudo de materiales de polímeros termoplásticos o de compuestos que presentan una matriz de polímero termoplástica. Al menos el material M2 contendrá, generalmente, unas cargas que influyen en sus propiedades eléctricas, por ejemplo, haciéndolo conductor.

Para la realización de sistemas complejos, que comprenden más de dos materiales, se podrán usar más de dos cabezales; un mismo cabezal se puede usar para depositar varios materiales diferentes, pero esto ralentiza el procedimiento (hay que proceder a unos cambios de material de alimentación de la boquilla) e introduce un riesgo de contaminación.

Un mecanismo de accionamiento ATV permite ajustar la posición vertical (en z) relativa de cada cabezal con respecto a los otros cabezales. Esto permite, en particular, sobreelevar los cabezales inactivos durante la realización de estructuras complejas, donde el riesgo de colisión entre los cabezales de extrusión y los elementos ya impresos se hace importante. Incluso en el caso de una impresión capa por capa simple, unos residuos presentes sobre los cabezales inactivos, se encuentran que se depositan de forma involuntaria y no controlada, lo que puede alterar las propiedades estéticas (color, textura, etc.) y, sobre todo, funcionales del objeto final. Por ejemplo, esto puede conducir a unos cortocircuitos entre unas pistas conductoras.

De una manera convencional, cada cabezal de extrusión TE1, TE2 comprende una boquilla de extrusión que presenta unos bordes calentadores y una bobina que lleva a esta boquilla un filamento del material termoplástico M1, M2 a depositar. Típicamente, cada boquilla está montada sobre un bloque de caldeo, que transmite el calor a los bordes de extrusión por conducción térmica. El extremo del filamento en contacto con los bordes calentadores de la boquilla se funde y el material fundido se expulsa de la boquilla bajo el efecto de la presión ejercida por la parte todavía no fundida del filamento, que actúa como un pistón.

El control de la cantidad de materia por la impresora, se puede realizar por un control del peso simple, conociendo la densidad del filamento, el peso de la bobina de soporte (estándar, pero puede deducirse de sus dimensiones y de la densidad del material constitutivo) y el diámetro del filamento. El peso se puede medir por un sensor de presión simple o un sensor de fuerza más complejo, que podría provenir, él mismo, de la impresión 3D.

En aras de la precisión, la medición en tiempo real del peso por el sensor, puede complementarse por un enfoque más tradicional que consiste en usar un sensor de contacto para medir el número de rotaciones efectuadas por la bobina. En cada giro, un contador se incrementa en 1. La longitud consumida para un giro completo es igual al perímetro de la bobina; multiplicando esta longitud por la sección del filamento y por su densidad, se obtiene la cantidad de materia depositada.

La fiabilidad de la impresión de las estructuras multimateriales y funcionales depende, en concreto, de la precisión del posicionamiento de los diferentes cabezales de extrusión. La fiabilidad se funda, en primer lugar, en un proceso de calibración automatizado para el espaciamiento entre los cabezales de extrusión y la plataforma de impresión PLI (según la dirección z) y para la posición de los cabezales en el plano (x,y) de la plataforma.

La calibración del espaciamiento entre los cabezales de extrusión y la plataforma en altura (z) y de la planicidad de la plataforma, se hace, generalmente, gracias a un sensor de fin de recorrido y una regulación de las esquinas de la plataforma. Pero cuando se usan unas plataformas de gran superficie (por ejemplo, del orden de 20 cm x 20 cm o más), se hace difícil asegurar su planicidad y, por lo tanto, el uso de un sensor de fin de recorrido no es satisfactorio. Esta es la razón por la que un aparato según la invención comprende un sensor capacitivo CC solidario con el carro de impresión. El uso del sensor capacitivo permite calibrar la plataforma en varios puntos sin tocarla y evitar las imprecisiones mecánicas inherentes a los sensores mecánicos de fin de recorrido comúnmente usados en los servomotores. El sensor capacitivo actúa como un interruptor sin contacto. A diferencia de un sensor inductivo, detecta unos materiales no ferrosos, como el vidrio, la madera, la piel, etc. Este sensor va, de hecho, a reemplazar simplemente

el contacto de fin de recorrido estando instalado directamente sobre el carro de impresión.

La calibración de la posición de los cabezales de extrusión en el plano xy de la plataforma es importante, con el fin de alinear bien las partes de estructura fabricadas con los diferentes cabezales.

5 Para una primera capa (que realiza, por ejemplo, una superficie de la estructura mecánica), se realiza una calibración inicial gracias al sensor capacitivo CC con electrodo de masa integrado y de electrodos metálicos de masa (referencias EET1, EET2 en la figura 1) colocados en las esquinas de la plataforma. En efecto, a distancia constante entre el sensor y la plataforma, la capacidad medida será mayor con una pieza metálica entre los dos electrodos del sensor en lugar de con el revestimiento o material aislante de la plataforma.

10 Para las siguientes capas, en particular, cuando se usan varios cabezales de impresión y, por lo tanto, se imprimen varios materiales termoplásticos, la alineación con la capa anterior y con la parte impresa con otro material debe verificarse con la ayuda de un servomando visual que implementa una cámara CE conectada a un sistema de procesamiento de imágenes STI (que, en el modo de realización de la figura 1, coincide con el sistema informático de pilotaje SIP). El servomando visual se realiza de la siguiente manera:

- 15 - una imagen de la superficie de impresión, sobre la que se ha depositado al menos una capa de materia, se adquiere por la cámara CE; eventualmente, se pueden adquirir y promediar varias imágenes para mejorar el desvío de señal a ruido;
- se elige un punto de referencia sobre la imagen, de manera automática o manual (intervención de un usuario);
- la posición de este punto de referencia sobre la imagen tomada por la cámara se compara con su posición sobre el modelo de la última capa depositada, ya en memoria en la impresora;
- 20 - la posición del carro de impresión según los ejes x e y se calcula y se almacena en memoria;
- la impresión de la capa superior tiene en cuenta estos desfases eventuales.

Preferentemente, como en el caso de la figura 1, la cámara de calibración CE es solidaria con el carro, con una posición relativa con respecto a los cabezales de extrusión que se conoce. Como variante, la cámara puede estar fijada y usar un sistema de coordenadas visual fijado en el carro de impresión para determinar la posición relativa de este último con respecto al punto de referencia sobre la imagen.

Un procedimiento según la invención implementa necesariamente al menos dos materiales diferentes, depositados en capas superpuestas. Ahora bien, la adhesión entre unas capas heterogéneas no siempre es satisfactoria. Por esta razón, según la invención, se efectúa un recocido local *in situ* al mismo tiempo que, o después, el depósito de una capa. El papel de este recocido local es proporcionar la energía térmica para reforzar la adhesión entre dos materiales constitutivos del objeto; accesoriamente, puede permitir, igualmente, mejorar las propiedades intrínsecas de los materiales termoplásticos funcionales usados.

La tecnología actual de FDM se funda en la extrusión simple de capas de polímeros adyacentes o unas por encima de las otras y usa el calor latente de extrusión, con o sin la ayuda de una plataforma calentadora, para fundir y soldar las capas contiguas. Este procedimiento induce una soldadura incompleta o no uniforme de las capas y, en consecuencia, reduce las propiedades mecánicas debido a una delaminación entre las capas, en particular, en el caso de una carga aplicada perpendicularmente a la superficie de la capa o de la dirección de depósito del filamento. Esto es tanto más verdadero para las interfaces entre dos materiales diferentes, donde la humectación entre los dos materiales puede ser parcial. Durante el depósito del filamento de un segundo sobre una capa de un primer material, el filamento del segundo material está en el estado fundido y la humectación de la superficie de la capa del primer material depende de parámetros fisicoquímicos de los dos materiales, tales como las tensiones superficiales de las dos especies, la rugosidad de superficie del primer material y de la viscosidad del segundo material. Durante la fabricación, luego, el enfriamiento de la pieza, la delaminación de las capas puede tener lugar, entonces, por el hecho de las superficies de contacto reducidas, de las fuerzas de adhesión que son demasiado escasas y de las diferencias entre los coeficientes de dilatación térmica de los dos materiales.

45 El recocido realizado durante la implementación de la invención se funda en el caldeo local de los materiales depositados por medio de nanocargas (CM1, CM2 en las figuras 2B y 2C), incorporadas en las matrices de los materiales (MM1, MM2 en estas mismas figuras) y capaces de absorber un haz electromagnético que irradia en una o varias longitudes de onda dadas. En el modo de realización de la figura 1, una fuente de radiación electromagnética SRR, por ejemplo, un láser infrarrojo, está fijada al carro de impresión; la referencia FL designa el haz electromagnético generado por la fuente (en el presente documento, un haz láser, pero podría tratarse también de otro tipo de radiación, por ejemplo, unas microondas, véase, por ejemplo, WO2015130401 o unas radiofrecuencias).

El recocido se puede efectuar durante la impresión de la capa en cuestión, según diferentes configuraciones:

- pasaje del haz detrás del cabezal de extrusión activo y una acción sobre la última capa depositada (configuración ilustrada en la figura 2A; donde la referencia ΔT representa simbólicamente un calentamiento localizado);
- 55 - pasaje del haz de forma independiente (cabezal de extrusión inactivo), con una acción sobre: la o las últimas capas depositadas en el caso de un material homogéneo; la o las últimas capas del primer material, situado por debajo del segundo, por transmisión a través de este último, que es transparente a la longitud de onda usada.

El sistema de recocido se ha representado de manera muy esquemática en las figuras 1 y 2A; en la práctica comprenderá una fuente emisora de radiaciones, un sistema de enfoque (eventualmente integrado en la fuente) y un sistema de guía del haz hasta el punto de impacto, típicamente una fibra óptica. En el modo de realización de la figura 2A, la fuente de radiación de recocido SRR es solidaria con el carro de impresión, pero en otros modos de realización puede ser independiente.

Las nanocargas que absorben las radiaciones pueden seleccionarse en el grupo compuesto por los nanotubos de carbono, negro de carbono, buckybolos, grafeno, nanopartículas supermagnéticas, nanopartículas magnéticas, nanohilos metálicos, nanohilos semiconductores, puntos cuánticos, polianilina (PANI), poli3,4-etilendioxitiofeno poliestirenosulfonato y sus combinaciones. Su elección se efectuará no solamente basándose en su funcionalidad transferida, de este modo, al compuesto (por ejemplo, una conductividad eléctrica), sino, igualmente, basándose en la longitud de onda de la radiación correspondiente a la absorbancia óptica máxima de la carga y, por lo tanto, un caldeo óptimo para una potencia mínima. Por ejemplo, unas numerosas cargas poseen una absorbancia elevada a las microondas, por ejemplo, los metales, los óxidos, el carbono (en concreto, los nanotubos de carbono "CNT") y los polímeros conductores (por ejemplo, el polipirrol). El uso de radiaciones de radiofrecuencias (del orden de la decena de MHz) resulta, por su parte, adaptado para las cargas cerámicas, tales como SiC, ZnO o TiO₂. El uso de un láser infrarrojo es particularmente eficaz para las matrices no cargadas o cargadas de fibras (por ejemplo, unas fibras de carbonos). Las cargas que absorben las radiaciones ya pueden estar presentes en el filamento fundido o depositarse por pulverización de una suspensión.

El recocido permite la interdifusión de las cadenas de polímeros de las matrices entre las capas adyacentes (figura 2C), limitando al mismo tiempo el caldeo del resto de la pieza y reduciendo, de este modo, significativamente la alteración de sus dimensiones, en concreto, por fluencia y cambio de ciclo térmico.

La distribución y el reparto de las cargas de funcionalización CM2 en los filamentos depositados pueden modificarse durante el proceso de extrusión o no ser óptimas inicialmente. El recocido local *in situ* también permite homogeneizar el reparto de las cargas en el volumen de la matriz, reformar un máximo de redes de percolación (conductor, semiconductor o dieléctrico en función de la naturaleza de las cargas) y, por lo tanto, mejorar las propiedades funcionales del compuesto en la estructura final. Esto se ilustra esquemáticamente en la figura 2B.

El depósito de un promotor de adhesión en la interfaz entre dos partes constituidas por termoplásticos diferentes y, en concreto, con unas matrices diferentes en el caso de los compuestos, puede usarse como reemplazo o complemento del recocido por haz de irradiación y mejorar la adhesión entre estas dos partes. Este depósito se realiza gracias a una boquilla de pulverización de gotitas, por ejemplo, una válvula con llegadas de aire de atomización, de aire para el control y de promotor de adhesión líquido. Un dispositivo de este tipo se representa muy esquemáticamente en la figura 3, donde se identifica por la referencia BP; la referencia APA designa el chorro de agente promotor de adhesión.

Se conoce que el perfil de depósito por pulverización del promotor de adhesión sobre la superficie es gaussiano y está centrado sobre el punto en frente del pulverizador. Con el fin de obtener un perfil de concentración lo más uniforme posible, es conveniente, por lo tanto, programar unos caminos de pasaje para la boquilla de pulverización. El promotor de adhesión puede ser un líquido homogéneo o una suspensión de partículas nano o micrométricas. En este último caso, habrá que asegurarse bien de tener una suspensión homogénea de manera previa durante su preparación, en concreto, gracias a unas etapas de sonicación, luego, de centrifugación. En todos los casos, la reacción del promotor de adhesión con las interfaces y/o la vaporización del disolvente deben permitir dejar, en última instancia, una capa de adhesión sólida. Es más, se prevé que el dispositivo de pulverización pueda permitir depositar unas partículas absorbentes, que una vez tomadas a modo de sándwich entre dos capas, de un mismo termoplástico o de dos termoplásticos diferentes podrán irradiarse con el haz descrito anteriormente y permitir mejorar la adhesión de esta forma.

Como se ha mencionado esto aquí arriba, el material de estructura M1 de un objeto mecatrónico según la invención es un material aislante eléctrico. El material de estructura podrá ser un polímero, tal como un termoplástico, un elastómero termoplástico, una cerámica o un compuesto de matriz termoplástica o cerámica. La matriz termoplástica podrá formar parte del grupo, pero no solamente, que consta del acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), ácido poliláctico (PLA), poliamida (Nailon), poliimida (PI), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), politetrafluoroetileno (PTFE), cloruro de polivinilo (PVC), poliuretano (PU), policarbonato (PC), polifenilsilfona (PPSU), poliéter éter cetona (PEEK) y sus mezclas. La cerámica podrá seleccionarse de entre el grupo compuesto por los óxidos, carburos, boruros, nitruros y siliciuros. Por ejemplo, las cerámicas compatibles constan del nitruro de silicio, el PZT, el óxido de aluminio o también la hidroxiapatita. Los compuestos usados pueden incorporar cualquier tipo de cargas, que permiten modificar y ajustar sus propiedades mecánicas y térmicas, tales como unas cargas cerámicas o metálicas, unas fibras de vidrio o de carbono o unas partículas de carbono.

El o los componentes eléctricos están realizados de al menos un material termoplástico funcional M2, que es, generalmente, un compuesto que tiene unas propiedades tales como una buena conductividad eléctrica y/o una piezorresistividad o piezoelectricidad y/o una buena conductividad térmica y/o un coeficiente dieléctrico elevado, etc. Por ejemplo, para un termoplástico eléctricamente conductor, las cargas pueden formar parte del grupo de las partículas de carbono, que constan del negro de carbono, el grafeno, los nanotubos de carbonos. Para obtener una buena conductividad térmica, se pueden incorporar unas cargas o nanotubos metálicos. Este material deberá tener

5 las propiedades adecuadas para una conformación mediante FDM, a saber, una temperatura de fusión cercana a la del o de los materiales de estructura e inferior a 300 °C y una viscosidad lo suficientemente escasa en la zona de fusión. Para esto, una solución es, en la medida de lo posible, usar una matriz de polímero idéntica o similar a la del material de estructura M1. Usado solo o asociado con otro termoplástico, funcional o no, el termoplástico funcional M2 entra en la fabricación de un componente eléctrico o electrónico, tal como un componente pasivo (resistencia, condensador, antena, etc.), un sensor o un actuador.

Para sacar plenamente provecho de las características ventajosas de un aparato y de un procedimiento según la invención, es posible desarrollar e integrar unos nuevos materiales termoplásticos que tengan unas propiedades funcionales que permitan realizar unos componentes electrónicos, sensores y actuadores.

10 La integración de estos materiales requiere unas caracterizaciones eléctricas y mecánicas exhaustivas, con el fin de identificar los parámetros a ajustar para garantizar una funcionalidad óptima en el objeto mecatrónico 3D. Para esto, los inventores se han interesado, en concreto, por los siguientes termoplásticos compuestos:

- material 1: matriz ABS/ cargas CB (negro de carbono)
- material 2: matriz PLA / cargas CB
- 15 - material 3: matriz PI-ETPU (poliimida / poliuretano termoplástico de ingeniería)/ cargas CB
- material 4: matriz PLA / cargas CNT (nanotubos de carbono)
- material 5: matriz PLA / cargas de grafeno

20 Los materiales que han sido objeto de estos estudios de caracterización son unos termoplásticos cargados con unas partículas de carbono que tienen una conductividad eléctrica intrínseca elevada. Estos compuestos tienen una conductividad eléctrica que depende no solamente de la naturaleza de las cargas, sino, igualmente, de su concentración y distribución en la matriz termoplástica. La concentración de las cargas debe ser suficiente para permitir la formación de camino de conducción o percolación, pero lo suficientemente baja como para que la viscosidad del filamento permita la extrusión continua del filamento fundido en un rango de temperatura inferior a 300 °C. La distribución de las cargas en el filamento compuesto depende del procedimiento de conformación del filamento compuesto (extrusión mono o bitornillo), del control de los parámetros de los procedimientos y de la preparación de las partículas con una funcionalización potencial de superficie. Una distribución y reparto homogéneo de las cargas permite un mayor número de caminos de percolación y, por lo tanto, una mejor conductividad eléctrica del compuesto. Pero, en última instancia, las propiedades eléctricas del compuesto también están moduladas por los parámetros de los procedimientos y geométricos usados durante la impresión del objeto 3D por FDM.

30 Como se ha indicado aquí arriba, la viscosidad, maleabilidad y dureza de los cinco compuestos estudiados no es la misma por el hecho de sus matrices, sus cargas y su conformación que difieren. Para esto, los parámetros de los procedimientos deben adaptarse, con el fin de permitir una extrusión continua del filamento. Para los materiales estudiados, la temperatura de extrusión depende principalmente de la matriz termoplástica usada: 210-220 °C para el PLA cargado, 230 °C para el ABS cargado y 220 °C para el PI-ETPU cargado. Sin embargo, está claro que estos valores se han optimizado por los fabricantes y, en concreto, adoptando la concentración de cargas adecuada.

35 La velocidad de desplazamiento de las boquillas durante la impresión o velocidad de impresión, se rige, sin embargo, por otros parámetros que no son la viscosidad.

40 La extrusión del filamento está permitida gracias al engranaje del filamento, pellizcado entre una rueda fija y una rueda móvil y la parte superior del filamento, sólida, hace pistón sobre la parte inferior, líquida. Los filamentos maleables tienen una tendencia al pandeo bajo el efecto de la sollicitación en compresión y esto pese a un diseño del cabezal de extrusión que permite limitar los movimientos laterales del filamento. La bajada de la velocidad, típicamente 20 mm/s, permite dejar el tiempo para que el filamento fundido se extruda y permanezca por debajo de la sollicitación límite de fluencia para los filamentos maleables.

45 Las nanopartículas de carbono, por ejemplo, los CNT y el grafeno, son, no solamente unos buenos conductores eléctricos, sino, igualmente, unos buenos conductores térmicos. Una velocidad de impresión demasiado baja corre el riesgo de dejar que el núcleo del filamento fundido se enfríe por conducción térmica interna, a pesar del contacto sobre los bordes con las boquillas calientes. Este fenómeno necesita limitar el tiempo de tránsito del filamento en la boquilla, de modo que sea lo suficientemente largo como para permitir la licuefacción del filamento y lo suficientemente corto como para impedir la resolidificación del núcleo. En este caso, una velocidad de impresión elevada, típicamente 50 80 mm/s, permite tener una extrusión continua y evitar el taponamiento (clogging, en inglés) de la boquilla.

Se debe tener en cuenta un último parámetro en función de la naturaleza de la matriz termoplástica y de su comportamiento en el estado fundido, es la distancia entre la boquilla y la plataforma para la primera capa. En efecto, una viscosidad y una elasticidad elevadas necesitan un espaciado más importante, como para el ABS con respecto al PLA en el primer caso y para el PI-ETPU con respecto al PLA en el segundo caso.

55 Para realizar unos modelos matemáticos de los componentes eléctricos que pueden fabricarse de conformidad con la invención, se han realizado y caracterizado unos patrones en forma de barra rectangular a partir de los cinco materiales de más arriba. Estos patrones difieren por su longitud L (fig. 4A), anchura W (fig. 4B), espesor global H (fig. 4C), espesor e de cada capa elemental o "estrato" (fig. 4D) y dirección de impresión (fig. 4E). Una caracterización eléctrica

exhaustiva ha permitido clasificar los materiales en función de su conductividad y establecer unas leyes que conectan la resistencia de los patrones con los parámetros geométricos citados más arriba.

- 5 La figura 5A muestra la evolución de la resistencia de una barra rectangular (W=20 mm, H=400 μm, dirección de impresión con respecto a la longitud de la barra=0 °, T=200 μm) en función de su longitud L para los 5 materiales estudiados. Los materiales más conductores son fácilmente identificables: la conductividad decrece cuando el índice del material aumenta de 1 a 5. La figura 5B muestra la evolución de la resistencia relativa promedio de las barras (L=50 mm, H=0,4 mm, dirección de impresión con respecto a la longitud de la barra=0 °, T=200 μm) en función de su anchura para los 5 materiales estudiados. La resistencia relativa promedio está dada por (R-R0)/R0, donde R es la resistencia de la barra considerada y R0 la de una barra de referencia que presenta una longitud igual a 10 mm. La evolución de ley inversa es válida para todos, que demuestra su comportamiento óhmico. La figura 5C muestra la evolución de la resistencia relativa promedio de las barras en función de su anchura (L=50 mm, H=0,4 mm, dirección de impresión con respecto a la longitud de la barra=0 °, T=200 μm) y de su altura (L=50 mm, W=20 mm, dirección de impresión con respecto a la longitud de la barra=0 °, T=200 μm) para el Material 4. La resistencia es inversamente proporcional a la anchura y a la altura de la barra, con la potencia unidad.
- 10
- 15 La variación relativa de resistencia R de los patrones en función de la longitud L, de la anchura W y de la altura H, es casi idéntica para los cinco compuestos. Cualitativamente, en las Figuras 5A - C, se destaca, igualmente, que los termoplásticos cargados una vez impresos se comportan como unos conductores óhmicos y que la resistencia obedece a la expresión general:

$$R = \frac{\rho \cdot W \cdot H}{L},$$

- 20 donde ρ es la resistividad de la barra medida en su longitud. Este comportamiento óhmico está, por otro lado, soportado por unas numerosas características de corriente-tensión realizado sobre las diferentes muestras fabricadas.

La resistencia varía, igualmente, en función de la dirección de impresión y de acuerdo con la ley de más arriba, es posible conectar de forma empírica esta variación con la resistividad intrínseca del patrón impreso, es decir, con la microestructura de este. Los resultados obtenidos se reproducen en la tabla 1 más abajo. La resistividad de la barra aumenta cuando la dirección de impresión pasa de 0 ° a 45 °, luego, 90 °. Este ángulo se evalúa con respecto a la longitud de la barra.

25

Material	Resistividad volumétrica del filamento	Resistividad del patrón impreso
1. ABS/CB	10.000 Ohm.cm	4.300 Ohm.cm +/- 1.800 Ohm.cm a 0 ° 7.000 Ohm.cm a 45 ° 10.000 Ohm.cm +/- 1.200 Ohm.cm a 90 °
2. PLA/CB	15-115 Ohm.cm	15 °Ohm.cm +/- 5 Ohm/cm a 0 ° 30 Ohm.cm a 45 ° 40 Ohm.cm +/- 5 Ohm/cm a 90 °
3. PI-ETPU/CB	100 Ohm.cm	60 Ohm.cm +/- 30 Ohm.cm a 0 ° 140 Ohm.cm a 45 ° 350 Ohm.cm +/- 50 Ohm.cm a 90 °
4. PLA/CNT	0,75 Ohm.cm	2,3 Ohm.cm +/- 1,2 Ohm.cm a 0 ° 4,6 Ohm.cm +/- 1 Ohm.cm a 90 °
5. PLA/grafeno	1 Ohm.cm	1,7 Ohm.cm +/- 0,5 Ohm.cm a 0 °

Tabla 1 - Resistividad de los termoplásticos conductores y direcciones de impresión.

- En cambio, la influencia del espesor "e" de los estratos impresos sobre la resistencia es desdeñable para la mayor parte de los materiales, salvo para el Material 3. La disminución de la resistencia en un factor de 2,5 cuando e varía entre 100 y 300 μm para el Material 3 podría explicarse por una continuidad vertical entre las capas (menos interfaces de capa-capa homogéneas) que potencialmente permite un mayor número de caminos de percolaciones. En este caso, el uso de un recocido local, como se describe en la presente invención, permitiría formar unos nuevos caminos de percolación en las interfaces intercapas y mejoraría significativamente la conductividad eléctrica del patrón impreso.
- 30

- Con el fin de caracterizar la piezorresistividad de ello, los materiales 1 a 5 se han usado para fabricar unas piezas de prueba de tracción uniaxial de mancuerna, impresas por FDM.
- 35

Estas piezas de prueba se han diseñado explotando la diferencia de resistividad en función de la dirección de impresión y con unas dimensiones conformes a la norma ASTM D638, es decir, para la parte útil: L=50 mm, W=10 mm, H 300 μm. Para cada material, se han impreso unos ejemplares enteramente en unas direcciones de impresión, medidas con respecto a la longitud de la pieza de prueba, de 0 °, 45 ° o 90 °. Unos ejemplos ET1 (0 °), ET2 (90 °) de las piezas de prueba fabricadas se ilustran en las figuras 6A y 6B.

40

La tracción se ha ejercido por medio de pesos suspendidos verticalmente en la parte baja de la muestra, mientras que la parte alta de la muestra estaba fijada mediante una mordaza al bastidor. Las masas suspendidas eran de 100 g, 200 g, 500 g y 1 kg. Suponiendo que las piezas de prueba no tienen defectos, la sollicitación se concentraba en la parte útil y la sollicitación aplicada variaba entre 3 y 33 MPa.

5 Los resultados de los ensayos se ilustran en las figuras 7A - 7C.

La figura 7A ilustra la evolución de la resistencia eléctrica R de las piezas de prueba de tracción de Material 2 en función de la masa M del peso suspendido verticalmente. La tasa de llenado es de un 100 %, la pieza de prueba es, por lo tanto, maciza.

10 La figura 7B ilustra la evolución de la resistencia eléctrica de las piezas de prueba de tracción, bajo cargamento nulo o de 100 g, en el transcurso de un cambio de ciclo mecánico de cargamento/descargamiento. Las piezas de prueba consideradas en el presente documento tienen una tasa de llenado de un 80 %, lo que significa que existe un espaciado entre los filamentos o rayas, que forman el cuerpo de la pieza de prueba, de la que aproximadamente un 20 % está constituido por espacios vacíos.

15 La figura 7B ilustra la evolución en el tiempo t de la resistencia eléctrica de las piezas de prueba de tracción como continuación a la retirada de un cargamento de 100 g. Como continuación a un aumento brusco, la resistencia disminuye progresivamente hacia el valor de reposo.

20 De entre los materiales estudiados, el Material 3 ha demostrado un comportamiento piezorresistivo con efecto de umbral, cuando la pieza de prueba se imprime a 90° , como se traslada en la Figura 7A. El umbral a partir del que aparece la variación de resistencia se puede bajar disminuyendo la tasa de llenado durante la impresión por FDM, es decir, modulando la calidad del contacto entre las rayas. Si la tasa de llenado es elevada, habrá superposición entre las rayas adyacentes. Cuanto más disminuye esta tasa, siendo el espesor del extrudido constante, más disminuye la parte donde hay superposición y la interfaz entre las rayas adyacentes ve aparecer unos agujeros o porosidades, donde el aire queda atrapado. Por lo tanto, la tasa de porosidad es un parámetro importante que permite controlar la resistencia y el umbral de piezorresistividad del patrón impreso. Después de un ciclo de depuración (ruptura de los caminos escasos que se produce durante los primeros usos, que conduce a unas variaciones rápidas de las propiedades eléctricas seguidas por una fase de estabilización), se destaca que la variación de resistencia aparece desde los 100 g de cargamento para una barra con una tasa de llenado de un 80 %, con una buena repetibilidad y un aguante de al menos 10 ciclos (véase Figura 7B).

30 El mismo comportamiento piezorresistivo se observa para las piezas de prueba cuyas rayas se imprimen a un ángulo de impresión de 90° con respecto a la longitud de la pieza de prueba con el Material 5. Sin embargo, se observa un fenómeno de relajación de la matriz de elastómero como continuación al cargamento o descargamiento. Para el descargamiento, este fenómeno induce un aumento brusco de la resistencia, luego, una disminución logarítmica hacia el valor de reposo (véase Figura 7C). Esta respuesta temporal es, de este modo, un problema no desdeñable en la fiabilidad de la medición y su explotación para realizar un sensor.

35 Los modelos de comportamiento y leyes establecidos para la piezorresistividad del Material 2 y los establecidos para la resistividad de los termoplásticos conductores permiten realizar unos sensores que aprovechan estas propiedades.

40 La figura 8 representa un sensor de flexión bidimensional CF2D funcional, enteramente impreso por FDM con 3 materiales termoplásticos diferentes. En efecto, este componente comprende una estructura SM de termoplástico aislante (ABS), 4 electrodos de contacto ELC1, ELC2, ELC3, ELC4 de termoplástico conductor (Material 4) y 2 partes centrales JC1, JC2 de termoplástico cargado que tiene un comportamiento piezorresistivo (Material 2), impreso según unas direcciones de impresión ortogonales, que forman unas galgas extensométricas, soportadas por la estructura mecánica SM y cuyos ejes de sensibilidad (determinados por la dirección de impresión y, por lo tanto, por la alineación de los filamentos constitutivos) son mutuamente perpendiculares.

45 Con el fin de evitar los tiempos muertos necesarios para los cambios de bobina, el sensor se ha impreso usando tres cabezales de extrusión, uno por material. Se ha depositado una capa delgada de promotor de adhesión en las interfaces heterogéneas.

50 Las partes centrales del sensor son, respectivamente, un rectángulo JC1 de Material 2 impreso a 0° y un rectángulo JC2 de Material 2 impreso a 90° , con un espesor de 600 μm . De acuerdo con los resultados de caracterización, solo el rectángulo cuya dirección de impresión es perpendicular a la dirección de exigencia en tracción produce un cambio de resistencia eléctrica. El otro bloque conserva la misma resistencia. La yuxtaposición de estos dos bloques permite, por lo tanto, medir una sollicitación según el eje x o el eje y , incluso una sollicitación biaxial en tracción.

Cuando el sustrato de ABS experimenta una sollicitación de flexión, su cara superior está exigida en tracción. Esta exigencia se transmite a los bloques de Material 2 por cizallado en la interfaz. Los resultados obtenidos con este sensor y que demuestran su funcionalidad, se presentan en la tabla 2 más abajo:

55 Tabla 2.

Deformación (ϵ)	Dimensión grande (60 mm)	Dimensión pequeña (50 mm)
$\epsilon=0$	409 Ω	630 Ω
Deformación (ϵ)	Dimensión grande (60 mm)	Dimensión pequeña (50 mm)
Capa superior en tracción: $\epsilon>0$	456 Ω	723 Ω
Capa superior en compresión: $\epsilon<0$	370 Ω	273 Ω

La libertad de forma permitida por el procedimiento y la disponibilidad de termoplásticos conductores y piezorresistivos, permite la realización de sensores de fuerza multidimensionales. La figura 9F muestra una vista lateral de un sensor de este tipo que presenta la forma de una minipalanca de mando que puede transducir el esfuerzo aplicado sobre el conector central y sus componentes x e y. Este sensor presenta una estructura mecánica aislante que comprende un sustrato anular SA, unos pilares-soporte PS y una plataforma central PTC de material aislante; unos elementos piezorresistivos PZR1 - PZR4 que forman unos puentes suspendidos realizados con la ayuda de un soporte impreso de polímero de sacrificio, por ejemplo, soluble; unos electrodos de contacto EC1 - EC5, la palanca de mando central JC y unos pilares conductores PC1 - PC4 para el enganche del sistema de conexiones. Las figuras 9A - 9F muestran estos diferentes elementos por separado.

5 La figura 10 ilustra un sensor acústico de tipo piezorresistivo, realizado, igualmente, por un procedimiento de impresión según la invención. Comprende una estructura mecánica aislante SM, dos electrodos de contacto ELC1, ELC2 de termoplástico conductor, dos membranas conductoras MC1, MC2, igualmente, de termoplástico conductor, que forman los dos armazones de un condensador y unas galgas extensométricas JC1, JC2, conectadas cada una a un electrodo de contacto respectivo y a la membrana conductora MC1. Las galgas extensométricas permiten medir las deformaciones de la membrana MC1 bajo el efecto de una onda acústica.

10 Como se ha aludido a esto aquí arriba, está prevista ventajosamente una interfaz de diseño para facilitar el diseño de los componentes eléctricos impresos. Esta interfaz es un sistema informático (ordenador, red de ordenador, tarjeta de microprocesador...) programado para recibir como entrada unos parámetros de un componente eléctrico a fabricar, tales como las propiedades eléctricas deseadas, la posición de sus puntos de toma de contacto, su ubicación dentro o en la superficie de una estructura mecánica... y proporcionar a la salida, gracias a la aplicación de algoritmos apropiados, un archivo de impresión (típicamente en el formato GCode) que permite el pilotaje de la impresora tridimensional.

20 Los diagramas de flujo de las figuras 11A a 11H ilustran, a título de ejemplo no limitativo, los algoritmos que permiten dar lugar al archivo de impresión para un componente eléctrico simple, a saber, una resistencia depositada sobre un sustrato aislante. La figura 13 ilustra, igualmente, a título de ejemplo no limitativo, un algoritmo que permite dar lugar al archivo de impresión para una galga de deformación axial.

Una resistencia fabricada por impresión tridimensional puede ser bidimensional (es decir, planar, depositada sobre una superficie) o tridimensional - que pasa, por lo tanto, por unos puntos no coplanares, que pueden estar impuestos. En el caso de una resistencia bidimensional, se puede adoptar una geometría lineal - para unos valores de resistencia escasos - o en zigzag o serpentina - para unos valores de resistencia más elevados. Estos tres casos diferentes necesitan unos algoritmos de diseño diferentes. De este modo, como se ilustra en la figura 11A, el usuario de una interfaz de diseño según la invención define, en primer lugar, el material termoplástico a usar (etapa EA1), cuyas propiedades se conocen y almacenan en la base de datos de modelos BDM y el valor de resistencia R_{user} ($R_{usuario}$) a alcanzar (etapa EA2), luego, (EA3) indica si la resistencia es tridimensional o debe respetar unos puntos de pasaje impuestos. En caso afirmativo, la interfaz de diseño aplicará un algoritmo de diseño de resistencias tridimensionales, ilustrado en las figuras 11G y 11H. De otro modo, el sistema determinará de manera autónoma (EA4), en función del valor R_{user} ($R_{usuario}$), si es conveniente realizar una geometría lineal (por ejemplo, si R_{user} ($R_{usuario}$) es inferior a un umbral predefinido R_{th} , en cuyo caso aplicará el algoritmo ilustrado en la figura 11B o bien una geometría en zigzag (por ejemplo, si R_{user} ($R_{usuario}$) es superior o igual a R_{th}), en cuyo caso aplicará el algoritmo ilustrado en las figuras 11C a 11F. La elección entre una geometría lineal y en zigzag puede tener en cuenta, igualmente, otros parámetros, por ejemplo, de espacio necesario o dejarse a la apreciación del usuario.

Sea la que sea la geometría elegida, el algoritmo de diseño aplicado define el volumen de la resistencia a fabricar (EA5). A continuación, (etapa EA6) un modelador CAO (diseño asistido por ordenador) genera una retícula triangular de este volumen en forma de triángulo, que se registra típicamente en forma de un archivo de estereolitografía en el formato STL. Se procede, a continuación, (etapa EA7) al recorte en tramos ("slicing" en inglés) de volumen definido por el archivo STL, lo que permite definir cada tramo de material depositado por el cabezal de extrusión y asociar ahí una trayectoria de desplazamiento del cabezal de impresión. El recorte se realiza por un software de tipo conocido de por sí, que depende de la impresora, que preferentemente permite, igualmente, parametrizar esta última determinando, en concreto, la temperatura de los bordes de la boquilla, la tasa o el ángulo de llenado, etc.

50 El conjunto de los desplazamientos de la boquilla y de los parámetros de la máquina se registran en el archivo de impresión FI, por ejemplo, en el formato GCode.

El diagrama de flujo de la figura 11B ilustra el algoritmo de diseño de una resistencia lineal.

- Para comenzar, el usuario proporciona como entrada al sistema informático la anchura $X_{\text{máx}}$ (EB1) y la longitud $Y_{\text{máx}}$ (EB2) de la región, que se supone que es rectangular, que contiene la resistencia, la posición del punto que sirve como origen del sistema de coordenadas definido en esta región (EB3), así como las coordenadas de los puntos de contacto A y B de la resistencia en este sistema de coordenadas (EB4, EB5); estos puntos están situados, generalmente, sobre unos lados de esta región rectangular, en cualquier caso, esto será siempre el caso en la continuación. El sistema informático calcula, entonces, la longitud L del segmento AB (EB6), luego, la sección $S = \rho L / R_{\text{user}}$ (R_{usuario}) necesaria para obtener la resistencia que se quiere (EB7), siendo ρ la resistividad del material, extraída de la base BDM.
- La sección S es el producto de la anchura W de la resistencia por su espesor H, siendo estas dos magnitudes a determinar. El espesor H de la resistencia es un múltiplo entero del espesor e de un tramo de material depositado por el cabezal de extrusión, mientras que la anchura W está comprendida entre un valor mínimo $W_{\text{mín}}$ función del cabezal de extrusión y la anchura admisible de la resistencia, $W_{\text{máx}}$. Se comienza suponiendo $H=e$ y se calcula la anchura correspondiente: $W=S/H$. Si se encuentra un valor superior a la anchura máxima admisible $W_{\text{máx}}$, se incrementa H en el valor e y, de este modo, seguidamente. Aunque no se ilustre esto en la figura, es posible que incluso con $H=e$ se obtenga $W < W_{\text{máx}}$. Esto significa que R_{user} (R_{usuario}) es demasiado elevada; por lo tanto, hay que ya sea aumentar la longitud L desplazando uno de los puntos de contacto (o los dos), ya sea cambiar de material, ya sea usar una geometría en zigzag. En principio, esta situación no debería presentarse si la geometría lineal se ha seleccionado automáticamente por el algoritmo de la figura 11A. Estas operaciones constituyen la etapa EB8.
- A continuación, (EB9) se verifica que el valor $R = \rho \cdot L / S$ sea bien igual a R_{user} (R_{usuario}). Si este no es el caso, el usuario tiene la posibilidad de cambiar el material usado, en cuyo caso el algoritmo se reanuda a partir de la etapa EB7; si no desea hacerlo, el sistema informático desplaza uno de los puntos A y B (o los dos) para modificar la longitud L hasta que $R = R_{\text{user}}$ (R_{usuario}) (EB10).

El algoritmo de diseño de una resistencia en zigzag se ilustra en las figuras 11C a 11F.

- Como en el caso de la resistencia lineal, el usuario proporciona como entrada al sistema informático la anchura $W_{\text{máx}}$ (EC1) y la longitud $Y_{\text{máx}}$ (EC2) de la región, que se supone que es rectangular, que contiene la resistencia, así como las coordenadas del origen del sistema de coordenadas (EC3). Igualmente, proporciona la anchura W y el espesor H del "hilo" resistivo que forma el patrón en zigzag (EC4, EC5), lo que permite que el sistema calcule la longitud de este hilo: $L = R_{\text{user}} \cdot W \cdot H / \rho$ (EC6). A continuación, el usuario proporciona como entrada las coordenadas de los puntos de contacto A y B de la resistencia (EC7, EC8), lo que permite que el sistema determine si estos puntos se encuentran sobre unos lados opuestos de la región rectangular, sobre un mismo lado o sobre unos lados adyacentes (y ortogonales). A estos tres casos de figura corresponden tres algoritmos diferentes, que se ilustran por las figuras 11D, 11E y 11F, respectivamente.

- Cuando el punto B se encuentra en frente de A (figura 11D), el recorrido del hilo conductor se determina partiendo del punto A (etapa ED1), desplazándose en un paso predefinido de longitud $\Delta_{\text{mín}}$ (pequeña con respecto a las dimensiones de la región rectangular que contiene la resistencia, pero superior a la anchura W del hilo) hacia el lado donde se encuentra B y perpendicularmente al lado donde se encuentra A (ED2). Luego, se desplaza paralelamente al lado de A, en la dirección del vértice en este lado más alejado de A, deteniéndose a una distancia $\Delta_{\text{mín}}$ del borde de la región rectangular, para conservar un margen de seguridad (ED3). A continuación, se desplaza también una vez de la longitud $\Delta_{\text{mín}}$ hacia el lado donde se encuentra B y perpendicularmente al lado donde se encuentra A (ED4). La distancia recorrida desde el inicio se memoriza, a continuación, y se almacena en una variable dist_p (ED5). En este punto, se calcula la distancia mínima que queda por recorrer, en línea recta, para alcanzar B (ED6). Si la suma de dist_p y de esta distancia mínima excede L (calculado en la etapa EC6), esto significa que no es posible realizar una resistencia en zigzag del valor que se quiere; por lo tanto, hay que cambiar de material. De otro modo, el sistema determina si los puntos A y B están en frente en la dirección x o en la dirección y. En la continuación, se considera solamente el primer caso (etapas ED7, ED8, ED9); las operaciones efectuadas en el caso opuesto son completamente similares (etapas ED7', ED8', ED9').

- La resistencia en zigzag está constituida sustancialmente por un cierto número n_b de patrones (meandros) formados por un trazo corto, de una longitud d, en la dirección perpendicular a los lados que llevan A y B (dirección x, en el ejemplo considerado en el presente documento) y por un trazo largo, de una longitud D, en la dirección perpendicular, más dos segmentos de extremo - de una longitud dist_p en el lado de A y de una longitud a calcular en el lado de B. Durante la etapa ED7, se busca resolver el sistema:

$$n_b \cdot p \cdot (d + D) \leq L - \text{dist}_p$$

$$n_b \cdot p \cdot d \leq X_{\text{máx}} - 2 \cdot \Delta_{\text{mín}}$$

- haciendo una hipótesis sobre el valor de D (ya que se tienen tres incógnitas y solamente dos desigualdades). La hipótesis inicial es: $D = Y_{\text{máx}} - 2 \cdot \Delta_{\text{mín}}$.

Durante la etapa ED8, se verifica si la solución encontrada verifica la condición $d > \text{DELTA_mín}$. Si este no es el caso, el valor de D se decrementa de DELTA_mín (ED9) y la etapa ED7 se ejecuta de nuevo.

5 El trozo final está constituido por el camino más corto que conecta el extremo terminal del último patrón con B (ED10). En general, para obtener una longitud total igual a L, será necesario ajustar la longitud del último trazo largo (penúltimo trozo de la resistencia, que, por lo tanto, no será necesariamente igual a D. Para construir el volumen de la resistencia a partir del recorrido determinado de este modo, no queda, entonces, más que aplicar la anchura del hilo W (ED11).

10 Cuando el punto B se encuentra sobre el mismo lado que A (figura 11E), el recorrido del hilo conductor se determina partiendo del punto A (etapa EE1), desplazándose en un paso predefinido de longitud DELTA_mín (pequeña con respecto a las dimensiones de la región rectangular que contiene la resistencia, pero superior a la anchura W del hilo) en la dirección perpendicular al lado donde se encuentran los puntos A y B (EE2). Luego, (EE3) se desplaza paralelamente a este lado y en oposición de B, hasta no dejar más que una distancia de seguridad DELTA_mín en el lado perpendicular al de inicio. Luego, se desplaza también de la distancia DELTA_mín en la dirección del primer desplazamiento, es decir, perpendicularmente al lado que lleva a B (EE4). Las siguientes etapas - EE7, EE8 a EE10, EE8' a EE10', EE11, EE12- son idénticas a las etapas ED6, ED7 a ED9 y ED7' a ED9', ED10 y ED11 descritas aquí arriba.

20 Cuando el punto B se encuentra sobre un lado adyacente y, por lo tanto, perpendicular, al que lleva el punto A (figura 11F), el recorrido del hilo conductor se determina partiendo del punto A (etapa EF1), desplazándose en un paso predefinido de longitud DELTA_mín (pequeña con respecto a las dimensiones de la región rectangular que contiene la resistencia, pero superior a la anchura W del hilo) en la dirección perpendicular al lado donde se encuentra el punto A (EF2), luego, desplazándose paralelamente a este lado y en dirección del lado opuesto al que lleva el punto B, hasta una distancia de seguridad DELTA_mín de este último (EF3). A continuación, se desplaza paralelamente a este lado hasta dejar una distancia de seguridad DELTA_mín en el lado opuesto al de A (EF4). La continuación (etapas EF5 - EF11) es idéntica a los casos anteriores.

25 El último caso de figura, el de una resistencia tridimensional, es objeto de las figuras 11G y 11H. Primeramente, el usuario debe definir un volumen en el que se define la resistencia, los puntos de inicio (A) y de llegada (B), así como unos puntos intermedios de pasaje (EG1). Es importante señalar que, en la técnica de impresión tridimensional FDM, un volumen se presenta en forma de un apilamiento de capas de espesor predefinido. Por lo tanto, la posición de un punto se puede definir identificando la capa a la que pertenece y dando sus coordenadas bidimensionales en el interior de esta última. Para definir el recorrido de la resistencia, se parte del punto A (EG2), se identifica la proyección pt_s del siguiente punto de pasaje sobre la capa que contiene A - o, más generalmente, el punto corriente pt_c (EG3) y se determina la distancia a recorrer para alcanzar esta proyección (EG4), así como la diferencia de altura entre la capa del punto corriente y la del siguiente punto (EG5). La distancia L_cs entre los puntos pt_c y pt_s es la suma de la distancia en el plano, determinada en la etapa EG3 y de la diferencia de altura (EG6); esta distancia está memorizada. A continuación, se pasa al siguiente punto y, de este modo, seguidamente, hasta llegar al punto B. Entonces, se calcula L_calc , suma de las longitudes L_cs (EG7). El conocimiento de la resistividad RHO del material permite, entonces, calcular la sección S del patrón resistivo (EG8); a partir del conocimiento de esta sección, el espesor y la anchura se calculan como se ha explicado esto con referencia al caso lineal de la figura 11B (etapa EG9). Entonces, se verifica si la resistencia obtenida de este modo, R_calc , tiene el valor que se quiere R_user ($R_usuario$) (EG10). Si $R_calc < R_user$ ($R_usuario$) y si el usuario no desea cambiar de material, hay que reemplazar al menos ciertos de los segmentos rectos que conectan dos puntos de pasaje sucesivos en el interior de una misma capa por unos zigzags. Para hacer esto, se expresa la longitud de cada segmento intermedio como porcentaje de L_calc (EG11) y se le atribuye una resistencia a alcanzar que corresponde al mismo porcentaje de R_user ($R_usuario$) (EG 12). Entonces, se procede como en el caso de la figura 11D - las etapas EG13 - EG16 corresponden a las etapas ED2 - ED5, las etapas EG17, EG18, EG19 a las etapas ED7 a ED9 y ED7' a ED9' y las etapas ED20, ED21 a las etapas ED10 y ED11.

Otro ejemplo de componente eléctrico que puede fabricarse por impresión tridimensional de conformidad con la invención y cuya fabricación puede facilitarse por el uso de una interfaz de programación, es una galga de deformación (o sollicitación) uniaxial de tipo piezorresistivo.

La variación relativa de resistencia ΔR de un elemento piezorresistivo que presenta una resistencia en reposo R_0 vale:

$$50 \quad \Delta R/R_0 = k \cdot \epsilon$$

donde k es la sensibilidad piezorresistiva y ϵ la deformación, con $\epsilon = \Delta L/L_0$, siendo ΔL la variación de longitud y L la longitud en reposo del elemento. Durante el diseño de un sensor, la longitud (y, por lo tanto, la resistencia) inicial es función de la tasa de llenado del volumen del sensor.

55 Como cualquier elemento fabricado por impresión tridimensional FDM, un sensor piezorresistivo está formado por unos filamentos o bandas; esta estructura se ilustra en la figura 12A. El sensor funciona por el acercamiento o el alejamiento de las bandas bajo el efecto de una sollicitación. En efecto, si se acercan las bandas, se crean unos microcontactos que hacen caer la resistencia. A la inversa, si se alejan las bandas, la intensidad corriente que circula es más escasa. Se comprende que la sensibilidad a las deformaciones es mucho más importante para las

deformaciones paralelas al eje pequeño de llenado, indicado por d en la figura 12A, que para deformaciones paralelas al eje grande D .

5 Si la tasa de llenado es igual a un 100 %, lo que significa que las bandas están perfectamente unidas y en contacto mutuo sobre toda su longitud, las variaciones de resistencia no serán medibles. Lo mismo sucederá en el caso de una tasa de llenado demasiado escasa. De manera empírica, se ha constatado que unas tasas de llenado de un 40 a un 70 % dan unos resultados completamente aceptables para la mayor parte de los materiales considerados.

10 Una comparación de las figuras 12A y 12B permite constatar que un llenado a un 40 % (fig. 12A) implica una longitud de filamento más escasa que con un llenado a un 70 % (fig. 12B). En un sensor con una tasa de llenado de orden de un 70 %, la conductividad depende de manera importante de la percolación de la corriente, es decir, de la presencia de microcaminos conductores que conectan los meandros entre sí. Estos microcaminos pueden estar fácilmente interrumpidos por unas deformaciones escasas de la estructura, lo que hace que un sensor que tiene una tasa de llenado elevada - pero no demasiado, por ejemplo, del orden de un 70 % - será capaz de detectar unas deformaciones más pequeñas que un sensor con una tasa de llenado de solamente un 40 %. Sin embargo, un sensor de este tipo también será más sensible a los defectos de fabricación, por ejemplo, cortocircuitos provocados por un cabezal de extrusión sucio. A señalar que, en los ejemplos de las figuras 12A y 12B, se han depositado varias capas de material resistivo, con unos ángulos de depósito perpendiculares, lo que conduce a una sensibilidad piezorresistiva isótropa.

15 El diagrama de flujo de la figura 13 ilustra las etapas de diseño de un sensor de sollicitación piezorresistivo. En primer lugar, (etapa EP1)

20 El usuario realiza la forma que desea en el software de CAO y la importa en formato STL (retícula con unos triángulos del volumen). A continuación, con el fin de estar seguro de que el sensor será lo suficientemente flexible y resistente, se fija su altura H en un valor predefinido, por ejemplo, tres veces el espesor de impresión e (EP2).

25 La última capa servirá como sensor. Las otras capas pueden, por ejemplo, realizarse de material aislante con un llenado fijo, generalmente, comprendido entre un 60 y un 100 % y, por ejemplo, igual a un 70 %, para dejar más o menos flexibilidad al sensor (EP3). Como variante, las capas conductoras o resistivas que presentan otra función pueden estar presentes, igualmente, por debajo de la que sirve como sensor de sollicitación.

Sobre la capa del sensor, el usuario define la posición de los electrodos (EP4) y elige el material resistivo, de entre una lista que se le propone (EP5), así como la sensibilidad que se quiere - igualmente, de entre una lista de valores posibles (EP6). El llenado se hace, generalmente, en modo rectilíneo (EP7), con una dirección principal de llenado perpendicular al eje definido por los dos electrodos (EP8).

30 Una tabla, construida durante una etapa previa de calibración y registrada en una memoria del ordenador que ejecuta el procedimiento, permite encontrar la tasa de llenado que permite alcanzar la sensibilidad que se quiere, dados el material elegido y la geometría que se quiere (EP9).

35 La velocidad de impresión (EP10) se puede determinar en función de la tasa de llenado, igualmente, determinada, típicamente por medio de otra tabla de correspondencia construida por calibración. Por ejemplo, se puede elegir una velocidad de impresión escasa para unas tasas de llenado importantes, con el fin de evitar los cortocircuitos que pueden producirse cuando unos residuos de filamento permanecen pegados a la boquilla y se despegan de manera repentina durante la impresión. Para unas tasas de llenado más escasas, la separación de las líneas de pasaje y, por lo tanto, la ausencia de materia en el pasaje de la boquilla, es suficiente, generalmente, para evitar que llegue a pegarse un residuo; por lo tanto, se puede imprimir a una velocidad más elevada, por ejemplo, de 60 mm/s. Como variante, se puede usar una velocidad de impresión relativamente escasa (por ejemplo, 30 mm/s) independientemente de la tasa de llenado.

40 La invención se ha descrito con referencia a unos sistemas mecatrónicos que incluyen unos sensores piezorresistivos. Sin embargo, la invención no se limita a este caso de figura. En efecto, es posible, en particular, eligiendo de manera oportuna las cargas contenidas en la matriz termoplástica, imprimir por FLM unos materiales sensibles a la temperatura, a la luz, a los agentes químicos, etc. para obtener unos sensores térmicos, ópticos, químicos, respectivamente. Por otro lado, a partir de materiales conductores y aislante, es posible fabricar unos sensores capacitivos o inductivos y unas antenas usables en transmisión y/o en recepción. Es posible, igualmente, realizar unos actuadores térmicos, electrostáticos, magnéticos (usando unas cargas ferromagnéticas) o incluso piezoeléctricos. Es posible, igualmente, imprimir unos OLED (diodos electroluminiscentes orgánicos) y/o unas células fotovoltaicas orgánicas.

50 En ciertos casos, la invención permitirá la realización de un sistema mecatrónico enteramente impreso. En otros casos, solo se imprimirá una parte del subconjunto eléctrico/electrónico de un sistema de este tipo (sensores, líneas conductoras, actuadores...), mientras que otros componentes - por ejemplo, unos circuitos integrados que realizan unas funciones electrónicas complejas, se podrán incorporar. Incluso en este último caso, la invención permite reducir el número de operaciones de ensamblaje y, por lo tanto, hacer la fabricación del sistema mecatrónico más rápida y menos onerosa.

Referencias

[Coiai, 2015] Serena Coiai et. Al, "Nanocomposites Based on Thermoplastic Polymers and Functional Nanofiller for Sensor Applications", *Materials*, vol. 8, páginas 3377-3427, 2015.

[Deng, 2014] Hua Deng et al., "Progress on the morphological control of conductive network in conductive polymer composites and the use as electroactive multifunctional materials", *Progress in Polymer Science*, vol. 39, páginas 627-655, 2014.

5 [Muth, 2014] Joseph T. Muth et al., "Embedded 3D Printing of Strain Sensors within Highly Stretchable Elastomers", *Advanced Materials*, vol. 26, páginas 6307-6312, 2014.

[Sitthi-Amorn, 2015] Pitchaya Sitthi-Amorn et al. "MultiFab: A Machine Vision Assisted Platform for Multi-material 3D Printing" *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2015)*.

10 [Rossiter, 2009] Jonathan Rossiter et al. "Printing 3D dielectric elastomer actuators for soft robotics" *Proc. of SPIE* Vol. 7287, 72870H (2009).

[Leigh, 2012] Simon J. Leigh et al. "A Simple, Low-Cost Conductive Composite Material for 3D Printing of Electronic Sensors", *PLOS ONE*, Vol. 7, Emisor 11, e49365 (nov. 2012).

15 [O'Brien, 2015] Jonathan O'Brien et al. "Miniaturization of Microwave Components and Antennas Using 3D Manufacturing" 9^a European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Lisboa, 13-17 mayo 2015.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de un sistema mecatrónico que comprende:

- una etapa de fabricación de una estructura mecánica (SM) por impresión tridimensional por depósito de hilo fundido de al menos un primer material (M1) eléctricamente aislante (M1); y
- una etapa de fabricación de al menos un componente eléctrico (CE) en contacto con al menos un elemento de dicha estructura mecánica y solidario con ella;

dicha etapa de fabricación de al menos un componente eléctrico se implementa por impresión tridimensional por depósito de hilo fundido de al menos un segundo material (M2), conductor o resistivo, directamente en contacto con dicho elemento de la estructura mecánica, **caracterizado porque** dicho o un dicho componente eléctrico es un transductor (JC1, JC2), incluyendo el procedimiento, igualmente, una etapa de recocido local implementada durante o después del depósito de una capa del primer o del segundo material, en correspondencia de dicho depósito.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicho transductor (JC1, JC2) es un sensor piezorresistivo.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho segundo material, conductor o resistivo, comprende unas cargas conductoras (CM2) dispersas en una matriz aislante termoplástica (MM2).

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que incluye, igualmente, una etapa de depósito de un agente promotor de adhesión (APA) sobre una superficie del sistema mecatrónico en el transcurso de la fabricación antes del depósito, por encima de dicha superficie, de una capa de un material diferente.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende el uso de al menos dos cabezales de extrusión (TE1, TE2) distintos para el depósito del primer y del segundo material.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende, igualmente, una etapa de generación de un archivo de impresión (FI) para la realización de al menos un dicho componente eléctrico, estando dicha etapa implementada por ordenador y comprendiendo:

- una subetapa que consiste en proporcionar a dicho ordenador unos datos indicativos de una posición de uno o varios puntos de contacto, de una región espacial donde debe fabricarse dicho componente y de al menos una propiedad eléctrica de dicho componente;
- una subetapa de cálculo de una geometría de dicho componente por aplicación a dichos datos de un modelo matemático predefinido; y
- una subetapa de generación de dicho archivo de impresión que permite realizar dicha geometría por impresión tridimensional por depósito de hilo fundido de dicho o de al menos un dicho segundo material, conductor o resistivo.

7. Aparato para la implementación de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende una impresora tridimensional (I3D) del tipo por depósito de hilo fundido que presenta al menos dos cabezales de extrusión distintos (TE1, TE2), activables de manera independiente y adaptados para depositar dos materiales diferentes, estando dichos cabezales de extrusión dispuestos uno al lado del otro con una misma dirección de extrusión y estando llevados por un mismo carro de impresión (CI) que asegura su desplazamiento simultáneo, incluyendo el cabezal de impresión, igualmente, un mecanismo (ATV) para desplazar un cabezal de extrusión inactivo en una dirección opuesta a dicha dirección de extrusión cuando dicho u otro dicho cabezal de extrusión está activo, **caracterizado porque** dicho carro de impresión está equipado con un sensor capacitivo (CC) configurado para medir su distancia de una superficie de impresión y **porque** el aparato comprende, igualmente, un generador (SRR) de un haz de radiación electromagnética, estando dicho generador configurado para producir un calentamiento local de un material depositado sobre una superficie de impresión de dicha impresora tridimensional.

8. Aparato según la reivindicación 7, que comprende, igualmente, una plataforma de impresión (PLI) por encima de la cual se desplaza dicho carro de impresión, estando dicha plataforma equipada con electrodos metálicos (EET1, EET2) susceptibles de ser detectados por dicho sensor capacitivo, por medio de lo cual dicho sensor permite una calibración de la posición del carro de impresión con respecto a la plataforma.

9. Aparato según una de las reivindicaciones 7 a 8, equipado con:

- una cámara (CE) configurada para adquirir una imagen de una capa de material depositado por la impresora tridimensional;
- un sistema de procesamiento de imágenes (STI) configurado para comparar dicha imagen con un modelo tridimensional almacenado en una memoria informática y deducir de ello un error de posición de dicho carro de impresión; y
- un sistema informático de pilotaje (SIP) de dicho carro configurado para corregir dicho error de posición durante el depósito de una capa sucesiva de material.

10. Aparato según una de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende, igualmente, un sistema informático (SGF) de

generación de un archivo de impresión (FI) para pilotar dicha impresora tridimensional para fabricar un componente eléctrico, estando dicho sistema informático configurado para:

- 5
- recibir como entrada unos datos indicativos de una posición de uno o varios puntos de contacto, de una región espacial donde debe fabricarse dicho componente y de al menos una propiedad eléctrica de dicho componente;
 - calcular una geometría de dicho componente por aplicación a dichos datos de un modelo matemático predefinido;
 - y
 - generar un archivo de impresión que permite realizar dicha geometría por impresión tridimensional por depósito de hilo fundido de al menos un material conductor o resistivo.

10

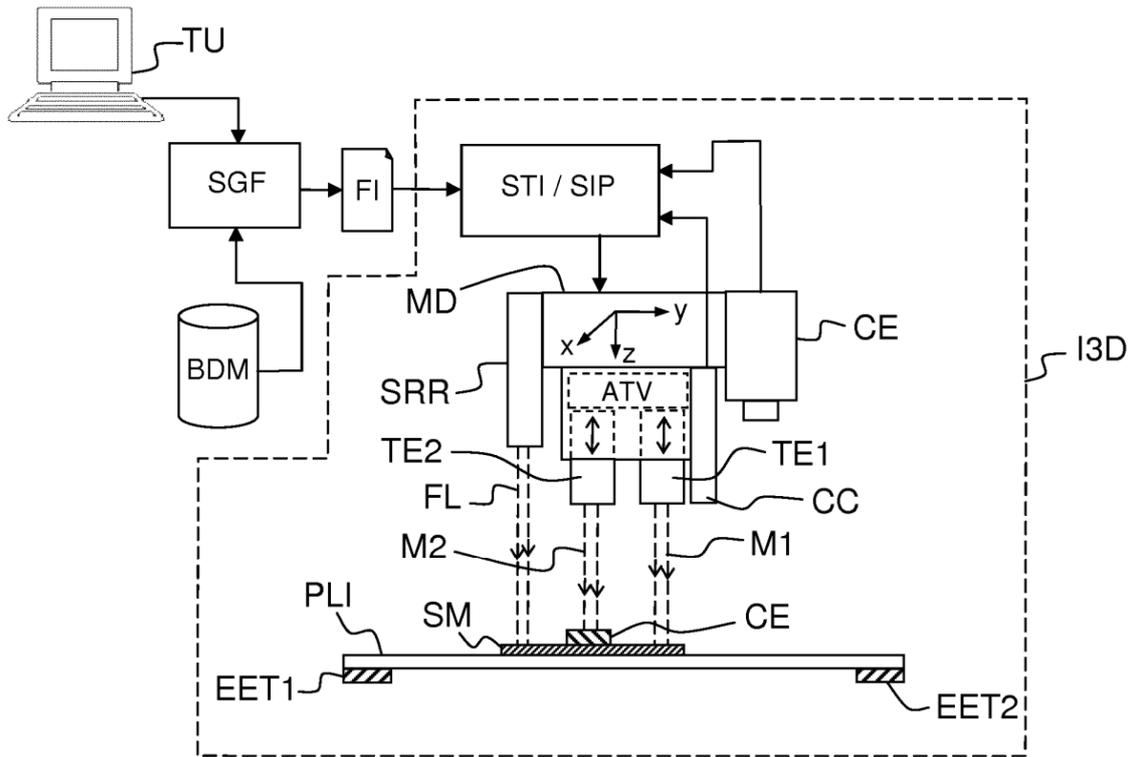


FIG.1

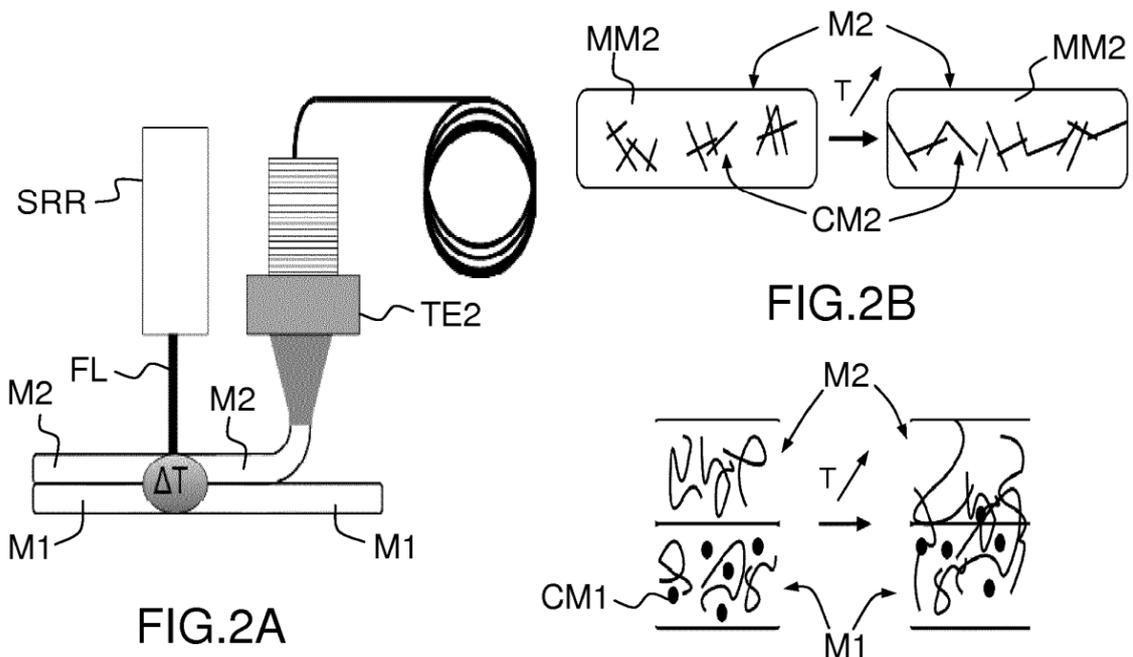


FIG.2A

FIG.2B

FIG.2C

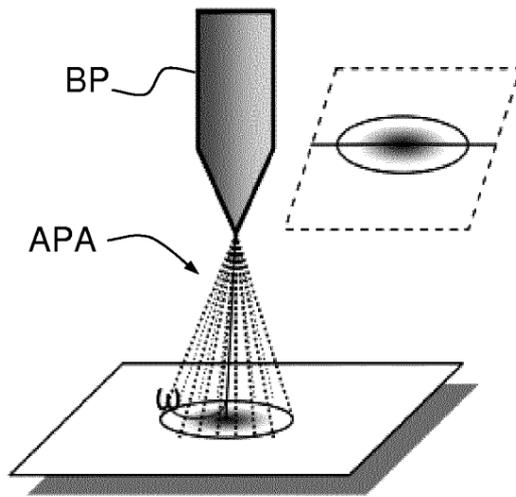


FIG.3

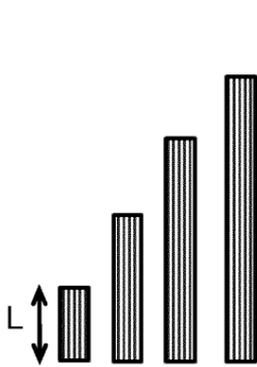


FIG.4A

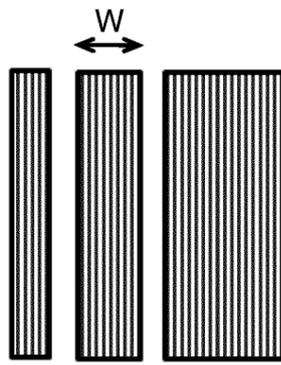


FIG.4B

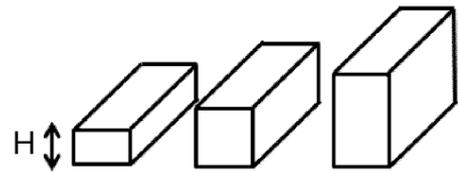


FIG.4C

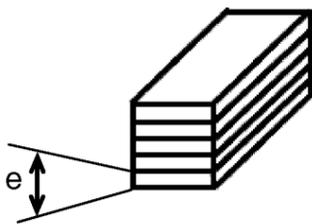


FIG.4D

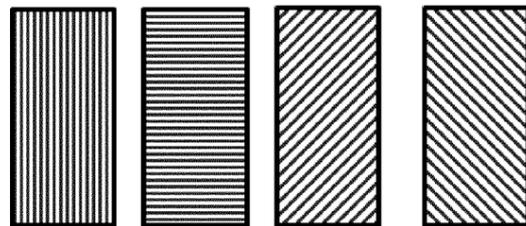


FIG.4E

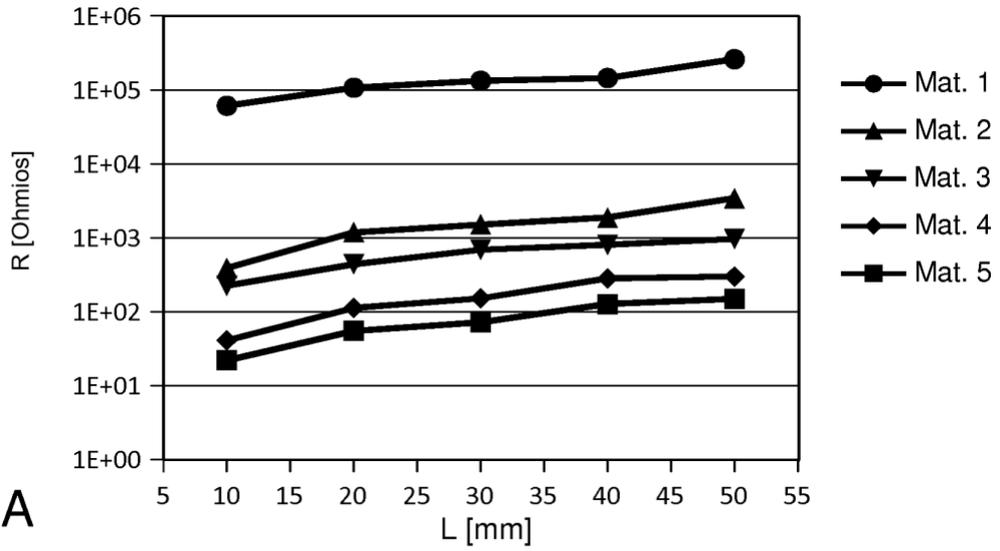


FIG.5A

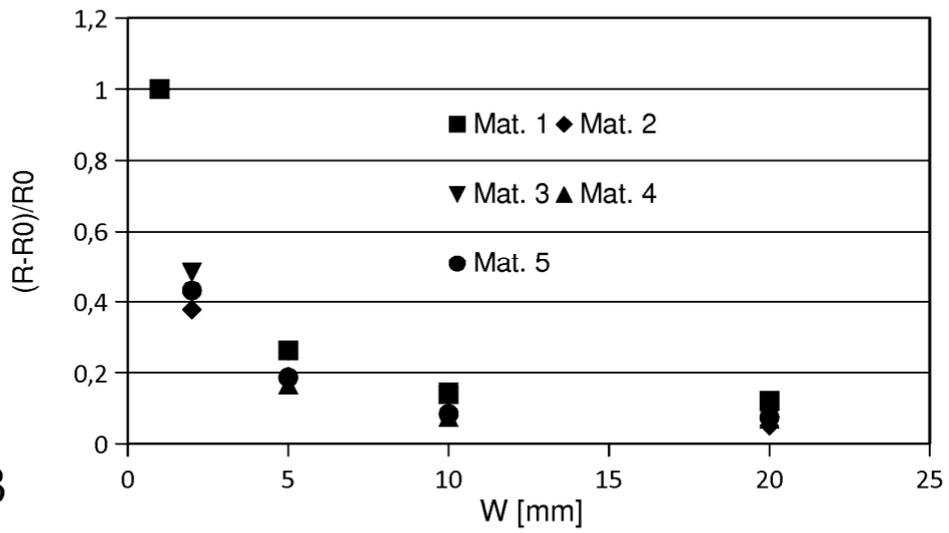


FIG.5B

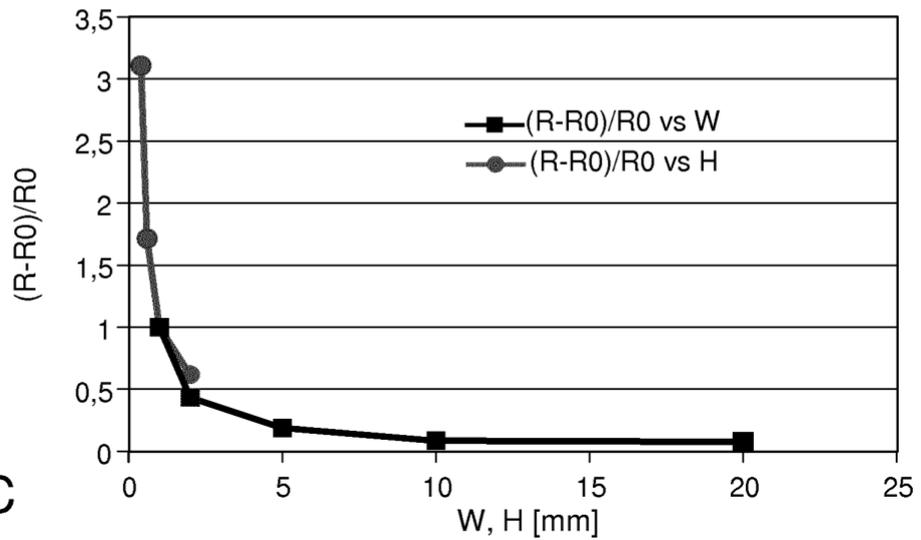


FIG.5C



FIG. 6A

ET1

ET2

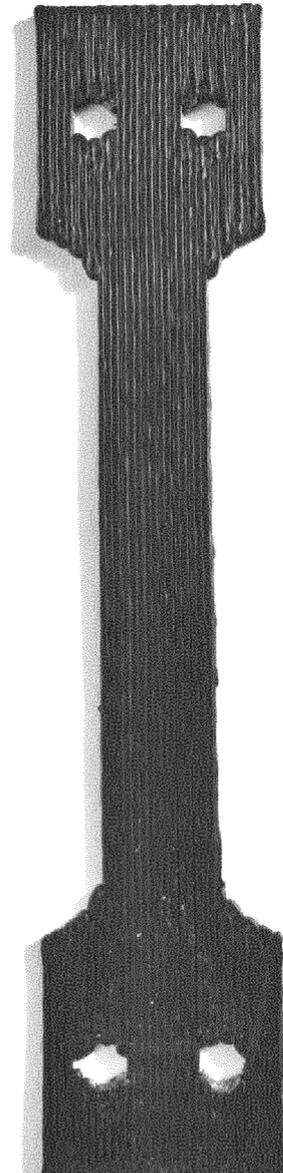


FIG. 6B

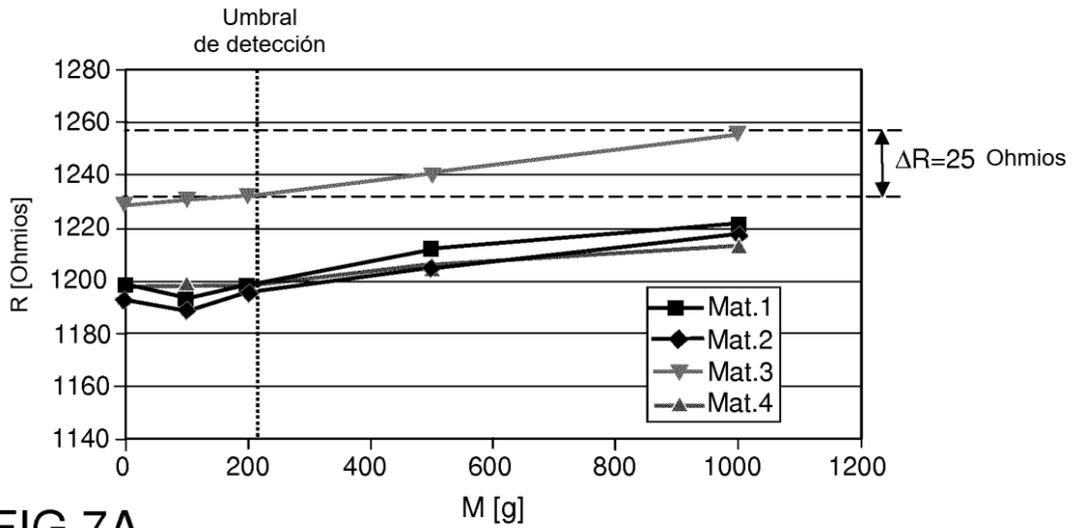


FIG.7A

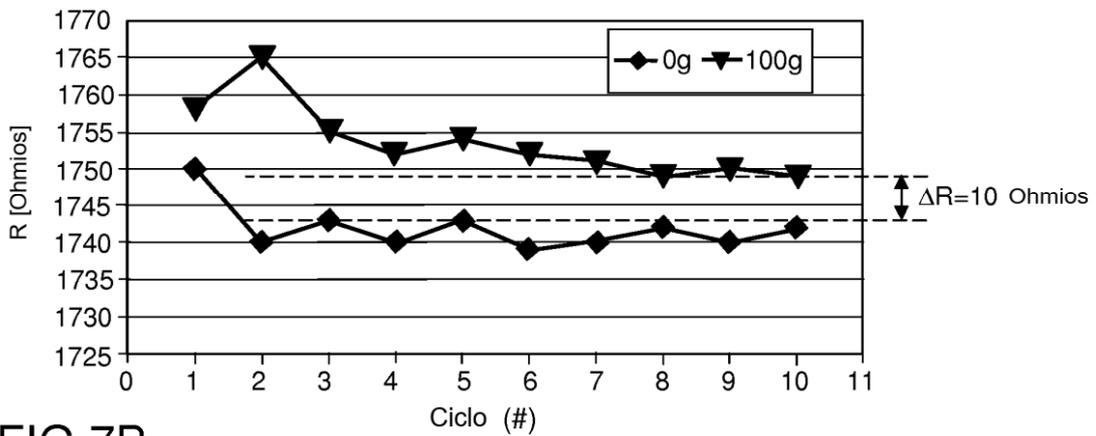


FIG.7B

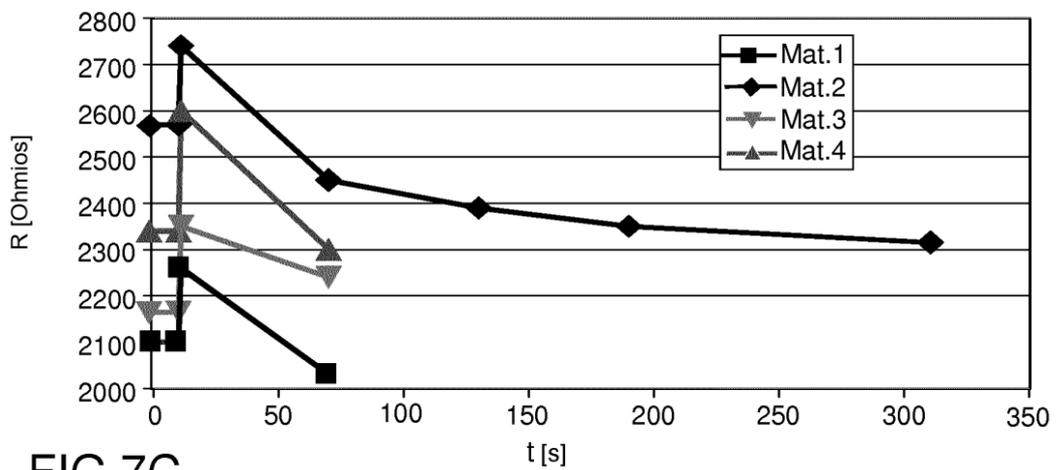


FIG.7C

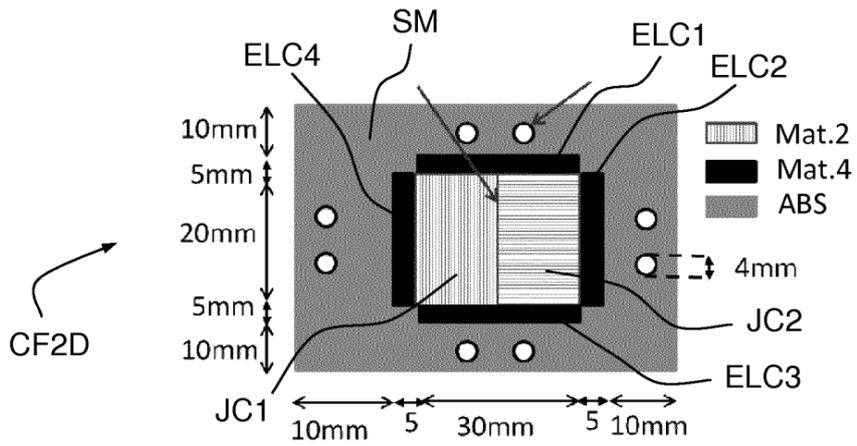


FIG. 8

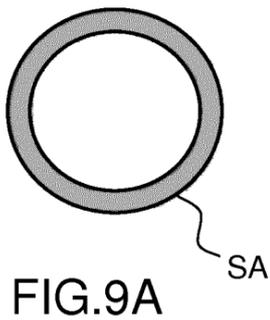


FIG. 9A

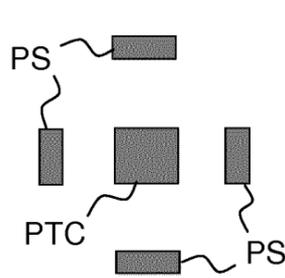


FIG. 9B

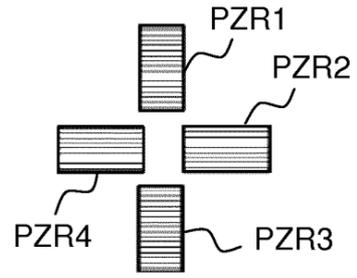


FIG. 9C

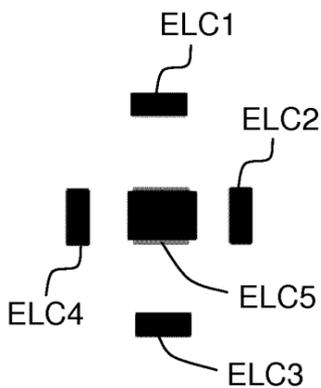


FIG. 9D

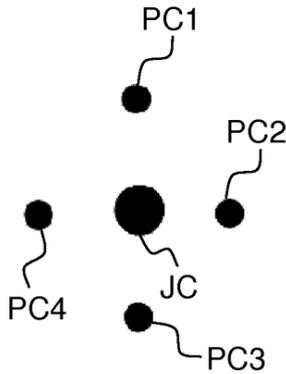


FIG. 9E

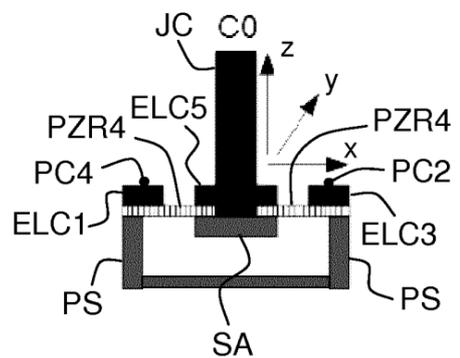


FIG. 9F

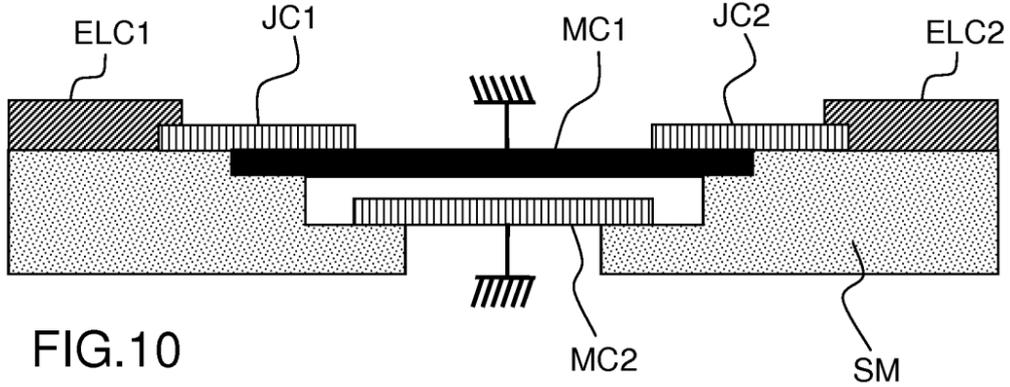


FIG.10

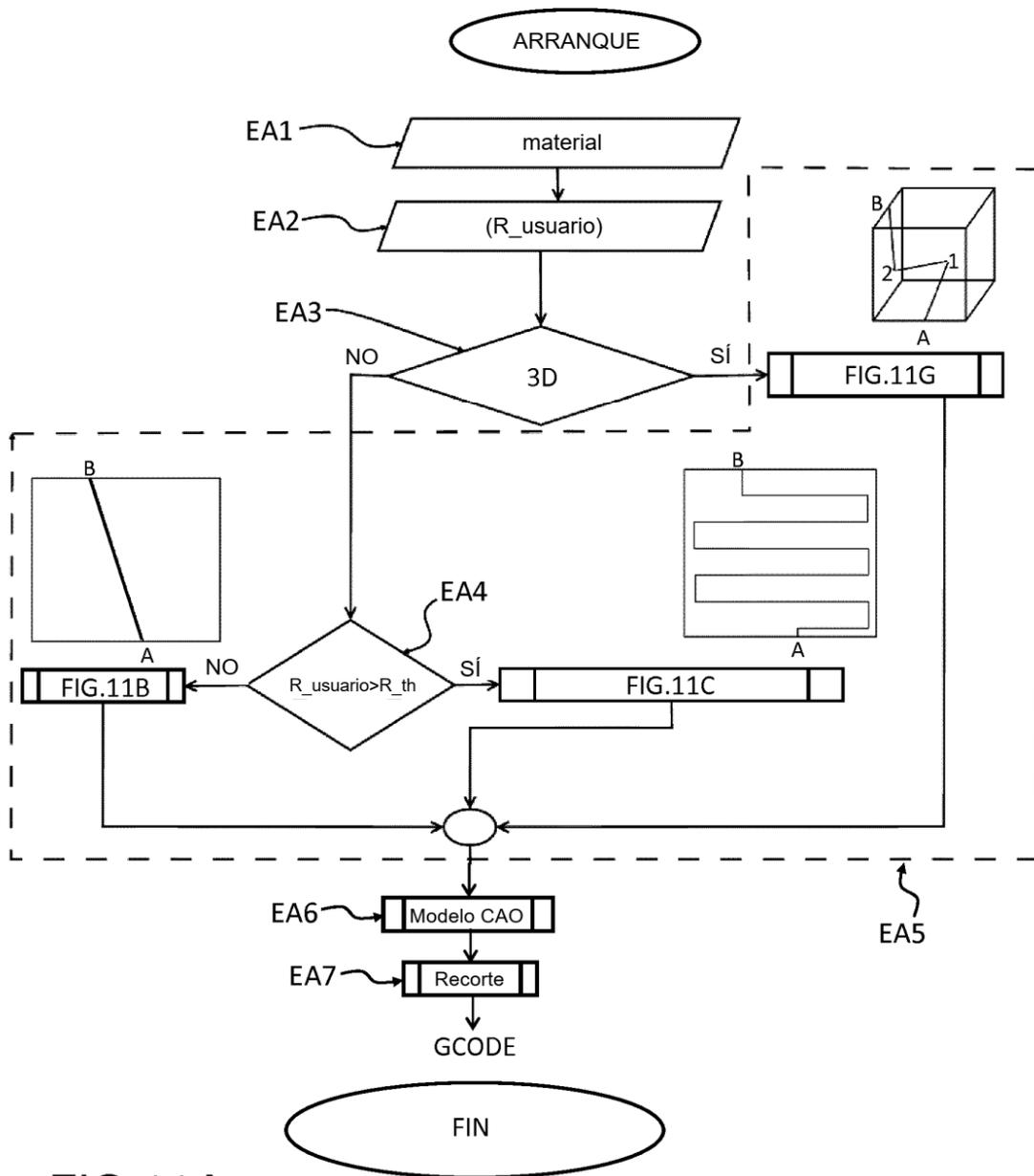


FIG.11A

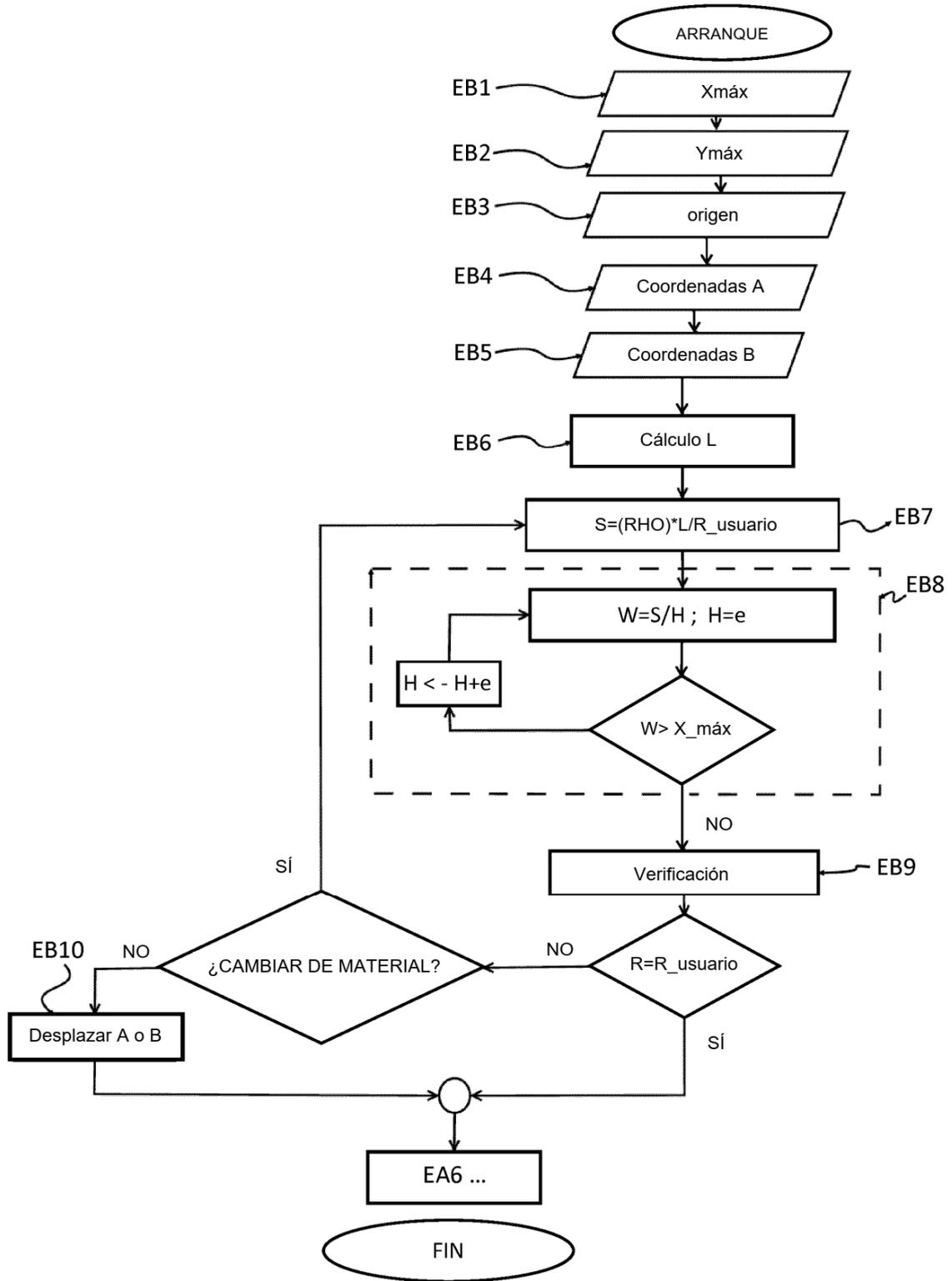


FIG.11B

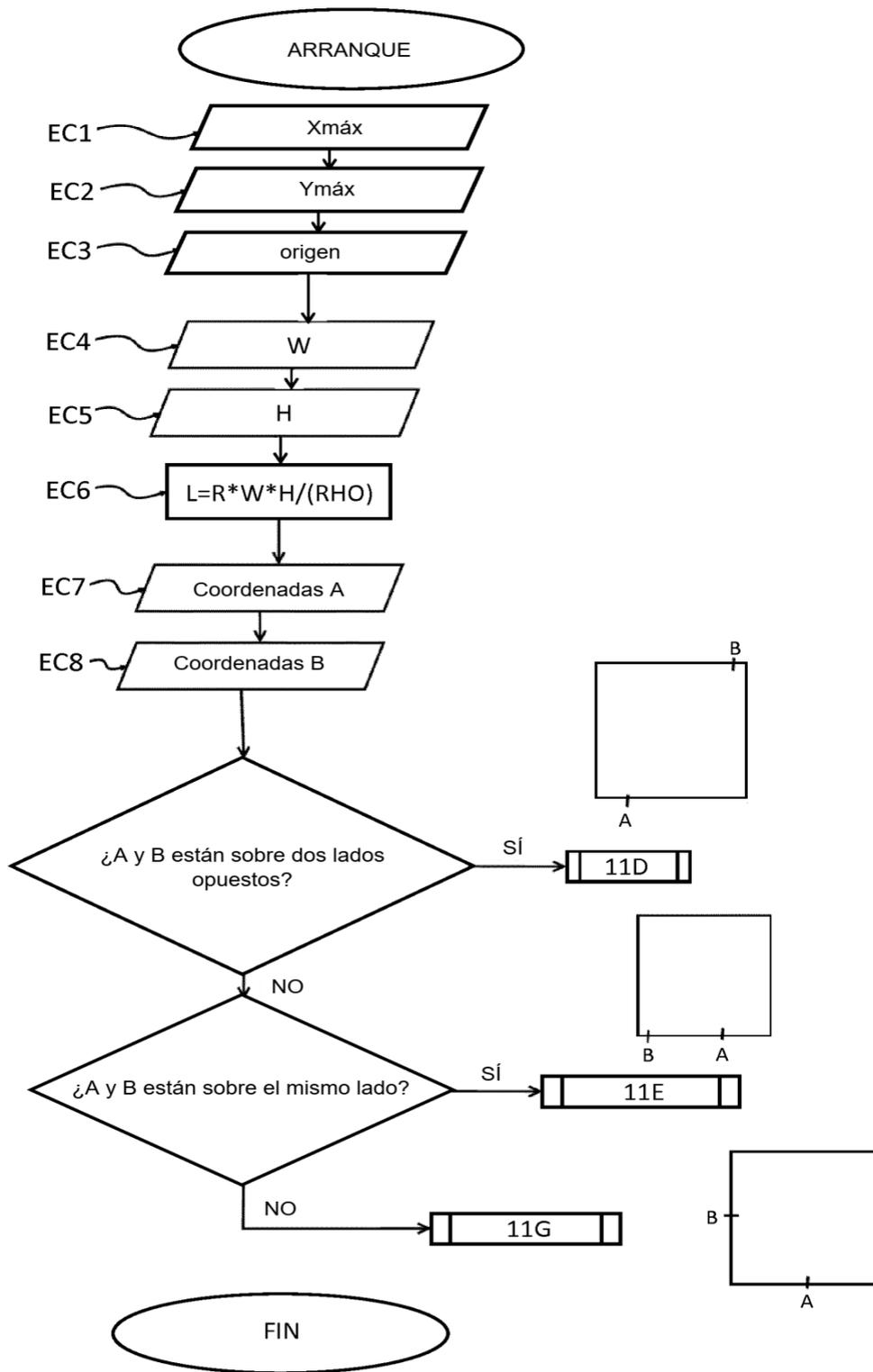


FIG.11C

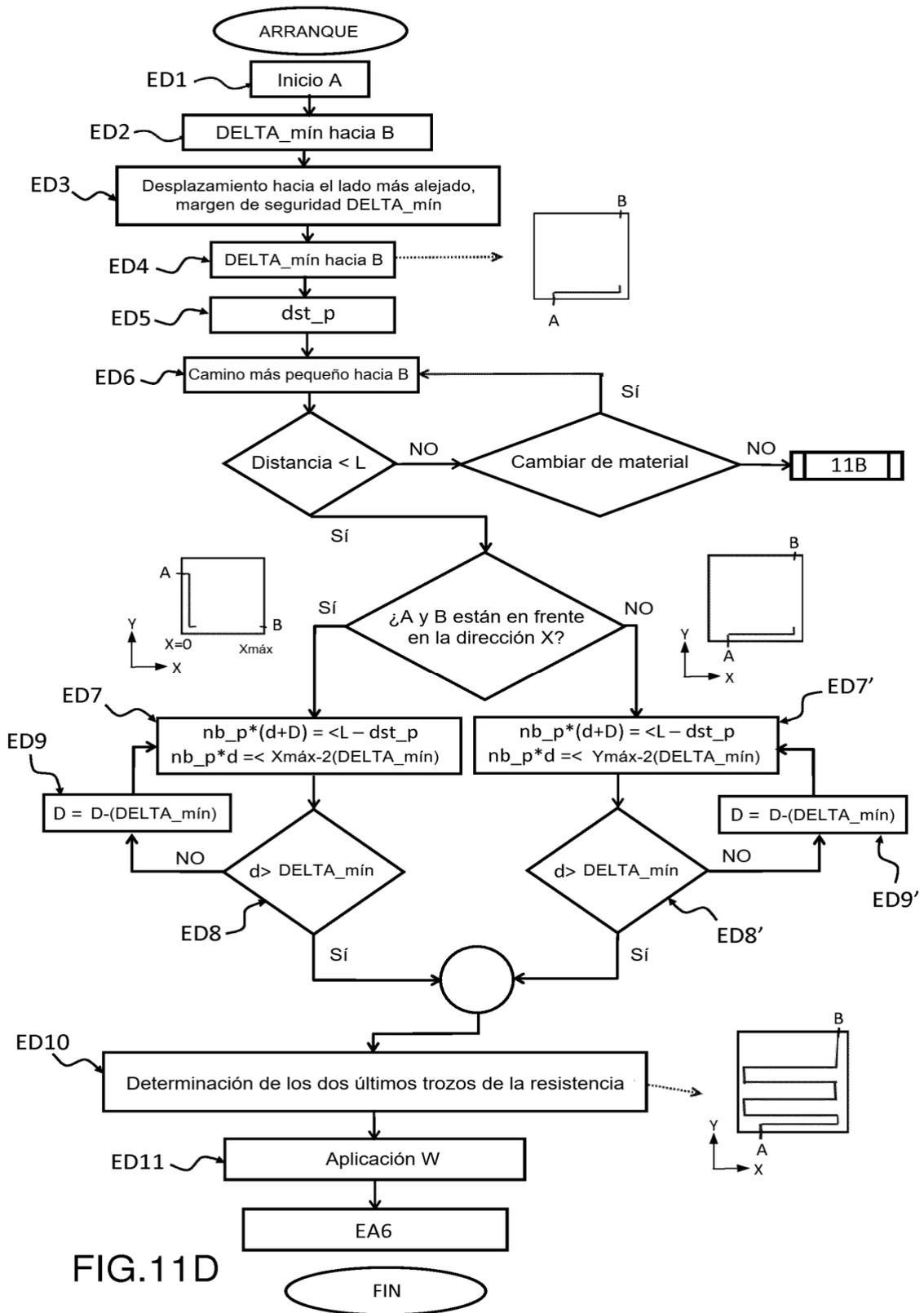


FIG.11D

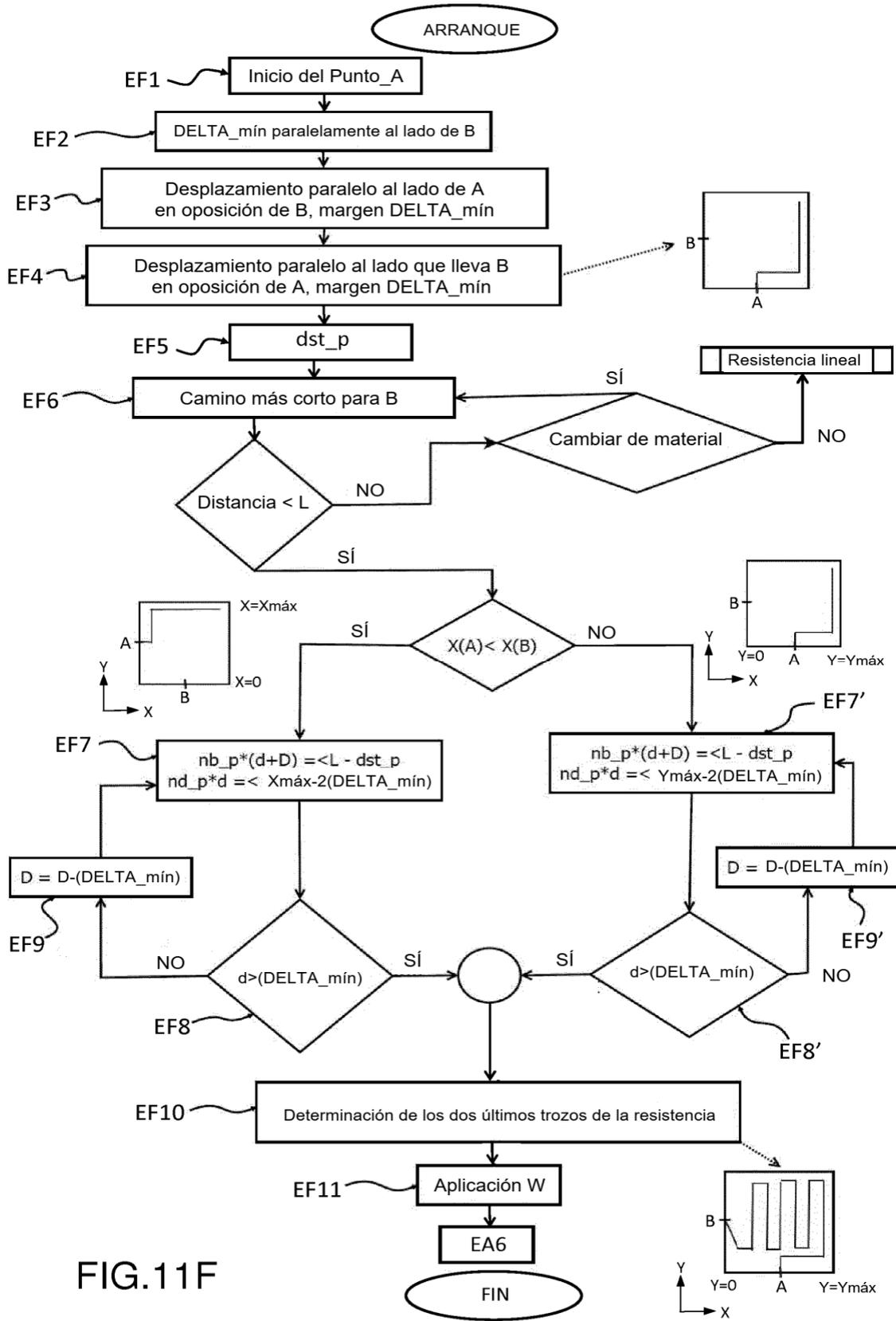


FIG.11F

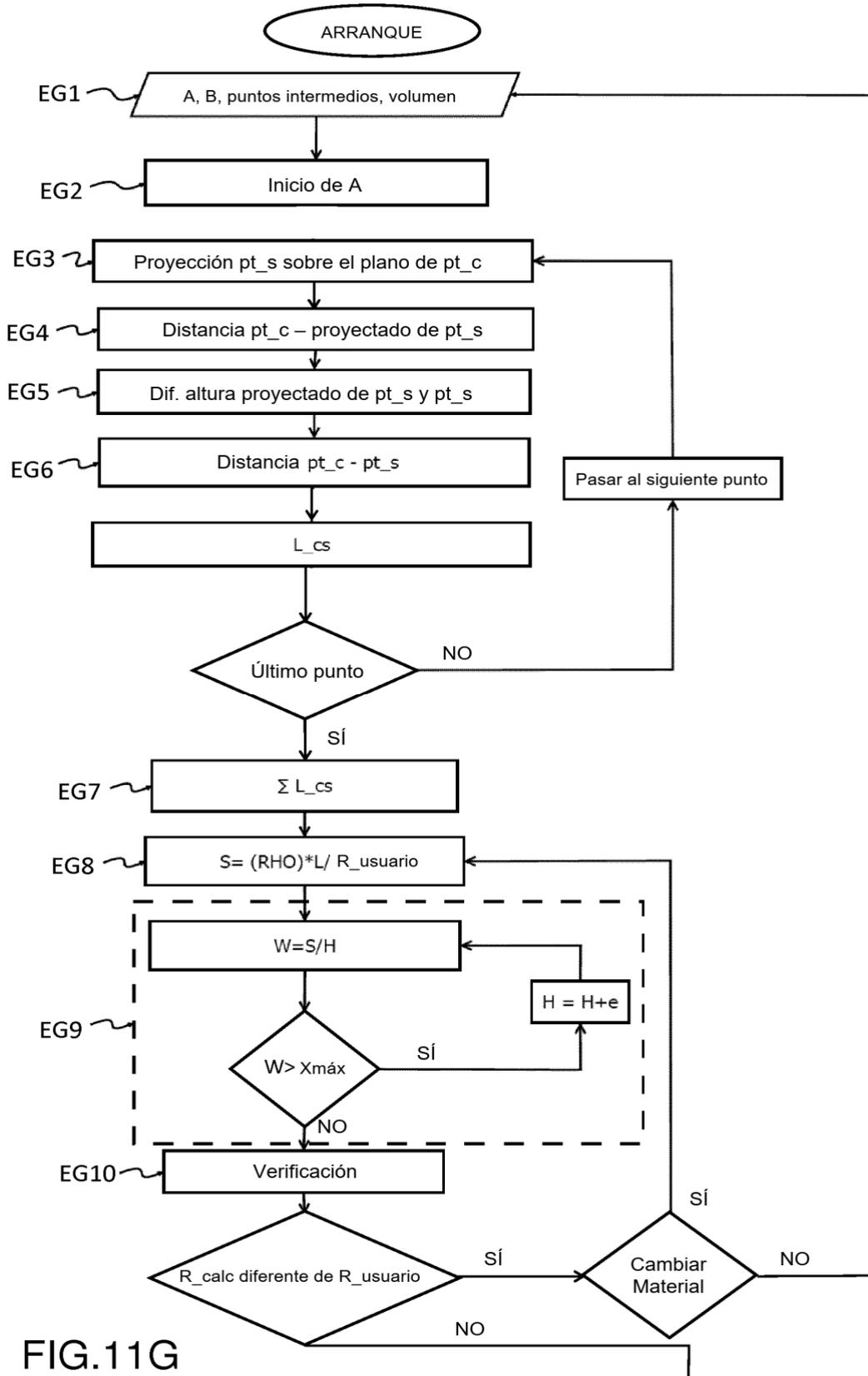


FIG.11G

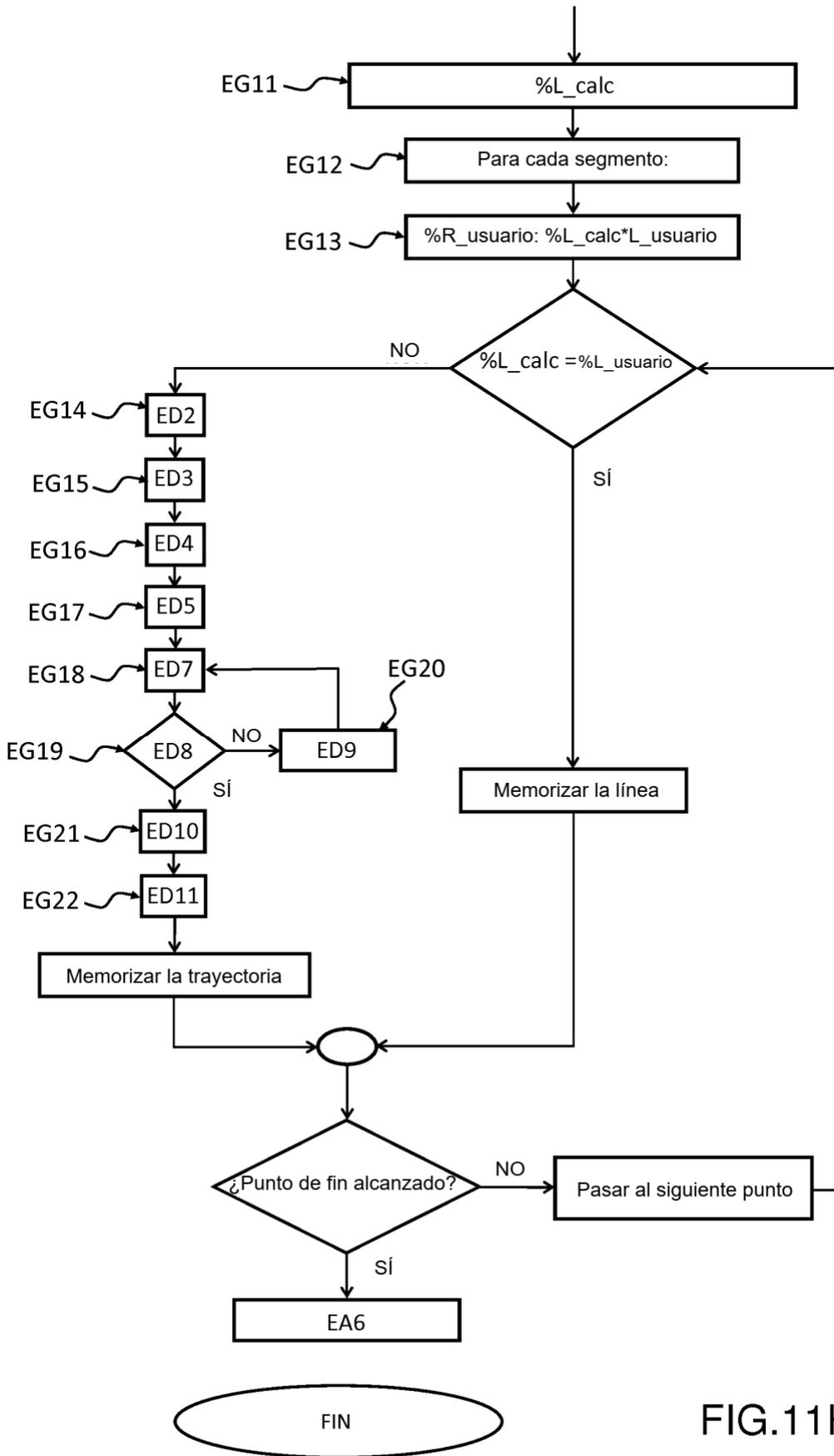


FIG.11H

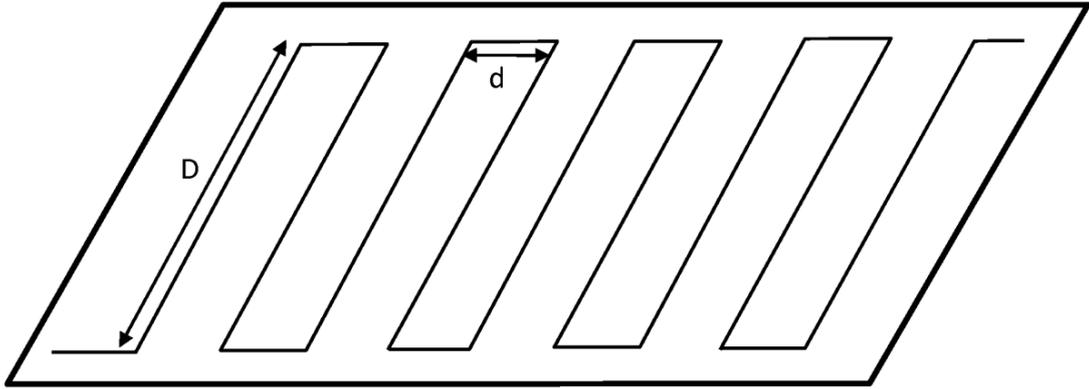


FIG.12A

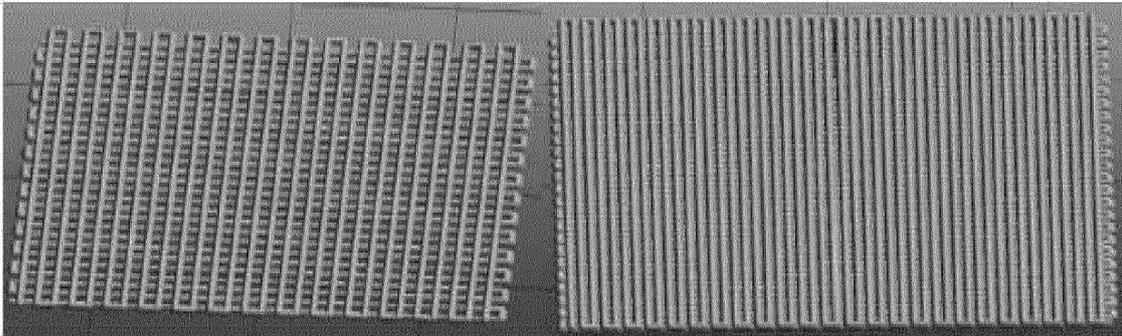


FIG.12B

FIG.12C

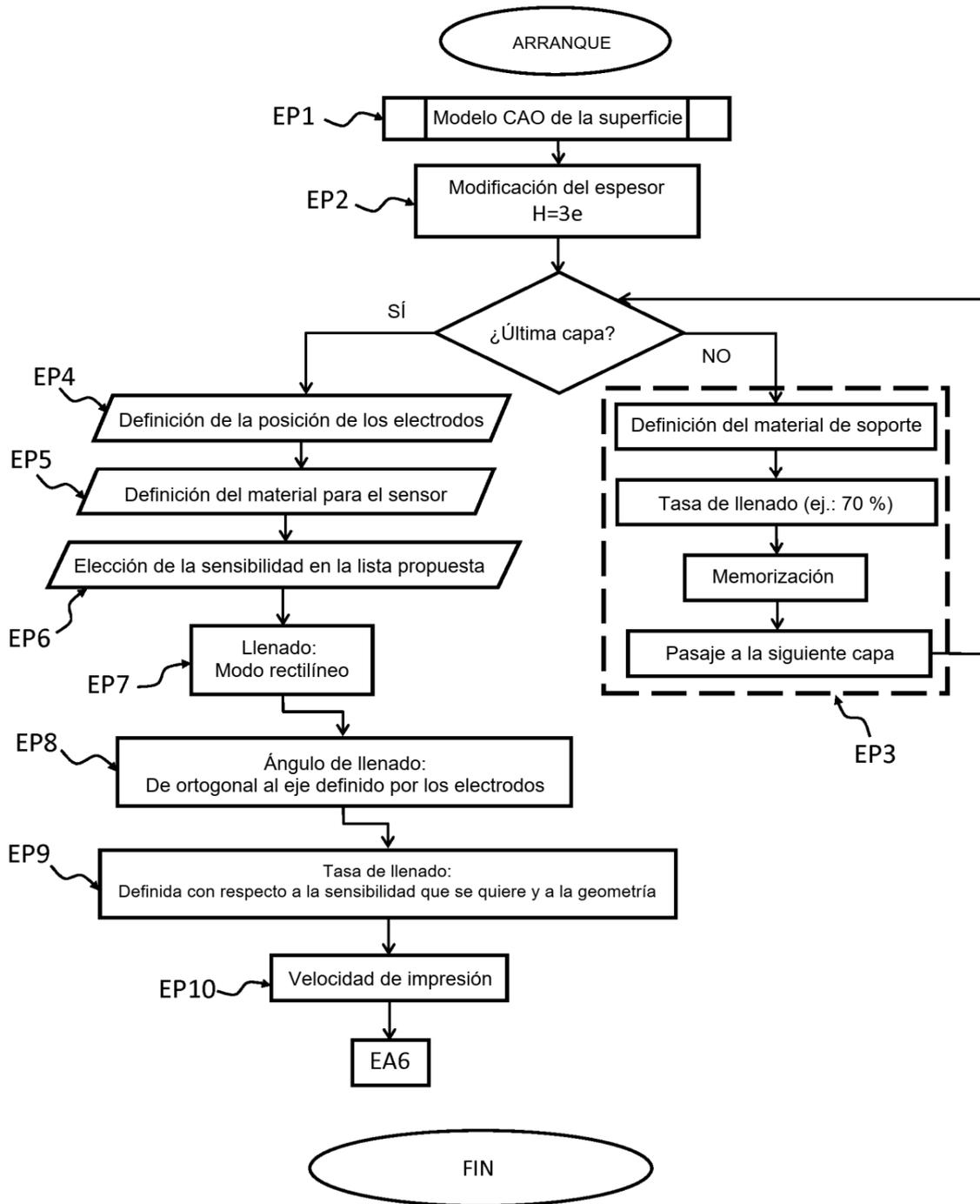


FIG.13