

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 252**

51 Int. Cl.:

B29C 64/112	(2007.01)
G06F 17/50	(2006.01)
A61F 2/02	(2006.01)
A61C 13/00	(2006.01)
A61F 2/30	(2006.01)
A61B 5/055	(2006.01)
B29L 31/00	(2006.01)
B33Y 80/00	(2015.01)
B33Y 50/00	(2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.11.2012 PCT/IB2012/056462**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.05.2013 WO13072874**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2012 E 12813472 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018 EP 2780154**

54 Título: **Sistema y método para fabricar un modelo de una parte del cuerpo usando fabricación aditiva con múltiples materiales**

30 Prioridad:

17.11.2011 US 201161560822 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.06.2018

73 Titular/es:

**STRATASYS LTD. (100.0%)
1 Holtzman Street, Science Park, P.O. Box 2496
7612401 Rehovot, IL**

72 Inventor/es:

**DIKOVSKY, DANIEL y
SHTILERMAN, STANISLAV**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 671 252 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

Sistema y método para fabricar un modelo de una parte del cuerpo usando fabricación aditiva con múltiples materiales

5

Campo de la invención

La presente invención, en algunas realizaciones de la misma, se refiere a fabricación aditiva (FA) con múltiples materiales y, más particularmente, pero no exclusivamente, a la reconstrucción física basada en tomografía de un objeto, tal como una parte del cuerpo, con FA con múltiples materiales.

10

Antecedentes de la invención

Se sabe que los métodos de FA se usan para fabricar modelos de objetos tridimensionales, incluidos los órganos biológicos. La FA o fabricación de sólidos de forma libre (SFF) es una tecnología que permite la fabricación de estructuras con formas arbitrarias directamente a partir de datos informáticos mediante etapas de formación aditiva. La operación básica de cualquier sistema de SFF consiste en dividir un modelo informático tridimensional en secciones transversales finas, traducir el resultado a datos de posición bidimensionales y alimentar los datos a un equipo de control que fabrica una estructura tridimensional por capas.

15

20

Métodos para usar datos de tomografía, por ejemplo, también se conocen los datos proporcionados por un escáner de tomografía computarizada (TC) o una máquina de imagenología por resonancia magnética (IRM) para reconstruir físicamente un órgano biológico por FA. Los datos de tomografía normalmente incluyen datos de imagen en escala de grises de secciones transversales del órgano biológico escaneado. Normalmente, los datos de tomografía se proporcionan en un formato de archivo de imagenología digital y comunicaciones en medicina (DICOM)

25

En métodos conocidos de reconstrucción física, se usa un sistema de diseño asistido por ordenador (CAD) para convertir y/o traducir el archivo DICOM a un modelo informático tridimensional en forma de un archivo de estereolitografía (STL) que puede leerse mediante dispositivos de FA. Los archivos de STL solo describen la geometría de la superficie de un objeto tridimensional sin ninguna representación de posibles variaciones en el color, la textura y/o las propiedades mecánicas dentro del volumen del objeto tridimensional. Dado que las variaciones dentro del volumen no se pueden representar con un archivo de STL, gran parte de la información incluida en el archivo DICOM se pierde durante la traducción.

30

35

La patente de Estados Unidos N.º 5.768.134 titulada "Method for making a perfected medical model on the basis of digital image information of a part of the body" describe un método para añadir un elemento de función artificial a un modelo de una parte del cuerpo basado en información de imagen digital, por ejemplo, en una imagen de TC antes de la segmentación. Tal como se describe en el presente documento, el elemento de función artificial que se añade está en función de la información de imagen digital en la forma en que todos los datos médicos son visibles antes de segmentar los datos de imagen correspondientes a la parte del cuerpo del resto de la imagen. Se describe, a modo de ejemplo, que un elemento de función, tal como una abertura que indica el lugar y la dirección para la perforación, se puede añadir en función de la información de la imagen que muestra elementos adicionales que rodean a la parte del cuerpo. También se describe que la información externa proveniente del usuario médico puede añadirse a la información de la imagen y el elemento funcional artificial también puede estar en función de esta información externa adicional.

40

45

La publicación de patente de Estados Unidos N.º 20100191360 titulada "Solid freeform fabrication using a plurality of modeling materials," cedida al cesionario común, describe, entre otras cosas, un sistema y método para fabricar objetos usando dos o más materiales de modelización en diferentes combinaciones predeterminadas, en las que las combinaciones se producen dispensando diferentes materiales de modelización desde diferentes cabezales de dispensado. Los diferentes materiales de modelización se pueden dispensar en diferentes ubicaciones dentro de una capa o se pueden dispensar en la misma ubicación o en ubicaciones adyacentes para permitir la formación de un material compuesto.

50

También se describe un método para definir estructuras de materiales compuestos sin la necesidad de un software de CAD estándar para diseñar la estructura tridimensional completa. El método descrito incluye realizar una comparación booleana entre mapas de bits que representan la estructura de material compuesto deseada y mapas de bits producidos por archivos de STL que representan el objeto tridimensional. Se afirma que, eliminando la necesidad de un software de CAD estándar para crear una representación de mapa de bits de la estructura de material compuesto deseada, se ahorra el tiempo que se requeriría para el proceso de diseño, así como los recursos de memoria del ordenador que normalmente serían necesarios para diseñar estructuras tridimensionales y para el análisis de dicha estructura tridimensional durante el proceso de construcción.

55

60

Se describe además que los dos o más materiales de construcción y/o modelización pueden incluir un material no solidificable que permanece en forma líquida, de gel, de pasta u otra forma no sólida o semisólida. Opcionalmente, un segundo material solidificable puede rodear completamente o contener al material no solidificable durante la

65

fabricación, de modo que el material no solidificable pueda permanecer dentro del objeto, o como alternativa ser drenado, quemado o eliminado de otro modo una vez que el proceso se haya completado. De esta manera, se describe que se puede proporcionar un modelo hueco o poroso. El documento WO 2005/057436 A1 desvela un método y un aparato para la ingeniería de tejidos asistida por ordenador para la modelización, el diseño y la fabricación de forma libre de armazones, construcciones y dispositivos tisulares. El documento "Tunable Digital Material Properties for 3D voxel printers", de J. Hiller y H. Lipson, 10-09-2003, explora las propiedades del material que alcanzables mediante el proceso de fabricación de formas libres basado en vóxeles.

Sumario de la invención

De acuerdo con un aspecto de algunas realizaciones de la presente divulgación, se proporciona un sistema y un método para traducir datos de tomografía de una parte del cuerpo a una imagen de mapa de bits imprimible que representa combinaciones de materiales de modelización que pueden usarse para reconstruir físicamente la parte del cuerpo mediante FA con múltiples materiales. De acuerdo con algunas realizaciones de la presente divulgación, se define una relación entre los datos de tomografía y las propiedades mecánicas del tejido que compone la parte del cuerpo. En algunas realizaciones ejemplares, las combinaciones de materiales de modelización para reconstruir la parte del cuerpo están definidas para imitar las diferentes propiedades mecánicas según lo representado mediante los datos de tomografía. Opcionalmente, la combinación de materiales de modelización incluye una o más estructuras predefinidas diseñadas para mejorar la representación de una o más de una propiedad física y/o mecánica de la parte del cuerpo.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método para reconstruir físicamente una parte del cuerpo usando fabricación aditiva con múltiples materiales, de una manera, de acuerdo con la reivindicación 1. De acuerdo con la presente invención, el método incluye definir una relación entre valores de vóxel en la matriz de vóxeles y propiedades físicas diana para reconstruir la parte del cuerpo; definir una relación entre combinaciones de materiales de modelización y sus propiedades físicas; y definir una relación entre los valores de vóxel y la combinación de materiales en respuesta a la relación definida entre los valores de vóxel y las propiedades físicas diana y la relación definida entre las combinaciones de materiales de modelización y sus propiedades físicas.

Opcionalmente, la relación es definida por una o más tablas de consulta.

Opcionalmente, las combinaciones de materiales de modelización se seleccionan para imitar propiedades mecánicas de la parte del cuerpo vóxel por vóxel.

Opcionalmente, los datos de imagen en las matrices de vóxeles se traducen a una matriz de materiales digitales, cada material digital formado con una combinación de al menos dos materiales de modelización, la combinación definida por una proporción entre los al menos dos materiales de modelización.

Opcionalmente, los datos de imagen en las matrices de vóxeles se traducen a una matriz de materiales digitales, cada material digital definido como un patrón de vóxeles del material de modelización, el patrón formado con al menos dos materiales de modelización diferentes.

Opcionalmente, cada uno de los materiales digitales en la matriz de materiales digitales está definido con un número predefinido de vóxeles del material de modelización.

Opcionalmente, el número predefinido se selecciona entre un intervalo entre 10-1000 vóxeles del material de modelización.

Opcionalmente, materiales digitales diferentes en la matriz de materiales digitales están definidos para tener propiedades mecánicas diferentes.

Opcionalmente, materiales digitales diferentes están definidos para tener propiedades elásticas diferentes.

Opcionalmente, los materiales digitales diferentes están definidos para tener un módulo de elasticidad que varía entre 0,01 MPa y 3 GPa.

Opcionalmente, el material digital está formado a partir de un volumen de líquido o de gel rodeado por un material más rígido.

Opcionalmente, los datos de imagen son recibidos desde uno o más de un escáner de TC, un dispositivo de IRM y de ultrasonidos.

Opcionalmente, los datos de imagen son recibidos desde un escáner de TC y en los que las combinaciones de materiales de modelización están definidas para simular una matriz de densidades representadas por números de TC obtenidos del escáner de TC.

Opcionalmente, el método usa uno o más materiales aditivos para alterar un aspecto físico de una fracción de los materiales de modelización en la matriz.

5 Opcionalmente, el material aditivo se selecciona entre un grupo que incluye: colorantes metálicos, iones, cerámicas y biomoléculas.

Opcionalmente, el material aditivo se aplica en respuesta a una entrada del usuario.

10 Opcionalmente, el método incluye recibir una entrada de un usuario; y ajustar las combinaciones de los materiales de modelización para reconstruir la parte del cuerpo basándose en la entrada del usuario.

15 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema para reconstruir físicamente una parte del cuerpo usando fabricación aditiva con múltiples materiales de acuerdo con la reivindicación 12. De acuerdo con la invención, el procesador es operativo para definir una relación entre valores de vóxel en la matriz de vóxeles y propiedades físicas diana para reconstruir la parte del cuerpo, para definir una relación entre combinaciones de materiales de modelización y sus propiedades físicas, y para definir una relación entre los valores de vóxel y la combinación de materiales en respuesta a la relación definida entre los valores de vóxel y las propiedades físicas diana y la relación definida entre las combinaciones de materiales de modelización y sus propiedades físicas.

20 Opcionalmente, el sistema comprende una unidad de memoria para almacenar al menos una tabla de consulta, base de datos o ecuación operativa para definir una relación entre valores de vóxel en la matriz de vóxeles y propiedades mecánicas de la parte del cuerpo.

25 Opcionalmente, el sistema comprende una unidad de memoria para almacenar al menos una tabla de consulta, base de datos o ecuación operativa para definir una relación entre valores de vóxel en la matriz de vóxeles y combinaciones de material de modelización que imitan una propiedad mecánica de la parte del cuerpo.

30 Opcionalmente, la unidad de procesamiento es operativa para seleccionar combinaciones de materiales de modelización que imitan propiedades mecánicas de la parte del cuerpo vóxel por vóxel.

Opcionalmente, la unidad de procesamiento es operativa para traducir los datos de imagen en las matrices de vóxeles a una matriz de materiales digitales, cada material digital formado con una combinación de al menos dos materiales de modelización, la combinación definida por una proporción entre los al menos dos materiales de modelización.

35 Opcionalmente, cada uno de los materiales digitales en la matriz está definido con un número predefinido de vóxeles del material de modelización.

40 Opcionalmente, el número predefinido se selecciona entre un intervalo entre 10-1000 vóxeles del material de modelización.

Opcionalmente, materiales digitales diferentes en la matriz están definidos para tener propiedades mecánicas diferentes.

45 Opcionalmente, el material digital está formado a partir de un volumen de líquido o de gel rodeado por un material más rígido.

Opcionalmente, el material digital está definido para tener un tamaño unitario de macrovóxel submilimétrico.

50 Opcionalmente, los datos de imagen son recibidos desde uno o más dispositivos de imagenología seleccionados de un grupo que incluye un escáner de TC, un dispositivo de IRM y de ultrasonidos.

Opcionalmente, las imágenes de mapa de bits imprimibles incluyen datos para añadir uno o más materiales adicionales a las combinaciones de materiales de modelización.

55 Opcionalmente, el material adicional se selecciona entre un grupo que incluye: colorantes metálicos, iones, cerámicas y biomoléculas.

60 A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y/o científicos usados en el presente documento tienen el mismo significado que entiende comúnmente un experto en la materia a la que pertenece la invención. Aunque los métodos y materiales similares o equivalentes a los descritos en este documento pueden usarse en la puesta en práctica o a prueba de las realizaciones de la invención, los métodos y/o materiales ejemplares se describen a continuación. En caso de conflicto, la memoria descriptiva de patente, incluidas las definiciones, prevalecerá. Además, los materiales, métodos y ejemplos son solo ilustrativos y no pretenden ser necesariamente limitantes.

65

Breve descripción de los dibujos

5 Algunas realizaciones de la invención se describen en el presente documento, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos adjuntos. Con referencia específica a continuación a los dibujos en detalle, se destaca que los detalles mostrados son a modo de ejemplo y para fines de una descripción ilustrativa de las realizaciones de la invención. A este respecto, la descripción tomada con los dibujos hace evidente para los expertos en la materia cómo pueden ponerse en práctica las realizaciones de la invención.

En los dibujos:

10 La figura 1 es un diagrama de bloques simplificado de un sistema ejemplar para fabricar una parte del cuerpo usando FA con múltiples materiales de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención;
 La figura 2 es un diagrama de flujo simplificado de un método ejemplar para fabricar una parte del cuerpo usando FA con múltiples materiales de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención;
 15 La figura 3 es una sección ejemplar de datos de imagen obtenidos con un escáner de TC que puede usarse para fabricar un modelo de una parte del cuerpo de una columna vertebral con FA con múltiples materiales, de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención;
 Las figuras 4A, 4B, 4C, 4D y 4E son representaciones ilustrativas ejemplares de diferentes patrones de material digital de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención;
 20 Las figuras 5A, 5B y 5C son estructuras de material digital compartimentales ejemplares donde un material líquido está rodeado por el material similar al caucho;
 Las figuras 6A y 6B son gráficos ejemplares de curvas de calibración para producir un material digital con un material blando y un material rígido de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención; y
 25 Las figuras 7A y 7B muestran una reconstrucción ejemplar de una mano usando un método de FA conocido (figura 7A) y usando un método de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención (figura 7B).

Descripción de realizaciones específicas de la invención

30 La presente invención, en algunas realizaciones de la misma, se refiere a FA con múltiples materiales y, más particularmente, pero no exclusivamente, reconstrucción física basada en tomografía de un objeto tal como una parte del cuerpo con FA con múltiples materiales.

35 En métodos conocidos para fabricar un modelo físico de un órgano del cuerpo basado en tomografía y/o datos de imagen, normalmente se usa un enfoque de umbral en los datos de imagen para identificar y/o diferenciar entre diferentes tejidos, por ejemplo, tejido muscular y tejido óseo de los que se adquieren imágenes. Una vez identificados, los contornos de cada uno de los tejidos identificados se definen y se usan para construir un modelo computarizado tridimensional de cada uno de los tejidos que se modelizarán usando un archivo basado en un polígono y/o un archivo de STL. Durante este proceso, los datos de imagen que muestran variaciones dentro de los tejidos y/o cambios graduales en la interfaz entre los tejidos se pierden y/o se descartan. El archivo de STL se usa
 40 generalmente para producir el modelo como un conjunto de los tejidos identificados. Aunque basándose en este enfoque cada uno de los diferentes tejidos puede construirse con una composición de material diferente, no hay información disponible para imitar variaciones en las propiedades, por ejemplo, dentro de un único tejido y/o en una interfaz entre tejidos.

45 Los inventores de la presente invención han descubierto que la sensación y el aspecto mecánico de los modelos de partes del cuerpo se pueden replicar o reconstruir mejor aplicando más de los datos de tomografía para reconstruir y/o replicar adicionalmente transiciones y variaciones graduales que se producen de forma natural en el cuerpo. Los inventores de la presente invención también han descubierto que las propiedades mecánicas de una parte del cuerpo se pueden replicar en un modelo correlacionando datos de tomografía, por ejemplo números de TC con propiedades mecánicas conocidas de la parte del cuerpo y a continuación definiendo combinaciones de diferentes materiales a nivel de vóxel que pueden replicar las propiedades mecánicas designadas.
 50

De acuerdo con un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema y un método para reconstruir físicamente una parte del cuerpo con FA con múltiples materiales donde una composición de material y/o un aspecto físico de un modelo de una parte del cuerpo se determinan y pueden alterarse vóxel por vóxel. Normalmente, los datos de imagen tridimensionales por ejemplo datos de tomografía, por ejemplo obtenidos de un dispositivo de imagenología médica tal como un escáner de TC, dispositivo de imagenología por resonancia magnética (IRM), exploración por ultrasonido y óptica, se construyen a partir de una matriz de vóxeles o una pluralidad de secciones, incluyendo cada sección una matriz de vóxeles bidimensional. El tipo de información proporcionada por los datos de vóxel depende del dispositivo de imagenología del que se obtiene, por ejemplo, los escáneres de TC proporcionan información sobre densidad y la IRM proporciona información sobre la concentración de átomos de H. De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, la información de vóxel obtenida de uno o más dispositivos de imagenología se relaciona con y/o se asocia a las propiedades mecánicas de los tejidos. En alguna realización ejemplar, la información de vóxel está relacionada con una rigidez y/o distensibilidad de un tejido. Normalmente, una relación entre datos de vóxel de tomografía y la propiedad mecánica se determina
 55
 60
 65

basándose en datos experimentales y/o propiedades mecánicas conocidas de los tejidos, por ejemplo propiedades mecánicas conocidas de huesos y ligamentos.

De acuerdo con algunas disposiciones de la presente invención, los datos de vóxel de tomografía son usados por el dispositivo de FA con múltiples materiales sin requerir un sistema de CAD para construir primero un modelo computarizado de la parte del cuerpo, por ejemplo un archivo de STL. En algunas realizaciones ejemplares, se crea un archivo de trama para cada sección de datos de imagen y se usa como entrada para el dispositivo FA con múltiples materiales en lugar del o de los archivos de STL. De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, los diferentes valores de vóxel dentro de una sección de los datos de tomografía se traducen a diferentes composiciones de material durante el proceso de FA. Normalmente, cada vóxel de los datos de imagen se traduce a un macrovóxel compuesto por una pluralidad de vóxeles de impresión, por ejemplo, 10-1000 vóxeles o 300 vóxeles de material de construcción. Los inventores de la presente invención han descubierto que, modificando la composición del material en función de los cambios en los valores de vóxel de tomografía, se puede replicar una representación física más natural de los diferentes tejidos, incluidas las transiciones suaves entre diferentes tipos de tejidos.

Los inventores de la presente invención han descubierto también que una traducción trama-trama es más rápida, más eficiente desde el punto de vista computacional y requiere menos herramientas de software, porque no hay necesidad de ir de la trama a la malla y luego de vuelta a la trama, como se hace con el enfoque STL.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, se puede añadir información adicional para producir un archivo de FA en forma de un archivo de trama, para incluir información de color, tipo de órgano y/u otra información insertada manualmente, por ejemplo proporcionada por un médico y/u otro usuario. Opcionalmente, los niveles de color y transparencia de las diferentes regiones de partes del cuerpo se pueden controlar de forma independiente para proporcionar una simulación óptica precisa del aspecto del órgano vivo. Opcionalmente, los datos de imagen de uno o más dispositivos de imagenología se pueden combinar para crear los archivos de trama usados como entrada en el dispositivo de FA con múltiples materiales.

Opcionalmente, se puede usar un algoritmo automático o asistido por el ser humano para añadir datos para reconstruir una o más características que pueden faltar en los datos de tomografía, por ejemplo, debido a una resolución insuficiente del escaneo. Por ejemplo, el epitelio y el endotelio generalmente están ausentes en las tomografías computarizadas debido a sus pequeñas dimensiones. Sin embargo, sus ubicaciones se pueden definir como un límite externo y/o interno del órgano y se pueden añadir datos para reconstruir el epitelio y el endotelio. Opcionalmente, se puede usar un algoritmo automático o asistido por el ser humano para añadir datos adicionales que pueden mejorar el aspecto y/o la sensación mecánica y/o la estabilidad del modelo. Opcionalmente, los datos adicionales pueden definir un color para un tejido, órgano o región específico. En otro ejemplo, los tejidos conectivos se pueden identificar automáticamente, específicamente en regiones donde se conectan diferentes tejidos (por ejemplo, hueso y tejido blando). Opcionalmente, dichas regiones se pueden fabricar usando material de gel o similar a gel por ejemplo, material de soporte para permitir una mejor separación entre los tejidos, por ejemplo, cuando sirve como dispositivo para formación quirúrgica u otros fines educativos.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, el dispositivo de FA con múltiples materiales funciona con al menos dos materiales, por ejemplo un material distensible y un material rígido. Opcionalmente, se usan una o más tablas de consulta para relacionar los datos de imagen con datos en los archivos de trama que definen la composición del material basándose en los datos de imagen. Opcionalmente una relación entre datos de imagen y composición del material se define con una o más tablas de consulta y/o una o más funciones definidas, por ejemplo basándose en datos experimentales o basándose en bibliografía. Opcionalmente, una relación entre datos de imagen y composición del material se define manualmente después de relacionar experimentalmente uno o más valores de datos de imagen, por ejemplo números de TC con propiedades materiales.

Opcionalmente, el dispositivo de FA con múltiples materiales puede usar materiales adicionales, incluyendo materiales que permanecen en estado líquido durante todo el proceso de FA, permitiendo dicho material líquido la correcta reproducción de tejido extremadamente blando y/o fluidos corporales, tales como la sangre o la linfa. Los materiales empleados pueden ser opacos o transparentes, y/o tener un color específico dependiendo de la aplicación deseada. Además, el dispositivo de FA puede usar materiales teñidos y/o transparentes adicionales para ajustar el aspecto de las diferentes regiones del órgano sintético.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, se usa una impresora de FA con múltiples materiales, por ejemplo el sistema Connex™ de Objet Ltd., Israel, para fabricar un modelo de una parte del cuerpo usando dos materiales que tienen diferentes propiedades mecánicas y diferentes aspectos, por ejemplo un material rígido que es opaco y un material distensible que es transparente. En algunas realizaciones ejemplares, se fabrica un modelo de una parte del cuerpo con un material opaco rígido usado para representar material denso tal como el descubierto en el hueso y un material transparente distensible para representar tejidos blandos y/o fluidos. Normalmente, se pueden usar dos o más materiales de modelización para diseñar diversos materiales digitales con un espectro de propiedades, por ejemplo, que varía entre hueso rígido y tejidos blandos fluidos.

A continuación se hace referencia a la figura 1 que muestra un diagrama de bloques simplificado de un sistema ejemplar y a la figura 2 que muestra un diagrama de flujo simplificado de un método ejemplar, ambos para fabricar una parte del cuerpo usando un dispositivo de FA con múltiples materiales de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención. De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, un sistema 100 recibe datos de imagen tridimensionales de la parte del cuerpo desde el dispositivo de imagenología 110, por ejemplo un escáner de TC, IRM, escáner de ultrasonidos u óptico (bloque 210, figura 2). Normalmente, los datos de imagen se forman a partir de una pluralidad de imágenes bidimensionales, representando cada imagen una sección de la parte del cuerpo. Normalmente, cada sección de datos de imagen es una matriz de vóxeles bidimensional que tiene valores relacionados con una característica estructural y/o material del tejido corporal, por ejemplo densidad del tejido. Normalmente, los diferentes valores de vóxel proporcionan contraste para obtener imágenes de diferentes tejidos del cuerpo, pero los vóxeles también se pueden usar para determinar propiedades materiales y/o físicas de la parte del cuerpo en cada ubicación de vóxel tridimensional.

Opcionalmente, la unidad de procesamiento 125 del sistema 100 segmenta datos de imagen correspondientes a la parte del cuerpo a modelizar a partir de las imágenes capturadas (bloque 215, figura 2). Normalmente, la unidad de procesamiento 125 está asociada con y/o es parte de un controlador 1250 del sistema 100. Como alternativa, la segmentación puede ser realizada por el dispositivo de imagenología 110. Opcionalmente, la unidad de procesamiento 125 realiza el procesamiento posterior de la imagen para mejorar aún más una o más características de la imagen, por ejemplo, imagen tridimensional y/o secciones de imagen individuales. Opcionalmente, los datos de imagen se obtienen a partir de una pluralidad de diferentes dispositivos de imagenología 110 y la unidad de procesamiento 125 combina los datos de imagen de los diferentes dispositivos de imagenología. Opcionalmente, la entrada desde una pluralidad de diferentes dispositivos de imagenología se usa para mejorar aún más el contraste entre los diferentes tejidos blandos del cuerpo. Opcionalmente, el procesamiento posterior se realiza para suavizar las diferencias en los datos de imagen a lo largo de una unión entre diferentes secciones de imagen.

Opcionalmente, además de los datos de imagen recibidos por la unidad de procesamiento, un usuario puede proporcionar información adicional con el dispositivo de entrada del usuario 115. Opcionalmente, un usuario selecciona un color y/o un nivel de transparencia para un tejido y/u órgano identificado de la parte del cuerpo. Opcionalmente, un usuario puede añadir una característica distintiva para diferenciar entre los tejidos que tienen valores de vóxel de imagen similares. Opcionalmente, un usuario emplea selectivamente un software capaz de operar en 3D para visionar y/o proporcionar información. Opcionalmente, un usuario proporciona entrada marcando las imágenes visualizadas por la unidad de procesamiento y los datos de imagen recibidos por la unidad de procesamiento incorporan la entrada del usuario.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, una o más tablas de consulta y/o ecuaciones o funciones 120 son usadas por la unidad de procesamiento 125 para convertir los valores de vóxel originales, por ejemplo valores de escala de grises de los datos de imagen en datos de material para imprimir el modelo de la parte del cuerpo (bloque 225, figura 2). En algunas realizaciones ejemplares de la presente invención, cada vóxel de los datos de imagen se fabrica en el modelo de la parte del cuerpo con una pluralidad de vóxeles de material o materiales de construcción, por ejemplo, 10-1000 vóxeles de material de construcción, y/o 300 vóxeles de materiales de construcción. Tal como se usa en el presente documento, el material digital es un material formado a partir de un número predefinido de vóxeles de diferentes materiales de construcción que se depositan de manera contigua y se solidifican opcionalmente durante el proceso de construcción de FA para formar un tercer material (es decir, un material digital). Las diferentes propiedades de cada material permiten obtener combinaciones con múltiples materiales que tienen una gama de propiedades entre las propiedades de cada uno de los materiales originales como resultado de su combinación espacial y la proporción de su combinación. Opcionalmente, el material digital se forma sobre una pluralidad de capas de impresión. Opcionalmente, se usan combinaciones de materiales digitales predefinidas en lugar de mezclas pseudoaleatorias. En tal caso, cada región que tiene un mismo valor de vóxel de imagen se sustituye por un mapa de bits de una composición predefinida que está vinculada a ese valor de vóxel en una tabla de consulta. Opcionalmente, cuando la resolución de los datos del vóxel de imagen es mayor que el vóxel del material de construcción, se puede usar un enfoque diferente, por ejemplo, se puede usar el método de interpolación por propagación de errores.

Opcionalmente, un material de soporte puede tomar parte en la composición del material digital. El material digital se describe con más detalle a continuación en el presente documento, por ejemplo en referencia a las figuras 4A-4E. Opcionalmente, las propiedades del material digital se definen para que se asemejen mucho a las propiedades materiales y/o físicas del tejido del que se obtiene una imagen. Normalmente, las variaciones en las propiedades materiales del modelo se pueden variar vóxel por vóxel alterando los constituyentes y/o las proporciones de los constituyentes del material digital. Normalmente, una o más tablas de consulta y/o ecuaciones 120 se almacenan en una unidad de memoria 1200 del sistema 100. Opcionalmente, la tabla de consulta es una base de datos, por ejemplo, una base de datos de materiales de construcción. Opcionalmente, cuando los datos de imagen están en forma de una escala de grises, la tabla de consulta proporciona una relación entre los valores de la escala de grises y la composición del material. Por ejemplo, un nivel de gris de 128 puede corresponder opcionalmente a un 30 % de material distensible y un 70 % de material rígido.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, se crea un archivo de trama (130) que incluye un mapa de bits de los datos de material digital para cada sección de datos de imagen y se transmiten al dispositivo de FA con múltiples materiales 140 (bloque 230, figura 2) basándose en el cual el modelo se imprime una capa cada vez (bloque 240, figura 2). Normalmente, una sección de datos de imagen es replicada con una pluralidad de capas impresas, por ejemplo 5-20 capas de impresión. Normalmente, una pluralidad de archivos de trama, por ejemplo uno para cada sección de datos de imagen, es transmitida al dispositivo de FA con múltiples materiales para imprimir el modelo completo de la parte del cuerpo 150.

De acuerdo con alguna realización de la presente invención, el dispositivo de FA con múltiples materiales 140 está equipado con al menos dos materiales de construcción, cada uno con diferentes propiedades mecánicas, por ejemplo el material de construcción 142 y el material de construcción 144 que pueden dispensarse en diferentes proporciones y/o patrones para simular un espectro de propiedades mecánicas que se pueden usar para replicar variaciones en propiedades de la parte del cuerpo. Opcionalmente, el dispositivo de FA con múltiples materiales 140 está equipado con material adicional, por ejemplo el material 146 que se puede usar independientemente del material de construcción 142 y 144 para simular el color, por ejemplo un tinte y/o niveles de transparencia de diferentes regiones en la parte del cuerpo, o mejorar otras características físicas de la parte del cuerpo. Opcionalmente, los materiales aditivos se usan para simular la distribución espacial de los agentes de contraste usados durante la imagenología médica. Los materiales adicionales pueden incluir, por ejemplo, metales, iones, cerámicas, biomoléculas y otras sustancias activas.

A continuación se hace referencia a la figura 3 que muestra una sección ejemplar de datos de imagen obtenidos con un escáner de TC que pueden usarse para fabricar un modelo de una parte del cuerpo de una columna vertebral con FA con múltiples materiales de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención. De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, un modelo de una columna vertebral (o una fracción de una columna vertebral) se forma a partir de imágenes obtenidas a partir de una o más secciones de imagen de TC 320 capturadas a partir de una persona. Normalmente, las imágenes de TC incluyen regiones más brillantes 321 reflejadas desde material hiperdenso y regiones más oscuras 323 reflejadas desde estructuras hipodensas, por ejemplo, tejidos blandos o material líquido definido por una matriz bidimensional de números de TC.

Opcionalmente, el número de TC puede correlacionarse con el módulo de Young de la región correspondiente del tejido escaneado y un modelo de la columna vertebral, tal como se visualiza en imágenes, puede fabricarse combinando un material de construcción rígido y/o firme y un material de construcción distensible, por ejemplo flexible y/o elástico en diferentes proporciones. Opcionalmente, las regiones más brillantes 321 se modelizan con un alto porcentaje de material de construcción rígido y/o firme, mientras que las regiones más oscuras 323 se modelizan con un alto porcentaje de material de construcción distensible y/o elástico. Normalmente, una proporción entre los dos o más materiales de construcción usados para modelizar cada vóxel se define mediante el número de TC de un vóxel y mediante las propiedades mecánicas conocidas del material más rígido y el más distensible de los que se formaron imágenes. Opcionalmente, la rigidez del material rígido se selecciona para ser similar o mayor que la rigidez del tejido más rígido a simular y la rigidez del material de construcción distensible se selecciona para estar cerca de o por debajo de la rigidez del material más distensible. Modificando las proporciones entre los dos o más materiales de construcción, se puede simular un amplio espectro de propiedades mecánicas.

Opcionalmente, se pueden usarse materiales adicionales que permanecen en estado líquido durante todo el proceso de FA para simular las regiones más oscuras. Opcionalmente, el material líquido se usa para simular tejido muy blando y/o fluidos corporales, tales como sangre o linfa. Los materiales de construcción usados pueden ser opacos o transparentes, y/o tener un color específico dependiendo de la aplicación deseada. Además, el sistema de FA puede usar materiales adicionales coloreados y/o transparentes para ajustar el aspecto de las diferentes regiones del modelo.

Opcionalmente, se pueden formar regiones de gel dentro de un modelo para simular las propiedades de los tejidos blandos o las propiedades de las superficies endoteliales, por ejemplo, el tejido epitelial que cubre las superficies de los órganos. Opcionalmente, se puede usar una resina endurecible por UV hidrófila para formar material hidrófilo. Opcionalmente, tras la inmersión en una solución acuosa, el material absorberá agua y se hinchará para formar un gel liso y suave que puede imitar algunos de los tejidos blandos naturales del cuerpo, por ejemplo, el tejido del epitelio.

A continuación se hace referencia a las figuras 4A, 4B, 4C, 4D y 4E que muestran representaciones ilustrativas ejemplares de diferentes patrones de material de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención. De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, un material digital es un material que está formado con pequeños volúmenes, por ejemplo, gotas de diferentes materiales de construcción 410 y 420 que se depositan simultáneamente y opcionalmente se solidifican durante un proceso de construcción por FA. Los materiales digitales se pueden formar en dimensiones de celdas unitarias o macrovóxeles. La celda unitaria y/o macrovóxel se define en el presente documento como el volumen más pequeño de material digital que tiene las propiedades de material definidas del material digital. Opcionalmente, el tamaño unitario del macrovóxel corresponde al tamaño unitario representado por un vóxel de datos de imagen.

Normalmente, los diferentes materiales de construcción tienen diferentes propiedades mecánicas, por ejemplo rigidez, flexibilidad, densidad, color, transparencia, absorción de agua (%), absorción de disolvente (%), fracción líquida no polimerizada, fracción de nanopartículas. Opcionalmente y/o adicionalmente, se forma un material digital dispensando diferentes materiales de construcción sobre una pluralidad de diferentes capas. En algunas realizaciones ejemplares, las propiedades mecánicas de un material digital se establecen definiendo una proporción entre los diferentes materiales de construcción usados para formar el material digital. En algunas realizaciones ejemplares, se define que un material digital tiene un tamaño unitario de un macrovóxel milimétrico o submilimétrico y cada macrovóxel contiene decenas o cientos de gotas dispensadas de material de construcción, por ejemplo, 10-1000 microvóxeles.

En algunas realizaciones ejemplares, el patrón espacial y/o geométrico en el que se dispensan los constituyentes puede variar de acuerdo con las propiedades mecánicas y/o físicas deseadas. Normalmente, el patrón espacial de dicho depósito puede ser aleatorio o pseudoaleatorio (figura 4D), pero en algunos casos puede desearse un patrón estructurado (figura 4C y 4E). Opcionalmente, un único material de construcción, por ejemplo, un único material de construcción 410 (figura 4A) o un único material de construcción 420 (figura 4B) puede usarse en solitario para replicar un nivel alto o más alto de una propiedad dada.

En algunas realizaciones ejemplares, se forma un modelo de una parte del cuerpo con un material firme y/o rígido RGD535™, RGD525™, FullCure®720, todos disponibles de Objet Ltd., Israel y/o material distensible TangoPlus™, TangoBlackPlus™, TangoBlack™, TangoGrey™, todos disponibles de Objet Ltd., Israel. Opcionalmente, la rigidez del material rígido se selecciona como un material que tiene una rigidez que es similar a o mayor que la rigidez del tejido más rígido a simular y la rigidez del material distensible o flexible se selecciona como un material que es similar a o menor que la del tejido menos rígido a simular. Normalmente, el módulo de elasticidad de los tejidos corporales varía entre aproximadamente 0,01 MPa y aproximadamente 3 GPa. Los inventores de la presente invención han descubierto que el comportamiento o las características mecánicas de la mayoría de los órganos y/o partes del cuerpo pueden simularse cuando se fabrica el modelo con un material que tiene un módulo de elasticidad de los tejidos corporales de aproximadamente 0,01 MPa y otro material con un módulo de elasticidad de los tejidos corporales que varía entre aproximadamente 3 GPa.

Opcionalmente, no se requiere que el material digital se forme usando un patrón predefinido de material de modelización. Por el contrario, el material digital puede definirse mediante una proporción entre dos o más materiales de modelización, por ejemplo, los materiales originales que se mezclarán pseudoaleatoriamente a nivel de vóxel de impresión. Este caso normalmente requiere recursos informáticos significativamente más pequeños, ya que los vóxeles de impresión se pueden asignar sobre la marcha dispensando aleatoriamente los vóxeles de acuerdo con la proporción de mezcla requerida. Otra ventaja de la mezcla pseudoaleatoria es que la dispensación puede tener lugar por secciones sin requerir un búfer Z para referenciar el patrón en secciones alternas.

A continuación se hace referencia a las figuras 5A, 5B y 5C que muestran estructuras de material digital compartimentales ejemplares donde un material líquido está rodeado por el material similar al caucho. En algunas realizaciones, una celda unitaria de material digital se define como compartimento; un volumen de líquido o de gel rodeado por un material más rígido. Se pueden definir diferentes celdas unitarias compartimentales para producir diferentes comportamientos mecánicos. En algunas realizaciones ejemplares, se usa un gel muy blando, por ejemplo, que tiene un módulo de compresión por debajo de 0,1 MPa, materiales líquidos y/o no solidificantes 510 para simular tejidos blandos, tejidos conjuntivos, vasos sanguíneos y otros órganos del cuerpo que contienen una fracción alta de líquidos. Los inventores de la presente invención han descubierto que la fuga de materiales líquidos puede producirse durante o después de la fabricación del objeto en 3D. En algunas realizaciones ejemplares, la fuga se evita fabricando estructuras compartimentales milimétricas o submilimétricas, donde cada fracción del material líquido o de gel blando está rodeada o encapsulada por otro material sólido, material de construcción similar al caucho o material digital, por ejemplo polietilenglicol 400 (PEG400), rodeado por un material similar al caucho TangoPlus.

En algunas realizaciones ejemplares, la rigidez de una estructura de material digital compartimental se controla controlando la proporción global de caucho/líquido, el tamaño de compartimento, el grosor de la pared, la rigidez del material similar al caucho, la introducción de filamentos o tabiques similares a caucho adicionales para "reforzar" la región líquida. Opcionalmente, se consigue una mayor rigidez aumentando el grosor del material de construcción similar al caucho (figura 5B en comparación con la figura 5A). Opcionalmente, se consigue una mayor rigidez disminuyendo el tamaño definido del compartimento y/o cambiando la forma de los compartimentos (figura 5C). Opcionalmente, los compartimentos de forma triangular, tal como se muestra en la figura 5C, son más duraderos que los compartimentos de forma cuadrada que se muestran en las figuras 5A y 5B. Opcionalmente, la estructura de los compartimentos puede imitar la estructura de las células vivas del cuerpo.

A continuación se hace referencia a las figuras 6A y 6B que muestran gráficos ejemplares de curvas de calibración para materiales digitales compuestos por un material blando (TangoBlackPlus™) y un material rígido (RGD525™) que se pueden usar de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención. La figura 6A es un gráfico ejemplar que muestra un valor de SHORE-A de un material digital en función de la fracción de volumen del material blando en un material digital. La figura 6B es un gráfico ejemplar que muestra un módulo de Young de un material

digital en función de la fracción de volumen del material rígido en un material digital. Los puntos triangulares en el gráfico representan datos experimentales y la curva representa un ajuste analítico ejemplar. Opcionalmente, puede usarse un ajuste analítico para definir una o más ecuaciones que relacionan una propiedad física de una parte del cuerpo en una ubicación definida según lo determinado por las imágenes y los constituyentes de un material digital para imitar la propiedad física. Opcionalmente, la entrada del usuario se usa adicionalmente para definir una propiedad física de un elemento identificado de una parte del cuerpo.

A continuación se hace referencia a las figuras 7A y 7B que muestran reconstrucciones ejemplares de una mano. La figura 7A muestra la reconstrucción de una mano usando dos materiales de modelización, un material negro y un material transparente, mediante una técnica de FA conocida usando archivos de STL, donde el material negro indica hueso y el material transparente indica tejido no óseo. En comparación, la figura 7B muestra una reconstrucción física ejemplar de una mano usando un sistema y método de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención. Como puede verse en la figura 7B, una mano ha sido reconstruida con combinaciones variables de dos materiales de modelización, un material negro y un material transparente. Se usó negro para las zonas más rígidas y transparente para las zonas más distensibles, y se usan combinaciones espaciales variables de diferentes proporciones de los dos materiales para replicar propiedades variables en o dentro de diferentes zonas. Por lo tanto, usando el sistema y el método de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, se han reconstruido las variaciones en las propiedades del hueso, por ejemplo, en la zona de la articulación y se ha diferenciado la zona de la articulación.

Se observa que, aunque la mayoría de las realizaciones se han descrito con referencia a la fabricación de un modelo de una parte del cuerpo, las realizaciones de la presente invención no están limitadas a este respecto y que el mismo sistema y métodos pueden usarse para fabricar modelos de otros objetos formados a partir de una pluralidad de diferentes materiales.

Se observa además que, aunque la mayoría de las realizaciones se han descrito con referencia a la fabricación de un modelo de una parte del cuerpo usando una combinación de material rígido y distensible, las realizaciones de la presente invención no están limitadas a este respecto. En otras realizaciones de la presente invención, se puede fabricar un modelo de una parte del cuerpo usando una combinación de materiales de construcción que tienen diferentes propiedades mecánicas y/o físicas para imitar las propiedades de la parte del cuerpo.

Los términos "comprende", "que comprende", "incluye", "que incluye", "que tiene" y sus conjugados significan "que incluye pero sin limitarse a".

El término "que consiste en" significa "que incluye y se limita a".

El término "que consiste esencialmente en" significa que la composición, el método o la estructura pueden incluir ingredientes, etapas y/o partes adicionales, pero solo si los ingredientes, etapas y/o partes adicionales no alteran materialmente las características básicas y novedosas de la composición, el método o la estructura reivindicados.

Tal como se usa en el presente documento, el término "método" se refiere a las maneras, los medios, las técnicas y los procedimientos para llevar a cabo una tarea determinada, incluyendo, aunque sin limitarse a, aquellas maneras, medios, técnicas y procedimientos conocidos o desarrollados fácilmente a partir de maneras, medios, técnicas y procedimientos conocidos, por los profesionales de las técnicas químicas, farmacológicas, biológicas, bioquímicas y médicas.

Se aprecia que ciertas características de la invención que, por claridad, se describen en el contexto de realizaciones independientes, también pueden proporcionarse en combinación en una única realización. Por el contrario, diversas características de la invención, que son, por brevedad, descritas en el contexto de una única realización, también pueden proporcionarse por separado o en cualquier subcombinación adecuada o como adecuadas en cualquier otra realización de invención descrita. Ciertas características descritas en el contexto de diversas realizaciones no deben considerarse características esenciales de esas realizaciones, a menos que la realización sea inoperante sin esos elementos.

REIVINDICACIONES

1. Un método para reconstruir físicamente una parte del cuerpo usando fabricación aditiva con múltiples materiales, comprendiendo el método:
- 5 recibir datos de imagen de la parte del cuerpo en forma de matrices de vóxeles, representando cada matriz de vóxeles datos de imagen que corresponden a la sección transversal de la parte del cuerpo;
 definir una relación entre valores de vóxel en la matriz de vóxeles y propiedades físicas diana para reconstruir la parte;
 10 definir una relación entre combinaciones de materiales de modelización y sus propiedades físicas; y
 definir una relación entre los valores de vóxel y la combinación de materiales en respuesta a la relación definida entre los valores de vóxel y las propiedades físicas diana y la relación definida entre las combinaciones de materiales de modelización y sus propiedades físicas;
 15 traducir los datos de imagen en las matrices de vóxeles a imágenes de mapa de bits imprimibles que representan combinaciones de materiales de modelización para reconstruir la parte del cuerpo; y
 dispensar las combinaciones de materiales de modelización en respuesta a las imágenes de mapa de bits por capas.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la relación es definida por una o más tablas de consulta.
- 20 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que las combinaciones de materiales de modelización se seleccionan para imitar propiedades mecánicas de la parte del cuerpo vóxel por vóxel.
4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que los datos de imagen en las matrices de vóxeles se traducen a una matriz de materiales digitales, cada material digital formado con una combinación de al menos dos materiales de modelización, la combinación definida por una proporción entre los al menos dos materiales de modelización, y un patrón de vóxeles del material de modelización formado con al menos dos materiales de modelización diferentes.
- 25 5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que cada uno de los materiales digitales en la matriz de materiales digitales está definido con un número predefinido de vóxeles del material de modelización.
6. El método de acuerdo con la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en el que materiales digitales diferentes en la matriz de materiales digitales están definidos para tener propiedades mecánicas diferentes.
- 35 7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que materiales digitales diferentes están definidos para tener propiedades elásticas diferentes.
8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4-7, en el que el material digital está formado a partir de un volumen de líquido o de gel rodeado por un material más rígido.
- 40 9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que los datos de imagen son recibidos desde uno o más de un escáner de TC, dispositivo de IRM y ultrasonidos y en el que las combinaciones de materiales de modelización están definidas para simular una matriz de densidades representadas por números de TC obtenidos del escáner de TC cuando los datos de imagen son recibidos desde un escáner de TC.
- 45 10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que usa uno o más materiales adicionales para alterar un aspecto físico de una fracción de la parte del cuerpo que es reconstruida.
- 50 11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, que comprende:
 recibir una entrada de un usuario; y
 ajustar las combinaciones de los materiales de modelización para reconstruir la parte del cuerpo basándose en la entrada del usuario.
- 55 12. Un sistema para reconstruir físicamente una parte del cuerpo usando fabricación aditiva con múltiples materiales que comprende:
 un controlador operativo para recibir datos de imagen de la parte del cuerpo en forma de matrices de vóxeles, representando cada matriz de vóxeles datos de imagen que corresponden a la sección transversal de la parte del cuerpo;
 60 una unidad de procesamiento operativa para:
 definir una relación entre valores de vóxel en la matriz de vóxeles y propiedades físicas diana para reconstruir la parte del cuerpo;
 65 definir una relación entre combinaciones de materiales de modelización y sus propiedades físicas;

- 5 definir una relación entre los valores de vóxel y la combinación de materiales en respuesta a la relación definida entre los valores de vóxel y las propiedades físicas diana y la relación definida entre las combinaciones de materiales de modelización y sus propiedades físicas; y traducir los datos de imagen en las matrices de vóxeles a imágenes de mapa de bits imprimibles que representan combinaciones de materiales de modelización para reconstruir la parte del cuerpo; y un dispositivo de fabricación aditiva con múltiples materiales para dispensar las combinaciones de materiales de modelización en respuesta a las imágenes de mapa de bits por capas.
- 10 13. El sistema de acuerdo con la reivindicación 12, en el que la unidad de procesamiento es operativa para traducir los datos de imagen en las matrices de vóxeles a una matriz de materiales digitales, en el que el material digital está definido para tener un tamaño unitario de macrovóxel submilimétrico.
- 15 14. El sistema de acuerdo con la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en el que los datos de imagen son recibidos desde uno o más dispositivos de imagenología seleccionados de un grupo que incluye un escáner de TC, un dispositivo de IRM y de ultrasonidos.
- 20 15. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 12-14, en el que las imágenes de mapa de bits imprimibles incluyen datos para añadir uno o más materiales adicionales a las combinaciones de materiales de modelización.

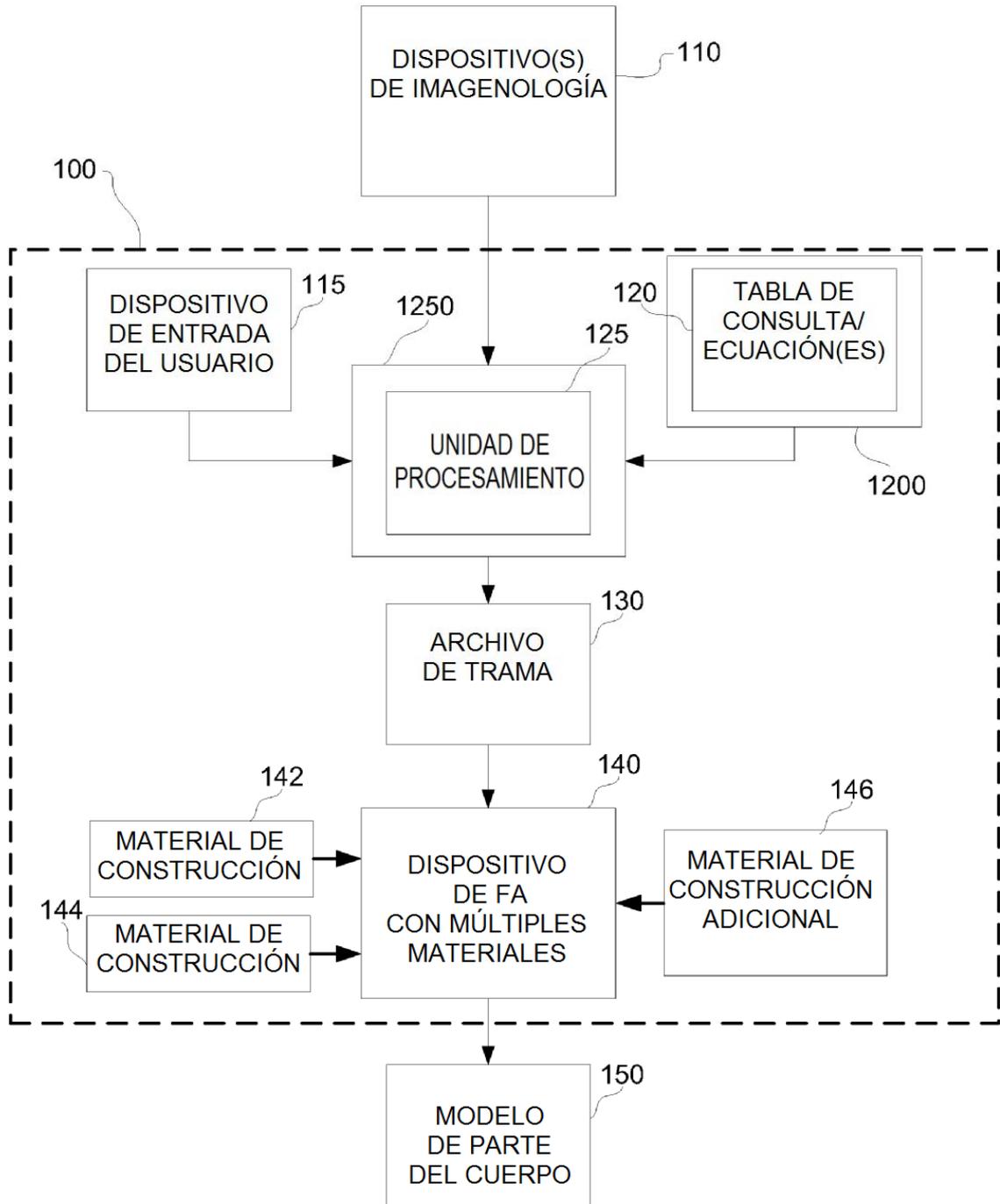


FIG. 1

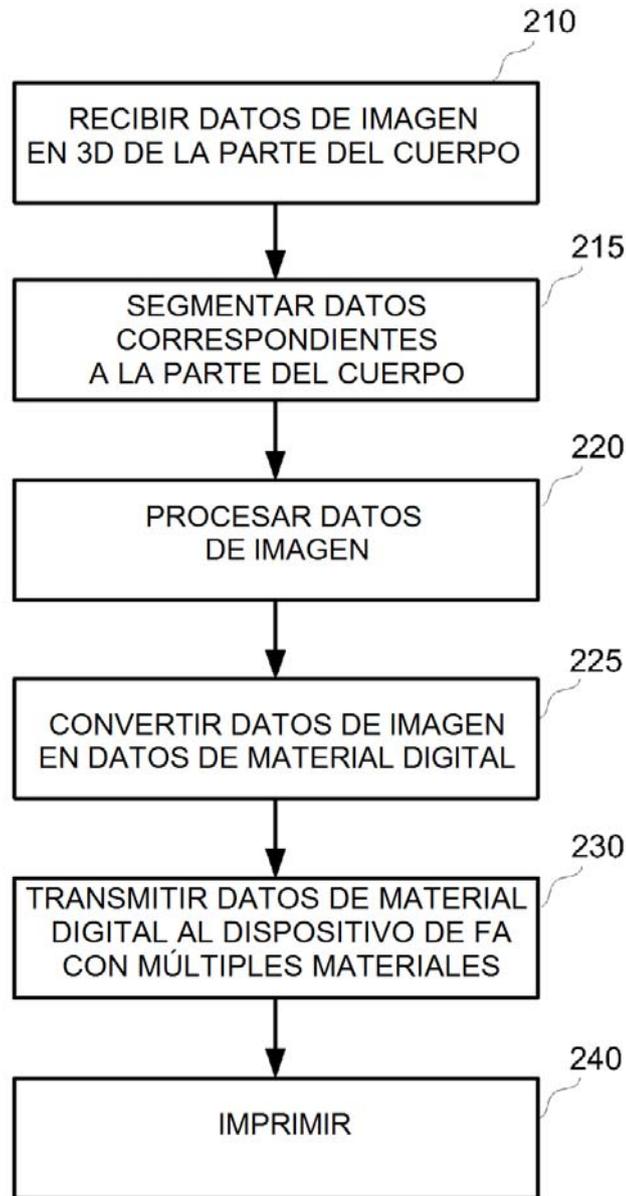


FIG. 2

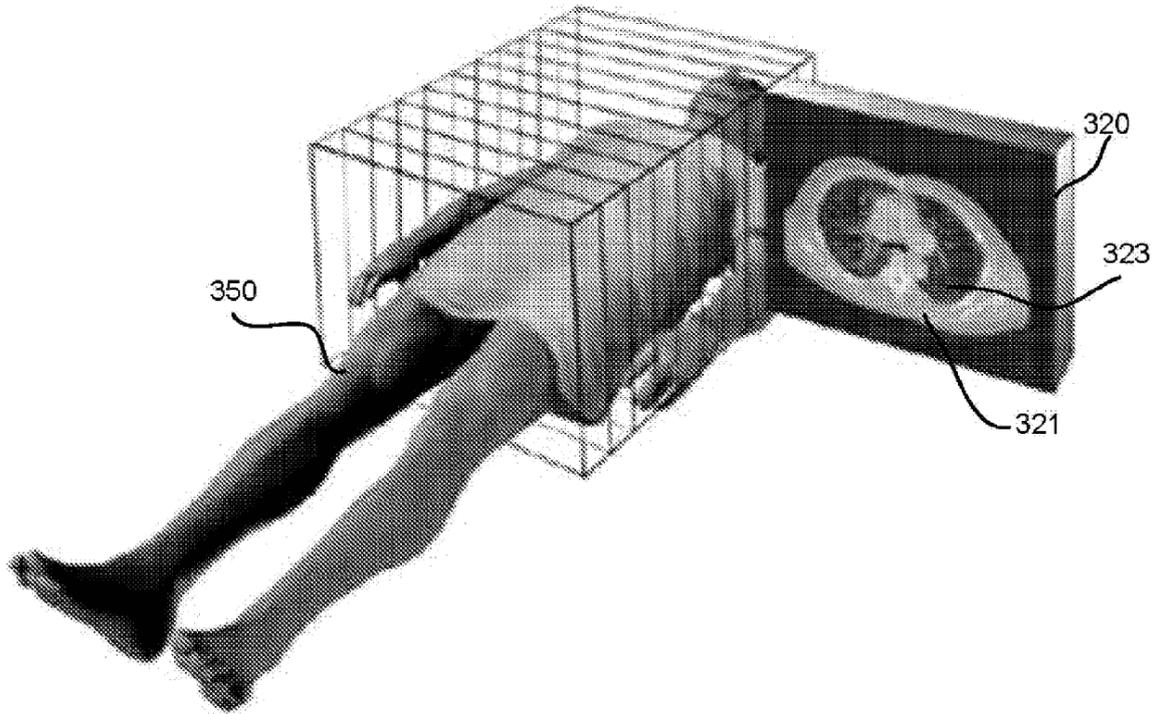


FIG. 3

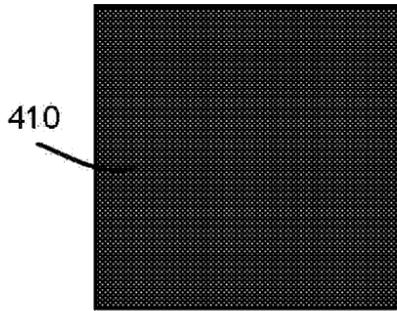


FIG. 4A

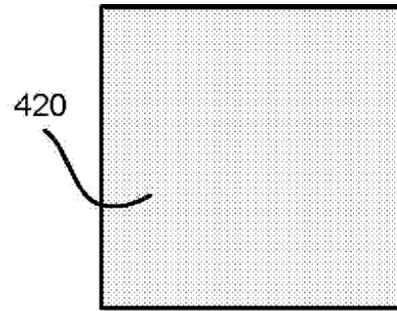


FIG. 4B

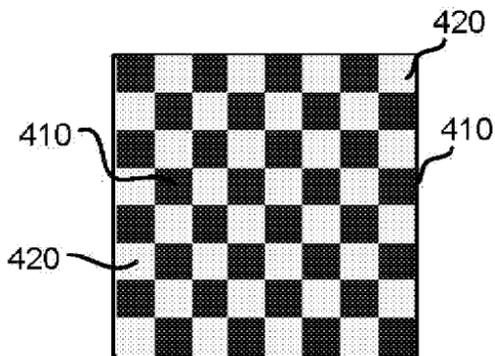


FIG. 4C

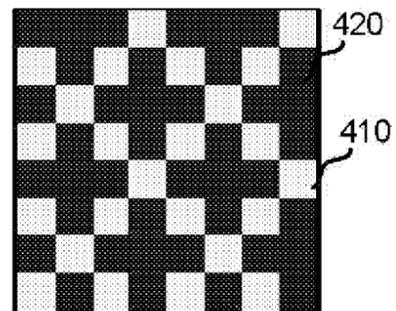


FIG. 4D

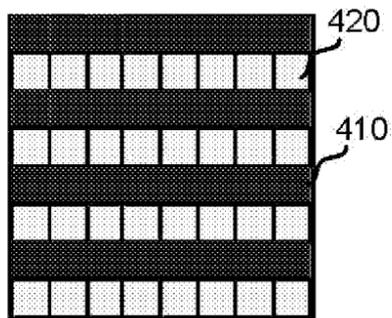


FIG. 4E

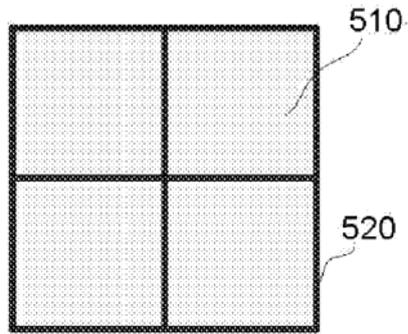


FIG. 5A

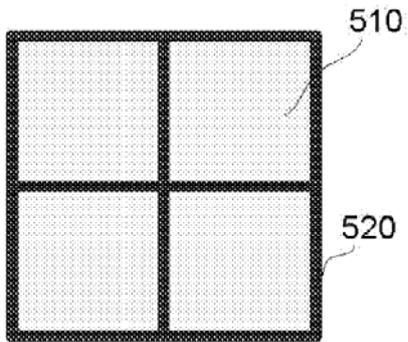


FIG. 5B

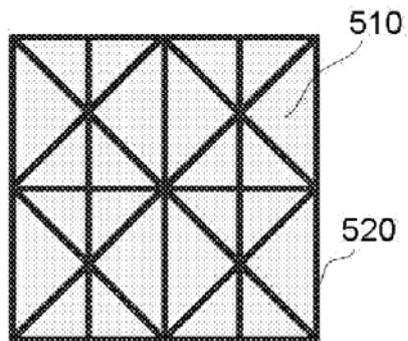


FIG. 5C

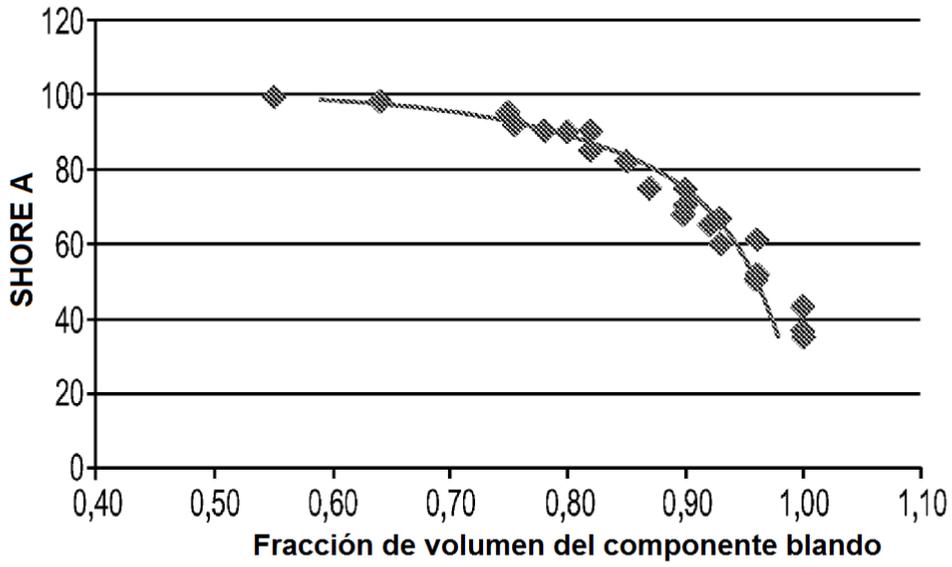


FIG. 6A

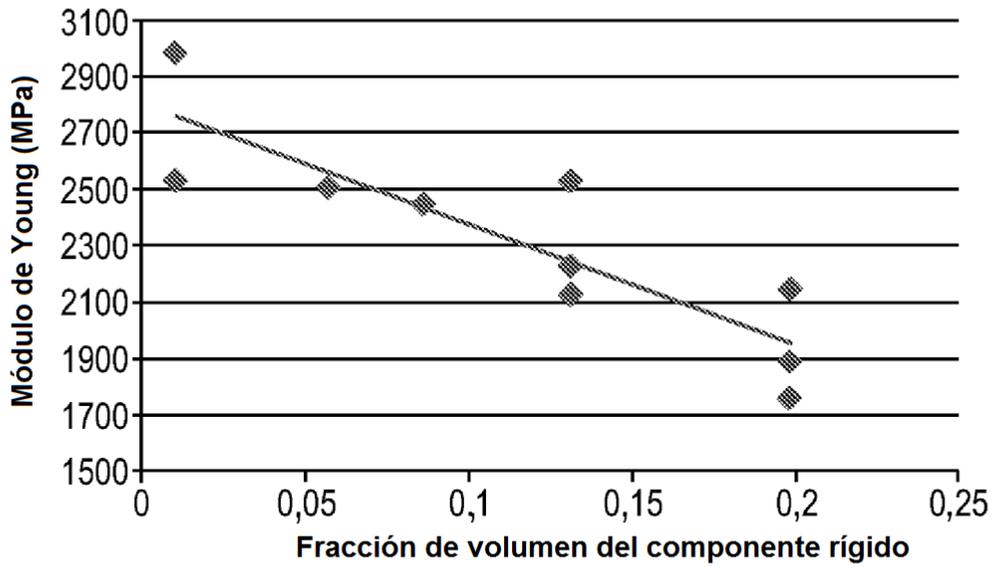


FIG. 6B

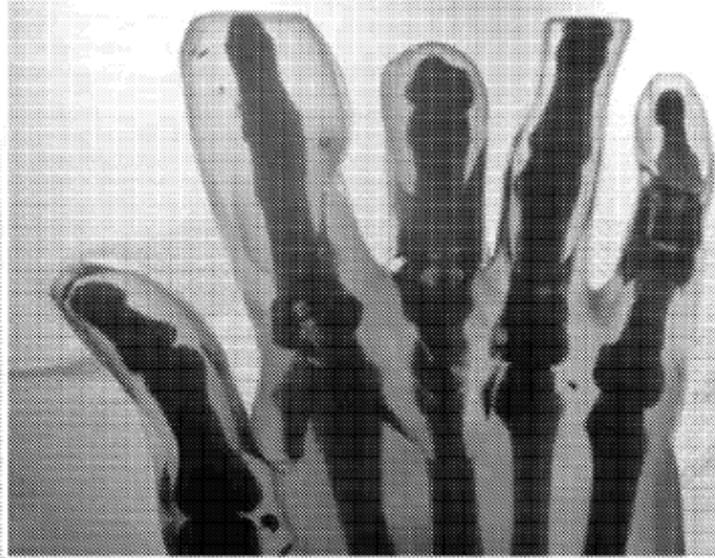


FIG. 7A

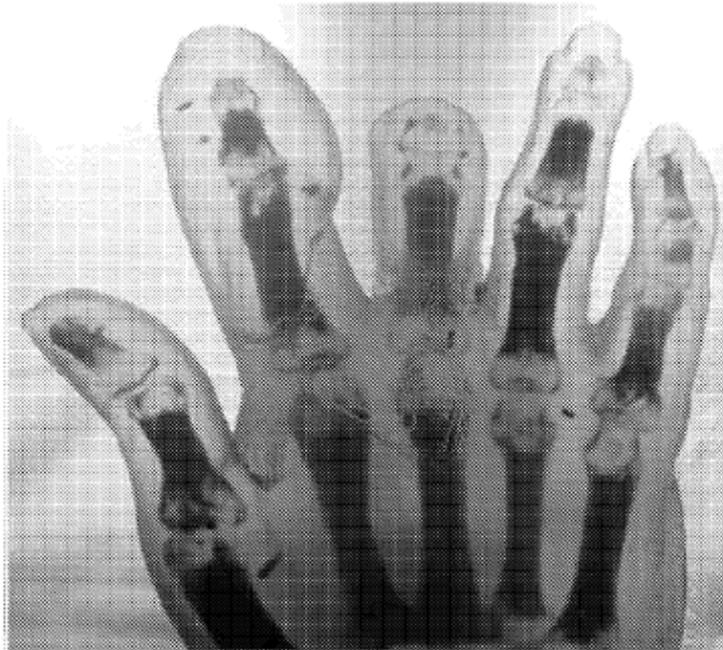


FIG. 7B