

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 877 194**

(51) Int. Cl.:

**B29C 64/112** (2007.01)  
**B29C 64/20** (2007.01)  
**B33Y 10/00** (2015.01)  
**B33Y 30/00** (2015.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2015 E 19167262 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.03.2021 EP 3524406**

---

(54) Título: **Procedimiento y sistema para la impresión 3D rotativa**

(30) Prioridad:

**13.07.2014 US 201462023897 P**

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

**16.11.2021**

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

**MENCHIK, GUY;**  
**CARLSON, ANDREW JAMES;**  
**HEDLUND, JONATHAN BENNHARD;**  
**CAMPION, KEVIN READY;**  
**SIMON, ROBERT EARL;**  
**PETERSON, NATHANIEL MICHAEL;**  
**BEAVER, SCOTT WAYNE;**  
**LEVIN, EVGENI;**  
**LIBINSON, ALEXANDER y**  
**BRESSLER, YOAV**

(74) Agente/Representante:

**TORNER LASALLE, Elisabet**

**ES 2 877 194 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 sistema para la impresión 3D rotativa

Solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de prioridad de la solicitud de patente provisional estadounidense nº 62/023,897 presentada el 13 de julio de 2014. Siendo esta solicitud presentada conjuntamente con la solicitud de patente provisional estadounidense titulada "Waste Disposal for 3D Printing", nº de expediente de agente 63080, la solicitud provisional de patente estadounidense titulada "METHOD AND SYSTEM FOR 3D PRINTING", nº de expediente de agente 63081, la solicitud de patente provisional estadounidense titulada "Operation of Printing Nozzles in Additive Manufacture", nº de expediente de agente 63083, la solicitud de patente provisional estadounidense titulada "LEVELING APPARATUS FOR A 3D PRINTER", nº de expediente de agente 63084.

10 Campo y antecedentes de la invención

La presente invención, en algunas realizaciones de la misma, versa sobre la impresión tridimensional y, más en particular, sobre la impresión tridimensional rotativa.

15 La fabricación por adición (AM, por sus siglas en inglés) es generalmente un proceso en el que se fabrica un objeto tridimensional (3D) utilizando un modelo informático de los objetos. Se usa tal proceso en diversos campos, tales como los campos relacionados con el diseño con fines de visualización, de demostración y de la creación de prototipos mecánicos, así como para la fabricación rápida.

20 La operación básica de cualquier sistema de fabricación por adición consiste en cortar un modelo tridimensional informático en secciones transversales delgadas, trasladando el resultado a datos de la posición bidimensional y suministrar los datos para controlar el equipo que fabrica una estructura tridimensional en forma de capas.

La fabricación por adición conlleva muchos planteamientos diferentes al procedimiento de fabricación, incluyendo la impresión tridimensional, por ejemplo, la impresión tridimensional por chorro de tinta, la fabricación laminada de objetos, el modelado por deposición fusiónada y otros.

25 En los procesos de impresión tridimensional, por ejemplo, se distribuye un material de construcción desde un cabezal de distribución que tiene un conjunto de boquillas para depositar capas sobre una estructura de soporte. Dependiendo del material de construcción, las capas pueden entonces curarse o solidificarse usando un dispositivo adecuado. El material de construcción puede incluir material de modelado, que forma el objeto, y material de soporte, que soporta el objeto según está siendo construido. Existen diversas técnicas de impresión tridimensional y se divulgan, por ejemplo, en las patentes estadounidenses nº 6.259.962, 6.569.373, 6.658.314, 6.850.334, 7.183.335, 7.209.797, 30 7.225.045, 7.300.619, 7.364.686, 7.500.846, 7.658.976, 7.962.237, y 9.031.680, y la solicitud estadounidense publicada nº US 20130040091.

Por ejemplo, la patente estadounidense nº 9.031.680 divulga un sistema que comprende un aparato de fabricación por adición que tiene una pluralidad de cabezales de distribución, un aparato de suministro de material de construcción configurado para suministrar una pluralidad de materiales de construcción hasta el aparato de fabricación, y un controlador configurado para controlar los aparatos de fabricación y de suministro. El sistema tiene varios modos de operación. En un modo, operan todos los cabezales de distribución durante un único ciclo de barido de construcción del aparato de fabricación. En otro modo, uno o más de los cabezales de distribución no se encuentran operativos durante un único ciclo de barido de construcción, o parte del mismo.

40 La patente estadounidense nº 7.291.002 divulga un aparato para la fabricación de un objeto tridimensional. Un tambor giratorio de construcción anular recibe capas sucesivas de un material de construcción en polvo, y se dispone un cabezal de impresión encima del tambor de construcción anular y está configurado para distribuir de forma selectiva gotitas de un aglutinante líquido sobre el polvo.

45 La patente estadounidense nº 8.172.562 divulga un aparato para la fabricación de un objeto tridimensional. Este aparato incluye un recipiente de construcción, un soporte en el recipiente de construcción, y un dispositivo estacionario de aplicación del material que aplica capas de un material de construcción sobre el soporte. Un mecanismo impulsor genera un movimiento del recipiente en torno a un eje de rotación, y un mecanismo impulsor vertical genera un movimiento vertical del soporte.

50 La solicitud estadounidense publicada nº 20080109102 divulga un aparato para la fabricación de artículos tridimensionales. El aparato de esta divulgación incluye un controlador informático, una plataforma de construcción para portar un artículo que ha de fabricarse, y una estación de construcción para formar una capa de material sobre el artículo. Cualquiera de la estación de construcción y de la plataforma de construcción está montada y es accionada de forma que gire en torno a un eje para que la superficie del artículo que ha de fabricarse sea presentada reiteradamente a la estación de construcción.

La solicitud estadounidense de patente nº 20080042321 divulga un aparato para producir objetos tridimensionales. El aparato implica imprimir radialmente de forma continua en torno a una mesa circular y/o giratoria de construcción que usa múltiples cabezales de impresión. También se divultan sistemas auxiliares que están relacionados con el suministro de material de construcción, la limpieza de los cabezales de impresión, los diagnósticos, y la monitorización de la operación del aparato.

#### 5 Sumario de la invención

La presente invención proporciona un sistema para la impresión tridimensional según la reivindicación 1, y un procedimiento para fabricar un objeto según la reivindicación 14.

Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema para la impresión tridimensional. El sistema comprende: una bandeja giratoria configurada para girar en torno a un eje vertical; un cabezal de impresión, teniendo cada uno una pluralidad de boquillas separadas; y un controlador configurado para controlar las cabezas de impresión por chorro de tinta para distribuir, durante la rotación, gotitas de material de construcción en capas, de forma que se imprima un objeto tridimensional sobre la bandeja.

Según algunas realizaciones de la invención, diferentes boquillas de al menos un cabezal se encuentran a diferentes distancias del eje y distribuyen el material de construcción a diferentes tasas de distribución.

Según algunas realizaciones de la invención, al menos uno de la bandeja y de los cabezales de impresión por chorro de tinta está configurado para moverse a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical, de forma que varíe una distancia vertical entre la bandeja y los cabezales de impresión por chorro de tinta, y estando configurado el controlador para continuar la distribución durante el movimiento a lo largo de la dirección vertical.

Según la invención, el cabezal de impresión por chorro de tinta está configurado para tener un movimiento de vaivén con respecto a la bandeja a lo largo de una dirección radial.

Según algunas realizaciones de la invención, el sistema en el que el movimiento a lo largo de la dirección radial es por medio de un husillo.

Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para compensar errores de una ubicación radial del cabezal según una función de compensación.

Según algunas realizaciones de la invención, el husillo es un doble husillo soportado y la función es una función lineal.

Según algunas realizaciones de la invención, el husillo es un husillo en voladizo y la función es una función no lineal.

Según algunas realizaciones de la invención, para al menos dos de los cabezales de impresión por chorro de tinta, el movimiento de vaivén a lo largo de la dirección radial es independiente y a un ángulo azimutal diferente.

30 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para cesar la distribución durante el movimiento de vaivén.

Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para reanudar la distribución, después del movimiento de vaivén, a una coordenada azimutal que se encuentra desplazada con respecto a una coordenada azimutal en la que se cesó la distribución.

35 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para reanudar la distribución, después del movimiento de vaivén, a la misma coordenada azimutal en la que se cesó la distribución.

Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para continuar la distribución durante el movimiento de vaivén, mientras ajusta los datos de impresión en respuesta al movimiento de vaivén.

40 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema para la impresión tridimensional. El sistema comprende: una bandeja giratoria configurada para girar en torno a un eje vertical a una velocidad de rotación; un cabezal de impresión, teniendo cada uno una pluralidad de boquillas separadas; y un controlador configurado para controlar los cabezales de impresión por chorro de tinta para distribuir, durante la rotación, gotitas de material de construcción por capas, de forma que se imprima un objeto tridimensional sobre la bandeja, y para controlar que los cabezales de impresión por chorro de tinta tengan un movimiento de vaivén con respecto a la bandeja a lo largo de una dirección radial.

Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para variar la velocidad de rotación en respuesta al movimiento radial.

50 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para cesar la distribución durante el movimiento de vaivén; y para reanudar la distribución, después del movimiento de vaivén, a una coordenada azimutal que se encuentra desplazada con respecto a una coordenada azimutal en la que se cesó la distribución.

Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para continuar la distribución durante el movimiento de vaivén, mientras ajusta los datos de impresión en respuesta al movimiento de vaivén.

Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para controlar que los cabezales de impresión por chorro de tinta distribuyan, durante la rotación, gotitas de material de construcción por capas, de forma que varíe una distancia azimutal entre gotitas distribuidas secuencialmente como una función de una posición de los cabezales de impresión por chorro de tinta a lo largo de la dirección radial.

Según algunas realizaciones de la invención, la variación de la distancia azimutal está basada en una función probabilística de dicha posición a lo largo de dicha dirección radial.

Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema para la impresión tridimensional. El sistema comprende: una bandeja giratoria configurada para girar en torno a un eje vertical; un cabezal de impresión, teniendo cada uno una pluralidad de boquillas separadas; y un controlador configurado para determinar de forma automática una pluralidad de ubicaciones sobre la bandeja, y para controlar que los cabezales de impresión por chorro de tinta distribuyan, durante la rotación, capas de gotitas de material de construcción, de forma que se imprima una pluralidad de objetos tridimensionales sobre la bandeja, respectivamente en la pluralidad de ubicaciones; en el que la determinación automática es según un criterio o un conjunto de criterios predeterminado seleccionado del grupo constituido por: un primer criterio según el cual los objetos están dispuestos para equilibrar la bandeja, y un segundo criterio según el cual se imprimen más objetos lejos del eje que cerca del eje.

Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema para la impresión tridimensional que comprende: una bandeja giratoria configurada para girar en torno a un eje vertical; un cabezal de impresión, teniendo cada uno una pluralidad de boquillas separadas; un controlador configurado para controlar que los cabezales de impresión por chorro de tinta distribuyan, durante la rotación, gotitas de material de construcción por capas, de forma que se imprima un objeto tridimensional sobre la bandeja; y un elemento de calentamiento previo para calentar el material de construcción antes de que entre en el cabezal de impresión, estando separado el elemento de calentamiento previo del cabezal, y se encuentra en comunicación de fluido con el cabezal por medio de un conducto.

Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema para la impresión tridimensional que comprende: una bandeja giratoria configurada para girar en torno a un eje vertical; un cabezal de impresión, teniendo cada uno una pluralidad de boquillas separadas; un controlador configurado para controlar que los cabezales de impresión por chorro de tinta distribuyan, durante la rotación, gotitas de material de construcción por capas, de forma que se imprima un objeto tridimensional sobre la bandeja; y una fuente de radiación configurada para tener un movimiento de vaivén con respecto a la bandeja a lo largo de una dirección radial, en el que el cabezal de impresión también está configurado para tener un movimiento de vaivén con respecto a la bandeja a lo largo de la dirección radial, de forma no simultánea con la fuente de radiación.

Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema para la impresión tridimensional que comprende: una bandeja giratoria configurada para girar en torno a un eje vertical; un cabezal de impresión, teniendo cada uno una pluralidad de boquillas separadas; un controlador configurado para controlar que los cabezales de impresión por chorro de tinta distribuyan, durante la rotación, gotitas de material de construcción por capas, de forma que se imprima un objeto tridimensional sobre la bandeja; y una fuente de radiación configurada para irradiar las capas para que se suministre energía con diferentes tasas a ubicaciones que se encuentran a diferentes distancias del centro de la bandeja.

Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema para la impresión tridimensional que comprende: una bandeja giratoria configurada para girar en torno a un eje vertical; un cabezal de impresión, teniendo cada uno una pluralidad de boquillas separadas; un controlador configurado para controlar que los cabezales de impresión por chorro de tinta distribuyan, durante la rotación, gotitas de material de construcción por capas, de forma que se imprima un objeto tridimensional sobre la bandeja; y una fuente de radiación, estando la separación azimutal entre la fuente de radiación y el cabezal entre aproximadamente  $0,3\omega$  radianes y aproximadamente  $0,75\omega$  radianes, siendo  $\omega$  una velocidad angular media de la bandeja con respecto al cabezal y a la fuente de radiación.

Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema para la impresión tridimensional que comprende: una bandeja giratoria configurada para girar en torno a un eje vertical; un cabezal de impresión, teniendo cada uno una pluralidad de boquillas separadas; y un controlador configurado para controlar que los cabezales de impresión por chorro de tinta distribuyan, durante la rotación, gotitas de material de construcción por capas, de forma que se imprima un objeto tridimensional sobre la bandeja; en el que el controlador está configurado, además, para finalizar cualquier distribución del material de construcción cuando el cabezal se encuentra encima de una región predeterminada de la bandeja, y para indicar al cabezal que se mueva con respecto a la bandeja a lo largo de una dirección radial, mientras el cabezal se encuentre encima de la región predeterminada.

Según algunas realizaciones de la invención, el sistema en el que el controlador está configurado para señalar al menos uno de la bandeja y del cabezal de impresión por chorro de tinta para moverse a lo largo de una dirección

- vertical paralela al eje vertical, de forma que varíe una distancia vertical entre la bandeja y el cabezal de impresión por chorro de tinta, mientras el cabezal se encuentre encima de la región predeterminada.
- Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para controlar al menos uno de los cabezales de impresión por chorro de tinta para distribuir las gotitas, de forma que varíe una distancia azimutal entre las gotitas distribuidas de forma secuencial como una función de una posición del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial.
- Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para ejecutar la distribución entrelazada de las gotitas durante al menos una rotación de la bandeja.
- Según algunas realizaciones de la invención, un nivel de entrelazamiento de la distribución entrelazada varía como una función de la posición del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial.
- Según algunas realizaciones de la invención, un nivel de entrelazamiento de la distribución entrelazada varía como una función de una posición del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial.
- Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para acceder a un medio legible por ordenador que almacena una máscara de mapa de bits, y para obtener datos de impresión correspondientes a la forma del objeto solo para ubicaciones sobre la bandeja que no están enmascaradas por la máscara de mapa de bits.
- Según algunas realizaciones de la invención, el sistema comprende un rodillo cónico para enderezar el material distribuido de construcción.
- Según algunas realizaciones de la invención, la bandeja gira continuamente en la misma dirección durante toda la formación del objeto.
- Según algunas realizaciones de la invención, al menos uno de la bandeja y de los cabezales de impresión por chorro de tinta está configurado para moverse a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical, de forma que varíe una distancia vertical entre la bandeja y los cabezales de impresión por chorro de tinta, y estando configurado el controlador para continuar la distribución durante el movimiento a lo largo de la dirección vertical.
- Según algunas realizaciones de la invención, se ejecuta el movimiento a lo largo de la dirección vertical, de forma que la bandeja y los cabezales de impresión por chorro de tinta experimenten al menos dos distancias verticales diferentes entre los mismos durante una única rotación de la bandeja.
- Según algunas realizaciones de la invención, se ejecuta el movimiento a lo largo de la dirección vertical, de forma que, durante una única rotación de la bandeja, se aumenta la distancia vertical una cantidad que equivale aproximadamente a un grosor característico de una única capa del material de construcción.
- Según algunas realizaciones de la invención, en general, se ejecuta el movimiento a lo largo de la dirección vertical de forma continua.
- Según algunas realizaciones de la invención, la pluralidad de cabezales de impresión por chorro de tinta comprende al menos un cabezal de material de soporte para distribuir material de soporte, y al menos dos cabezales de material de modelado para distribuir, respectivamente, al menos dos materiales diferentes de modelado.
- Según algunas realizaciones de la invención, el sistema comprende una estructura de soporte colocada debajo de los cabezales de impresión por chorro de tinta, de forma que la bandeja se encuentre entre la estructura de soporte y los cabezales, encontrándose en contacto la estructura de soporte con la bandeja para evitar o reducir las vibraciones de la bandeja.
- Según algunas realizaciones de la invención la bandeja es sustituible.
- Según algunas realizaciones de la invención, el sistema comprende un dispositivo de sustitución de bandeja configurado para sustituir la bandeja de forma automática.
- Según algunas realizaciones de la invención, el cabezal está configurado para mantener un nivel de vacío en un intervalo predeterminado de niveles de vacío.
- Según algunas realizaciones de la invención, el sistema comprende un elemento de calentamiento previo para calentar el material de construcción antes de entrar en el cabezal de impresión.
- Según algunas realizaciones de la invención, el elemento de calentamiento previo está separado del cabezal, y se encuentra en comunicación de fluido con el cabezal por medio de un conducto.
- Según algunas realizaciones de la invención, el sistema comprende una bomba para retraer el material de construcción del conducto de nuevo al elemento de calentamiento previo.

- Según algunas realizaciones de la invención, el sistema comprende al menos un dispositivo de nivel de burbuja montado en una o más ubicaciones en una carcasa de un chasis del sistema, para indicar el desvío del chasis de la horizontalidad.
- 5 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para calcular una cantidad de material de construcción requerida para imprimir el objeto, comparando la cantidad con una cantidad disponible de material de construcción, y emitir una alerta cuando la cantidad requerida para imprimir el objeto es superior a la cantidad disponible.
- 10 Según algunas realizaciones de la invención, el sistema comprende una fuente de radiación configurada para tener un movimiento de vaivén con respecto a la bandeja a lo largo de una dirección radial, en el que el cabezal de impresión también está configurado para tener un movimiento de vaivén con respecto a la bandeja a lo largo de la dirección radial, de forma no simultánea con la fuente de radiación.
- 15 Según algunas realizaciones de la invención, la fuente de radiación está configurada para irradiar las capas, de forma que se suministre energía a diferentes tasas a ubicaciones que se encuentran a diferentes distancias del centro de la bandeja.
- 20 20 Según algunas realizaciones de la invención, una separación azimutal entre la fuente de radiación y el cabezal está entre aproximadamente  $0.3\omega$  radianes y aproximadamente  $0.75\omega$  radianes, siendo  $\omega$  una velocidad angular media de la bandeja con respecto al cabezal y a la fuente de radiación.
- 25 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para calcular un tiempo total previsto de impresión de una pluralidad de objetos cuando se imprimen simultáneamente, y para representar visualmente el tiempo calculado en un dispositivo de visualización.
- 30 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para calcular el tiempo total de impresión por objeto y para representar visualmente el tiempo total de impresión por objeto.
- 35 25 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para finalizar cualquier distribución del material de construcción cuando el cabezal se encuentra encima de una región predeterminada de la bandeja. Según algunas realizaciones de la invención, la región predeterminada tiene la forma de un sector circular.
- 40 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para indicar al cabezal que se mueva con respecto a la bandeja a lo largo de una dirección radial, mientras el cabezal se encuentre encima de la región predeterminada.
- 45 35 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para indicar a al menos uno de la bandeja y del cabezal de impresión por chorro de tinta que se mueva a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical, de forma que varíe una distancia vertical entre la bandeja y el cabezal de impresión por chorro de tinta, mientras el cabezal se encuentre encima de la región predeterminada.
- 50 40 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para indicar a al menos uno de la bandeja y del cabezal de impresión por chorro de tinta que se mueva a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical, de forma que varíe inmediatamente una distancia vertical entre la bandeja y el cabezal de impresión por chorro de tinta, cuando el material distribuido de construcción llegue por vez primera al rodillo.
- 45 45 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para indicar a al menos uno de la bandeja y del cabezal de impresión por chorro de tinta que se mueva a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical, de forma que varíe una distancia vertical entre la bandeja y el cabezal de impresión por chorro de tinta, de forma que se complete inmediatamente el movimiento vertical cuando el material distribuido de construcción llegue por vez primera al rodillo.
- 50 50 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para seleccionar un primer modo de impresión en el que se emplea el barrido azimutal, y un segundo modo de impresión en el que se emplea un barrido vectorial, siendo el barrido vectorial a lo largo de un recorrido seleccionado para formar al menos una estructura seleccionada del grupo constituido por (i) una estructura alargada, (ii) una estructura divisoria que rodea, al menos parcialmente, un área llena del primer material de construcción, y (iii) una estructura de conexión entre capas.
- 55 Según algunas realizaciones de la invención, esta comprende una fuente de radiación configurada para irradiar las capas, en el que el controlador está configurado para controlar la fuente de radiación y garantizar que, al menos durante un año, se inicie la irradiación al menos  $t$  segundos después del comienzo del curado de una capa que precede inmediatamente a la al menos una capa, siendo  $t$  mayor que un tiempo total requerido para la formación.
- 60 Según algunas realizaciones de la invención, según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un aparato que comprende: un cartucho configurado para contener material de construcción para ser distribuido de forma selectiva por medio de un sistema de fabricación por adición, incluyendo el cartucho un extremo delantero y un extremo trasero, en el que el extremo trasero incluye una conexión de fluido para conectar el cartucho

con una unidad de distribución del sistema de AM; y un enclave del cartucho para almacenar el cartucho, en el que el cartucho está configurado para montarse en el enclave a un ángulo tal que se eleve el extremo delantero del cartucho con respecto al extremo trasero.

5 Según algunas realizaciones de la invención, el aparato en el que el cartucho incluye un resorte de bloqueador y en el que el resorte de bloqueador está configurado para bloquearse en el enclave del cartucho a un ángulo.

Según algunas realizaciones de la invención, el cartucho incluye un pocillo próximo a la conexión de fluido configurada para acumular una porción del material de construcción contenido en el cartucho.

Según algunas realizaciones de la invención, el ángulo es de 2-5 grados.

10 Según algunas realizaciones de la invención, el enclave del cartucho está configurado para almacenar una pluralidad de cartuchos.

Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un sistema para la impresión tridimensional, que comprende lo delineado anteriormente y opcionalmente lo detallado adicionalmente a continuación.

15 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención, se proporciona un procedimiento para fabricar un objeto. El procedimiento comprende recibir datos de impresión tridimensional correspondientes a la forma del objeto, suministrar los datos a un sistema para la impresión tridimensional, y operar el sistema para imprimir el objeto en función de los datos, en el que el sistema es según lo delineado anteriormente y opcionalmente según lo detallado adicionalmente a continuación.

20 A no ser que se defina algo distinto, todos los términos técnicos y/o científicos usados en la presente memoria tienen el mismo significado que el entendido comúnmente por una persona con un dominio normal de la técnica a la que pertenece la invención. Aunque se pueden usar los procedimientos y los materiales similares o equivalentes a los descritos en la presente memoria en la práctica o al someter a ensayo las realizaciones de la invención, a continuación, se describen procedimientos y/o materiales ejemplares. En caso de conflicto, tendrá precedencia la memoria descriptiva de la patente, incluyendo las definiciones. Además, los materiales, procedimientos y ejemplos solamente son ilustrativos y no se pretende que sean necesariamente limitantes.

25 La implementación del procedimiento y/o del sistema de las realizaciones de la invención puede implicar realizar o completar tareas seleccionadas de forma manual, automática, o una combinación de las mismas. Además, según la instrumentación y el equipo reales de las realizaciones del procedimiento y/o del sistema de la invención, podrían seleccionarse varias tareas por soporte físico, por soporte lógico o por soporte lógico inalterable o por una combinación de los mismos, usando un sistema operativo.

30 Por ejemplo, se podría implementar el soporte físico para realizar tareas seleccionadas según las realizaciones de la invención como un chip o un circuito. Como soporte lógico, las tareas seleccionadas según las realizaciones de la invención podrían ser implementadas como una pluralidad de instrucciones de soporte lógico que son ejecutadas por un ordenador que usa cualquier sistema operativo adecuado. En una realización ejemplar de la invención, se realizan una o más tareas según realizaciones ejemplares del procedimiento y/o del sistema, según se ha descrito en la presente memoria, por medio de un procesador de datos, tal como una plataforma informática para ejecutar una pluralidad de instrucciones. Opcionalmente, el procesador de datos incluye una memoria volátil para almacenar instrucciones y/o datos y/o un almacenamiento no volátil, por ejemplo, un disco duro magnético y/o medios extraíbles, para almacenar instrucciones y/o datos. Opcionalmente, también se proporciona una conexión de red. También se proporcionan, opcionalmente, un medio de visualización y/o un dispositivo de entrada de usuario tal como un teclado o un ratón.

#### Breve descripción de las varias vistas de los dibujos

45 En la presente memoria se describen algunas realizaciones de la invención, solamente a título de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos. Ahora, con referencia específica a los dibujos en detalle, se destaca que los detalles mostrados son a título de ejemplo y con fines de exposición ilustrativa de las realizaciones de la invención. En este sentido, la descripción tomada con los dibujos hace que sea evidente para los expertos en la técnica cómo se pueden poner en práctica las realizaciones de la invención.

#### En los dibujos:

50 las FIGURAS 1A-1D son ilustraciones esquemáticas de una vista superior (FIGURAS 1A y 1D), una vista lateral (FIG. 1B) y una vista isométrica (FIG. 1C) de un sistema para la impresión tridimensional, según algunas realizaciones de la presente invención;

las FIGURAS 2A-2C son ilustraciones esquemáticas de los cabezales de impresión según algunas realizaciones de la presente invención;

las FIGURAS 3A-3F son ilustraciones esquemáticas que demuestran transformaciones de coordenadas según algunas realizaciones de la presente invención;

5 las FIGURAS 4A y 4B son ilustraciones esquemáticas que describen realizaciones de la invención según las cuales una distancia a lo largo de una dirección azimutal entre las gotitas distribuidas de forma secuencial varía como una función de una posición del cabezal de impresión a lo largo de una dirección radial;

10 las FIGURAS 5A-H son ilustraciones esquemáticas que describen el movimiento radial del cabezal o de los cabezales de impresión según algunas realizaciones de la presente invención;

15 la FIG. 6 es una ilustración esquemática que muestra los cabezales de impresión montados sobre diferentes ejes radiales dispuestos, de forma que exista un ángulo azimutal de separación entre los ejes adyacentes;

la FIG. 7 es una ilustración esquemática que describe el entrelazamiento a lo largo de la dirección radial según algunas realizaciones de la presente invención;

20 las FIGURAS 8A y 8B son ilustraciones esquemáticas de objetos dispuestos sobre una bandeja de un sistema para la impresión tridimensional (FIG. 8A), y del tiempo previsto de impresión, como una función del número de objetos (FIG. 8B), según algunas realizaciones de la presente invención;

25 las FIGURAS 9A-C son ilustraciones esquemáticas que demuestran una técnica adecuada para reducir o eliminar variaciones en la resolución a lo largo de una dirección azimutal como una función de la coordenada radial, según algunas realizaciones de la presente invención;

30 la FIG. 10 es una ilustración esquemática de una etapa que tiene un husillo útil para establecer el movimiento de vaivén de un cabezal de impresión, según algunas realizaciones de la presente invención;

35 las FIGURAS 11A-C muestran errores en la posición radial de un cabezal de impresión obtenidos a partir de cálculos y experimentos realizados según algunas realizaciones de la presente invención;

la FIG. 12 es una ilustración esquemática de un elemento de calentamiento previo colocado en un recorrido de fluido entre un suministro de material y un cabezal de impresión, según algunas realizaciones de la presente invención;

35 la FIG. 13 muestra una disposición experimental usada en experimentos realizados según algunas realizaciones de la presente invención;

las FIGURAS 14A-I muestran resultados experimentales obtenidos durante experimentos realizados según algunas realizaciones de la presente invención;

40 las FIGURAS 15A-D son ilustraciones esquemáticas de estructuras formadas en una capa por medio de barridos vectoriales según algunas realizaciones de la presente invención;

la FIG. 16 es un cartucho ejemplar según algunas realizaciones de la presente invención;

45 la FIG. 17 es un sistema ejemplar de impresión 3D rotativa que incluye cartuchos según algunas realizaciones de la presente invención; y

la FIG. 18 es un enclave ejemplar de cartucho con cartuchos según algunas realizaciones de la presente invención.

Descripción de realizaciones específicas de la invención

50 La presente invención, en algunas realizaciones de la misma, versa sobre la impresión tridimensional y, más en particular, pero no de forma exclusiva, sobre la impresión tridimensional rotativa.

Antes de explicar en detalle al menos una realización de la invención se debe entender que la invención no está necesariamente limitada en su aplicación a los detalles de construcción y a la disposición de los componentes y/o a los procedimientos expuestos en la siguiente descripción y/o ilustrados en los dibujos y/o en los ejemplos. La invención es susceptible de otras realizaciones o de ser puesta en práctica o llevada a cabo de diversas maneras.

Ahora, con referencia a los dibujos, las FIGURAS 1A-D ilustran una vista superior (FIGURAS 1A y 1D), una vista lateral (FIG. 1B) y una vista isométrica (FIG. 1C) de un sistema 10 para la impresión tridimensional, según las realizaciones de la presente invención. El sistema 10 comprende una bandeja 12 y una pluralidad de cabezales 16 de impresión por chorro de tinta, teniendo cada uno una pluralidad de boquillas separadas. El material usado para la impresión tridimensional es suministrado a los cabezales 16 por medio de un sistema 42 de suministro de material de construcción. Normalmente, una boquilla distribuye una gota de material de construcción en respuesta a un impulso de activación con suficiente energía de activación. A una boquilla que recibe un impulso de activación de energía que

es insuficiente para distribuir una gota se la denominada "estimulada". La bandeja 12 puede tener forma de disco o puede ser anular. También se contemplan formas no redondas, siempre que puedan girar en torno a un eje vertical.

La bandeja 12 y los cabezales 16 están montados, de forma que permitan un movimiento giratorio relativo entre la bandeja 12 y los cabezales 16. Esto puede lograrse (i) configurando la bandeja 12 para que gire en torno a un eje vertical 14 con respecto a los cabezales 16, (ii) configurando los cabezales 16 para que giren en torno al eje vertical 14 con respecto a la bandeja 12, o (iii) configurando tanto la bandeja 12 como los cabezales 16 para que giren en torno al eje vertical 14 pero a diferentes velocidades de rotación (por ejemplo, la rotación en la dirección opuesta).

5 Aunque se describen realizaciones a continuación con un énfasis particular en la configuración (i) en la que la bandeja es una bandeja giratoria que está configurada para girar en torno al eje vertical 14 con respecto a los cabezales 16, se debe entender que la presente solicitud también contempla las configuraciones (ii) y (iii). Una cualquiera de las 10 realizaciones descritas en la presente memoria puede ser ajustada para que sea aplicable a cualquiera de las configuraciones (ii) y (iii), y una persona con un dominio normal de la técnica, con los detalles descritos en la presente memoria, sabría cómo realizar tal ajuste.

15 En la siguiente descripción, a una dirección paralela a la bandeja 12 y que apunta hacia fuera del eje 14 se la denomina dirección radial  $r$ , en la presente memoria a una dirección paralela a la bandeja 12 y perpendicular a la dirección radial  $r$  se la denomina dirección azimutal  $\varphi$ , y en la presente memoria a una dirección perpendicular a la bandeja 12 se la denomina dirección vertical  $z$ .

20 La expresión "posición radial", según se usa en la presente memoria, se refiere a una posición sobre la bandeja 12, o encima de la misma, a una distancia específica desde el eje 14. Cuando se usa la expresión en conexión con un 25 cabezal de impresión, la expresión se refiere a una posición en la que el cabezal se encuentra a una distancia específica del eje 14. Cuando se usa la expresión en conexión con un punto sobre la bandeja 12, la expresión se corresponde a cualquier punto perteneciente a un lugar geométrico de puntos que es un círculo cuyo radio es la distancia específica del eje 14 y cuyo centro está en el eje 14.

25 La expresión "posición azimutal", según se usa en la presente memoria, se refiere a una posición sobre la bandeja 12 a un ángulo azimutal específico con respecto a un punto predeterminado de referencia. Así, la posición radial se refiere a cualquier punto perteneciente a un lugar geométrico de puntos que es una línea recta que forma el ángulo azimutal específico con respecto al punto de referencia.

30 La expresión "posición vertical", según se usa en la presente memoria, se refiere a una posición sobre un plano que cruza el eje vertical 14 en un punto específico.

35 La bandeja 12 sirve como una estructura de soporte para la impresión tridimensional. El área de trabajo sobre el que se imprime uno o más objetos es normalmente, pero no necesariamente, más pequeña que el área total de la bandeja 12. En algunas realizaciones de la presente invención el área de trabajo es anular. Se muestra el área de trabajo en 40 26. En algunas realizaciones de la presente invención, la bandeja 12 gira continuamente en la misma dirección durante toda la formación del objeto, y en algunas realizaciones de la presente invención, la bandeja invierte la dirección de 45 rotación al menos una vez (por ejemplo, de forma oscilante) durante la formación del objeto. Opcional y preferiblemente, la bandeja 12 es retirable. Se puede retirar la bandeja 12 por mantenimiento del sistema 10 o, si se desea, para sustituir la bandeja antes de imprimir un objeto nuevo. En algunas realizaciones de la presente invención, el sistema 10 está dotado de una o más bandejas diferentes de sustitución (por ejemplo, un equipo de bandejas de sustitución), en el que dos o más bandejas están designadas para diferentes tipos de objetos (por ejemplo, diferentes pesos), diferentes modos de operación (por ejemplo, diferentes velocidades de rotación), etc. La sustitución de la bandeja 12 puede ser manual o automática, según se deseé. Cuando se emplea la sustitución automática, el sistema 10 comprende un dispositivo 36 de sustitución de bandeja configurado para retirar la bandeja 12 de su posición debajo de los cabezales 16 y sustituirla por una bandeja de sustitución (no mostrada). En la ilustración representativa de la FIG. 1A el dispositivo 36 de sustitución de bandeja está ilustrado como un mecanismo impulsor 38 con un brazo amovible 40 configurado para traccionar la bandeja 12, pero también se contemplan otros tipos de dispositivos de sustitución de bandeja.

50 En algunas realizaciones de la presente invención, los cabezales 16 están configurados para tener un movimiento de vaivén con respecto a la bandeja a lo largo de la dirección radial  $r$ . Estas realizaciones son útiles cuando las longitudes de los conjuntos de boquillas de los cabezales 16 son más cortas que el ancho a lo largo de la dirección radial del área 26 de trabajo sobre la bandeja 12. El movimiento de los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial es opcional y preferiblemente controlado por el controlador 20. En la FIG. 1D se muestra una ilustración representativa de un mecanismo adecuado para mover los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial. En la FIG. 1D, se muestra un cabezal 16 montado en una etapa 52 (FIG. 10) dispuesto para establecer el movimiento de vaivén del cabezal 16 a lo largo de la dirección radial. El cabezal 16 puede comunicarse con el suministro 42 y con el controlador 20 (no mostrado en la FIG. 1D) por medio de una línea flexible de comunicación mostrada en 54.

55 En las FIGURAS 2A y 2C se ilustran realizaciones ejemplificadas de los cabezales 16 de impresión, que muestran un cabezal 16 de impresión con un conjunto 22 de boquillas (FIG. 2A) y dos conjuntos 22 de boquillas (FIG. 2B). Las boquillas en el conjunto están alineadas preferiblemente de forma lineal, a lo largo de una línea recta. En realizaciones

en las que un cabezal particular de impresión tiene dos o más conjuntos de boquillas lineales, los conjuntos de boquillas pueden ser, opcional y preferiblemente, paralelos entre sí.

Normalmente, pero no de necesariamente, todos los cabezales 16 de impresión están orientados de forma radial (paralelos a la dirección radial) estando desplazadas sus posiciones azimutales entre sí. Así, en estas realizaciones,

5 los conjuntos de boquillas de cabezales diferentes de impresión no son paralelos entre sí, si no que más bien subtienden un ángulo entre sí, ángulo que es aproximadamente igual al desplazamiento azimutal entre los respectivos cabezales. Por ejemplo, un cabezal puede orientarse radialmente y colocarse en la posición azimutal  $\varphi_1$ , y otro cabezal puede orientarse radialmente y colocarse en la posición  $\varphi_2$ . En este ejemplo, el desplazamiento azimutal entre los dos cabezales es de  $\varphi_1 - \varphi_2$ , y el ángulo entre los conjuntos de boquillas lineales de los dos cabezales también es de  $\varphi_1 - \varphi_2$ .

10 En algunas realizaciones, pueden montarse dos o más cabezales de impresión en un bloque de cabezales de impresión, en cuyo caso, los cabezales de impresión del bloque son normalmente paralelos entre sí. En la FIG. 2C se ilustra un bloque que incluye varios cabezales 16a, 16b, 16c de impresión por chorro de tinta.

15 En algunas realizaciones de la presente invención, se mantiene una presión subatmosférica predeterminada del aire por encima del nivel líquido en el cabezal 16. Para evitar pérdidas gravitacionales de las boquillas, en el cabezal 16 se puede mantener continuamente cierto nivel de vacío respecto a la atmósfera circundante, por ejemplo, -588 Pa. En la práctica, los mecanismos para el mantenimiento de la diferencia de presión pueden asumir una tolerancia de por ejemplo  $\pm 5\%$ . En otro ejemplo, los mecanismos para el mantenimiento de la diferencia de presión pueden asumir una tolerancia de  $\pm 49$  Pa.

20 Para mantener el nivel requerido de vacío, se puede colocar una bomba bidireccional (no mostrada) entre la cámara de material del cabezal 16 y la atmósfera. La bomba puede mover aire de la cámara del cabezal 16 a la atmósfera, aumentando, así, el vacío en el cabezal. Por lo contrario, la bomba bidireccional puede mover aire de la atmósfera al cabezal 16, aumentando, así, la presión en el cabezal, es decir, reduciendo el vacío ahí. Preferiblemente, el cabezal 16 comprende un sensor de presión (no mostrado) que mide la diferencia de presión entre el interior del cabezal 16 y la atmósfera exterior. El controlador 20 recibe datos de la presión actual procedentes del sensor de presión y puede accionar la bomba para mantener un nivel predeterminado de vacío en el cabezal.

25 En operación, se mide la diferencia de presión entre la presión en el cabezal y una presión ambiental de referencia de la atmósfera. La diferencia de presión es comparada, opcional y preferiblemente, con una presión relativa o un intervalo deseado de presión. La comparación puede llevarse a cabo, por ejemplo, mediante el controlador 20. Si la diferencia medida de presión es inferior a la presión relativa deseada, o a un intervalo deseado de diferencia de presión, preferiblemente, se acciona la bomba para añadir aire a la cámara. Si la diferencia medida de presión es superior a la de la presión relativa deseada, o al intervalo deseado de diferencia de presión, entonces, se puede activar la bomba para retirar aire de la cámara. Si se encuentra que la diferencia medida de presión es igual o lo suficientemente cercana (en un intervalo predeterminado de diferencia de presión) a la presión relativa deseada, entonces, se mantiene la bomba, opcional y preferiblemente, inoperativa, provocando, así, de forma eficaz que la bomba actúe como una válvula que bloquee el paso de aire entre la atmósfera ambiental y el interior del cabezal.

30 En algunas realizaciones de la presente invención, se calienta de antemano el material de construcción antes de entrar en el cabezal de impresión a una temperatura de trabajo que es adecuada para el material de construcción y el cabezal de impresión. Preferiblemente, el calentamiento previo es adicional al calentamiento efectuado en los cabezales de impresión, según se conoce en la técnica. El calentamiento previo puede llevarse a cabo mediante un elemento 160 de calentamiento previo colocado en el recorrido de fluido entre el suministro 42 de material y el cabezal 16, según se ilustra en la FIG. 12. El elemento 160 de calentamiento previo está separado, preferiblemente, del cabezal 16, y se encuentra en comunicación de fluido con el suministro 42 por medio del conducto 162 y con el cabezal 16 por medio del conducto 164. Esto difiere de los sistemas convencionales de impresión 3D en los que el calentador previo está montado en el cabezal de impresión. El conducto 162 está dotado, opcional y alternativamente, de una bomba 170 configurada para generar un flujo de material de construcción del suministro 42 al calentador previo 160 y también del calentador previo 160 al cabezal 16. Preferiblemente, la bomba 170 está controlada por el controlador 20.

35 En diversas realizaciones ejemplares de la invención, el elemento 160 de calentamiento previo es estático, en concreto, no se le permite moverse, por ejemplo, junto con el cabezal 16. El elemento 160 de calentamiento previo puede emplear cualquier tipo de técnica de calentamiento, incluyendo, sin limitación, calentamiento por resistencia, calentamiento por radiación y calentamiento por convección. Preferiblemente, el sistema 10 comprende un bucle 166 de retracción de fluido para permitir que, de forma controlable, se retraiga el material de construcción del conducto 164 y, opcional y preferiblemente, también del cabezal 16 de nuevo al elemento 160 de calentamiento previo o al suministro 42. El bucle 166 de retracción de fluido puede comprender una bomba 168 para controlar el flujo en el bucle 166. Preferiblemente, se controla la bomba 168 mediante el controlador 20. Alternativamente, la bomba 170 puede ser una bomba bidireccional, en cuyo caso, puede llevarse a cabo la retracción del material de construcción de nuevo al elemento 160 de calentamiento previo invirtiendo la operación de la bomba 170. En estas realizaciones no es necesario que el sistema 10 incluya una bomba 168.

- La FIG. 12 ilustra que el bucle 166 de retracción de fluido tiene un conducto que está separado del conducto 164. En estas realizaciones, cuando el material de construcción fluye de vuelta al bucle 166, preferiblemente, se evita la entrada del material de construcción en el elemento 160 de calentamiento previo, por ejemplo, mediante una válvula controlable (no mostrada), que puede ser montada en el conducto 164, por ejemplo, en el orificio 172 de salida del calentador previo 160. Sin embargo, en algunas realizaciones, puede no ser necesario que se retraiga el material de construcción mediante un conducto separado. Por ejemplo, cuando la bomba 170 es bidireccional, el bucle 166 puede realizarse como un flujo invertido en el conducto 164. En esta realización, no es necesario tener un conducto separado para la retracción y no es necesario tener una válvula montada en el conducto 164.
- Cuando el cabezal 16 se encuentra operativo, la bomba 170 (o la bomba 168, si es empleada), normalmente, no permite que el material de construcción se retraiga del conducto 164. Cuando la bomba 170 se encuentra inoperativa, por ejemplo, cuando el operario o el controlador 20 interrumpe temporalmente el proceso de impresión (por ejemplo, con el fin de sustituir el cartucho de material), el cabezal 16 se encuentra inactivo. Si el intervalo de tiempo de inoperancia es suficientemente largo, el material de construcción ya en el conducto 164 puede perder calor hacia el entorno teniendo como resultado la disminución de la temperatura del material de construcción por debajo de la temperatura de trabajo mencionada anteriormente. Al final del intervalo de tiempo de inoperancia, y antes de volver a accionar el cabezal 16, preferiblemente, el controlador 20 acciona la bomba 168 o invierte la dirección de operación de la bomba 170 para retraer el material de construcción del conducto 164 al calentador previo 160. El material retraído de construcción es calentado de nuevo en el calentador previo 160. El proceso de retracción continúa, preferiblemente, hasta que no quede material de construcción en el conducto 164. Después, el controlador 20 puede invertir de nuevo la dirección de operación de la bomba 170 (o reanudar su operación y finalizar la operación de la bomba 168, si se realiza la retracción mediante la bomba 168) y se suministra el material recalentado de construcción al cabezal 16 por medio del conducto 164.
- En algunas realizaciones, el sistema 10 comprende una estructura 30 de soporte colocada debajo de los cabezales 16, de forma que la bandeja 12 se encuentre entre la estructura 30 de soporte y los cabezales 16. La estructura 30 de soporte puede servir para evitar o reducir las vibraciones de la bandeja 12 que pueden producirse cuando los cabezales 16 de impresión por chorro de tinta se encuentran operativos. En configuraciones en las que giran los cabezales 16 de impresión en torno al eje 14, preferiblemente, también gira la estructura 30 de soporte, de forma que la estructura 30 de soporte siempre esté directamente debajo de los cabezales 16 (con la bandeja 12 entre los cabezales 16 y la bandeja 12).
- En operación, el sistema 10 está colocado, preferiblemente, sobre una superficie tal, que la bandeja 12 se encuentre sustancialmente horizontal (por ejemplo, con un desvío inferior a 10°, o inferior a 5°, o inferior a 4°, o inferior a 3°, o inferior a 2°, o inferior a 1°, o inferior a 0,5°, o inferior, de la dirección horizontal). En algunas realizaciones, el sistema 10 comprende uno o más dispositivos 44 de nivel de burbuja montados en una o más ubicaciones en la carcasa del chasis 46 del sistema 10. Opcional y preferiblemente el o los dispositivos 44 de nivel de burbuja son dispositivos electrónicos que se comunican con el controlador 20. En estas realizaciones, el controlador 20 puede emitir una señal de alerta cuando el desvío de la dirección horizontal de la carcasa o del chasis 46 se encuentra por encima de un umbral predeterminado. También se contemplan realizaciones en las que el controlador 20 transmite señales a un mecanismo impulsor 48 en respuesta a señales recibidas del o de los dispositivos 44 de nivel de burbuja, de forma que se nivele automáticamente la carcasa o el chasis 46 cuando se detecta un desvío de la dirección horizontal.
- La operación de los cabezales 16 de impresión por chorro de tinta y, opcional y preferiblemente, también de uno o más componentes del sistema 10, por ejemplo, el movimiento de la bandeja 12, están controladas por un controlador 20. El controlador puede tener un circuito electrónico y un medio de memoria no volátil legible por el circuito, en el que el medio de memoria almacena instrucciones informáticas que, cuando son leídas por el circuito, provocan que el circuito realice operaciones de control, como se detalla adicionalmente a continuación.
- El controlador 20 también puede comunicarse con un ordenador central 24 que transmite datos digitales correspondientes a las instrucciones de fabricación en función de los datos informáticos del objeto, por ejemplo, en forma de un lenguaje estándar de mosaico (STL, por sus siglas en inglés) o un formato de contorno de estereolitografía (SLC, por sus siglas en inglés), un lenguaje de modelado de realidad virtual (VRML, por sus siglas en inglés), un formato de fichero de fabricación por adición (AMF, por sus siglas en inglés), un formato de intercambio de dibujos (DXF, por sus siglas en inglés), un formato de fichero de polígonos (PLY, por sus siglas en inglés) o cualquier otro formato adecuado de diseño asistido por ordenador (CAD, por sus siglas en inglés). Los formatos de los datos del objeto están normalmente estructurados según un sistema cartesiano de coordenadas. En estos casos, el ordenador 24 ejecuta, preferiblemente, un procedimiento para transformar las coordenadas de cada corte en los datos informáticos del objeto de un sistema cartesiano de coordenadas a un sistema polar de coordenadas. El ordenador 24 transmite, opcional y preferiblemente, las instrucciones de fabricación en términos del sistema transformado de coordenadas. Alternativamente, el ordenador 24 puede transmitir las instrucciones de fabricación en términos del sistema original de coordenadas según lo proporcionado por los datos informáticos del objeto, en cuyo caso, se ejecuta la transformación de coordenadas mediante el circuito del controlador 20.
- Cuando el sistema 10 imprime dos o más objetos (o dos o más partes separadas del mismo objeto) sobre la bandeja 12, el ordenador 24 o el circuito del controlador 20 puede, en algunas realizaciones de la invención, determinar automáticamente una pluralidad de ubicaciones sobre la bandeja 12. El controlador 20 puede, entonces, indicar a los

cabezales 16 de impresión que impriman los objetos en las ubicaciones determinadas. Pueden determinarse las ubicaciones sobre la bandeja 12 en las que se imprimen los objetos ejecutando un procedimiento de optimización que simula diferentes disposiciones de los objetos sobre la bandeja 12 y elige una de las disposiciones (normalmente la disposición más óptima posible), según un criterio o un conjunto predeterminado de criterios.

- 5 Por ejemplo, según un criterio, los objetos están dispuestos sobre la bandeja 12 para equilibrar la bandeja. Este criterio es particularmente aplicable cuando los objetos que han de ser imprimidos son relativamente pesados, de forma que sus pesos puedan afectar el equilibrio de la bandeja 12. Como ejemplos representativos, cuando el sistema 10 imprime dos objetos que son relativamente pesados y tienen pesos similares, el controlador 20 o el ordenador 24 puede determinar que sus ubicaciones son generalmente antipodales respecto al centro de la bandeja y, en general, en las mismas posiciones radiales (en concreto a distancias similares del eje 14), preferiblemente cercanas a la periferia del área de trabajo; y cuando el sistema 10 imprime tres objetos que son relativamente pesados y tienen pesos similares, el controlador 20 o el ordenador 24 puede determinar que sus ubicaciones están en tres posiciones azimutales que se encuentran aproximadamente 120° separados entre sí y, en general, en las mismas posiciones radiales, preferiblemente cercanas a la periferia del área de trabajo.
- 10
- 15 Según otro criterio, se imprimen más objetos lejos del eje 14 que cerca del eje 14. Este criterio es particularmente aplicable cuando el número de objetos que han de ser imprimidos es superior a dos, pero también puede aplicarse al caso de dos objetos. Como ejemplos representativos, cuando el sistema 10 imprime  $n$  objetos, el controlador u ordenador intenta, en primer lugar, disponer todos los objetos en la periferia del área de trabajo sin solapamientos y con suficiente distancia entre objetos adyacentes. Si todos los objetos no pueden ocupar la periferia del área de trabajo con suficiente distancia entre los objetos adyacentes, el controlador u ordenador intenta disponer  $n-1$  objetos en la periferia del área de trabajo (de nuevo, sin solapamientos y con suficiente distancia entre objetos adyacentes) y 1 objeto más cercano al eje 14, etcétera.
- 20
- 25
- 30

El procedimiento de optimización puede, opcional y preferiblemente, asignar uno o más pesos de optimización (no debiéndose confundir con pesos físicos debidos a la gravedad) a cada objeto, simular diferentes disposiciones de los objetos, calcular una puntuación total de optimización para cada disposición simulada, y selecciona una disposición en función de su puntuación de optimización. Normal pero no necesariamente, los pesos tienen valores numéricos que cuantifican la preferencia de un objeto particular que ha de ser imprimido en la periferia del área de trabajo. Para cada disposición particular, puede calcularse una puntuación de optimización del objeto para cada objeto y, entonces, pueden combinarse todas las puntuaciones de optimización del objeto (por ejemplo, sumarse, multiplicarse). Una puntuación de optimización para la disposición particular puede ser calculada en función, al menos en parte, de las puntuaciones combinadas de optimización del objeto y opcionalmente también de otros criterios (por ejemplo, relaciones espaciales entre las ubicaciones de objetos diferentes).

La puntuación de optimización del objeto puede calcularse combinando (por ejemplo, sumarse, multiplicarse) el peso numérico del respectivo objeto con un parámetro que representa la distancia del objeto del eje 14, para la disposición particular. Por tanto, cuando en alguna disposición simulada un objeto que tiene un peso elevado (indicando que se desea imprimir el objeto en la periferia del área de trabajo) se coloca en la periferia del área de trabajo, la puntuación de optimización del objeto para este objeto es elevada. Por otra parte, cuando en alguna disposición simulada un objeto tiene un elevado peso, no se coloca en la periferia del área de trabajo, la puntuación de optimización del objeto para este objeto es baja.

- 35
- 40 El ordenador 24 o el circuito del controlador 20 también puede, en algunas realizaciones de la invención, ejecutar un procedimiento de optimización que recibe datos correspondientes al material total de construcción que existe en el sistema (por ejemplo, en el suministro 42), y calcular la cantidad de material que es requerida para imprimir el objeto. Cuando la cantidad requerida de material para imprimir el objeto es superior a la cantidad de material que existe en el suministro 42, el controlador 20 de las presentes realizaciones emite una alerta.
- 45 La transformación de coordenadas permite la impresión tridimensional sobre una bandeja giratoria. En la impresión tridimensional convencional, los cabezales de impresión tienen un movimiento de vaivén encima de una bandeja estacionaria a lo largo de líneas rectas. En tales sistemas convencionales, la resolución de impresión es la misma en cualquier punto sobre la bandeja, siempre y cuando las tasas de distribución de los cabezales sean uniformes. A diferencia de la impresión tridimensional convencional, no todas las boquillas de los puntos del cabezal abarcan la misma distancia sobre la bandeja 12 al mismo tiempo. La transformación de coordenadas es ejecutada, opcional y preferiblemente, para garantizar cantidades iguales de material sobrante en diferentes posiciones radiales. En las FIGURAS 3A-F se proporcionan ejemplos representativos de las transformaciones de coordenadas según algunas realizaciones de la presente invención, que muestran tres cortes de un objeto (correspondiéndose cada corte a instrucciones de fabricación de una capa diferente de los objetos), ilustrándose en las FIGURAS 3A, 3C y 3E cortes en un sistema cartesiano de coordenadas e ilustrando las FIGURAS 3B, 3D y 3F los mismos cortes después de aplicar un procedimiento de transformación de coordenadas al corte respectivo.
- 50
- 55

Normalmente, el controlador 20 controla la tensión aplicada a los respectivos componentes del sistema 10 en función de las instrucciones de fabricación y en función de las instrucciones informáticas almacenadas, como se describe a continuación.

En general, el controlador 20 controla los cabezales 16 de impresión para distribuir, durante la rotación de la bandeja 12, gotitas de material de construcción por capas, de forma que imprima un objeto tridimensional sobre la bandeja 12.

Los cabezales de impresión por chorro de tinta distribuyen capas del material de construcción por medio de la tecnología de chorro de tinta. Cada uno de los cabezales de impresión puede configurarse para distribuir un material

5 diferente de construcción. Cuando un cabezal particular de impresión comprende dos o más conjuntos de boquillas, cada conjunto de boquillas puede configurarse para distribuir un material diferente de construcción. Por lo tanto, diferentes materiales de construcción pueden ocupar diferentes ubicaciones diana. Los tipos de materiales de construcción pueden clasificarse en dos categorías principales: material de modelado y material de soporte.

10 El material de soporte sirve como una matriz de soporte para soportar el objeto, o partes del objeto, durante el procedimiento de fabricación y/o con otros fines, por ejemplo, proporcionar objetos huecos o porosos. Preferiblemente, el material de soporte es agua dispersable para facilitar su retirada después de que se complete la construcción del objeto. Preferiblemente, se distribuye el material de soporte en forma líquida y es curable por radiación, tal como, sin limitación, la radiación electromagnética (por ejemplo, la radiación ultravioleta, la radiación de luz visible, la radiación infrarroja), y la radiación de haces de electrones. También se contemplan materiales de soporte que comprenden un

15 componente de cera y, opcionalmente, también un componente modificador de la viscosidad. Estos tipos de materiales de soporte están en forma líquida a temperaturas del sistema 10 de impresión por chorro de tinta, se solidifican tras el enfriamiento después de ser distribuidos, y no requieren un curado por radiación.

20 En general, el material de modelado es una composición que está formulada para su uso en la tecnología de chorro de tinta y que es capaz de formar un objeto tridimensional por sí misma; es decir, sin tener que mezclarse o combinarse con ninguna otra sustancia. Preferiblemente, se distribuye el material de modelado en forma líquida y es curable por radiación, tal como, sin limitación, la radiación electromagnética (por ejemplo, la radiación ultravioleta, la radiación de luz visible, la radiación infrarroja), y la radiación de haces de electrones.

En algunas realizaciones de la invención, los materiales tanto de soporte como de modelado son curables usando el mismo tipo de radiación.

25 El objeto tridimensional final que es fabricado por el sistema 10 está fabricado de material de modelado o una combinación de material de modelado y de soporte o una modificación del mismo (por ejemplo, después del curado).

30 Preferiblemente, pero no de forma obligatoria, se selecciona el número total de boquillas o conjuntos de boquillas de distribución, de manera que la mitad de las boquillas de distribución esté designada para distribuir material de soporte y la otra mitad de boquillas de distribución esté designada para distribuir material de modelado. En el ejemplo representativo de la FIG. 2C, cada uno de los cabezales 16a y 16b tiene un conjunto de boquillas, mientras que el cabezal 16c tiene dos conjuntos de boquillas. En este ejemplo, los cabezales 16a y 16b pueden designarse para

35 material de modelado y el cabezal 16c puede designarse para material de soporte. Por lo tanto, el cabezal 16a puede distribuir un primer material de modelado, el cabezal 16b puede distribuir un segundo material de modelado y el cabezal 16c puede distribuir un material de soporte. En una realización alternativa, el cabezal 16c puede comprender, por ejemplo, 2 estructuras físicamente separadas, teniendo cada una un único conjunto de boquillas. En esta realización, cada una de las dos estructuras puede ser físicamente similar a los cabezales 16a y 16b.

40 En general, el número de cabezales de modelado, el número de cabezales de soporte y el número de boquillas en cada cabezal son seleccionados para proporcionar una relación predeterminada,  $a$ , entre la tasa máxima de distribución del material de soporte y la tasa máxima de distribución del material de modelado. Preferiblemente, se

45 selecciona el valor de la relación predeterminada,  $a$ , para garantizar que, en cada capa fabricada, la altura del material de modelado es igual a la altura del material de soporte. Valores normales para  $a$  son de aproximadamente 0,6 a aproximadamente 1,5.

Por ejemplo, para  $a = 1$ , la tasa total de distribución de material de soporte es generalmente la misma que la tasa total de distribución del material de modelado cuando todos los cabezales de modelado y los cabezales de soporte se encuentran operativos.

50 En una realización preferida, hay  $M$  cabezales modelo, teniendo cada uno  $m$  conjuntos de  $p$  boquillas, y  $S$  cabezales de soporte, teniendo cada uno  $s$  conjuntos de  $q$  boquillas, de modo que  $M \times m \times p = S \times s \times q$ . Cada uno de los conjuntos  $M \times m$  de modelado y conjuntos  $S \times s$  de soporte puede fabricarse como una unidad física separada, que puede montarse y desmontarse del grupo de conjuntos. En esta realización, cada conjunto de ese tipo comprende, opcional y preferiblemente, un controlador de temperatura y un sensor propio del nivel de material y recibe una tensión controlada individualmente para su operación.

55 El tipo de material que es transportado a cada conjunto de boquillas de cada cabezal de impresión para su distribución es controlado, opcional y preferiblemente, por un controlador 20. Por ejemplo, el controlador 20 puede indicar al sistema 42 de suministro de material de construcción que suministre un primer material de modelado a un conjunto de boquillas de un primer cabezal y un material de soporte a otro conjunto de boquillas del primer cabezal. El controlador 20 también puede indicar al sistema 42 que suministre el primer material de modelado a un conjunto de boquillas del primer cabezal, el material de soporte a otro conjunto de boquillas del primer cabezal, y un segundo material de modelado a un conjunto de boquillas de un segundo cabezal. Alternativamente, el controlador 20 puede

- indicar al sistema 42 que suministre el material de soporte a un conjunto de boquillas de otro cabezal. El controlador 20 también puede indicar que el sistema 42 suministre el primer material de modelado a un conjunto de boquillas del primer cabezal, el material de soporte a otro conjunto de boquillas del primer cabezal, el segundo material de modelado a un conjunto de boquillas del segundo cabezal, y un tercer material de modelado a otro conjunto de boquillas del segundo cabezal, etcétera.
- La bandeja 12 y/o los cabezales 16 de impresión están configurados para moverse a lo largo de la dirección vertical z, paralela al eje vertical 14, de forma que varíe la distancia vertical entre la bandeja 12 y los cabezales 16 de impresión. En configuraciones en las que varía la distancia vertical moviendo la bandeja 12 a lo largo de la dirección vertical, preferiblemente, la estructura 30 de soporte también se mueve verticalmente junto con la bandeja 12. En configuraciones en las que los cabezales 16 varían la distancia vertical a lo largo de la dirección vertical, mientras mantienen fija la posición vertical de la bandeja 12, también se mantiene la estructura 30 de soporte en una posición vertical fija.
- El movimiento vertical puede establecerse por medio de un mecanismo impulsor vertical 28. Una vez se completa una capa, se puede aumentar la distancia vertical entre la bandeja 12 y los cabezales 16 (por ejemplo, se baja la bandeja 12 respecto a los cabezales 16) mediante una etapa vertical predeterminada, según el grosor deseado de la capa que ha de ser imprimida subsiguientemente. El procedimiento es repetido para formar un objeto tridimensional por capas.
- El sistema de las presentes realizaciones permite la selección de materiales de modelado de un número dado de materiales de modelado y/o materiales concebidos para formar parte del objeto siendo fabricado, para definir combinaciones deseadas de los materiales seleccionados y definir la "ubicación espacial" de su deposición (combinados o separados) en la capa, permitiendo, así, la formación de una amplia gama de materiales (es decir, combinaciones de materiales), que tiene una gama de atributos o propiedades de materiales y, que permite la fabricación de un objeto que puede constar de múltiples combinaciones diferentes de materiales de modelado, en diferentes partes del objeto, según las propiedades deseadas para caracterizar cada parte del objeto.
- Puede crearse un objeto tridimensional usando soporte lógico adecuado tal como soporte lógico CAD, que exporta el objeto virtual al sistema 10 por medio de un formato de fichero accesible por varios programas, adecuado para CAD, como se ha detallado anteriormente en la presente memoria. El usuario puede dividir o fraccionar el objeto virtual que ha de ser fabricado en un número de partes o regiones separadas. Por lo tanto, una región en el objeto es un subvolumen del objeto confinado en una o más superficies cercanas que no se cruzan entre sí.
- La división del objeto virtual se realiza para permitir la asignación de diferentes materiales de modelado o combinaciones o estructuras de material de modelado a las diferentes regiones. En algunas realizaciones, las diferentes regiones son guardadas como diferentes ficheros de datos o diferentes partes de un fichero de datos, refiriéndose todos los ficheros o partes de ficheros al mismo sistema de ejes y al mismo origen. El procedimiento de división en regiones separadas y su conversión a ficheros de datos puede llevarse a cabo, en general, según se conoce en la técnica, por ejemplo, generalmente según se describe en la patente estadounidense nº 5.768.134, asignada a Materialise N.V. Un grupo de regiones o de ficheros de datos puede crear, por lo tanto, un objeto completo o una parte completa del mismo.
- En algunas realizaciones de la presente invención, se determina la deposición del o de los materiales de modelado según las regiones así definidas, por ejemplo, se definen en el soporte lógico los materiales específicos de modelado que han de usarse, y su combinación y/o deposición espacial en la región, así como la definición espacial de las propias regiones en la capa del objeto, todas según las propiedades predefinidas para cada parte del objeto final. Normalmente, la definición de los atributos de la región, por ejemplo, los tipos de material de modelado y su combinación, puede definirse en una región dada por el soporte lógico en el momento de dividir el objeto virtual en regiones, o después del mismo. En una realización preferida, para cualquier región dada, un usuario u operario del sistema 10 puede introducir definiciones, por ejemplo, por medio de una interfaz de usuario. Por ejemplo, el operario puede seleccionar una región específica y seleccionar materiales de modelado y/o una combinación de materiales para la región así definida, según las propiedades deseadas para cada región respectiva. Un ejemplo de esto es definir un material o combinación de materiales de modelado para la periferia o el límite de la región y un material diferente o combinación de materiales para el resto. Un ejemplo útil de esto es imprimir objetos con material duro en el grueso del volumen, pero material blando en la superficie.
- Pueden seleccionarse combinaciones de diferentes materiales de modelado que tienen diferentes propiedades para depositarse en diferentes regiones, para crear un material compuesto que tiene propiedades diferentes a las del material distribuido, o que exhibe una combinación de sus propiedades. Las propiedades resultantes pueden diferir según la combinación y/o las cantidades relativas de los materiales distribuidos. Los materiales que han de usarse en diferentes combinaciones, así como la estructura, por ejemplo, la deposición espacial/relativa, de sus combinaciones son predeterminados según las propiedades deseadas que han de lograrse en el material compuesto final que forma el objeto o partes del objeto.

Por lo tanto, un objeto resultante, según algunas realizaciones de la presente invención, puede tener propiedades que difieren en el propio objeto, por ejemplo, una propiedad que aumenta o disminuye de un lado del objeto al otro, o propiedades alternantes en el objeto. Por ejemplo, seleccionar un material de modelado que es rígido después del

curado y otro que es flexible o elástico después del curado, puede tener como resultado un objeto de material compuesto en el que algunas partes del objeto son más rígidas que otras, algunas son más flexibles que otras, o el objeto puede ser rígido, por ejemplo, por el exterior y en el centro, pero flexible en el resto. Por ejemplo, si se distribuye una mayor cantidad de material rígido que la cantidad de material flexible, el material del objeto fabricado es menos rígido que el material rígido seleccionado, pero no tan flexible como el material flexible seleccionado. Por lo tanto, diferentes regiones del objeto fabricado pueden tener diferentes propiedades de material, en el que una región puede ser una capa, parte de una capa o un número de capas, por ejemplo, un bloque horizontal de capas, u otras disposiciones estructurales y, por lo tanto, las propiedades del material pueden cambiar en una capa o entre diferentes bloques de capas. Un material compuesto también puede tener colores que difieren en todo el material compuesto, dependiendo de las cantidades relativas y de la distribución espacial de un número de diferentes materiales coloreados.

Los diferentes tipos de materiales de modelado pueden permanecer separados y diferenciados en el objeto fabricado o pueden mezclarse durante el proceso de fabricación. En el modo de material único, por ejemplo, si se usan dos materiales de modelado, pueden combinarse los propios materiales en un único material, o pueden depositarse, de forma que cada material permanezca diferenciado, sin embargo, su deposición uniforme en gotitas de material contiguas entre sí forma una mezcla uniforme homogénea. En modos de múltiples materiales, pueden seleccionarse dos o más materiales de modelado para distribuirse individualmente en partes o regiones, y/o combinados en otros, pudiéndose realizar la combinación distribuyendo cantidades relativas de cada material en diferentes ubicaciones diana o grupos de ubicaciones diana específicos, o distribuyendo dos o más tipos de materiales de modelado en el mismo grupo de ubicaciones diana.

Pueden variarse de forma dinámica las cantidades relativas de diferentes materiales de modelado que son distribuidas por capa o una porción de la misma por medio del controlador 20 durante la fabricación del objeto, particularmente cuando se desea fabricar un objeto que tiene propiedades no uniformes o anisotrópicas. Preferiblemente, el controlador 20 recibe del ordenador 24 datos digitales que describen las cantidades relativas y controla la tasa de distribución de la tasa individual de distribución según los datos. La variación de las cantidades relativas puede realizarse bien de forma continua o bien discreta.

La capacidad del sistema de las presentes realizaciones de utilizar dos o más materiales de modelado hace posible usar muchos materiales, cada vez más variados, en la fabricación libre de sólidos de lo que ha sido posible hasta la fecha en las técnicas convencionales de fabricación de formato libre de sólidos, así como proporcionar muchas posibilidades diferentes para combinar múltiples materiales, según el objeto final y/o las propiedades deseadas del objeto que han de obtenerse.

Por ejemplo, los materiales de construcción que tienen una mayor tendencia a encoger como resultado del proceso de polimerización, normalmente, no son adecuados para su uso en un aparato tradicional de fabricación de formato libre de sólidos. El sistema de las presentes realizaciones proporciona de forma útil una solución a este problema. Por ejemplo, el sistema de las presentes realizaciones puede fabricar partes u objetos en los que las superficies exteriores de la parte o del objeto están fabricados de un material, mientras que el resto de la parte o del objeto comprende un material diferente. En este ejemplo, las regiones internas pueden fabricarse de un material que carece de resistencia mecánica, tal como un gel o un líquido, pero que tiene otras propiedades deseables, tales como ser fácilmente retirable, por ejemplo, para crear un objeto hueco, o fácilmente quemado sin dejar cenizas u otros indicios.

En algunas realizaciones de la invención, pueden distribuirse dos o más materiales de modelado, en las que uno o más de los materiales pueden no tener las propiedades requeridas para permitir la construcción del objeto deseado. La combinación de los dos materiales puede proporcionar un material funcional de modelado. Por ejemplo, uno de los materiales puede no solidificarse durante el proceso de fabricación, sino permanecer en forma líquida, de gel, de pasta u otra forma no sólida o semisólida, mientras que el otro material sí se solidifica durante el proceso de fabricación. El material solidificado puede "contener" el material no solidificado o, de forma alternativa, el material no solidificado, puede drenarse, quemarse o eliminarse de otra forma una vez se complete el proceso para proporcionar un modelo que es hueco o poroso.

En algunas realizaciones de la invención, pueden distribuirse dos o más materiales de modelado en las que un material puede tener una reactividad demasiado baja para usarse como un material de modelado en un sistema específico, dado que si se usa por sí solo produciría un objeto que tiene una definición deficiente y una baja calidad de impresión, mientras que otro material tiene la reactividad apropiada. En este ejemplo, puede hacerse notar que una de las propiedades básicas de una formulación curable por UV es su reactividad a la radiación UV. Se obtiene la reactividad, en general, mediante una combinación adecuada de monómeros, oligómeros, fotoiniciador y una concentración de fotoiniciador. Los monómeros y oligómeros acrílicos (a diferencia de metacrílicos) son especialmente apropiados debido a su reactividad intrínseca relativamente elevada, lo que quiere decir que las formulaciones acrílicas pueden usar concentraciones de fotoiniciador relativamente bajas. Debido a la reactividad intrínseca relativamente baja de los componentes metacrílicos, es bastante difícil usarlos en la preparación de formulaciones. La carencia de reactividad de una formulación afecta directamente su calidad de impresión. El uso de una formulación con una baja reactividad produciría un objeto con bordes y/o superficies indefinidos e inexactos.

- Los componentes metacrílicos tienen generalmente propiedades valiosas tales como una menor relación de contracción y una mayor Tg (temperatura de transición vítrea) que los componentes acrílicos, sin embargo, tienen una reactividad más baja que los componentes acrílicos. Este problema puede solucionarse usando el sistema de la presente invención, en el que se usa un material de modelado que tiene una reactividad elevada, por ejemplo, una formulación acrílica, y otro material de modelado que tiene una reactividad baja, por ejemplo, una formulación metacrílica. La formulación de reactividad elevada puede usarse para rodear la formulación de reactividad baja en cada capa y, por lo tanto, las superficies del objeto estarían constituidas por la formulación reactiva y el núcleo del objeto por la formulación de reactividad baja. Como consecuencia, se garantiza la calidad de la periferia del objeto; dado que esta característica requiere una reactividad elevada (la calidad de la periferia comprende la uniformidad de las paredes y la nitidez de bordes). También se garantiza la precisión del objeto dado que se minimiza la deformación del volumen, que se produce por contracción. De esta forma, pueden aprovecharse las propiedades valiosas de los componentes de reactividad baja. Pueden usarse otros tipos de formulaciones de reactividad baja, incluyendo, por ejemplo, formulaciones polimerizables iniciadas cationicamente por UV.
- En algunas realizaciones de la presente invención, el conjunto de boquillas de uno o más de los cabezales de impresión está configurado, de forma que las boquillas que estén a diferentes distancias del eje 14 distribuyan el material de construcción a diferentes tasas de distribución. Preferiblemente, las boquillas que se encuentran más cerca del eje 14 (o del centro de la bandeja 12) distribuyen el material de construcción a tasas de distribución más bajas que las boquillas que se encuentran más lejos del eje 14. Esta configuración es ventajosa dado que reduce o elimina el efecto de diferentes velocidades lineales a diferentes distancias del eje 14.
- Se pueden garantizar las diferentes tasas de distribución de más de una forma.
- En algunas realizaciones de la presente invención, los diámetros de las aberturas de las boquillas difieren entre diferentes boquillas del mismo conjunto de boquillas. Por ejemplo, el diámetro de la abertura de la boquilla puede ser una función creciente de la distancia de la boquilla del eje 14, de forma que, para cualquier par de boquillas del mismo conjunto, la abertura de la boquilla que se encuentra más cerca del eje 14 es más pequeña que la de la boquilla que se encuentra más lejos del eje 14.
- En algunas realizaciones de la presente invención, los diámetros de las aberturas de las boquillas son los mismos para todas las boquillas del mismo conjunto de boquillas, pero las boquillas son controladas individualmente por el controlador 20. En estas realizaciones, el controlador 20 aplica diferentes niveles de tensión a diferentes boquillas del mismo conjunto, de forma que se garanticen diferentes tasas de distribución para diferentes boquillas en el mismo conjunto. Preferiblemente, el controlador 20 selecciona la tensión aplicada, de forma que las boquillas que se encuentran más cerca del eje 14 distribuyan el material de construcción a tasas de distribución más bajas que las boquillas que se encuentran más lejos del eje 14.
- En algunas realizaciones de la presente invención, los diámetros de las aberturas de las boquillas difieren entre diferentes boquillas del mismo conjunto de boquillas, y las boquillas son controladas individualmente por el controlador 20. En estas realizaciones, se garantizan las diferentes tasas de distribución mediante los diferentes tamaños de abertura y se garantiza, además, por la selección juiciosa de la tensión aplicada por el controlador 20.
- Los presentes inventores también han ideado una técnica que soluciona problemas asociados con la tasa constante de distribución cuando el movimiento relativo entre el cabezal cebador y la bandeja no sigue líneas rectas. La técnica descrita a continuación puede emplearse cuando todas las boquillas de los cabezales 16 distribuyen el material de construcción a la misma tasa de distribución, pero puede emplearse cuando varían las tasas de impresión. La técnica puede emplearse en cualquier escenario de impresión en el que las boquillas siguen trayectorias que no siguen una línea recta, particularmente, en situaciones en las que operar todas las boquillas de un cabezal de impresión con la misma frecuencia tiene como resultado una resolución no uniforme. La técnica incluye el enmascaramiento de datos, como se explicará ahora con mayor detalle.
- Cada corte en los datos informáticos del objeto tiene, normal, pero no necesariamente, forma de un mapa binario de bits. Alternativamente, los datos del corte pueden ser calculados sobre la marcha a partir de una representación tridimensional informática del objeto (por ejemplo, una malla 3D).
- Aunque se describen las siguientes realizaciones con un particular énfasis en el uso de un mapa de bits, se debe entender que la operación de lectura de información de un mapa de bits puede sustituirse por una operación de cálculo de un valor en una cierta ubicación en una representación tridimensional informática del objeto, y que se contemplan ambas según las diversas realizaciones ejemplares de la invención.
- Normalmente, se calcula un mapa de bits de activación de boquilla a partir del mapa de bits de los datos informáticos del objeto. Cada elemento del mapa de bits (por ejemplo, un píxel) en el mapa de bits de activación de boquilla corresponde a una ubicación diana en la capa respectiva en la que el valor del elemento del mapa de bits determina si se activa una boquilla respectiva que alcanza la ubicación física respectiva. Por ejemplo, los unos representan ubicaciones que han de ser ocupadas por material de construcción en la capa final y los ceros representan vacíos en la capa final.

Según las presentes realizaciones, el mapa de bits operativo está enmascarado, de forma que la resolución a lo largo de la dirección azimutal de todas las boquillas es la misma independientemente de su posición en el cabezal y de la trayectoria del cabezal. En la FIG. 9A se muestra un ejemplo representativo de tal enmascaramiento, que ilustra el conjunto 22 de boquillas del cabezal 16. La primera boquilla (la más lejana del eje 14) está indicada como boquilla 104 y la última boquilla (la más cercana al eje 14) está indicada como boquilla 106. La FIG. 9A también ilustra dos trayectorias curvadas exemplificadas 102 y 108 respectivamente seguidas por las boquillas 104 y 106 durante los movimientos relativos del cabezal 16 y de la bandeja 12. Se ilustran seis boquillas en el conjunto 22, pero el conjunto 22 puede tener cualquier número de boquillas. Las ubicaciones mostradas de las boquillas 104 y 106 sobre las trayectorias 102 y 108 se corresponden a un instante temporal denominado  $T_1$ . En un instante temporal adicional  $T_1+dT$ , la boquilla 104 alcanza la posición 110 a lo largo de la trayectoria 102 y la boquilla 106 alcanza la posición 112 a lo largo de la trayectoria 108. En otro instante temporal adicional  $T_1+2dT$ , la boquilla 104 alcanza la posición 114 a lo largo de la trayectoria 102 y la boquilla 106 alcanza la posición 116 a lo largo de la trayectoria 108.

Las boquillas 104 y 106 abarcan diferentes longitudes de arco sobre las trayectorias 102 y 108 durante el mismo intervalo de tiempo. Específicamente, las tres ubicaciones visitadas por la boquilla 104 en los instantes temporales  $T_1$ ,  $T_1+dT$  and  $T_1+2dT$  están más separadas entre sí que las tres ubicaciones visitadas por la boquilla 106 en estos instantes temporales. En el ejemplo ilustrado en la FIG. 9A, la longitud de arco abarcada por la boquilla 106 entre los instantes temporales  $T_1$  y  $T_1+2dT$  es aproximadamente la misma que la longitud de arco abarcada por la boquilla 106 entre los instantes temporales  $T_1$  y  $T_1+dT$ , o entre los instantes temporales  $T_1+dT$  y  $T_1+2dT$ . Según algunas realizaciones de la presente invención, se activa la boquilla 106 en el instante temporal  $T_1$  y en el instante temporal  $T_1+2dT$ , pero no en el instante temporal  $T_1+dT$ . En otras palabras, el mapa de bits de activación de boquilla que se corresponde con la respectiva capa está enmascarado, de forma que no se distribuya material en la ubicación 112 independientemente de si el mapa de bits de activación de boquilla o el mapa de bits de los datos informáticos de entrada del objeto designa o no la ubicación 112 como una ubicación en la que se ha de distribuir una gotita de material de construcción.

La ilustración en la FIG. 9A representa un ejemplo de una relación de enmascaramiento del 50% en el que el 50% de las ubicaciones a lo largo de la trayectoria 108 están enmascaradas por la boquilla 106, de forma que la boquilla 106 no distribuya material tras alcanzar estas ubicaciones. Se aprecia que para otro par de trayectorias la relación de enmascaramiento puede ser distinta del 50%. La relación de enmascaramiento puede calcularse para cada trayectoria de cada boquilla, en función de la relación entre las longitudes de arco abarcadas por diferentes boquillas durante el mismo intervalo de tiempo  $dT$ , o en función de la relación entre las velocidades lineales de diferentes boquillas. En función de la relación de enmascaramiento, el controlador 20 puede, opcional y preferiblemente, decidir si activar, o no, una boquilla respectiva en una ubicación respectiva. Según algunas realizaciones de la presente invención, cuando una boquilla está enmascarada en un instante temporal, no se lee dato alguno de impresión del mapa de bits de entrada del mapa de bits de activación de boquilla para esa boquilla. Alternativamente, no se calcula tal entrada. Estas realizaciones pueden ser vistas como una dilución de datos dado que reduce la cantidad de datos que son procesados al nivel del mapa de bits. La ventaja de esta realización es que reduce el tiempo y los recursos de cálculo.

Puede lograrse una reducción adicional del tiempo y de los recursos de cálculo teniendo en consideración la longitud de arco de la trayectoria abarcada por una boquilla que pertenece a un grupo de boquillas, por ejemplo, un conjunto de boquillas. Según algunas realizaciones de la presente invención, se identifica una boquilla que abarca el segmento más largo de la trayectoria del grupo durante un intervalo de tiempo. Entonces, se calcula un valor de máscara binaria para esta boquilla (por ejemplo, cero para el enmascaramiento y uno para no hacerlo) en un instante temporal en el intervalo de tiempo. Cuando esta boquilla está enmascarada, entonces, todas las demás boquillas del grupo están enmascaradas, sin calcular por separado un valor de máscara para cada una de estas boquillas. Opcional y preferiblemente, no se accede al mapa de bits de activación de boquilla para un grupo de boquillas enmascaradas.

La FIG. 9B, muestra de forma esquemática los conjuntos 22a y 22b de boquillas de dos cabezales 16a y 16b, respectivamente. Las notaciones que se corresponden con el cabezal 16a son las mismas que las del cabezal 16 en la FIG. 9A anterior. La última boquilla en el cabezal 16b está designada 122 y la trayectoria seguida por la boquilla está designada 120.

Las ubicaciones de las boquillas 104, 106 y 122 sobre las trayectorias 102, 108 y 120 se corresponden con un instante temporal denominado  $T_1$ . En el instante  $T_1+dT$ , la boquilla 104 alcanza la posición 110 a lo largo de la trayectoria 102, la boquilla 106 alcanza la posición 112 a lo largo de la trayectoria 108, y la boquilla 122 alcanza la posición 124 a lo largo de la trayectoria 120. Para un intervalo dado de tiempo (por ejemplo, entre instantes temporales  $T_1$  y  $T_1+dT$ ), la longitud de arco abarcada por la boquilla 104 es la más larga entre las longitudes de arco abarcadas por cualquier otra boquilla en el conjunto 22a.

En el ejemplo ilustrado en la FIG. 9B, la longitud de arco abarcada por la boquilla 122 entre los instantes temporales  $T_1$  y  $T_1+dT$  es aproximadamente la misma que la longitud de arco abarcada por la boquilla 104 entre los instantes temporales  $T_1$  y  $T_1+2dT$ . Según algunas realizaciones de la presente invención, la boquilla 104 es activada en el instante temporal  $T_1$  y en el instante temporal  $T_1+2dT$ , pero no en el instante temporal  $T_1+dT$ , y la boquilla 106 es activada en el instante temporal  $T_1$ , pero no en los instantes temporales  $T_1+dT$  y  $T_1+2dT$ . Además, dado que cualquier boquilla del conjunto 22a, que no sea la boquilla 104, abarca una longitud de arco que es más corta que la longitud de arco abarcada por la boquilla 104 durante el mismo intervalo de tiempo, no se precisa activar ninguna de las boquillas

del conjunto 22a en el instante temporal  $T_1+dT$ . En otras palabras, el mapa de bits de activación de boquilla que se corresponde con la capa respectiva está enmascarado, de forma que no se distribuya material alguno de ninguna boquilla del conjunto 22a, al menos hasta que la primera boquilla 104 alcance la ubicación 114 a lo largo de la trayectoria 102. Esto se corresponde, según se ha indicado, como una operación de dilución de datos, dado que reduce la cantidad de datos que son procesados al nivel del mapa de bits.

Los presentes inventores descubrieron que tal procedimiento reduce significativamente el tiempo de procesamiento y los recursos requeridos de cálculo, dado que no hay necesidad alguna acceder al mapa de bits de activación de boquilla (o para calcular su valor) hasta que la primera boquilla 104 alcance la ubicación 114. Esta reducción puede entenderse mejor a partir de la ilustración proporcionada en la FIG. 9C.

10 La FIG. 9C ilustra un conjunto 22 de boquillas superpuesto sobre un mapa de bits de entrada que, en este ejemplo, está definido sobre una cuadrícula rectangular. Cada ubicación en la cuadrícula representa un elemento del mapa de bits de entrada (por ejemplo, un píxel). En la FIG. 9B se muestran elementos 130 y 132 del mapa de bits. Se ilustra el conjunto 22 en el instante temporal  $T_1$  en el que las boquillas primera 104 y última 106 del conjunto 22 se superponen aproximadamente sobre los elementos 130 y 132 del mapa de bits de entrada. Por lo tanto, los valores almacenados en los elementos 130 y 132 pueden dar lugar a la activación o la no activación de las boquillas 104 y 106, en el instante temporal  $T_1$ .

15 Los sistemas convencionales de impresión buscan la ubicación de las boquillas relevantes en un instante temporal específico ( $T_1$ , en el presente ejemplo), buscan elementos del mapa de bits que están ubicadas juntamente con las boquillas en el instante temporal específico, obtienen información contenida en los respectivos elementos del mapa de bits, y deciden si se activan o no las respectivas boquillas. Los presentes inventores descubrieron que al menos algunas de estas etapas son superfluas y pueden saltarse mediante la técnica de enmascaramiento de las presentes realizaciones. Es decir, en ubicaciones en las que las boquillas están enmascaradas, no es necesario procesar el mapa de bits; por consiguiente, se reduce el tiempo de procesamiento.

20 En diversas realizaciones ejemplares de la invención, el controlador 20 o el procesador 24 de datos accede a un medio legible por ordenador que almacena una máscara calculada de antemano y aplica la máscara al mapa de bits de entrada o al mapa de bits de activación de boquilla. La máscara calculada de antemano puede tener la forma de una matriz rectangular booleana, que indica ubicaciones en las que la activación de las boquillas está enmascarada (en concreto, las ubicaciones de boquillas en las que las boquillas no distribuyen material independientemente del valor en el respectivo elemento del mapa de bits). La dimensión de la máscara, opcional y preferiblemente, es igual a la multiplicación del número de boquillas en un cabezal por el número de gotitas distribuibles en la trayectoria más larga sobre el área 26 de trabajo (por ejemplo, el perímetro más exterior del área 26 de trabajo, o el perímetro más exterior de la región ocupada 90).

25 El cálculo de los elementos de la máscara calculada de antemano está basada, opcional y preferiblemente, en la relación de enmascaramiento mencionada anteriormente. Opcional y preferiblemente, el cálculo comprende aplicar un generador de números pseudoaleatorios usando la relación de enmascaramiento como probabilidad de entrada. Específicamente, cada ubicación de boquilla a lo largo de una trayectoria está enmascarada en una probabilidad que es igual a la relación de enmascaramiento asociada con esa ubicación. Los presentes inventores descubrieron que tal aplicación del generador de números pseudoaleatorios mejora significativamente la calidad del objeto impreso. Sin entrar en consideraciones teóricas particulares, se supone que la calidad mejorada cuando se emplea un generador de números pseudoaleatorios es debida a una cantidad reducida de eventos de interferencia en el cabezal 16 y opcionalmente en otros componentes del sistema 10.

30 Cuando se identifica una boquilla que abarca la longitud de arco más larga entre un grupo de boquillas (por ejemplo, un conjunto de boquillas) durante un intervalo de tiempo, entonces, se aplica el generador de números pseudoaleatorios preferiblemente solamente a la trayectoria de esa boquilla, en el que todas las demás boquillas del grupo están enmascaradas durante todo el intervalo de tiempo. Con referencia, de nuevo, a la FIG. 9B, según las presentes realizaciones, se aplica el generador de números pseudoaleatorios solamente a la trayectoria 102 y todas las demás boquillas en el conjunto 22a están enmascaradas durante todo el intervalo de tiempo entre los instantes temporales  $T_1$  y  $T_1+dT$ . Este procedimiento puede visualizarse de forma matemática como el enmascaramiento de una boquilla (boquilla 104, en el presente ejemplo) con una probabilidad inferior a 1, y el enmascaramiento de todas las demás boquillas en el grupo (conjunto 22a en el presente ejemplo) con una probabilidad de 1, cuando se da el caso de que una boquilla esté enmascarada.

35 Los presentes inventores también contemplan calcular valores de máscara binaria para cada uno de al menos algunas de las ubicaciones de boquilla durante el proceso de impresión tridimensional. Esto puede lograrse, por ejemplo, basándose en una función de máscara predeterminada de la longitud de arco de la respectiva ubicación del eje 14.

40 En diversas realizaciones ejemplares de la invención, se selecciona la función de máscara, de forma que las ubicaciones de las boquillas que están más cerca del eje 14 se encuentren enmascaradas más a menudo que las ubicaciones de las boquillas que se encuentran alejadas del eje 14. Por ejemplo, la función de máscara puede calcular una relación de enmascaramiento que es igual a la relación entre las velocidades lineales de diferentes boquillas a lo largo de diferentes trayectorias. Una vez se calcula la relación de enmascaramiento, se realiza la decisión respecto al enmascaramiento de una ubicación particular de la boquilla a lo largo de la trayectoria, opcional y preferiblemente, de

forma probabilística, según se ha descrito anteriormente en la presente memoria. Cuando se identifica la boquilla que abarca la longitud de arco más larga entre un grupo de boquillas (por ejemplo, un conjunto de boquillas) durante un intervalo de tiempo, entonces, se realiza la decisión (opcional y preferiblemente realizada de forma probabilística) solamente a la trayectoria de esa boquilla, según se ha descrito anteriormente en la presente memoria.

- 5 Los presentes inventores también contemplan calcular valores de máscara binaria en situaciones en las que no se produce la impresión a lo largo de segmentos circulares. En estas realizaciones, se reciben datos correspondientes a la trayectoria de las boquillas durante la impresión, y se calcula la relación de enmascaramiento en función de las trayectorias recibidas (por ejemplo, en función de las relaciones de longitud de arco según se ha detallado anteriormente en la presente memoria). Entonces, cada ubicación de boquilla está enmascarada en función de la relación calculada de enmascaramiento, opcional y preferiblemente de forma probabilística, según se ha descrito anteriormente en la presente memoria. Cuando se identifica una boquilla que abarca la longitud de arco más larga entre un grupo de boquillas (por ejemplo, un conjunto de boquillas) durante un intervalo de tiempo, entonces, se realiza la decisión (opcional y preferiblemente realizada de forma probabilística) solamente a la trayectoria de esa boquilla, según se ha descrito anteriormente en la presente memoria.
- 10 15 En cualquiera de las realizaciones anteriores, se accede al mapa de bits de activación de boquilla, opcional y preferiblemente, solamente para ubicaciones de boquilla que no están enmascaradas, para determinar si activar, o no, las boquillas en estas ubicaciones no enmascaradas.
- 20 En cualquiera de las realizaciones anteriores, las boquillas que no son accionadas (por ejemplo, las boquillas que se encuentran enmascaradas) son, opcional y preferiblemente, estimuladas, en concreto, reciben una energía de activación que es inferior a la energía requerida para activar las boquillas para distribuir material de construcción.
- 25 Los presentes inventores descubrieron que operar las boquillas a ciertas frecuencias puede, en algunos casos, ser perjudicial a la vida útil a largo plazo de las boquillas, dado que puede provocar que una boquilla deje de estar operativa o cambie sus características operativas tales como el peso o el monto de la gota emitida. Por lo tanto, en algunas realizaciones de la presente invención, se eliminan ciertas frecuencias de la máscara pseudoaleatoria. Por ejemplo, pueden eliminarse las frecuencias más elevadas de la máscara, de forma que nunca aparezca la secuencia desactivado-activado-desactivado, mientras que sí aparezca una secuencia desactivado-activado-activado-desactivado.
- 30 35 El sistema 10 comprende, opcional y preferiblemente, una o más fuentes 18 de radiación, que pueden ser, por ejemplo, una lámpara ultravioleta o visible o infrarroja, u otras fuentes de radiación electromagnética, o una fuente de haces de electrones, dependiendo del material de modelado siendo usado. La fuente 18 de radiación puede incluir cualquier tipo de dispositivo emisor de radiación, incluyendo, sin limitación, un diodo emisor de luz (LED), un sistema de procesamiento digital de luz (DLP), una lámpara resistiva y similares. La fuente 18 de radiación sirve para curar o solidificar el material de modelado. En diversas realizaciones exemplares de la invención, la operación de la fuente 18 de radiación está controlada por el controlador 20 que puede activar y desactivar la fuente 18 de radiación y, opcionalmente, también puede controlar la cantidad de radiación generada por la fuente 18 de radiación.
- 40 45 En algunas realizaciones de la presente invención, la fuente 18 de radiación está configurada para tener un movimiento de vaivén respecto a la bandeja a lo largo de la dirección radial r. Estas realizaciones son útiles cuando la longitud de la fuente 19 de radiación es más corta que el ancho a lo largo de la dirección radial del área 26 de trabajo sobre la bandeja 12. El movimiento de la fuente 18 de radiación a lo largo de la dirección radial es controlado, opcional y preferiblemente, por el controlador 20. En la FIG. 1D se muestra una ilustración representativa de un mecanismo adecuado para mover la fuente 18 de radiación a lo largo de la dirección radial. En la FIG. 1D, se muestra una fuente 18 de radiación montada en una etapa 56 dispuesta para establecer un movimiento de vaivén de la fuente 18 de radiación a lo largo de la dirección radial. Por lo tanto, las presentes realizaciones contemplan una fuente de radiación y un cabezal de impresión, siendo cada uno controlable independientemente para moverse en la dirección radial a lo largo de una etapa separada de movimiento. Esto difiere de los sistemas convencionales de impresión tridimensional en los que el cabezal de impresión y la fuente de radiación están montados en el mismo bloque de impresión y son obligados, por lo tanto, a moverse de forma simultánea. En algunas realizaciones de la invención, el controlador 20 está configurado para mover la fuente 18 de radiación y el o los cabezales 18 de forma no simultánea a lo largo de la dirección radial durante la operación del sistema 10. En algunas realizaciones de la invención, el controlador 20 está configurado para mover la fuente 18 de radiación y el o los cabezales 18 de forma no simultánea e independiente a lo largo de la dirección radial durante la operación del sistema 10. Estas realizaciones son particularmente útiles cuando se desea seleccionar el tiempo en el que se inicia el curado, por ejemplo, para retrasar el curado, según se ha descrito anteriormente en la presente memoria.
- 50 55 60 La fuente 18 de radiación y/o el controlador 20 están configurados, opcional y preferiblemente, para garantizar que la tasa de curado del material distribuido de construcción sea, en general, (por ejemplo, dentro del 20%, o dentro del 10%, o dentro del 5%, o dentro del 1%) la misma para las gotitas distribuidas en diferentes posiciones radiales. Normalmente, esto se logra configurando o controlando la fuente 18 de radiación para suministrar energía a diferentes tasas a ubicaciones que se encuentran a diferentes distancias del eje 14. Preferiblemente, la tasa a la que se suministra energía mediante la fuente 18 disminuye linealmente con la distancia del eje 14. Específicamente, denotar con  $P_1$  la tasa de energía suministrada a una ubicación en una distancia  $r_1$  del eje 14, y con  $P_2$  la tasa de energía

suministrada a una ubicación en una distancia  $r_2$  del eje 14, las tasas  $P_1$  y  $P_2$  cumplen preferiblemente la relación  $P_1/P_2 \approx r_1/r_2$ .

El suministro de diferentes dosis de energía a ubicaciones que se encuentran a diferentes distancias del eje 14 puede llevarse a cabo de mas de una forma. En algunas realizaciones de la presente invención, la fuente 18 de radiación

- 5 tiene una forma ahusada, de forma que, en general, su ancho a lo largo de la dirección azimutal es estrecho en su extremo interior (más cerca del eje 14) que en su extremo que apunta hacia fuera (más lejos del eje 14). En algunas realizaciones de la presente invención, los elementos emisores de radiación en la fuente 18 de radiación (por ejemplo, unos LED o similares) que no están todos caracterizados por la misma potencia de emisión. En estas realizaciones, los elementos emisores están distribuidos preferiblemente de forma radial a lo largo de la fuente 18 de radiación, de
- 10 forma que los elementos con una potencia de emisión más baja se encuentren más cerca del extremo interior y que los elementos con una potencia de emisión más elevada se encuentren más cerca del extremo exterior. Preferiblemente, los elementos emisores están distribuidos para que la potencia de emisión disminuya de forma lineal con la distancia del extremo interior. En algunas realizaciones de la presente invención, los elementos emisores de radiación en la fuente 18 de radiación (por ejemplo, unos LED o similares) están todos caracterizados por la misma
- 15 potencia de emisión, pero el controlador 20 controla de forma individual cada elemento emisor de radiación o cada grupo de elementos emisores de radiación con una potencia diferente. Esto puede llevarse a cabo generando diferentes campos eléctricos en diferentes elementos emisores de radiación o en diferentes grupos de elementos emisores de radiación. También se contempla la combinación de las realizaciones anteriores (por ejemplo, la fuente ahusada con elementos emisores de radiación que no emiten todos a la misma potencia de emisión).

- 20 Los presentes inventores apreciaron que el intervalo de tiempo entre el evento en el que se distribuye el material de construcción y el evento en el que el material recién distribuido se expone a la radiación de la fuente 18 puede afectar a la precisión, al acabado de la superficie y a la calidad general de impresión del objeto impreso. En general, los intervalos de tiempo más cortos entre estos eventos tienen como resultado un menor engrosamiento del punto y una mejor calidad del objeto impreso. Por otra parte, los presentes inventores descubrieron que colocar la fuente 18 en proximidad estrecha con el o los cabezales 16 puede tener efectos adversos en los chorros distribuidos del o de los cabezales 16. Sin desear entrar en consideraciones teóricas particulares, se cree que estos efectos son debidos a la radiación que es reflejada de la bandeja 12 o del material de construcción sobre la bandeja 12 en la dirección de las boquillas del o de los cabezales 16.
- 25

- 30 Los presentes inventores han realizado experimentos para determinar una disposición geométrica preferida de la fuente 18 y del o de los cabezales 16, de forma que se logre una calidad adecuada de impresión mientras se reducen o minimizan los daños a las boquillas. Los experimentos están descritos en la sección de ejemplos a continuación. Basándose en los datos experimentales obtenidos según algunas realizaciones de la presente invención, se logró una calidad adecuada de impresión cuando el tiempo para el curado fue de aproximadamente 0,5 segundos y preferiblemente no más de 0,75 segundos. Por lo tanto, la separación azimutal entre la fuente 18 y el o los cabezales
- 35 16 se encuentra preferiblemente entre  $0,3\omega$  radianes y  $0,75\omega$  radianes, siendo  $\omega$  la velocidad angular media de la bandeja 12 respecto al o a los cabezales 16 y a la fuente 18. Normal, pero no necesariamente, la separación azimutal entre el o los cabezales 16 y la fuente 18 es de aproximadamente  $30^\circ$  a aproximadamente  $120^\circ$ , más preferiblemente de aproximadamente  $40^\circ$  a aproximadamente  $110^\circ$ , más preferiblemente de aproximadamente  $45^\circ$  a aproximadamente  $100^\circ$ , más preferiblemente de aproximadamente  $45^\circ$  a aproximadamente  $90^\circ$ , más preferiblemente de aproximadamente  $55^\circ$  a aproximadamente  $90^\circ$ .
- 40

- 45 En algunas realizaciones de la invención, el sistema 10 comprende, además, uno o más dispositivos 32 de nivelación que pueden fabricarse como un rodillo o una cuchilla. El dispositivo 32 de nivelación sirve para enderezar la capa recién formada antes de la formación de la capa sucesiva sobre la misma. En algunas realizaciones, el dispositivo 32 de nivelación tiene la forma de un rodillo cónico colocado para que su eje 34 de simetría esté inclinado con respecto a la superficie de la bandeja 12 y su superficie sea paralela a la superficie de la bandeja. Esta realización está ilustrada en la vista lateral del sistema 10 (FIG. 1B).

El rodillo cónico puede tener la forma de un cono o troncocónico.

- 50 El ángulo de apertura del rodillo cónico está seleccionado preferiblemente para que sea una relación constante entre el radio del cono en cualquier ubicación a lo largo de su eje 34 y la distancia entre esa ubicación y el eje 14. Esta realización permite que el rodillo 32 nivele las capas de forma eficiente dado que, mientras gira el rodillo, cualquier punto  $p$  en la superficie del rodillo tiene una velocidad lineal que es proporcional (por ejemplo, la misma) a la velocidad lineal de la bandeja en un punto verticalmente debajo del punto  $p$ . En algunas realizaciones, el rodillo tiene forma troncocónica que tiene una altura  $h$ , un radio  $R_1$  en su distancia más cercana del eje 14, y un radio  $R_2$  en su distancia más lejana del eje 14, en el que los parámetros  $h$ ,  $R_1$  y  $R_2$  satisfacen la relación  $R_1/R_2=(R-h)/h$  y en el que  $R$  es la distancia más lejana del rodillo del eje 14 (por ejemplo,  $R$  puede ser el radio de la bandeja 12).
- 55

La operación del dispositivo 32 de nivelación está controlada, opcional y preferiblemente, por el controlador 20 que puede activar y desactivar el dispositivo 32 de nivelación y también puede controlar opcionalmente su posición a lo largo de una dirección vertical (paralela al eje 14) y/o una dirección radial (paralela a la bandeja 12 y que apunta hacia el eje 14, o se aleja del mismo).

- Como se ha indicado, los cabezales 16 pueden tener un movimiento de vaivén con respecto a la bandeja a lo largo de la dirección radial. En algunas realizaciones de la invención, el controlador 20 controla el movimiento de los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial independientemente para cada uno de los cabezales de impresión. Preferiblemente, cada movimiento independiente de ese tipo tiene un ángulo azimutal diferente. Por ejemplo, pueden 5 montarse dos o más de los cabezales en ejes radiales diferentes dispuestos, de forma que exista un ángulo azimutal de separación entre ejes adyacentes. Se ilustra esta realización en la FIG. 6, que muestra tres cabezales 16a, 16b, 16c montados respectivamente en tres ejes radiales 62a, 62b y 62c. Como se muestra, el ángulo azimutal de separación entre el eje 62a y el eje 62b es  $\Delta\varphi_2$  y el ángulo azimutal de separación entre el eje 62b y el eje 62c es  $\Delta\varphi_1$ . Puede emplearse cualquier número de cabezales y cualquier número de ejes.
- 10 Los presentes inventores descubrieron que, cuando la bandeja 12 gira continuamente en la misma dirección, el tiempo previsto total de impresión aumenta con el número de pasadas de los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial, y no aumenta necesariamente con el número de objetos siendo impresos.
- Supóngase, por ejemplo, que pueden imprimirse N objetos a distancias similares del eje 14, de forma que los cabezales 16 puedan formar todos estos objetos sin moverse a lo largo de la dirección radial, por ejemplo, se imprimen 15 la totalidad de los N objetos en la región más exterior de la bandeja 12. Supóngase, además, que también pueden imprimirse M objetos adicionales a distancias similares del eje 14, pero las distancias de los M objetos difieren de las distancias de los N objetos. Se ilustra este escenario en la FIG. 8A, en la que los N objetos están representados por cuadrados, y los M objetos adicionales están representados por triángulos. En la FIG. 8B se ilustra el tiempo previsto total de impresión, como una función del número de objetos en este escenario. Para cualquier número de objetos que sea N o menor, el tiempo total de impresión es generalmente el mismo, dado que se imprimen sin mover el cabezal a lo largo de la dirección radial. Para cualquier número de objetos de N+1 a M, el tiempo total de impresión también es 20 generalmente el mismo, pero más largo que el tiempo requerido para imprimir N objetos.
- En algunas realizaciones, el ordenador 24 o el circuito del controlador 20 calcula el tiempo total de impresión de todos los objetos, y representa visualmente el tiempo calculado en un dispositivo de visualización. En diversas realizaciones 25 exemplares de la invención, el ordenador 24 o el circuito del controlador 20 ejecuta un procedimiento de optimización que calcula el número de objetos que pueden imprimirse sin aumentar significativamente el tiempo total de impresión. Puede representarse visualmente el número calculado de objetos, y el sistema 10 puede imprimir el número calculado 30 de objetos en función del procedimiento de optimización. En algunas realizaciones de la presente invención, el ordenador 24 o el circuito del controlador 20 calcula el tiempo total de impresión por objeto para varios escenarios de impresión y representa visualmente el resultado del cálculo. El número de objetos que son impresos puede 35 seleccionarse en función del resultado del cálculo (por ejemplo, seleccionando el número para para el cual el tiempo total de impresión por objeto es el más corto). Como ejemplo representativo, supóngase que el tiempo previsto total de impresión para N<sub>1</sub> objetos en una disposición particular es T<sub>1</sub>, de forma que el tiempo total de impresión por objeto sea T<sub>1</sub>/N<sub>1</sub>. Supóngase, además, que para N<sub>2</sub><N<sub>1</sub> el tiempo previsto total de impresión sea T<sub>2</sub>. Cuando T<sub>1</sub>/N<sub>1</sub> < T<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, se usa el sistema 10 para la impresión simultánea de N<sub>1</sub> objetos y cuando T<sub>1</sub>/N<sub>1</sub> > T<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, se usa el sistema 10 para una impresión simultánea de N<sub>2</sub> objetos.
- El procedimiento de optimización que calcula el número de objetos que han de ser impresos también puede recibir 40 datos correspondientes al material total de construcción que existe en el sistema (por ejemplo, en el suministro 42). Cuando la cantidad de material que es requerida para imprimir los objetos es superior a la cantidad de material que existe en el suministro 42, el controlador 20 puede emitir una alerta. Alternativa o adicionalmente, el controlador 20 puede generar una salida relativa a un número reducido de objetos que pueden imprimirse usando el material que está disponible en el suministro 42, en cuyo caso, se puede usar el sistema 10 para imprimir el número reducido de objetos, incluso si ese número no es óptimo desde el punto de vista del gráfico exemplificado mostrado en la FIG. 8B.
- Los presentes inventores descubrieron que la reubicación del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial 45 puede afectar la resolución de impresión dado que una reubicación de la impresión a lo largo de la dirección radial tiene como resultado un cambio de las distancias entre el eje de rotación y cada una de las boquillas en el conjunto de boquillas del cabezal.
- Los inventores de la presente invención descubrieron más de una solución para este problema.
- Según la invención, el controlador 20 varía la velocidad de rotación de la bandeja 12 en respuesta a la posición radial 50 del cabezal 16 de impresión. Preferiblemente, cuando se reubica el cabezal 16 de impresión para acercarse al eje 14, el controlador 20 aumenta la velocidad de rotación de la bandeja 12, y cuando se reubica el cabezal 16 de impresión para alejarse del eje 14, el controlador 20 reduce la velocidad de rotación de la bandeja 12. Se selecciona la cantidad 55 de cambio en la velocidad de rotación, preferiblemente, para que, cuando el cabezal 16 de impresión opera con la misma tasa de distribución, la resolución de impresión del cabezal 16 antes de la reubicación a lo largo de la dirección radial sea igual a la resolución de impresión del cabezal 16 después de la reubicación a lo largo de la dirección radial. Como ejemplo representativo, considérese un cabezal de impresión que distribuye inicialmente material de construcción a una distancia r<sub>1</sub> del eje 14, mientras la velocidad de rotación de la bandeja 12 es ω<sub>1</sub>. Despues, se 60 reubica el cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial para distribuir material de construcción a una distancia r<sub>2</sub> del eje 14, y el controlador cambia la velocidad de rotación de la bandeja 12 a ω<sub>2</sub>≠ω<sub>1</sub>. En diversas realizaciones exemplares de la invención, se selecciona ω<sub>2</sub> para satisfacer la relación ω<sub>1</sub>/ω<sub>2</sub>=r<sub>2</sub>/r<sub>1</sub>.

En algunas realizaciones, el controlador 20 varía la tasa de distribución del cabezal 16 de impresión en respuesta a la posición radial del cabezal 16 de impresión. Preferiblemente, cuando se reubica el cabezal 16 de impresión para acercarse al eje 14, el controlador 20 reduce la tasa de distribución y, cuando se reubica el cabezal 16 de impresión para alejarse del eje 14, el controlador 20 aumenta la tasa de distribución. Se selecciona la cantidad de cambio en la tasa de distribución, preferiblemente, para que la resolución de impresión del cabezal 16 de impresión antes de la reubicación a lo largo de la dirección radial sea igual a la resolución de impresión del cabezal 16 después de la reubicación a lo largo de la dirección radial.

En algunas realizaciones, el controlador 20 controla uno o más de los cabezales 16 de impresión para distribuir gotitas, de forma que varíe una distancia azimutal entre gotitas distribuidas secuencialmente como una función de una posición del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial. Se ilustran estas realizaciones en las FIGURAS 4A y 4B. En la FIG. 4A, se muestran varias gotitas (círculos sólidos) distribuidos sobre la bandeja 12 mientras el cabezal de impresión (no mostrado) se encuentra a tres distancias diferentes  $\Delta r_1$ ,  $\Delta r_2$  y  $\Delta r_3$  del eje 14 de rotación. Se ilustran cuatro gotitas para cada distancia. En la distancia más corta  $\Delta r_1$  del eje 14, las gotitas están a una distancia cercana entre sí a lo largo de la dirección azimutal, en la distancia siguiente a la más corta  $\Delta r_2$ , las gotitas están más separadas entre sí a lo largo de la dirección azimutal, y en la distancia más larga  $\Delta r_3$ , las gotitas están lo más alejadas entre sí a lo largo de la dirección azimutal. Puede garantizarse tal protocolo de distribución indicando que los cabezales de impresión dejen una o más ubicaciones de vacío entre las deposiciones sucesivas de gotitas durante la rotación de la bandeja 12.

El anterior protocolo de distribución puede ejecutarse en la distribución entrelazada. Se ilustra esta realización en la FIG. 4B. En la FIG. 4B se muestran gotitas adicionales distribuidas durante pasadas adicionales de la bandeja para las respectivas ubicaciones de los cabezales de impresión. Se muestran las gotitas como círculos sólidos, círculos abiertos y círculos tachados. Algunas de las gotitas están entrelazadas a lo largo de la dirección azimutal.

Especificamente, la FIG. 4B muestra gotitas adicionales (círculos abiertos) distribuidas mientras el cabezal de impresión se encuentre a las distancias  $\Delta r_2$  y  $\Delta r_3$ , y gotitas también adicionales (círculos tachados) distribuidas mientras el cabezal de impresión se encuentre a la distancia  $\Delta r_3$ . Cuando el cabezal de impresión se encuentra a la distancia  $\Delta r_1$ , distribuye todas las gotitas (círculos sólidos) durante una única pasada de la bandeja. Cuando el cabezal de impresión se encuentra a la distancia  $\Delta r_2$ , distribuye las primeras gotitas (círculos sólidos) durante la primera pasada de la bandeja, y segundas gotitas (círculos abiertos) durante la segunda pasada de la bandeja. Cuando el cabezal de impresión se encuentra a la distancia  $\Delta r_3$ , distribuye las primeras gotitas (círculos sólidos) durante una primera pasada de la bandeja, las segundas gotitas (círculos abiertos) durante la segunda pasada de la bandeja, y terceras gotitas (círculos tachados) durante la tercera pasada de la bandeja. Por lo tanto, en estas realizaciones, se controla el cabezal de impresión mediante el controlador 20 para ejecutar la distribución entrelazada, en la que se distribuye al menos una gotita entre dos gotitas distribuidas previamente y en la misma posición vertical entre las mismas.

Normalmente, la distribución entrelazada está caracterizada por un nivel de entrelazamiento que indica cuántas pasadas son requeridas para llenar un contorno. En la realización exemplificada ilustrada en la FIG. 4B, que no debe considerarse limitante, se imprimen tres contornos, conformado cada uno como un arco de un círculo. Se distribuye el contorno a la distancia  $\Delta r_1$  sin entrelazamiento. Se dice que se distribuye el contorno a la distancia  $\Delta r_2$  en un nivel de entrelazamiento de 2 pasadas (para indicar que se requieren dos pasadas de la bandeja para llenar el contorno) o, de forma equivalente, el 50% de nivel de entrelazamiento (para indicar que, en cada pasada, se rellena el 50% del contorno). Se dice que se distribuye el contorno a la distancia  $\Delta r_3$  en un nivel de entrelazamiento de 3 pasadas (para indicar que se requieren tres pasadas de la bandeja para llenar el contorno) o, de forma equivalente, 33,33% de nivel de entrelazamiento (para indicar que, en cada pasada, se rellena el 33,33% del contorno). A menudo, se generaliza la expresión "distribución entrelazada" para también englobar la situación en la que se rellena el contorno durante una única pasada. Con tal generalización de la expresión, se dice que se distribuye el contorno a la distancia  $\Delta r_1$  a un nivel de entrelazamiento de 1 pasada, o de forma equivalente, el 100% de nivel de entrelazamiento.

Por lo tanto, las presentes realizaciones contemplan una distribución entrelazada que varía como una función de una posición del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial.

Las presentes realizaciones también contemplan la distribución entrelazada, en la que las gotitas distribuidas están entrelazadas a lo largo de la dirección radial. En estas realizaciones, el cabezal distribuye gotitas para que exista un espacio entre las gotitas distribuidas simultáneamente, en el que la longitud del espacio a lo largo de la dirección radial (denominada en la presente memoria espacio radial) es de al menos el diámetro de una gotita distribuida y, preferiblemente, es una multiplicación de enteros del diámetro de una gotita distribuida. Después, se desplaza el cabezal a lo largo de la dirección radial para que, en una pasada subsiguiente de la bandeja, el cabezal distribuya gotitas para llenar, o llenar parcialmente, los espacios radiales. La ventaja de la distribución entrelazada a lo largo de la dirección radial es que permite aumentar la resolución a lo largo de la dirección radial más allá de la resolución dictada por la separación entre las boquillas en el conjunto de boquillas del cabezal.

Cuando el sistema 10 comprende dos o más cabezales de impresión de material de modelado, también se puede lograr el entrelazamiento a lo largo de la dirección radial mediante el alineamiento juicioso de los cabezales de impresión. En estas realizaciones, dos o más cabezales de impresión de material de modelado están alineados para que sus conjuntos de boquillas estén dispuestos de forma entrelazada. En la FIG. 7 se ilustra un ejemplo representativo

de estas realizaciones, que ilustra la distribución entrelazada de dos círculos 72 y 74 sobre la bandeja 12, usando dos conjuntos de boquillas, correspondiéndose cada uno a un cabezal diferente de impresión por chorro de tinta (no mostrado), en el que la distancia entre los círculos 72 y 74 a lo largo de la dirección radial es menor que la distancia entre las boquillas colindantes más cercanas en cada conjunto.

- 5 En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador 20 cesa la distribución durante el movimiento de vaivén de los cabezales de impresión a lo largo de la dirección radial. Después de que el cabezal de impresión se encuentre estacionario en una posición radial nueva, el controlador 20 controla el cabezal de impresión para reanudar la distribución. Esto puede realizarse de más de una manera.

10 En algunas realizaciones, el controlador 20 reanuda la distribución en la misma coordenada azimutal en la que se cesó la distribución. En estas realizaciones, el periodo de tiempo durante el cual se cesa la distribución equivale al periodo de rotación de la bandeja 12 o a la multiplicación de enteros del mismo. Por lo tanto, el protocolo de distribución es tal que después de que el cabezal de impresión se encuentre estacionario en una posición radial nueva, el controlador 20 espera hasta que la misma ubicación azimutal se encuentre directamente debajo de los cabezales de impresión y, entonces, reanuda la impresión.

- 15 En algunas realizaciones, el controlador 20 reanuda la distribución en una coordenada azimutal que está desplazada respecto a una coordenada azimutal en la que se cesó la distribución. Esto puede realizarse de más de una manera, según se explicará ahora con referencia a las FIGURAS 5A-F.

20 La FIG. 5A ilustra una situación en la que el cabezal 16 de impresión (mostrado en aras de la simplicidad como una barra negra) tiene un movimiento de vaivén entre una primera posición radial  $r_1$  y una segunda posición radial  $r_2$ . Durante el movimiento de vaivén a lo largo de la dirección radial, la bandeja 12 sigue girando, de forma que la bandeja 12 asume diferentes orientaciones radiales. En la ilustración representativa, el cabezal 16 se encuentra en una primera posición radial  $r_1$  cuando la bandeja 12 asume la orientación azimutal denotada  $\varphi_0$  y  $\varphi_2$ , y en la segunda posición radial  $r_2$  cuando la bandeja 12 asume las orientaciones azimutales denotadas  $\varphi_1$  y  $\varphi_3$ . Cada dirección azimutal se corresponde con una posición azimutal de la bandeja debajo del cabezal 16. Según las presentes realizaciones, cuando el cabezal 16 alcanza  $r_2$  por vez primera reanuda la distribución en la posición azimutal  $\varphi_1$  que se encuentra desplazada respecto a  $\varphi_0$ , cuando el cabezal 16 vuelve a  $r_1$ , reanuda la distribución en la posición azimutal  $\varphi_2$  que se encuentra desplazada respecto a  $\varphi_1$ , y cuando el cabezal 16 alcanza  $r_2$  por segunda vez, reanuda la distribución en la posición azimutal  $\varphi_3$  que se encuentra desplazada respecto a  $\varphi_2$ .

30 La FIG. 5B ilustra una realización preferida en la que se imprimen los objetos para ocupar un intervalo predeterminado de ángulos azimutales sobre la bandeja 12. El intervalo predeterminado, preferiblemente, es de al menos 5° pero menos de 350° o menos de 340° o menos de 330° o menos de 320° o menos de 310° o menos de 300° o menos de 290° o menos de 280°, por ejemplo, 270°. En la FIG. 5B, se muestra una primera región 90 y una segunda región 92 sobre la bandeja 12, representando la región 90 el intervalo predeterminado de ángulos azimutales en el que se imprimen los objetos. Cada una de las regiones 90 y 92 tiene la forma de un sector circular. Preferiblemente, la longitud 35 de arco de la región 92 es más corta que la longitud de arco de la región 90. Por lo tanto, se imprimen uno o más objetos sobre la región 90 de la bandeja 12 y la región 92 permanece desprovista de objetos impresos sobre la misma, preferiblemente en todo momento. Se denomina la región 90 como la región ocupada y se denomina la región 92 como la región no ocupada. El uso de una región ocupada y de una región no ocupada es útil para sincronizar el movimiento de los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial. En estas realizaciones, el controlador 20 indica a los 40 cabezales 16 que se muevan a lo largo de la dirección radial solamente cuando se encuentran encima de la región no ocupada, por ejemplo, la región 92.

45 Las FIGURAS 5C-F ilustran un protocolo de distribución en el que los cabezales 16 tienen un movimiento de vaivén solamente cuando se encuentran encima de la región no ocupada. En las FIGURAS 5C-F, las flechas arqueadas continuas representan trayectorias a lo largo de las cuales se les permite a los cabezales 16 distribuir material de construcción, mientras que no haya movimiento relativo de los cabezales 16 respecto a la bandeja 12 a lo largo de la dirección radial. Los círculos continuos indican diferentes hileras de trayectorias. Se ilustran los movimientos del cabezal 16 a lo largo de la posición radial, mientras gira la bandeja 12, mediante flechas discontinuas. Las coordenadas azimutales correspondientes a la región 92 (y consecuentemente también a la región 90) están denotadas  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$ .

50 En las FIGURAS 5C-F se muestran 6 trayectorias, denotadas 94a a 98b. Cada trayectoria en la misma hilera puede corresponderse con una boquilla diferente del cabezal 16 o con la misma boquilla, pero desplazada a lo largo de la dirección radial para efectuar la distribución entrelazada a lo largo de la dirección radial, según se ha detallado anteriormente. Por lo tanto, cuando se emplea la distribución entrelazada a lo largo de la dirección radial, la diferencia entre las posiciones radiales de trayectorias adyacentes en la misma hilera (trayectorias 94a a 94b, trayectorias 96a a 96b, y trayectorias 98a a 98b, en el presente ejemplo) puede ser el diámetro de una gotita distribuida y, cuando no se emplea la distribución entrelazada a lo largo de la dirección radial, la diferencia entre las posiciones radiales de las trayectorias adyacentes en la misma hilera puede ser la distancia entre boquillas adyacentes del conjunto.

55 Normalmente, diferentes hileras de trayectorias se corresponden con desplazamientos radiales del cabezal 16 por una cantidad que es la multiplicación de enteros de la longitud del conjunto de boquillas. Por lo tanto, la diferencia entre las posiciones radiales de las trayectorias correspondientes en dos hileras adyacentes (por ejemplo, entre trayectorias

94a a 96a, trayectorias 96a a 98a, trayectorias 94b y 96b, trayectorias 96b a 98b, en el presente ejemplo) puede ser, pero no necesariamente, la longitud del conjunto de boquillas del cabezal 16.

Se debe entender que se ha reducido el número de trayectorias en las FIGURAS 5C-F a 6 trayectorias y que no se pretende limitar el alcance de la presente invención. En general, el número de hileras de trayectorias es como mucho 5  $W/L$ , donde  $W$  es el ancho a lo largo de la dirección radial del área 26 de trabajo sobre la bandeja 12, y  $L$  es la longitud del conjunto de boquilla del cabezal 16. Cuando se emplea la distribución entrelazada a lo largo de la dirección radial, el número total de trayectorias preferiblemente es como mucho  $W/D$ , y el número de trayectorias en cada hilera es preferiblemente aproximadamente  $L/D$ , donde  $D$  es el diámetro característico de una gotita distribuida. Cuando no se emplea la distribución entrelazada a lo largo de la dirección radial, el número el número de trayectorias en cada hilera preferiblemente es igual al menos al número de boquillas en el conjunto. Preferiblemente, hay al menos dos o al menos 10 tres hileras de trayectorias, y al menos dos o al menos tres o al menos cuatro trayectorias en cada hilera.

Las FIGURAS 5C y 5D describen un protocolo de distribución en el que se emplea una distribución entrelazada a lo largo de la dirección radial. Con referencia a la FIG. 5C, el cabezal 16 distribuye material de construcción en una posición radial correspondiente a la trayectoria 94a. Cuando la bandeja alcanza una posición azimutal  $\varphi_1$ , el cabezal 16 se encuentra encima de la región 92 y cesa temporalmente la distribución. Mientras el cabezal 16 aún esté encima 15 de la región 92, el cabezal 16 se mueve hacia fuera hasta una posición radial correspondiente a la trayectoria 94b. El cabezal 16 no reanuda la distribución al menos hasta que la bandeja alcance una posición azimutal  $\varphi_2$ , en concreto, cuando el cabezal 16 se encuentra encima de la región 90. El proceso continúa hasta que todos los cabezales visitan 20 todas o algunas de las trayectorias en la hilera 94. El movimiento radial de una hilera a otra también es ejecutado durante el periodo de tiempo en el que el cabezal 16 se encuentra encima de la región 92, según se ilustra, por ejemplo, mediante las flechas discontinuas que representan el movimiento radial del cabezal 16 desde la posición radial correspondiente a la trayectoria 94b hasta la posición radial correspondiente a la trayectoria 96a, y el movimiento radial del cabezal 16 desde la posición radial correspondiente a la trayectoria 96b hasta la posición radial correspondiente a la trayectoria 98a.

25 Cuando no se emplea la distribución entrelazada a lo largo de la dirección radial, el protocolo de distribución no incluye desplazamientos radiales en una cantidad que es igual a la diferencia entre las posiciones radiales de trayectorias adyacentes en la misma hilera. En estas realizaciones, los desplazamientos radiales en una cantidad que es igual a la longitud del conjunto de boquillas del cabezal 16. En las FIGURAS 5E y 5F se ilustran estas realizaciones. Con referencia a la FIG. 5E, el cabezal 16 distribuye material de construcción en una posición radial correspondiente a las trayectorias 94a y 94b desde dos boquillas diferentes. Cuando la bandeja alcanza la posición azimutal  $\varphi_1$ , el cabezal 16 se encuentra encima de la región 92, y cesa temporalmente la distribución. Mientras el cabezal 16 aún esté encima 30 de la región 92, el cabezal 16 se mueve hacia fuera hasta una posición radial correspondiente a la trayectoria 96a. El cabezal 16 no reanuda la distribución al menos hasta que la bandeja alcance una posición azimutal  $\varphi_2$ , en concreto, cuando el cabezal 16 se encuentra encima de la región 90. El proceso continúa hasta la hilera 96 y la hilera 98.

35 Las FIGURAS 5D y 5F describen protocolos de distribución que son similares a las FIGURAS 5C y 5E, respectivamente, salvo que el cabezal se mueve hacia dentro sobre la región 92. También se contemplan las combinaciones de los protocolos descritos en las FIGURAS 5C y 5D, o los protocolos descritos en las FIGURAS 5E y 5F. Por ejemplo, estos protocolos pueden ejecutarse de forma alterna.

40 También se contemplan realizaciones en las que el controlador 20 reanuda la distribución en una coordenada azimutal que es sustancialmente igual (por ejemplo, en menos de 1°, o menos de 0,1°, o menos de 0,01°) que la coordenada azimutal en la que se cesó la distribución.

Las FIGURAS 5G y 5H ilustran protocolos de distribución en los que se reanuda la distribución en la misma coordenada 45 azimutal en la que se cesó la distribución, según se ha descrito anteriormente en la presente memoria. La FIG. 5G describe un protocolo de distribución en el que el cabezal se mueve hacia fuera, y la FIG. 5H describe un protocolo de distribución en el que el cabezal se mueve hacia dentro. También se contemplan las combinaciones de los protocolos descritos en las FIGURAS 5G y 5H. Por ejemplo, estos protocolos pueden ejecutarse de forma alterna. Las notaciones en las FIGURAS 5G y 5H son las mismas que las de las FIGURAS 5C-E anteriores.

50 En las realizaciones en las que el controlador 20 reanuda la distribución en una coordenada azimutal desplazada, se ajustan los datos de impresión para que también se encuentren desplazadas las coordenadas polares correspondientes de diferentes porciones del objeto que se corresponden con diferentes posiciones radiales. Tal disposición de los datos puede llevarse a cabo mediante el controlador 20 o el ordenador 24.

55 Se prefiere un protocolo de distribución según las enseñanzas mostradas en la FIG. 5A a los protocolos de distribución según las enseñanzas mostradas en las FIGURAS 5B-H desde el punto de vista del rendimiento de impresión. Se prefiere un protocolo de distribución según las enseñanzas mostradas en las FIGURAS 5B-F a los protocolos de distribución según las enseñanzas mostradas en la FIG. 5A desde el punto de vista de la simplicidad de la manipulación de datos. Se prefiere un protocolo de distribución según las enseñanzas mostradas en las FIGURAS 5G-H a los protocolos de distribución según las enseñanzas mostradas en las FIGURAS 5A-F desde el punto de vista de la simplicidad de la manipulación de datos.

Los presentes inventores contemplan, además, realizaciones en las que el controlador 20 continúa la distribución del material de construcción también durante el movimiento de vaivén. En estas realizaciones, se ajustan los datos de impresión en respuesta al movimiento de vaivén del cabezal. Tal protocolo de distribución permite distribuir gotitas a lo largo de segmentos no circulares.

5 Como se ha indicado, la distancia vertical entre la bandeja 12 y los cabezales 16 puede variar para permitir la formación de un objeto tridimensional en forma de capas. En algunas realizaciones, el controlador 20 cesa la distribución del material de construcción durante el movimiento vertical. Estas realizaciones son preferibles desde el punto de vista de la simplicidad del protocolo de distribución.

10 Los inventores descubrieron que la sincronización del movimiento vertical tiene un efecto sobre la calidad del objeto impreso. Por lo tanto, los presentes inventores han concebido un protocolo de impresión tridimensional que mejora la calidad del objeto impreso. En general, hay varias operaciones que son ejecutadas por el sistema 10 durante la fabricación de una capa. Estas incluyen, por ejemplo, la distribución de materiales de construcción mediante los cabezales 16, el nivelado de la capa recién impresa mediante el dispositivo 32 de nivelación y el curado de las capas mediante las fuentes 18 de radiación. Estas operaciones son ejecutadas normalmente en diferentes ubicaciones 15 azimutales sobre la bandeja 12 y, por lo tanto, son secuenciales para un objeto dado. En algunas realizaciones de la presente invención, la temporización del movimiento vertical se sincroniza con las temporizaciones de estas operaciones secuenciales. Por ejemplo, puede iniciarse el movimiento vertical después de que se aplique la última operación a la capa recién formada (por ejemplo, después del curado de la capa por medio de las fuentes 18 de radiación) y antes de que se distribuya la capa subsiguiente.

20 En algunas realizaciones de la presente invención, se inicia el movimiento vertical inmediatamente (por ejemplo, en menos de 1 segundo) cuando una capa recién formada alcanza el dispositivo 32 de nivelación. Alternativamente, se puede iniciar el movimiento vertical, de forma que se complete el movimiento vertical inmediatamente (por ejemplo, en menos de 1 segundo) cuando una capa recién formada alcanza el dispositivo 32 de nivelación. Estas realizaciones son particularmente útiles en escenarios de impresión en los que no se desea reservar una región no ocupada sobre 25 la bandeja 12 (por ejemplo, cuando el área de las capas de un objeto que ha de imprimirse es mayor que el área de la región 90 de la FIG. 5B).

En realizaciones en las que se imprimen los objetos para ocupar un intervalo predeterminado de ángulos azimutales sobre la bandeja 12, estando definidas las regiones predeterminadas ocupada y no ocupada sobre la bandeja 12 (véase la FIG. 5B), se ejecuta el movimiento vertical, opcional y preferiblemente, mientras la región 90 se encuentre 30 debajo del dispositivo 32 de nivelación o debajo de los cabezales 16 o debajo de la fuente 18 de radiación, más preferiblemente debajo del dispositivo 32 de nivelación.

En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador 20 continúa la distribución del material de construcción también durante el movimiento de los cabezales 16 y/o de la bandeja 12 a lo largo de la dirección vertical. El cabezal continúa la distribución del material de construcción durante el movimiento vertical. La ventaja de estas 35 realizaciones es que reduce el tiempo total de impresión dado que hay menos tiempo durante el cual el sistema no distribuye material. En realizaciones en las que continúa la distribución, la transformación de coordenadas incluye preferiblemente transformar las coordenadas de al menos una porción de los datos informáticos del objeto en un sistema de coordenadas helicoidales.

40 El movimiento a lo largo de la dirección vertical es ejecutado, opcional y preferiblemente, para que, mientras los cabezales 16 de impresión distribuyen los materiales de construcción, la bandeja 12 y los cabezales 16 de impresión experimentan al menos dos distancias verticales diferentes entre los mismos durante una única rotación de la bandeja. En algunas realizaciones de la presente invención, se ejecuta el movimiento a lo largo de la dirección vertical, de forma que, durante una única rotación de la bandeja 12, se aumente la distancia vertical una cantidad que es aproximadamente igual al grosor característico de una única capa de material de construcción. Por ejemplo, cuando 45 el grosor de una única capa es  $t$  micrómetros y la velocidad angular de rotación de la bandeja 12 es  $\omega$  radianes por segundo, puede aumentar la distancia vertical con una tasa de  $t \times \omega / 2\pi$  micrómetros por segundo, lo que equivale a  $t/360$  micrómetros por grado de rotación de la bandeja 12. El movimiento a lo largo de la dirección vertical puede ser continuo o intermitente, según se deseé.

50 Cuando el sistema 10 comprende dos o más cabezales 16 de impresión para distribuir materiales de modelado, estos cabezales pueden distribuirse sobre la bandeja 12 según el modo de impresión. Por ejemplo, cuando se distribuye el mismo material de modelado desde dos o más cabezales de material de modelado, estos cabezales pueden distribuirse en diferentes posiciones radiales, por ejemplo, las posiciones radiales  $r_1$ ,  $r_2$  y  $r_3$ , según se ilustra en la FIG. 6 para el caso de tres cabezales 16a, 16b y 16c de impresión de material de modelado, reduciendo, de ese modo, la necesidad de mover estos cabezales a lo largo de la dirección radial. El número de cabezales de material de modelado 55 puede seleccionarse de forma que, cuando sean desplegados en diferentes posiciones radiales, abarquen todo el ancho del área 26 de trabajo a lo largo de la dirección radial.

Cuando los dos o más cabezales diferentes de material de modelado distribuyen dos o más materiales diferentes de modelado, las posiciones radiales de estos cabezales están controladas independientemente por el controlador 20,

dependiendo de las ubicaciones sobre la bandeja en las que los diferentes materiales de modelado han de ser distribuidos.

Como se ha indicado anteriormente, en algunas realizaciones los cabezales 16 tienen un movimiento de vaivén respecto a la bandeja a lo largo de la dirección radial  $r$  por medio de una etapa dispuesta para establecer el movimiento de vaivén de los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial. En la FIG. 10 se ilustra un ejemplo representativo adecuado de la etapa 52 para la presente realización. En el presente ejemplo, el movimiento radial de los cabezales 16 es efectuado por un husillo 130 al que un motor 132 imparte un movimiento de rotación. Se monta el motor 132, opcional y preferiblemente, en un extremo de la etapa 52 que se encuentra más cercano al eje 14 (no mostrado, véase, por ejemplo, la FIG. 1D). Un extremo 134 del husillo 130 está conectado con el motor 132. El otro extremo 136 puede no estar soportado, en cuyo caso, el husillo 130 sirve como un husillo en voladizo, o soportado por una estructura 138 de soporte del husillo.

Los presentes inventores descubrieron que, cuando el cabezal 16 se mueve a lo largo de la etapa 52, particularmente por medio de un husillo giratorio, la posición radial del cabezal es susceptible de imprecisiones que varían como una función de la posición radial. En la presente memoria, las imprecisiones son denominadas errores de forma intercambiable.

Según algunas realizaciones de la presente invención, se aplica una función de compensación para compensar, al menos parcialmente, la variación de las imprecisiones como una función de la posición radial. Preferiblemente, se selecciona la función de compensación para compensar, al menos parcialmente, las variaciones no oscilatorias de la imprecisión. La función de compensación puede ser aplicada por el controlador 20, en el que para cualquier desplazamiento del cabezal 16 de una posición radial a otra, el controlador 20 calcula, basándose en la función de compensación, la imprecisión prevista en el punto de destino y vuelve a calcular la posición radial del punto de destino para compensar la imprecisión calculada. El controlador 20 mueve, entonces, el cabezal 16 hasta la posición radial recalculada. Por ejemplo, cuando el cabezal 16 se mueve desde la posición radial  $r_1$  hasta la posición radial  $r_2$ , el controlador 20 calcula los usos de la función de compensación para calcular la imprecisión  $\Delta r_2$  que cabe esperar en  $r_2$  y mueve el cabezal 16 hasta la posición radial  $r_2 - \Delta r_2$ , en el que  $\Delta r_2$  puede ser positivo, cero o negativo.

Normalmente, la función de compensación depende de las propiedades mecánicas del husillo 130 y de la rigidez de la conexión entre el husillo 130 y la etapa 52.

La FIG. 11A muestra las imprecisiones previstas como una función de la distancia del extremo 134 cuando el extremo 136 del husillo 130 está soportado por la estructura de soporte. En la FIG. 11A, el gráfico 140 describe la variación del error en la posición radial como una función de la distancia del extremo 134. Como se muestra, el error exhibe un comportamiento oscilatorio con una media que aumenta con la distancia del extremo 134. El cambio de la media es aproximadamente lineal. Por lo tanto, en estas realizaciones, el controlador 20 emplea una función de compensación generalmente lineal (por ejemplo, con un desvío de su alineamiento inferior al 20% o inferior al 10% o inferior al 5% o inferior al 1%). La inclinación y la intersección de la función lineal pueden calcularse en función de las propiedades mecánicas del husillo 130, por ejemplo, su módulo de elasticidad y su segundo momento de área. Alternativamente, la inclinación y la intersección pueden calcularse midiendo el error como una función de la posición radial para obtener, de forma experimental, una línea 140, y ajustar la media de la línea obtenida de forma experimental a la función lineal. En 142, se muestra un ejemplo representativo de una función adecuada de compensación para las presentes realizaciones, y se muestra el resultado de la compensación en 144 (FIG. 11A). Según se muestra, el error aún es oscilatorio pero el error medio es sustancialmente cero.

La FIG. 11B muestra las imprecisiones previstas 146 como una función de la distancia del extremo 134 cuando el husillo 130 es un husillo en voladizo, en concreto, cuando el extremo 136 no se encuentra soportado. También se muestran, como comparación, las imprecisiones previstas 140 cuando el extremo 136 está soportado. Según se muestra, la media de las imprecisiones 146 aumenta de forma no lineal como una función de la distancia del extremo 134, y es significativamente mayor que la media de las imprecisiones 140 cerca del extremo 136. En estas realizaciones, el controlador 20 emplea preferiblemente una función de compensación no lineal. La función de compensación no lineal puede comprender una función polinómica de grado  $n$ , siendo  $n > 1$ . Los coeficientes de la función polinómica pueden calcularse midiendo el error como una función de la posición radial para obtener de forma experimental una línea 146, y ajustar la media de la línea obtenida de forma experimental a la función polinómica de grado  $n$ .

Teóricamente, cuando un haz unidimensional a lo largo de una dirección  $x$ , está soportado en  $x=0$  y sometido a una carga concentrada  $P$  en su extremo libre en  $x=L$ , el haz exhibe una forma curvada que puede aproximarse a un polinomio de tercer grado dado por  $y=Px^2(3L-x)/(6EI)$ , siendo  $E$  e  $I$  son el módulo de elasticidad y el segundo momento del área del haz, respectivamente, y midiéndose y perpendicularmente a  $x$ . Por lo tanto, la función de compensación no lineal comprende preferiblemente un polinomio de tercer grado.

En la FIG. 11C en 148, se muestra un ejemplo representativo de una función de compensación polinómica de tercer grado adecuada para las presentes realizaciones. Se muestra el resultado de la comparación en 150. Según se muestra, el error medio es cercano a cero. En experimentos llevados a cabo por los presentes inventores, el error

máximo en ausencia de compensación (línea 146) fue de aproximadamente 119 µm, y el error máximo posterior a la compensación (línea 150) fue de aproximadamente 30 µm.

Normalmente, se suministra material de construcción a un sistema de AM, tales como, sin limitación, el sistema 10, con cartuchos que están rellenos de antemano. Los cartuchos están instalados en el sistema de AM y conectados

5 con un sistema de suministro a través del cual se deposita el material de construcción para la impresión. Los cartuchos son sustituidos una vez el suministro de material de construcción esté próximo a agotarse. Es deseable que la retirada y la instalación de los cartuchos puedan llevarse a cabo fácilmente y sin herramientas adicionales.

Normalmente, los cartuchos son desechables, pero se requiere su vaciado antes de descartarlos para su eliminación segura. Normalmente, se considera un reto agotar todo el contenido de los cartuchos durante la operación sin impedir 10 el proceso de fabricación. Sin embargo, el agotamiento completo o casi completo de los cartuchos es deseable dado que maximiza la capacidad de impresión del cartucho y minimiza el desperdicio del material costoso de construcción.

Según algunas realizaciones de la presente invención, se instala una pluralidad de cartuchos en un enclave de 15 cartuchos a un ángulo que permite promover el flujo del contenido hacia una conexión de fluido usada para suministrar el material de construcción durante la fabricación, por ejemplo, la impresión por adición. En algunas realizaciones

ejemplares, se forma el cartucho con un pocillo, o un rebaje en una pared del cartucho en el área más baja, o cerca de la misma, del cartucho para que una salida del material de construcción esté próxima al área más baja, por ejemplo, más baja con respecto a la gravedad. Opcionalmente, un ángulo de 2-10 grados o 2-5 grados es suficiente para

20 promover el flujo hacia el pocillo. Opcionalmente, el enclave aloja 4-10, por ejemplo, 6 cartuchos, y está fabricado para que pueda retirarse fácilmente de la impresora para permitir el acceso para el mantenimiento del sistema de suministro de material de construcción que está conectado de otra forma con los cartuchos durante la operación del sistema de

AM, por ejemplo, el sistema 10. Según algunas realizaciones de la presente invención, cada uno de los cartuchos está instalado con un resorte de bloqueador que mantiene el cartucho en su lugar después de la instalación y es fácilmente retratable cuando es preciso sustituir el cartucho.

Ahora, se hace referencia a la FIG. 16 que muestra un cartucho ejemplar según algunas realizaciones de la presente 25 invención. Según algunas realizaciones de la presente invención, un cartucho 300 para un sistema de AM, tal como, sin limitación, el sistema 10, incluye un alojamiento 305 para almacenar material de construcción, por ejemplo, material de construcción, una conexión 340 de fluido para conectar el cartucho 300 con una unidad de suministro del sistema de AM, uno o más sensores 350 para detectar la presencia de contenido en el cartucho 300 y/o para identificar los

30 contenidos, y un respiradero 360 a la atmósfera. Según algunas realizaciones de la presente invención, el cartucho 330 incluye, además, un resorte de bloqueador con un asa 330 para bloquear el cartucho en el sistema de AM, de forma que se pueda establecer una conexión estable entre el cartucho y una unidad de distribución del sistema de

AM. Según algunas realizaciones de la presente invención, el cartucho 330 está inclinado con un ángulo 'a' cuando 35 se encuentra instalado en el sistema de AM. Inclinar el cartucho 330 promueve el flujo del contenido hacia la conexión 340 de fluido. Opcionalmente, el ángulo 'a' se encuentra entre 2-10 grados, por ejemplo 2 grados. Según algunas

realizaciones de la presente invención, se forma el alojamiento 305 con un pocillo o un rebaje 320 en el punto más bajo del cartucho y una salida a través de la conexión 340 de fluido está alineada próxima al pocillo 320 para que el contenido pueda acumularse cerca de la salida.

Ahora, con referencia a la FIG. 17 que muestra un sistema ejemplar de impresión rotativa 3D con cartuchos y a la FIG. 40 18 que muestra un enclave ejemplar de cartuchos según algunas realizaciones de la presente invención. En algunas realizaciones ejemplares, los cartuchos 300 están instalados en un sistema rotativo 400 de AM. Los principios y

operaciones del sistema 400 pueden ser similares a los principios y operaciones del sistema 10, con la adición del cartucho y del enclave de cartuchos, según se describe a continuación. Alternativamente, puede usarse el cartucho 300 en otros sistemas de AM, por ejemplo, sistemas lineales de AM. Normalmente, el sistema rotativo 400 de AM incluye una cámara 420 de impresión en la que se fabrica un objeto distribuyendo material de construcción sobre la bandeja 12 en forma de capas y una cámara 455 de cartucho para alojar uno o más cartuchos 300.

Normalmente, los cartuchos 300 están conectados con una unidad de distribución para distribuir selectivamente material sobre la bandeja 12, mientras gira la bandeja 12. Según algunas realizaciones de la presente invención, una

50 pluralidad de cartuchos, por ejemplo, 4-10 cartuchos están alojados en un enclave 420 de cartuchos y bloqueados en su lugar mediante un resorte 410 de bloqueador. Con referencia de nuevo a la FIG. 16, el cuerpo del cartucho según

se instala en el enclave 420 obliga a descender al resorte 410 del bloqueador. Cuando el cartucho está completamente 55 instalado, el bloqueador salta por detrás del cartucho para bloquearlo *in situ*. Esto permite una instalación del cartucho en la impresora con una sola mano. Para liberar el bloqueador, puede presionarse el resorte de bloqueador hacia abajo y retirarse el cartucho del enclave 420. Cada uno de los cartuchos puede ser sustituido independientemente de los demás. Bloquear un cartucho 300 *in situ* establece una conexión de fluido entre el cartucho 300 y los cabezales

de distribución del sistema de AM (por ejemplo, los cabezales 16).

A continuación, se contemplan diversos modos de impresión en cualquiera de las realizaciones anteriores. Según se usa en la presente memoria, "barrido azimutal" se refiere a un modo de impresión en el que el movimiento relativo entre el cabezal 16 y la bandeja 12 siempre es paralelo a la dirección azimutal. En este modo de barrido, se

distribuye el material de construcción preferiblemente durante el movimiento relativo a lo largo de un recorrido que es equidistante del eje 14. En la presente memoria, se denomina a tal recorrido arco circular.

Un ejemplo representativo de un barrido azimutal es como sigue. Mientras el cabezal se encuentre estático, la bandeja gira. Mientras la bandeja gira, cada boquilla visita una pluralidad de ubicaciones diana en una capa formada anteriormente o en la superficie de la bandeja a lo largo de un arco circular. El controlador decide, para cada ubicación diana o un grupo de ubicaciones diana, si la ubicación diana o el grupo de ubicaciones diana han de ser ocupados o no por el material de construcción, y qué tipo de material de construcción ha de ser suministrado a los mismos. Se lleva a cabo la decisión según una imagen informática de la superficie. Opcionalmente, el cabezal de distribución se mueve, entonces, en la dirección radial sin distribuir material de construcción.

- 5 10 Según se usa en la presente memoria "barrido vectorial" se refiere a un modo de barrido en el que el movimiento relativo entre el o los cabezales 16 y la bandeja se encuentra a lo largo de un recorrido que se selecciona de forma dinámica mediante un controlador según la imagen informática de la capa. Opcionalmente, el recorrido es distinto a un arco circular. Opcionalmente, al menos parte del recorrido no es paralela a los límites de la superficie de trabajo sobre la que se produce la distribución.
- 15 Por lo tanto, a diferencia del barrido azimutal en el que cualquier movimiento del cabezal es paralelo a las direcciones  $r$  o  $\phi$ , el movimiento en el barrido vectorial puede encontrarse en cualquier recorrido, no necesariamente paralelo a las direcciones  $r$  o  $\phi$ .

20 25 En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador selecciona el modo de barrido en función de los datos de posición bidimensional correspondientes a la capa siendo fabricada. En el barrido vectorial, el rendimiento de una capa dada está gobernado por el tamaño del área que ha de cubrirse por los materiales de soporte o de construcción y, por lo tanto, los objetos no voluminosos son fabricados más rápido que los voluminosos. En el barrido azimutal, por otra parte, el rendimiento no está gobernado necesariamente por el área en la que precisa depositarse, sino que está gobernado por el número de pasadas de barrido que se requiere que el cabezal realice para depositar esos materiales. A título de ejemplo, fabricar una barra con un eje paralelo al eje Z tarda el mismo tiempo que fabricar un tubo de la misma longitud y diámetro, si se imprime usando el modo de barrido azimutal; mientras que fabricar la misma barra tarda mucho más que fabricar el mismo tubo si se usa un modo de barrido vectorial.

Por lo tanto, en algunas realizaciones, se emplea el barrido azimutal cuando el rendimiento obtenido es similar o superior al rendimiento obtenido alternativamente mediante el barrido vectorial. Esto depende de las características del sistema, tal como la velocidad de rotación, la velocidad del movimiento radial, el grosor de la capa, etc.

30 35 40 En algunas realizaciones, se emplea la deposición azimutal para depositar uno o más materiales y se emplea la deposición vectorial para la deposición de uno o más materiales diferentes, según las propiedades o los atributos de los materiales que son depositados y/o las propiedades o los atributos que se desea que se manifiesten en el objeto final mediante el uso y/o la ubicación específica de los materiales particulares seleccionados para la deposición.

El barrido vectorial es ventajoso para imprimir "pistas" conductoras, tales como estructuras alargadas continuas, dado que el cabezal de deposición vectorial puede depositar material conductor de forma continua en su movimiento paralelo a la bandeja. Opcional y preferiblemente, el barrido vectorial se encuentra a lo largo de un recorrido seleccionado para formar al menos una estructura en la capa. La estructura puede ser, por ejemplo, una estructura alargada.

45 50 La expresión "estructura alargada" se refiere a un cuerpo tridimensional en el que una de sus dimensiones es al menos dos veces, más preferiblemente al menos 10 veces, más preferiblemente al menos 100 veces, por ejemplo, al menos 500 veces mayor que cualquiera de las otras dos dimensiones. En la presente memoria, a la dimensión mayor de la estructura sólida alargada se la denomina dimensión longitudinal, y en la presente memoria, a las dimensiones se las denomina dimensiones transversales.

55 En la FIG. 15A se ilustra un ejemplo representativo de una pluralidad de estructuras alargadas 262 formadas en una capa 260 mediante barridos vectorial. La estructura también puede ser una estructura divisoria que rodea, al menos parcialmente, un área llena del primer material de construcción. En la FIG. 15B se ilustra un ejemplo representativo de una estructura divisoria 266 formada en la capa 260 mediante barridos vectorial. La estructura también puede ser una estructura de conexión entre capas. En estas realizaciones, preferiblemente, la estructura es pequeña (por ejemplo, inferior al 1%) respecto al tamaño total de la capa. En la FIG. 15C se ilustra un ejemplo representativo de la estructura entre capas 268 que conecta dos capas 260 y 270. La estructura también puede estar embebida en un área formada por el barrido azimutal. Por ejemplo, con referencia de nuevo a la FIG. 15A, el área principal 272 de la capa 260 puede formarse mediante un barrido azimutal en el que las estructuras 262 pueden estar embebidas en el área 272. La estructura también puede ser periférica con respecto a una capa. Se ilustra esta realización en la FIG. 15D que muestra la capa 260 y la estructura 274 en su periferia.

La combinación de los barridos azimutal y vectorial puede realizarse en cualquiera de las capas que forma el objeto. Específicamente, en algunas realizaciones, se lleva a cabo la combinación de los barridos azimutal y vectorial para una capa interna en una pluralidad de capas, en algunas realizaciones, se lleva a cabo la combinación de los barridos azimutal y vectorial para la capa más superior, y en algunas realizaciones, se lleva a cabo la combinación de los

barridos azimutal y vectorial para la capa más inferior. También se puede llevar a cabo la combinación de los barridos azimutal y vectorial en una pluralidad de capas, según se deseé.

Los presentes inventores descubrieron que es problemático exponer disolventes de baja viscosidad a temperaturas elevadas debido a la evaporación prematura del disolvente mientras el material de construcción permanece aún en los cabezales de distribución. Los presentes inventores también descubrieron que las temperaturas elevadas también pueden dañar el sustrato sobre el que se fabrica el objeto, por ejemplo, cuando el sustrato es un polímero.

Por lo tanto, los presentes inventores se han percatado de que es problemático distribuir a la misma temperatura tanto los materiales curables por UV que son demasiado viscosos a temperaturas bajas como los materiales de construcción que incluyen disolventes volátiles.

10 El anterior problema ha sido solucionado de forma inventiva mediante una técnica en la que se distribuye un material de construcción a una temperatura elevada (por ejemplo, por encima de 60 °C, o por encima de 65 °C, o por encima de 70 °C, o por encima de 75 °C, o al menos 80 °C) y se distribuye el otro material de construcción a una temperatura baja (por ejemplo, por debajo de 40 °C, o por debajo de 35 °C, o por debajo de 30 °C).

15 Esto puede llevarse a cabo controlando individualmente la temperatura de cada material de construcción mientras está siendo cargado en el respectivo cabezal de distribución. Por lo tanto, en diversas realizaciones exemplares de la invención, el controlador mantiene al menos dos cabezales de distribución a temperaturas diferentes. Opcional y preferiblemente, el controlador efectúa los barridos azimutales para la distribución de los materiales de construcción a temperaturas elevadas, y los barridos vectoriales para la distribución de materiales de construcción a temperaturas bajas.

20 Los presentes inventores descubrieron que algunos materiales de modelado, particularmente los materiales polimerizables por UV, exhiben una deformación no deseada tal como la ondulación durante la fabricación del objeto. Se descubrió que tal tendencia a la ondulación es el resultado de la contracción del material durante la fase de transición de líquido a sólido.

25 El grado de ondulación es una cantidad medible. Un proceso adecuado para medir el grado de ondulación puede incluir la fabricación de un objeto con una forma predeterminada, por ejemplo, una barra alargada que tiene una sección transversal rectangular o cuadrada, sobre una superficie plana y horizontal, aplicando una carga predeterminada en un extremo del objeto, y midiendo la elevación del extremo opuesto por encima de la superficie.

30 En una búsqueda de una solución al problema de ondulación, los inventores de la presente invención descubrieron que el grado de ondulación es proporcional al grado de contracción volumétrica que experimenta el material durante el proceso de polimerización y a la diferencia de temperatura entre la temperatura de distorsión térmica (HDT, por sus siglas en inglés) del material y la temperatura en el sistema durante la fabricación. Los presentes inventores descubrieron que la ondulación es particularmente apreciable para materiales con una contracción volumétrica relativamente elevada y con una HDT relativamente elevada (por ejemplo, en el intervalo de la temperatura de polimerización). Los presentes inventores descubrieron, además, que existe una relación monótona entre la HDT y la tendencia a la ondulación. Sin querer entrar en ninguna consideración teórica, se postula que los materiales que se desarrollan durante el curado a HDT, que es cercana a la temperatura en el sistema durante la fabricación, pueden experimentar relajación de tensiones o deformación plástica durante el proceso de AM, más fácilmente que materiales con una contracción similar pero que desarrollan una mayor HDT.

40 Según se usa en la presente memoria, la expresión "temperatura de distorsión térmica" (HDT) se refiere a una temperatura en la que se deforma el material respectivo o la combinación de materiales bajo una carga predeterminada a cierta temperatura. Procedimientos adecuados de ensayo para determinar la HDT de un material o de una combinación de materiales son la serie ASTM D-648, en particular, los procedimientos ASTM D-648-06 y ASTM D-648-07.

45 Por ejemplo, en sistemas PolyJet™, comercializados por Stratasys Ltd., Israel, se usan formulaciones que, tras una irradiación de UV, producen un material polimérico reticulado. Los objetos fabricados con estos materiales tienen una rigidez relativamente elevada con una HDT superior a la temperatura ambiental, por ejemplo, aproximadamente 50 °C o superior. Se descubrió que tales valores de HDT elevada proporcionan una baja precisión dimensional (efecto elevado de ondulación). Por lo tanto, se descubrió que la HDT elevada y la ondulación reducida son propiedades contrapuestas. Los presentes inventores han realizado una investigación experimental, *inter alia*, con el fin de proporcionar una técnica para la fabricación por adición de un objeto tridimensional que goza tanto de una elevada precisión dimensional (efecto reducido de ondulación) como de una elevada HDT inmediatamente después de que se complete la fabricación.

55 Los presentes inventores descubrieron que la existencia del efecto de ondulación, o la falta del mismo, depende del tiempo transcurrido entre el curado de las capas sucesivas. Específicamente, se descubrió que puede reducirse o eliminarse el efecto de ondulación del objeto final estableciendo un intervalo de tiempo lo suficientemente prolongado entre los inicios del curado de las capas sucesivas.

- En diversas realizaciones ejemplares de la invención, el controlador 20 está configurado para operar el o los cabezales 16 y la fuente 18 de radiación, de forma que, al menos para una, o al menos dos, o al menos tres de las capas que forman el objeto, por ejemplo, la mayoría o todas las capas, se inicie el curado de la capa respectiva al menos t segundos después del comienzo del curado de una capa que precede inmediatamente a esa capa respectiva. Normal, pero no necesariamente, la capa respectiva tiene un grosor que es de aproximadamente 15 micrómetros. En algunas 5 realizaciones, la capa respectiva tiene un grosor de al menos 5 micrómetros, por ejemplo, aproximadamente 5 micrómetros, o aproximadamente 10 micrómetros, o aproximadamente 15 micrómetros, o aproximadamente 30 micrómetros. No se excluyen otros grosores del alcance de la presente invención.
- En diversas realizaciones ejemplares de la invención, t es superior al tiempo total en el que se forma una única capa, 10 incluyendo los tiempos de distribución y de curado tomados de forma agregada. Por ejemplo, cuando el tiempo total de formación de una capa dada es de 5 segundos, t es superior a 5. La diferencia entre el tiempo total de formación y t se define como el "retraso". Por lo tanto, a diferencia de los sistemas convencionales en los que se deposita cada capa y se cura inmediatamente después del curado de la capa anterior, el controlador 20 retrasa la deposición y/o el 15 curado de la capa hasta que el tiempo transcurrido desde el inicio del curado de la capa inmediatamente anterior sea t o más segundos.
- Valores normales para t incluyen, sin limitación, al menos 6, o al menos 7, o al menos 8, o al menos 9, o al menos 10. En algunas realizaciones de la presente invención t es como mucho 25. En algunas realizaciones de la invención, t es inferior a 6.
- El valor de t también puede depender de las propiedades de los materiales respectivos usados para la fabricación del 20 objeto y opcionalmente también de la temperatura a la que está siendo fabricado el objeto.
- En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador 20 recibe datos de la HDT que caracteriza el material 25 de construcción siendo usado. Los datos de la HDT se corresponden normalmente con la HDT que adquiere el material una vez se ha curado. Tales datos pueden ser proporcionados, por ejemplo, por el operario por medio de un procesador 24 de datos. Se debe entender que no es necesario que el operario introduzca literalmente los datos de la HDT (aunque esto también se contempla). En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador o el procesador de datos accede a una base de datos de valores de HDT que pueden almacenarse en un medio de memoria (no mostrado) y selecciona el valor de HDT en función de otros tipos de entradas realizadas por el operario. Por ejemplo, tal base de datos puede incluir una pluralidad de entradas, teniendo cada una un tipo de material de 30 construcción y un valor correspondiente de HDT. En estas realizaciones, el operario puede introducir el tipo de material de construcción o seleccionarlo de una lista de opciones, y el controlador o el procesador de datos obtiene el respectivo valor de HDT a partir de la base de datos. También se contemplan realizaciones en las que el controlador o el procesador de datos obtiene el respectivo valor de HDT a partir de la base de datos en función del o de los tipos de materiales de construcción cargados en el sistema 42 de suministro.
- Una vez el controlador recibe los datos de HDT selecciona opcionalmente el valor de t en respuesta a la HDT. Esto 35 puede realizarse de más de una forma. En algunas realizaciones, se usa una tabla de consulta. Tal tabla de consulta puede almacenarse en un medio de memoria accesible por el controlador. La tabla de consulta puede incluir una pluralidad de entradas que tienen cada una un valor de HDT y un valor t correspondiente. El controlador puede buscar una entrada en la tabla que coincida de forma óptima con el valor recibido de HDT y selecciona el valor t respectivo o se aproxima al valor t en función de la entrada o las entradas que coincidan de forma óptima. En algunas realizaciones, 40 el controlador puede emplear una función preprogramada t (HDT) para determinar el valor de t para un valor dado de HDT. Preferiblemente, tal función es una función que aumenta de forma monótona (por ejemplo, una función lineal que tiene una inclinación positiva) de la HDT. Preferiblemente, el valor devuelto de la función para HDT=50 °C es de al menos 6.
- Se debe entender que no es necesario que el controlador 20 seleccione el valor de t en función del valor de HDT. En 45 algunas realizaciones de la presente invención, el controlador 20 selecciona el valor de t directamente del tipo de material de construcción siendo usado para la fabricación del objeto. Normalmente, esto se realiza mediante una tabla de consulta que, en algunas realizaciones de la presente invención, está almacenada en un medio de memoria accesible por el controlador 20. Tal tabla de consulta puede incluir una pluralidad de entradas cada una de las cuales tiene un tipo de material de construcción o un tipo de familia de materiales de construcción y un correspondiente valor 50 t. El controlador 20 puede buscar una entrada en la tabla que coincida de forma óptima con el tipo de material de construcción o con el tipo de familia de los materiales de construcción, y selecciona el respectivo valor t.
- También se contemplan realizaciones en las que el valor de t también está basado en la temperatura operativa del proceso de fabricación, preferiblemente, pero no de forma necesaria, en la diferencia entre el valor de HDT y en la temperatura operativa.
- 55 El valor t puede basarse al menos, opcional y preferiblemente, en parte de la dosis de energía suministrada a la capa formada más recientemente. La dosis de energía por unidad de volumen depende, en principio, de la intensidad de la radiación emitida por la fuente 18 de radiación, y de la tasa con la que se distribuye el material. La tasa de distribución, a su vez, depende de la velocidad relativa de rotación de la bandeja 12 y del flujo de material de construcción que sale de las boquillas del cabezal 16. Por ejemplo, para un material dado de modelado, un flujo dado de material de

construcción que sale de las boquillas y una intensidad dada de radiación, la velocidad de rotación tiene como resultado un grado menor de polimerización por capa en el proceso de formación, siguiendo polimerizándose las capas durante el curado de capas subsiguientes encima de las mismas. Los presentes inventores descubrieron que tal polimerización de las capas formadas previamente aumenta el efecto de ondulación.

- 5 Por lo tanto, en diversas realizaciones exemplares de la invención, se calcula el valor de  $t$  en función de uno o más de los siguientes parámetros: (i) grosor de capa, (ii) tasa de distribución, (iii) intensidad de radiación, (iv) tasa de polimerización por unidad de dosis de energía, y (v) la HDT del material que es curado. En algunas realizaciones, se calcula el valor de  $t$  en función de al menos dos de los anteriores parámetros, en algunas realizaciones de la presente invención, se calcula el valor de  $t$  en función de al menos tres de los anteriores parámetros y, en algunas realizaciones de la presente invención, se calcula el valor de  $t$  en función de todos los anteriores parámetros.

10 El procedimiento y el sistema de las presentes realizaciones pueden utilizar muchos tipos de materiales de construcción. Ejemplos representativos incluyen, sin limitación, materiales de construcción para los cuales la HDT posterior al curado a una presión de aproximadamente 0,45 MPa, medida por uno o más de los procedimientos de la serie ASTM D-648, en particular, los procedimientos ASTM D-648-06 y ASTM D- 648-07 y opcionalmente ambos procedimientos ASTM D-648-06 and ASTM D-648-07, es superior a la temperatura de las capas según están siendo formadas, preferiblemente una HDT de aproximadamente 50 °C o superior.

15 Los materiales adecuados de construcción pueden incluir composiciones que comprenden funcionalidades acrílicas o metacrílicas, que son polimerizables por UV mediante mecanismos radicales, por ejemplo, la reacción de adición de grupos funcionales acrílicos. Ejemplos adicionales incluyen, sin limitación, composiciones polimerizables por UV que comprenden al menos 30% en peso de un monómero funcional monoacrílico o monometacrílico, en las que el polímero respectivo del monómero tiene una temperatura de transición vítrea (Tg) superior a aproximadamente 50 °C. En algunas realizaciones, Tg es superior a 60°C o superior a 70°C.

20 En la presente memoria "Tg" se refiere a la temperatura de transición vítrea definida como la ubicación del máximo local de la curva E", donde E" es el módulo de pérdida del material como una función de la temperatura.

25 Algunos tipos representativos de materiales adecuados para las presentes realizaciones incluyen Objet® VeroBlue RGD840, Objet® VeroGrey RGD850, Objet® VeroBlack RGD870 y Objet® RGD525 que son materiales de modelado disponibles comercialmente en Stratasys Ltd.

30 Según se usa en la presente memoria el término "aproximadamente" se refiere al  $\pm 10\%$  y el símbolo " $\approx$ " denota la igualdad con una tolerancia de como mucho el 10%.

35 En la presente memoria, se usa la palabra "ejemplar" con el significado de "servir de ejemplo, caso o ilustración". no Debe interpretarse que cualquier realización descrita como "ejemplar" sea necesariamente preferida o ventajosa con respecto a otras realizaciones ni/o que excluya la incorporación de características de otras realizaciones.

40 En la presente memoria, se usa la palabra "opcionalmente" con el significado de "se proporciona en algunas realizaciones y no se proporciona en otras realizaciones". Cualquier realización particular de la invención puede incluir una pluralidad de características "opcionales" a no ser que tales características entren en conflicto.

45 Los términos "comprende", "comprendiendo", "incluye", "incluyendo", "teniendo" y sus conjugados significan "incluye sin limitación".

La expresión "consta de" significa "incluye con limitación".

50 La expresión "constar esencialmente de" significa que la composición, el procedimiento o la estructura pueden incluir ingredientes, etapas y/o partes adicionales, pero solamente si los ingredientes, etapas y/o partes adicionales no alteran materialmente las características básicas y novedosas de la composición, del procedimiento o de la estructura reivindicados.

Según se usa en la presente memoria, la forma singular "un", "una", "el" y "la" incluyen referencias plurales a no ser que el contexto dicte claramente algo distinto. Por ejemplo, la expresión "un compuesto" o "al menos un compuesto" puede incluir una pluralidad de compuestos incluyendo mezclas de los mismos.

55 En toda esta solicitud, se pueden presentar diversas realizaciones de la presente invención en un formato de intervalo. Se debería entender que la descripción en formato de intervalo es meramente en aras de la conveniencia y la brevedad y no debería interpretarse como una limitación inflexible del alcance de la invención. En consecuencia, debería considerarse que la descripción de un intervalo ha divulgado específicamente todos los subintervalos posibles, así como los valores individuales numéricos en ese intervalo. Por ejemplo, debería considerarse que la descripción de un intervalo tal como de 1 a 6 ha divulgado específicamente subintervalos, tales como de 1 a 3, de 1 a 4, de 1 a 5, de 2 a 4, de 2 a 6, de 3 a 6, etc., así como los números individuales dentro de ese intervalo, por ejemplo, 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Esto se aplica independientemente de la amplitud del intervalo.

Siempre que en la presente memoria se indique un intervalo numérico, se quiere decir que incluye cualquier número citado (fraccionario o entero) dentro del intervalo indicado. En la presente memoria, las frases "oscilando/que oscila entre" un primer número indicativo y un segundo número indicativo y "oscilando/que oscila de" un primer número indicativo "a" un segundo número indicativo se usan para los números fraccionarios y enteros entre los mismos.

- 5 Se aprecia que ciertas características de la invención que son descritas, en aras de la claridad, en el contexto de realizaciones separadas, también pueden proporcionarse en combinación en una única realización. Al contrario, diversas características de la invención que son descritas, en aras de la claridad, en el contexto de una única realización, también pueden proporcionarse por separado o en cualquier subcombinación adecuada o como sea adecuado en cualquiera de las otras realizaciones descritas de la invención. No debería considerarse que ciertas características descritas en el contexto de diversas realizaciones sean características esenciales de esas realizaciones, a no ser que la realización sea inoperativa sin esos elementos.
- 10 Diversas realizaciones y aspectos de la presente invención delineados en lo que antecede en la presente memoria y reivindicados en la sección de reivindicaciones a continuación encuentran apoyo experimental en los siguientes ejemplos.

## 15 Ejemplos

Ahora, se hace referencia a los siguientes ejemplos.

- Se llevaron a cabo experimentos para determinar una disposición geométrica preferida de la fuente de radiación y del o de los cabezales de impresión. En la FIG. 13 se ilustra la disposición experimental que muestra el cabezal 16 y la fuente 18 de radiación montados sobre un bastidor 180. La fuente de radiación era una lámpara de UV.
- 20 Un proceso de impresión fue ejecutado en un diámetro de 352,8 mm, que permitió una velocidad angular de aproximadamente 100 grad/s. La separación angular entre la fuente de radiación y el cabezal fue de aproximadamente 52°, y el intervalo de tiempo correspondiente desde la distribución del material hasta el curado fue aproximadamente de 0,52 segundos.
- 25 Se realizaron pruebas de referencia a diferentes niveles de potencia. Se usó un radiómetro UV para medir la potencia útil desde la lámpara a diferentes entradas de tensión hasta la reactancia auxiliar. En la FIG. 14A, se muestra la potencia de la lámpara como una función de la tensión aplicada, y en las FIGURAS 14B, 14C y 14D se muestran imágenes del patrón resultante impreso para las tensiones de entrada de 2,2 V, 3,2 V y 4,5 V, respectivamente. El radiómetro confirmó el aumento de potencia útil. El efecto de la potencia en el nivel de llenado del patrón impreso no fue significativo.
- 30 Otro proceso de impresión fue ejecutado en un diámetro de 497,8 mm, que permitió una velocidad angular de aproximadamente 80 grad/s. La separación angular entre la fuente de radiación y el cabezal fue de aproximadamente 180°, y el intervalo de tiempo correspondiente desde la distribución del material hasta el curado fue aproximadamente de 2,25 segundos. El nivel de llenado del patrón impreso obtenido fue significativamente mayor en comparación con las pruebas de referencia mostradas en las FIGURAS 14B-D. El acabado superficial del modelo se vio afectado significativamente. Los bordes y las esquinas no eran puntiagudos y produjeron un acabado ondulado. También se redujo la precisión dimensional con aproximadamente un error del 2% en la dimensión nominal. En las FIGURAS 14E y 14F se muestran imágenes del patrón impreso resultante de estos experimentos.
- 35 Para confirmar que la calidad de impresión no se vio afectada al moverse hasta el diámetro mayor, la lámpara se movió a ubicaciones alternas en torno a la bandeja. Las FIGURAS 14G y 14H muestran imágenes del patrón impreso resultante de la separación angular entre la fuente de radiación y el cabezal de aproximadamente 80° y aproximadamente 60°. Como se muestra, al moverse la lámpara más cerca del cabezal de impresión, el nivel de llenado disminuyó.
- 40 En otro proceso de impresión, el engrosamiento del punto aumentó. El acabado superficial y la precisión dimensional mejoraron. El error dimensional fue reducido a menos de 0,5% de la dimensión nominal. En la FIG. 14I se muestra una imagen representativa del patrón impreso resultante de la separación angular de 80°. Esta calidad de impresión fue constante con la impresión de diámetro menor realizada para la prueba de referencia.
- 45 Para confirmar que el nivel de llenado se vio menos afectado por la potencia de la lámpara, se llevaron a cabo experimentos adicionales a diferentes niveles de potencia en diámetros mayores de impresión. No se observó ninguna variación en el nivel de llenado ni en la precisión dimensional (datos no mostrados).
- 50 La tabla 1 resume los parámetros y los resultados de los experimentos.

Tabla 1

Diámetro de impresión (mm)	352,8	352,8	352,8	497,8	497,8	497,8	497,8
Separación angular (grad)	52	52	52	180	80	60	60
Potencia de la lámpara (voltios)	2,2	3,2	4,5	4,5	4,5	4,5	2,5

## ES 2 877 194 T3

Resolución de impresión (DPI en diámetro de impresión)	1833	1833	1833	1797	1797	1797	1797
Velocidad de la bandeja (grad/s)	100	100	100	80	80	80	80
Tiempo de curado (s)	0,52	0,52	0,52	2,25	1,00	0,75	0,75
Figuras representativas que muestran los resultados	14B	14C	14D	14E-F	14G	14H	-

### REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) para la impresión tridimensional, que comprende:  
una bandeja giratoria (12) configurada para girar en torno a un eje vertical (14);
- 5 un cabezal (16) de impresión por chorro de tinta, que tiene una pluralidad de boquillas separadas (22) y que está configurado para tener un movimiento de vaivén con respecto a dicha bandeja (12) a lo largo de una dirección radial (r); y  
10 un controlador (20) configurado para controlar dicho cabezal (16) de impresión por chorro de tinta para distribuir, durante dicha rotación, gotitas de material de construcción en capas, de forma que se imprima un objeto tridimensional sobre dicha bandeja (12), caracterizado porque el controlador está configurado, además, para variar la velocidad de rotación de dicha bandeja (12) en respuesta a una posición radial de dicho cabezal (16) de impresión por chorro de tinta.
- 15 2. El sistema (10) según la reivindicación 1, que comprende, además, una fuente (18) de radiación configurada para irradiar dichas capas, de forma que se suministre energía a diferentes tasas a ubicaciones que se encuentran a diferentes distancias del centro de dicha bandeja.
- 20 3. El sistema según la reivindicación 2, en el que dicha fuente (18) de radiación está configurada para tener un movimiento de vaivén con respecto a dicha bandeja (12) a lo largo de una dirección radial (r), de forma no simultánea con dicho cabezal (16) de impresión.
- 25 4. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que diferentes boquillas (22) se encuentran a diferentes distancias de dicho eje (14) y distribuyen dicho material de construcción con diferentes tasas de distribución.
- 30 5. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que comprende al menos dos cabezales (16) de impresión por chorro de tinta, en el que para cada cabezal (16) de impresión, dicho movimiento de vaivén a lo largo de dicha dirección radial (r) es independiente y a un ángulo azimutal diferente ( $\phi$ ).
- 35 6. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que dicho controlador (20) está configurado para controlar al menos uno de dicho cabezal (16) de impresión por chorro de tinta para distribuir dichas gotitas, de forma que una distancia azimutal varía entre las gotitas distribuidas de forma secuencial como una función de una posición de dicho cabezal (16) de impresión a lo largo de dicha dirección radial (r).
- 40 7. El sistema (10) de la reivindicación 6, en el que dicha variación de la distancia azimutal está basada en una función probabilística de dicha posición a lo largo de dicha dirección radial (r).
- 45 8. El sistema (10) según la reivindicación 6, en el que dicho controlador (20) está configurado para ejecutar una distribución entrelazada de dichas gotitas durante al menos una rotación de dicha bandeja (12).
9. El sistema (10) según la reivindicación 8, en el que un nivel de entrelazamiento de dicha distribución entrelazada varía como una función de una posición de dicho cabezal (16) de impresión a lo largo de dicha dirección radial (r).
- 35 10. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que dicho controlador (20) está configurado para acceder a un medio legible por ordenador que almacena una máscara de mapa de bits, y para obtener datos de impresión correspondientes a una forma del objeto solo para ubicaciones sobre dicha bandeja (12) que no están enmascaradas por dicha máscara de mapa de bits.
- 40 11. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1-10, que comprende, además, un elemento (160) de calentamiento previo para calentar dicho material de construcción antes de entrar en dicho cabezal (16) de impresión.
- 45 12. El sistema (10) según la reivindicación 11, en el que dicho elemento (160) de calentamiento previo está separado de dicho cabezal (16), y se encuentra en comunicación de fluido con dicho cabezal (16) por medio de un conducto (164).
13. El sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1-12, que comprende, además, una fuente (18) de radiación configurada para tener un movimiento de vaivén con respecto a dicha bandeja (12) a lo largo de una dirección radial (r), en el que dicho cabezal (16) de impresión también está configurado para tener un movimiento de vaivén con respecto a dicha bandeja (12) a lo largo de dicha dirección radial (r), de forma no simultánea con dicha fuente (18) de radiación.
- 50 14. Un procedimiento para la fabricación de un objeto, que comprende recibir datos de impresión tridimensional correspondientes a la forma del objeto, suministrar dichos datos a un sistema para la impresión tridimensional, y operar dicho sistema para imprimir el objeto en función de dichos datos, en el que dicho sistema es el sistema (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1-13.

FIG. 1A

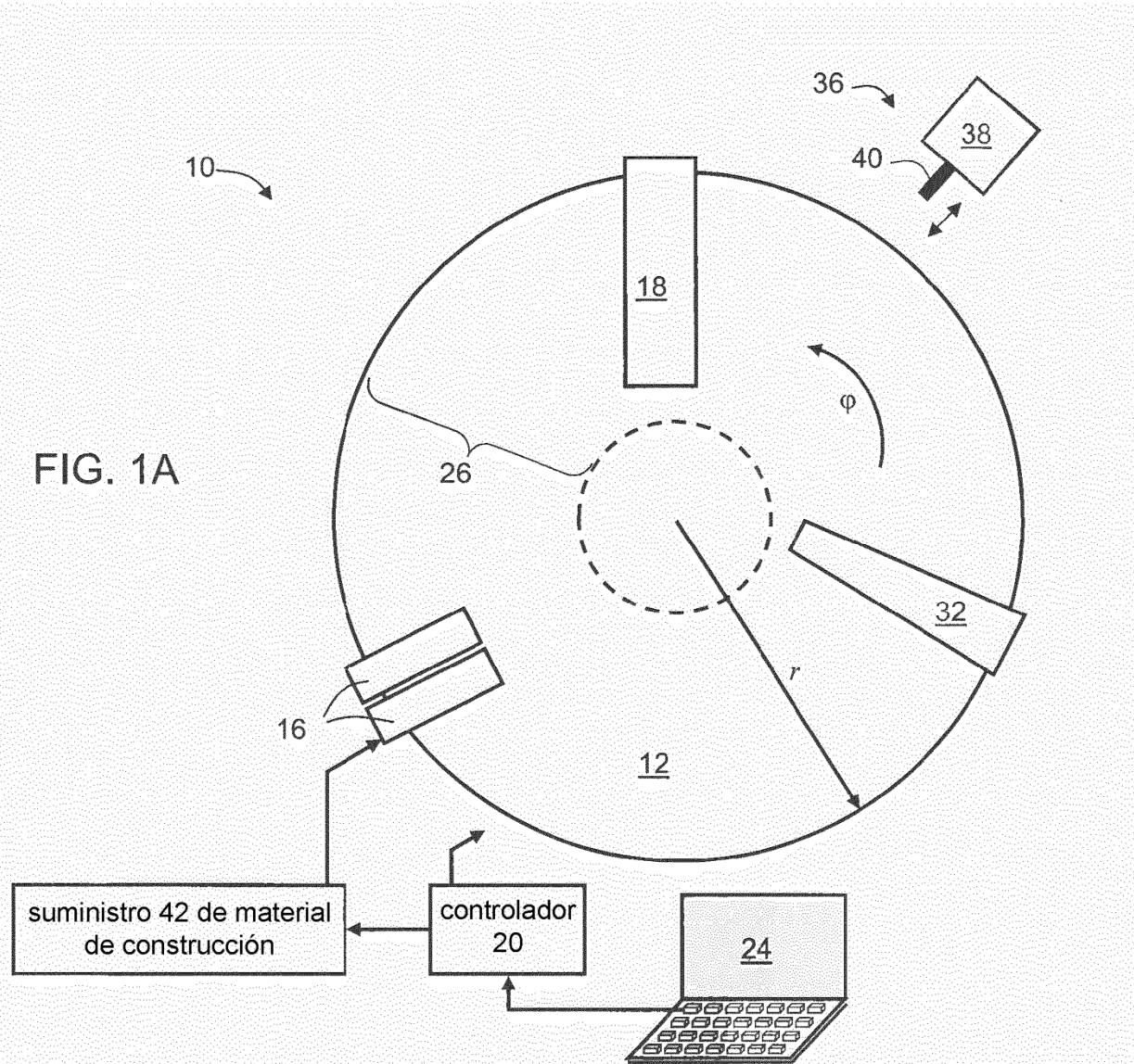
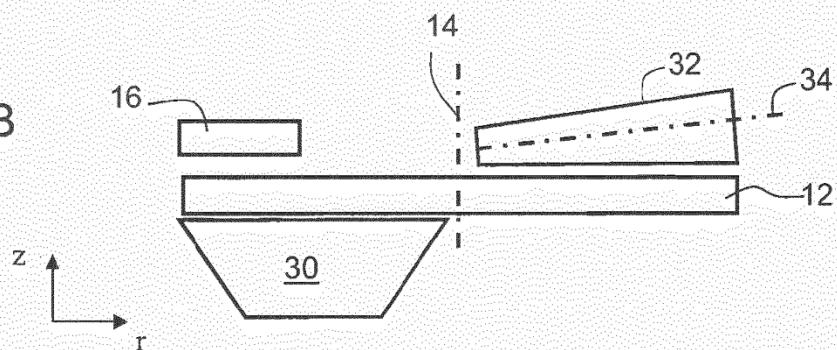


FIG. 1B



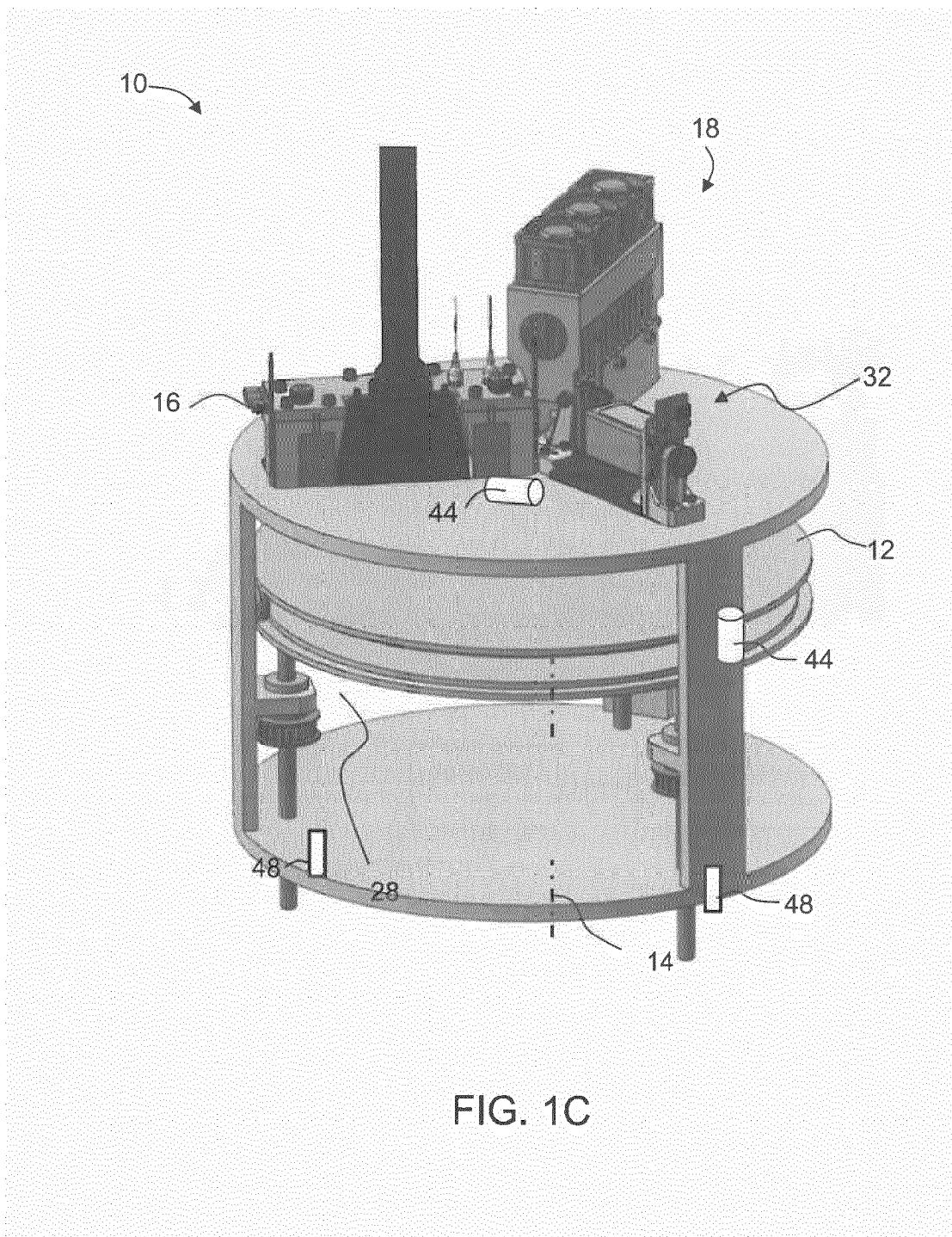


FIG. 1C

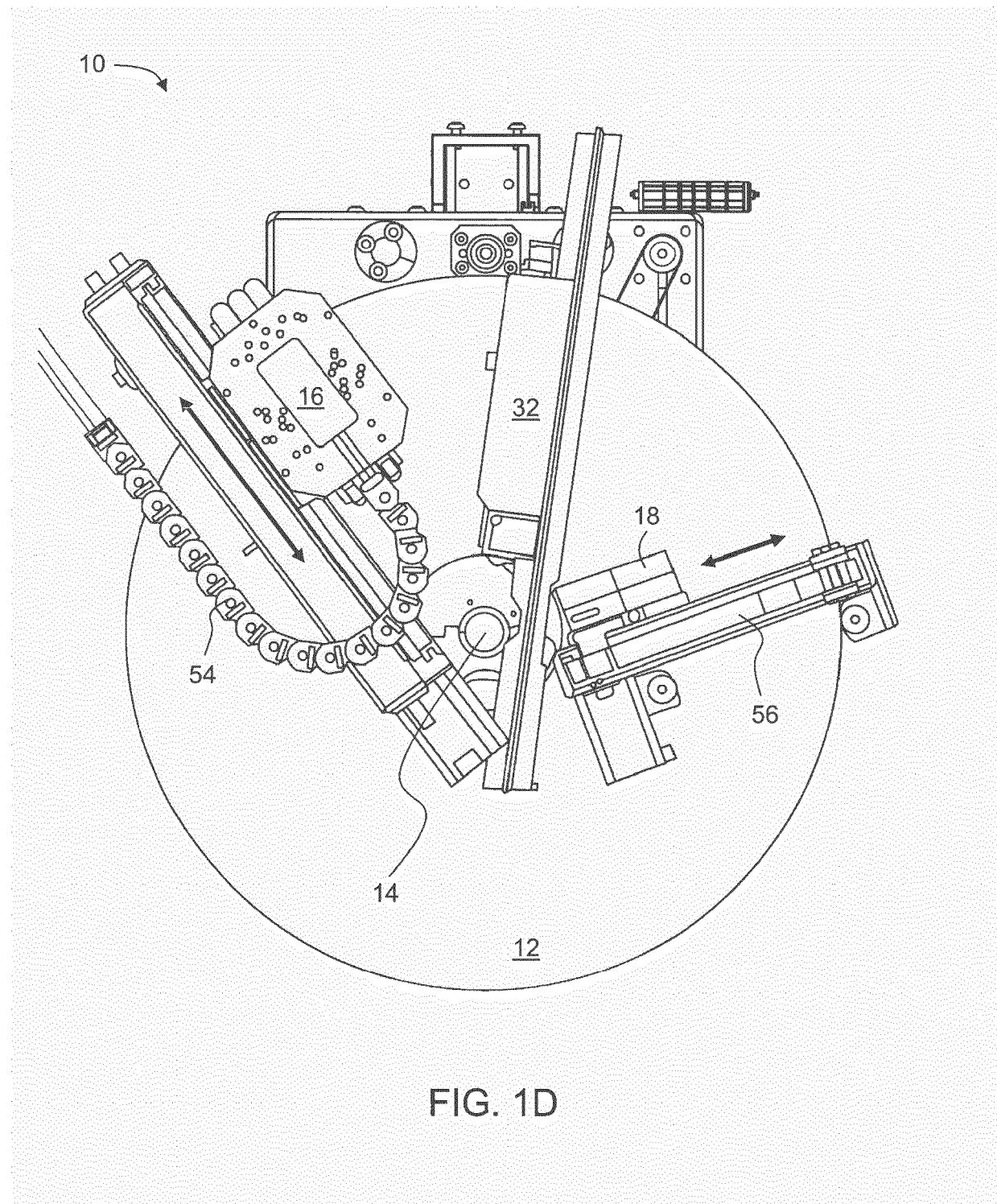


FIG. 1D

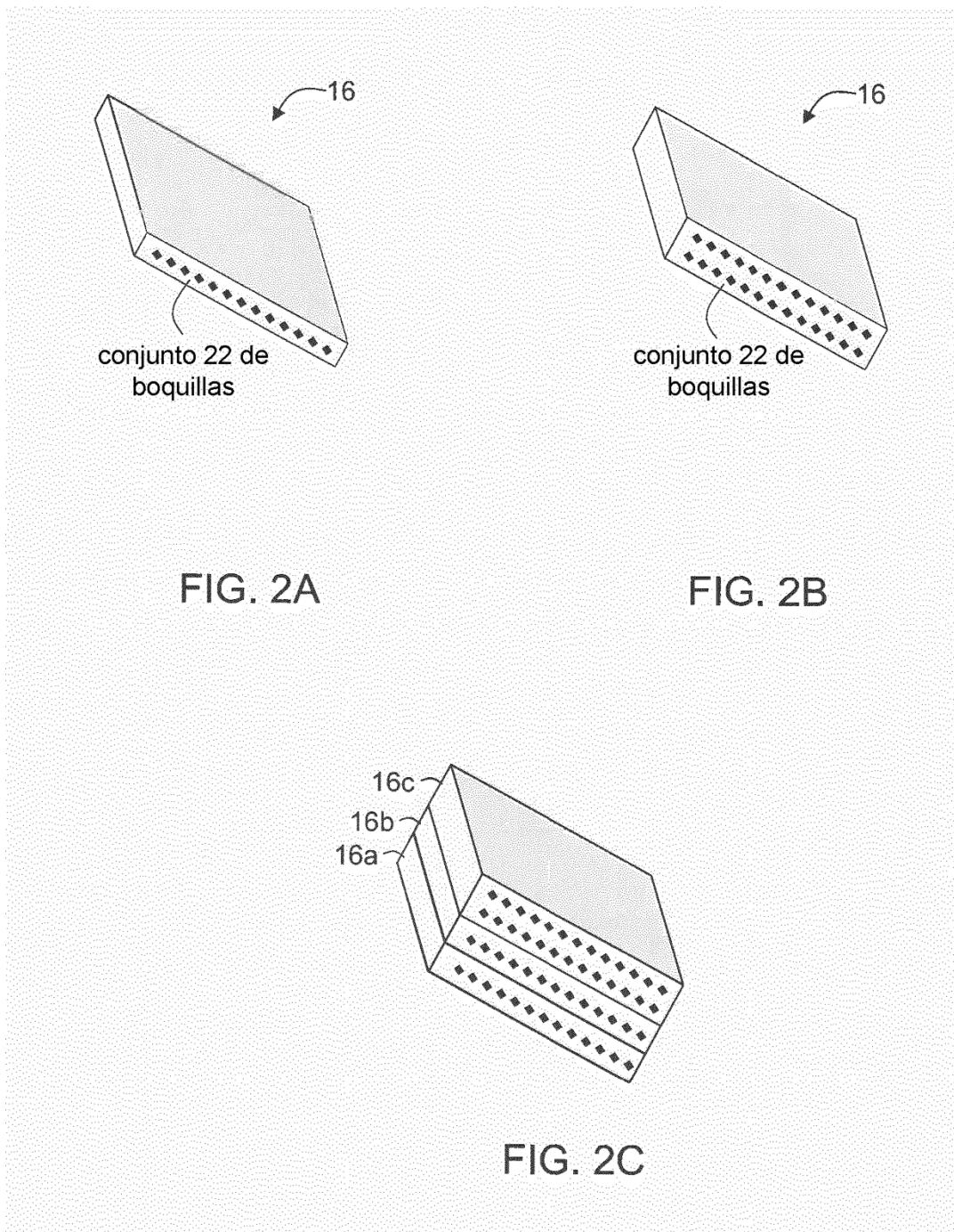


FIG. 3A

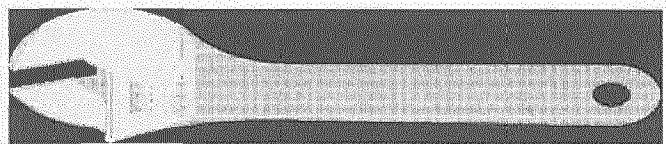


FIG. 3B

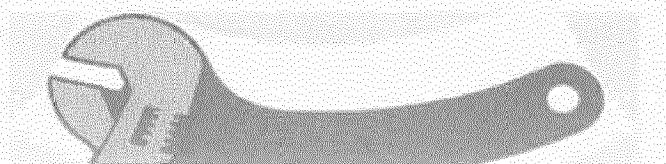


FIG. 3C



FIG. 3D

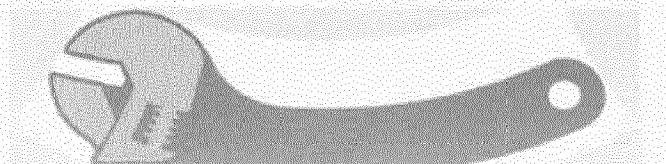


FIG. 3E

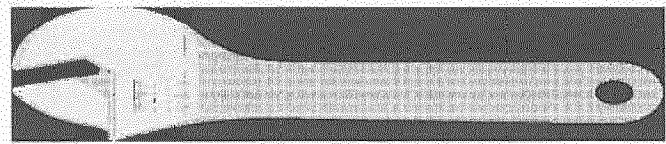
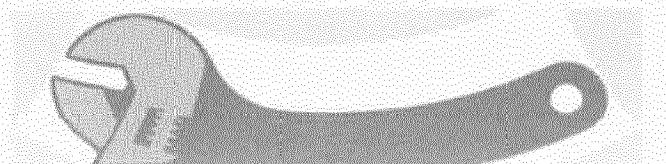


FIG. 3F



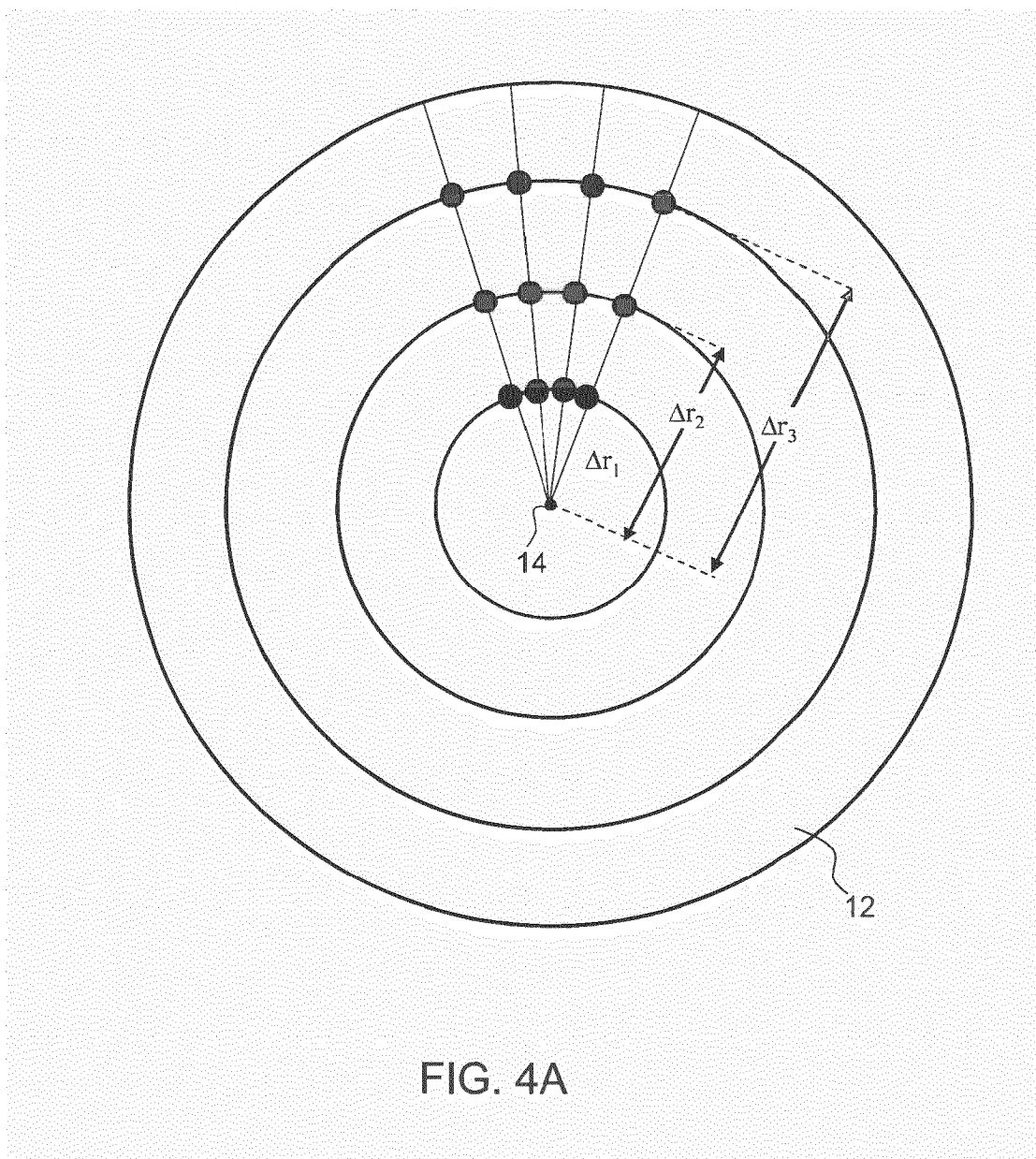


FIG. 4A

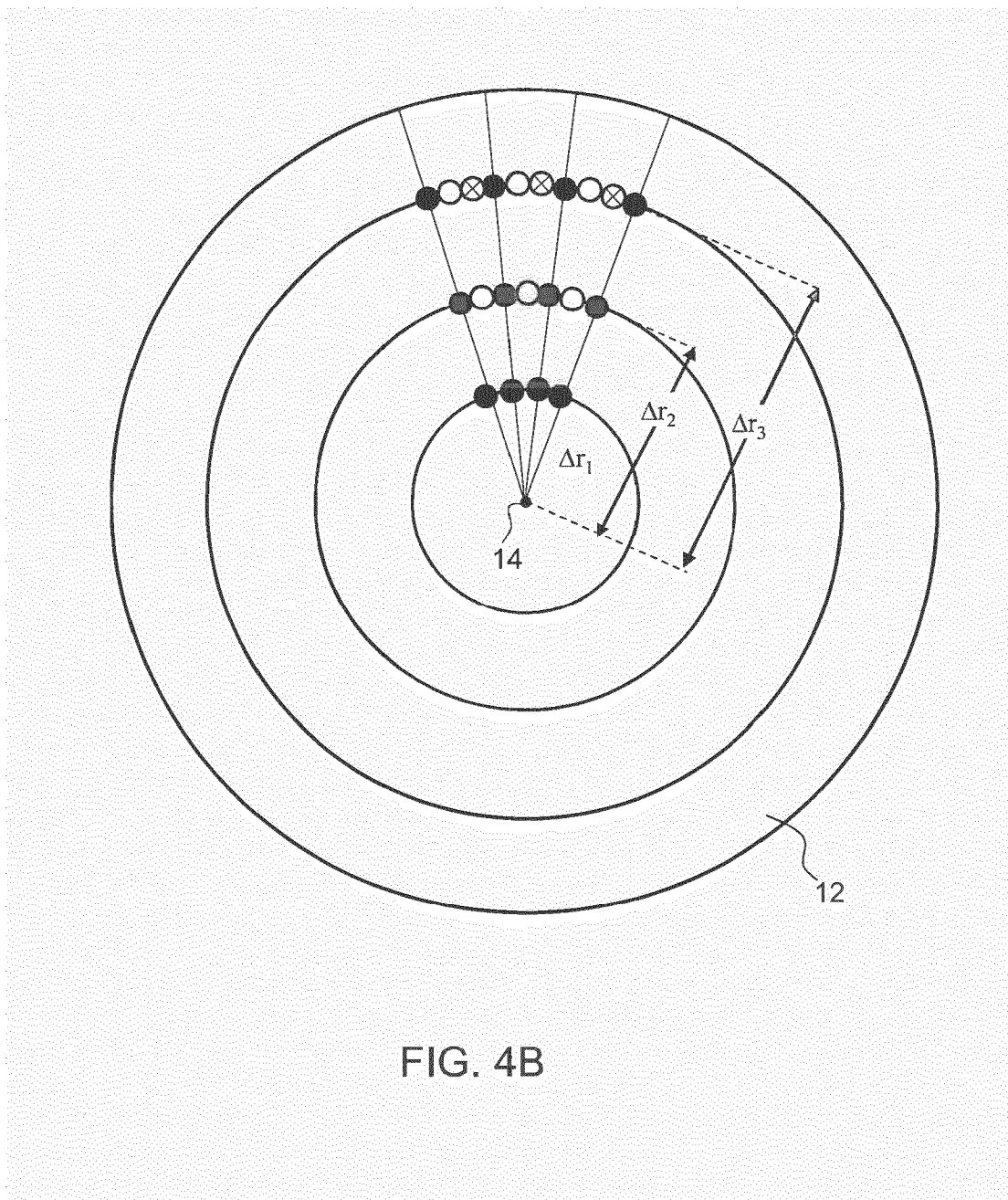
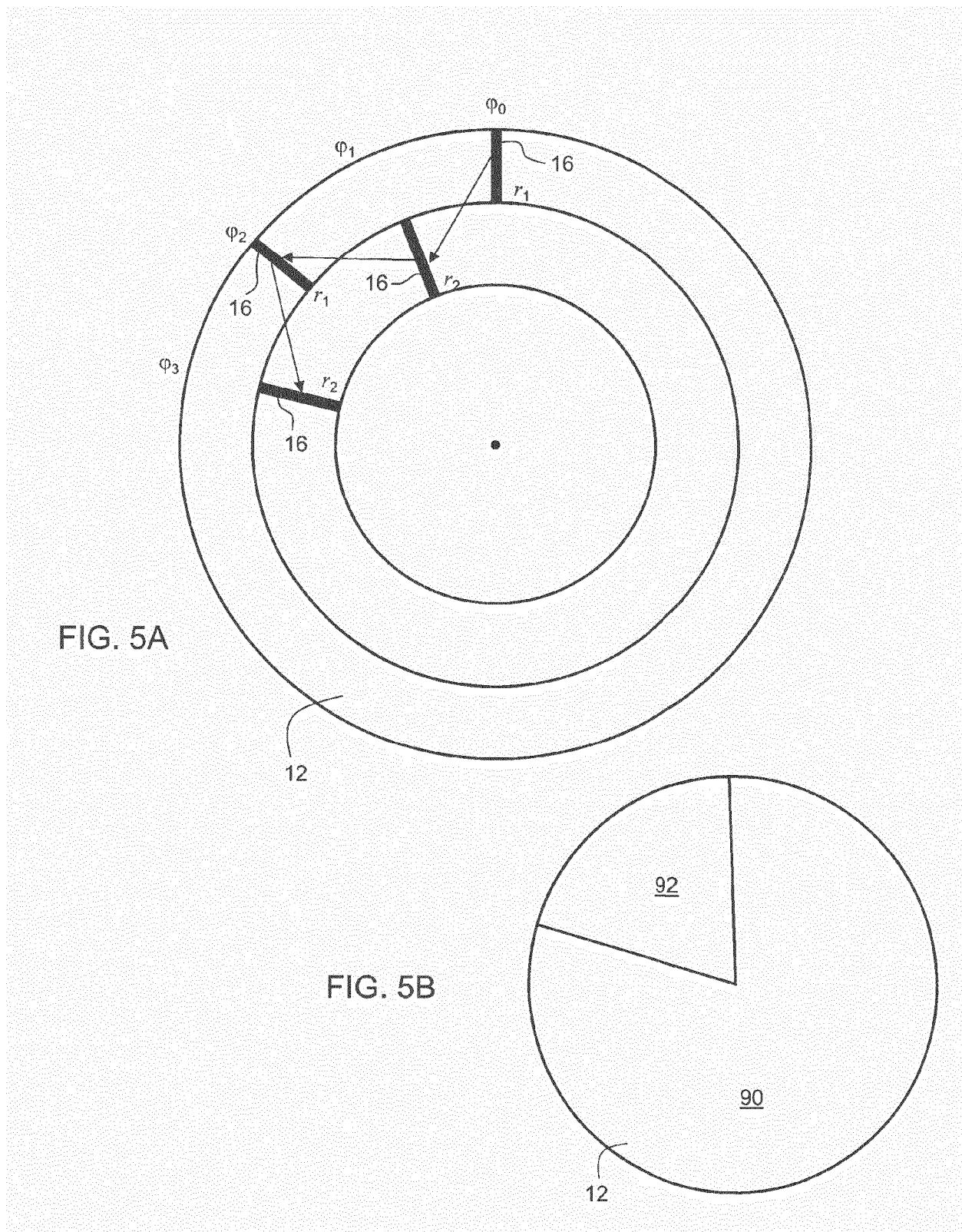


FIG. 4B



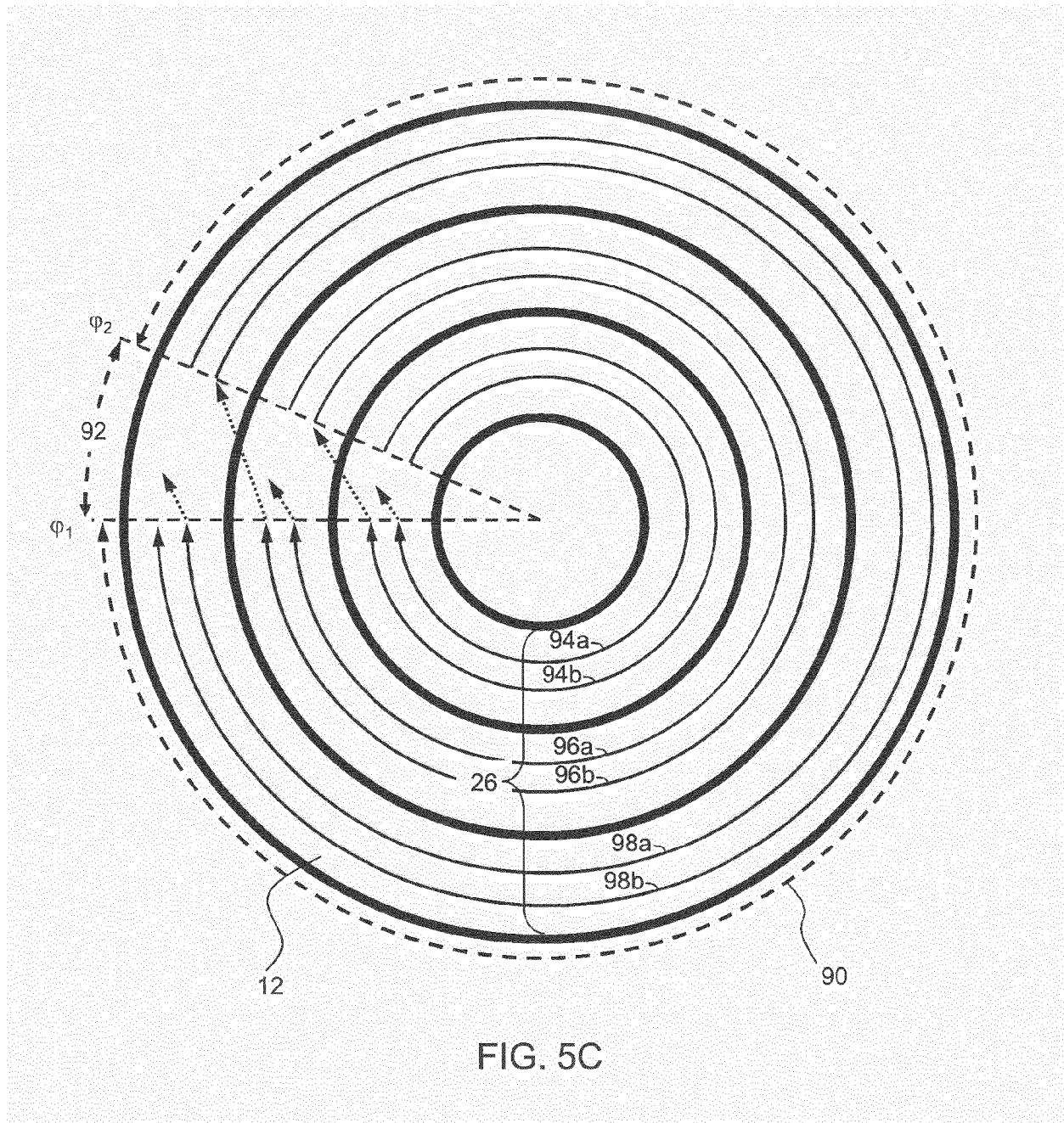


FIG. 5C

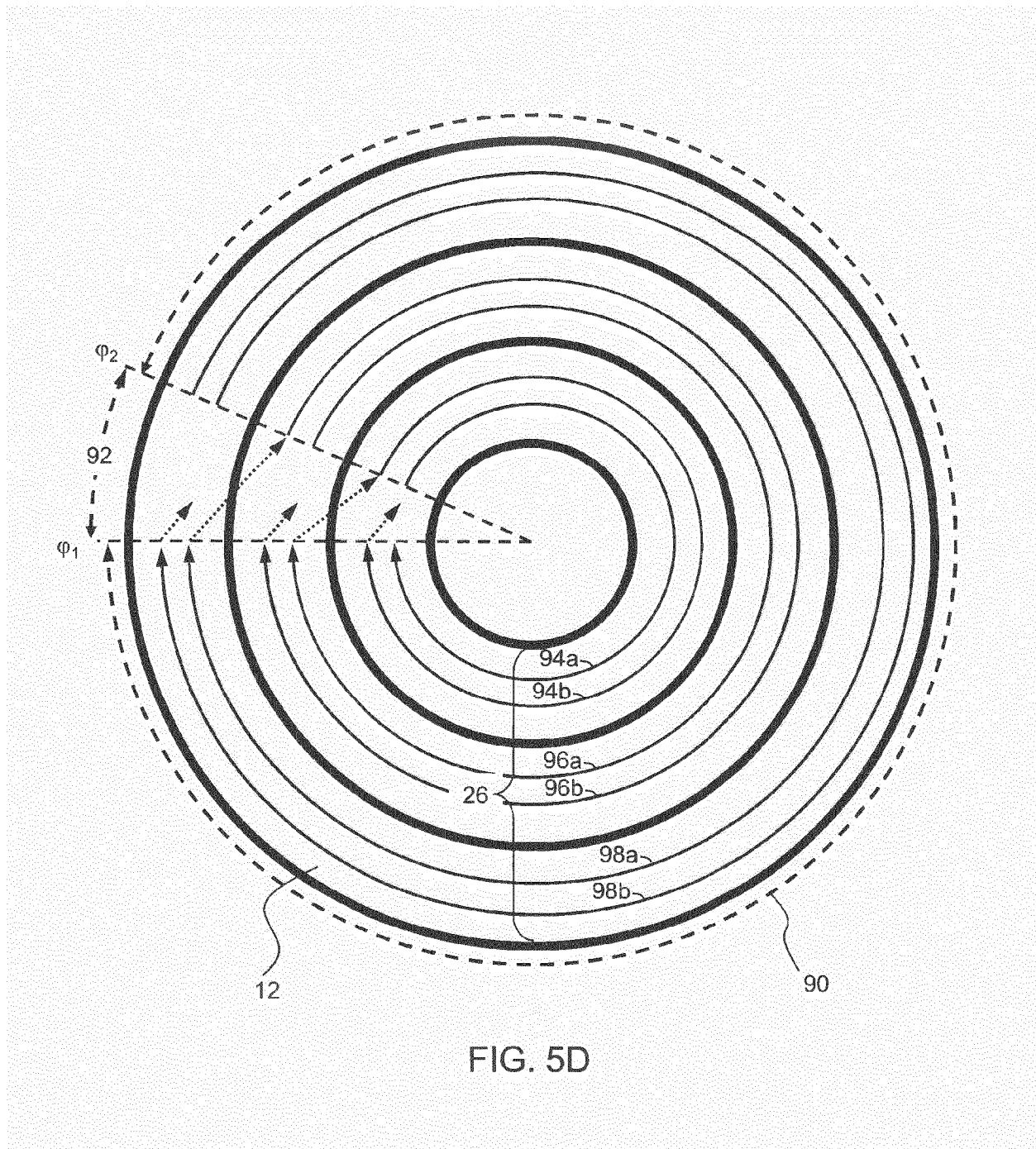


FIG. 5D

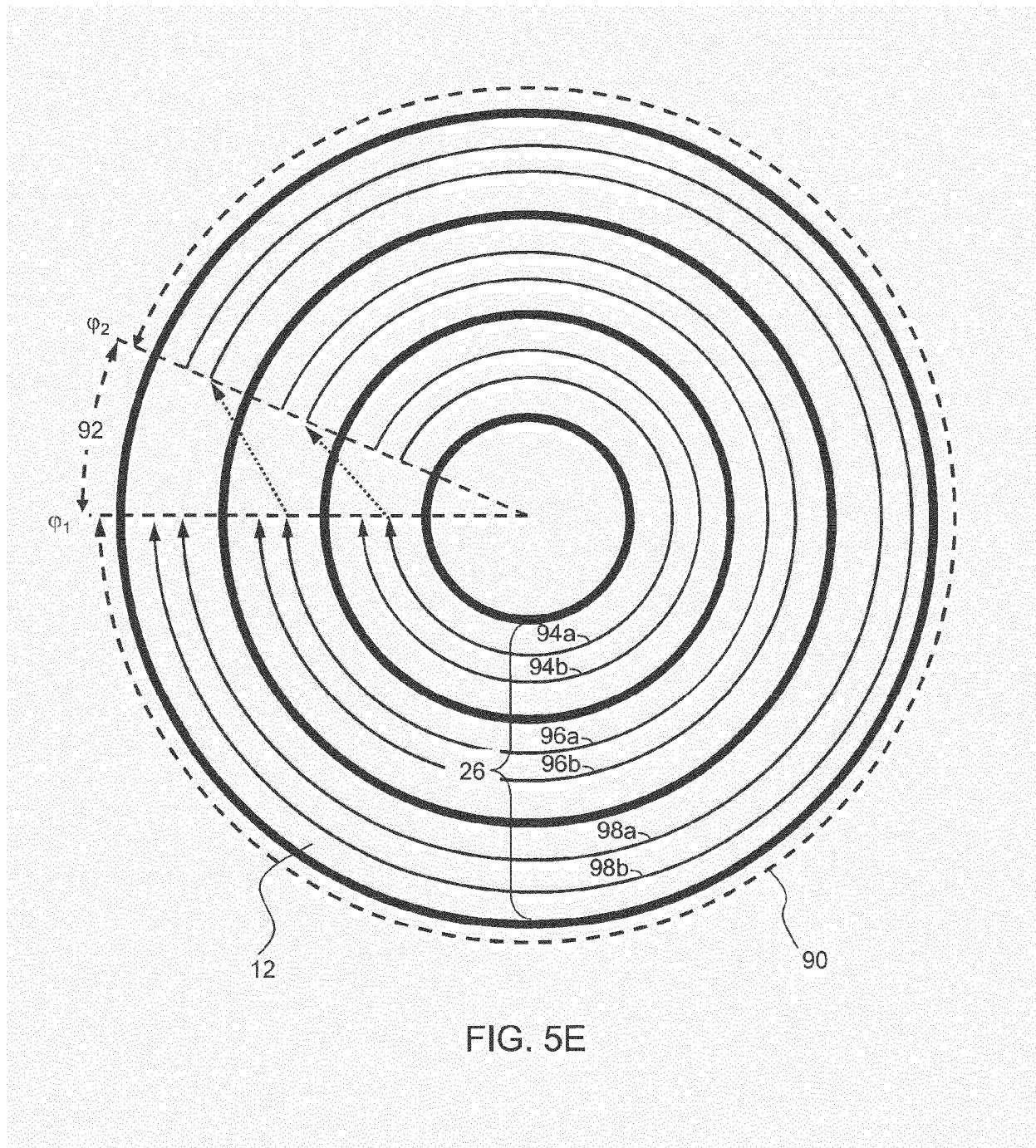


FIG. 5E

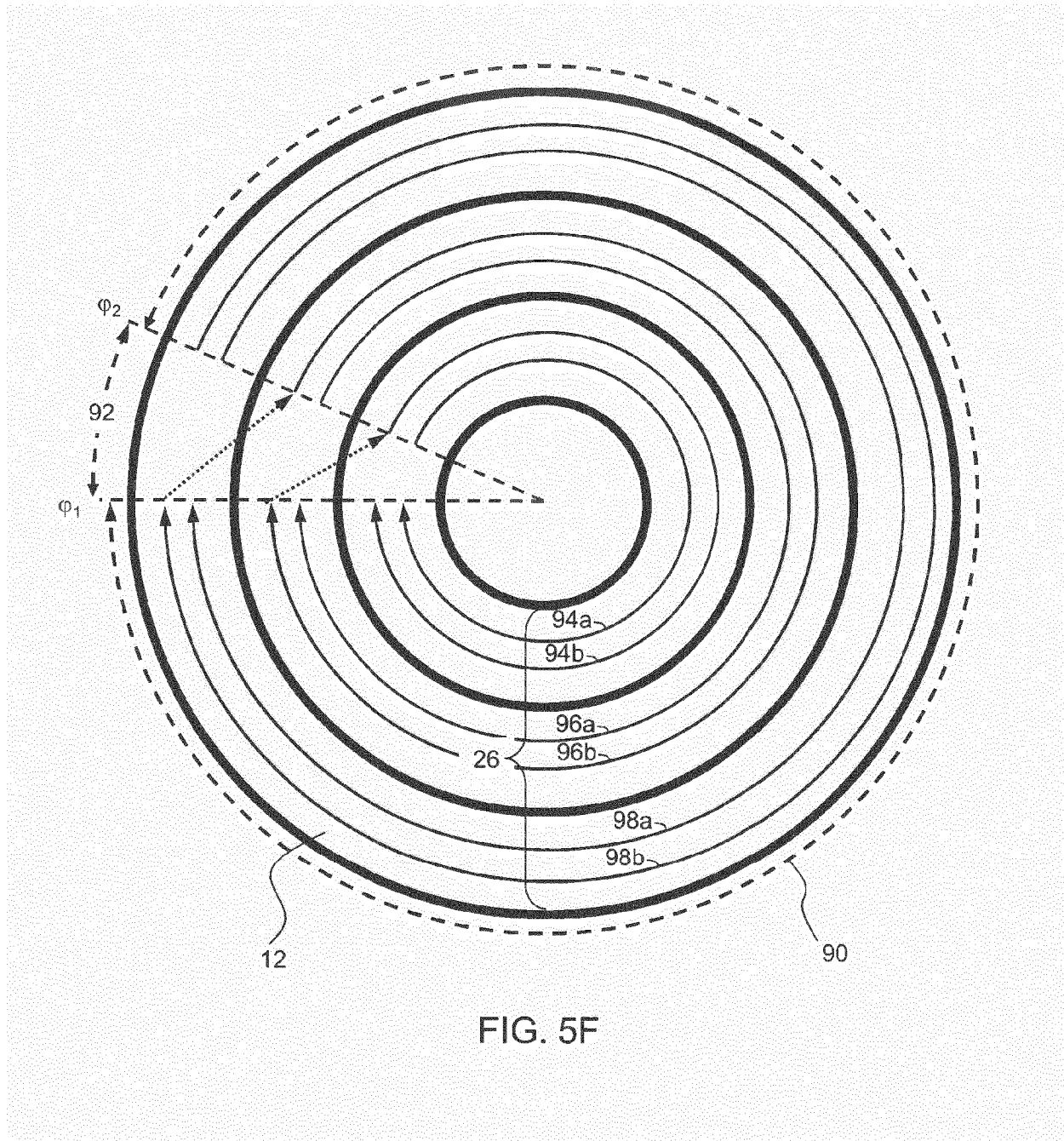


FIG. 5F

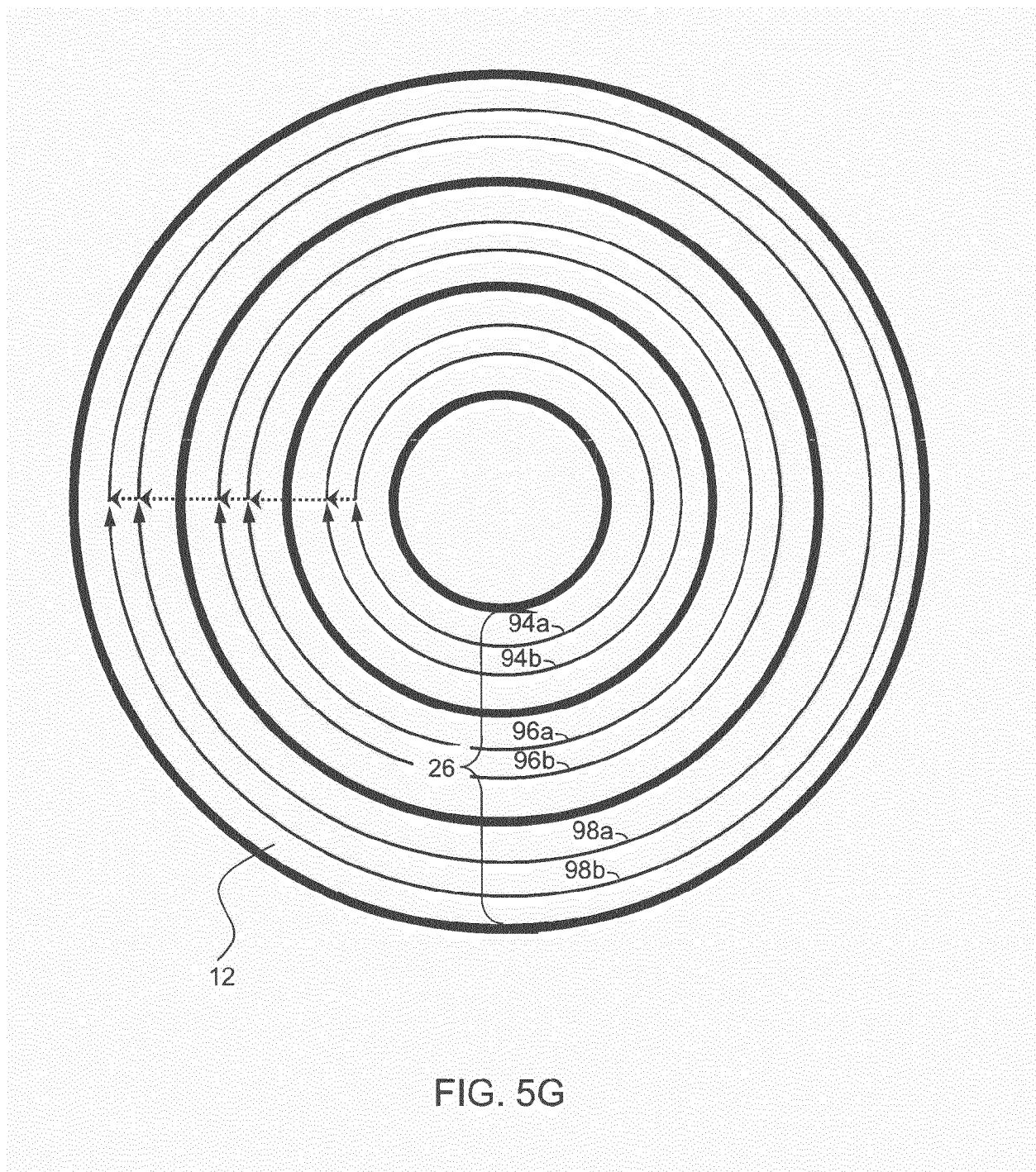


FIG. 5G

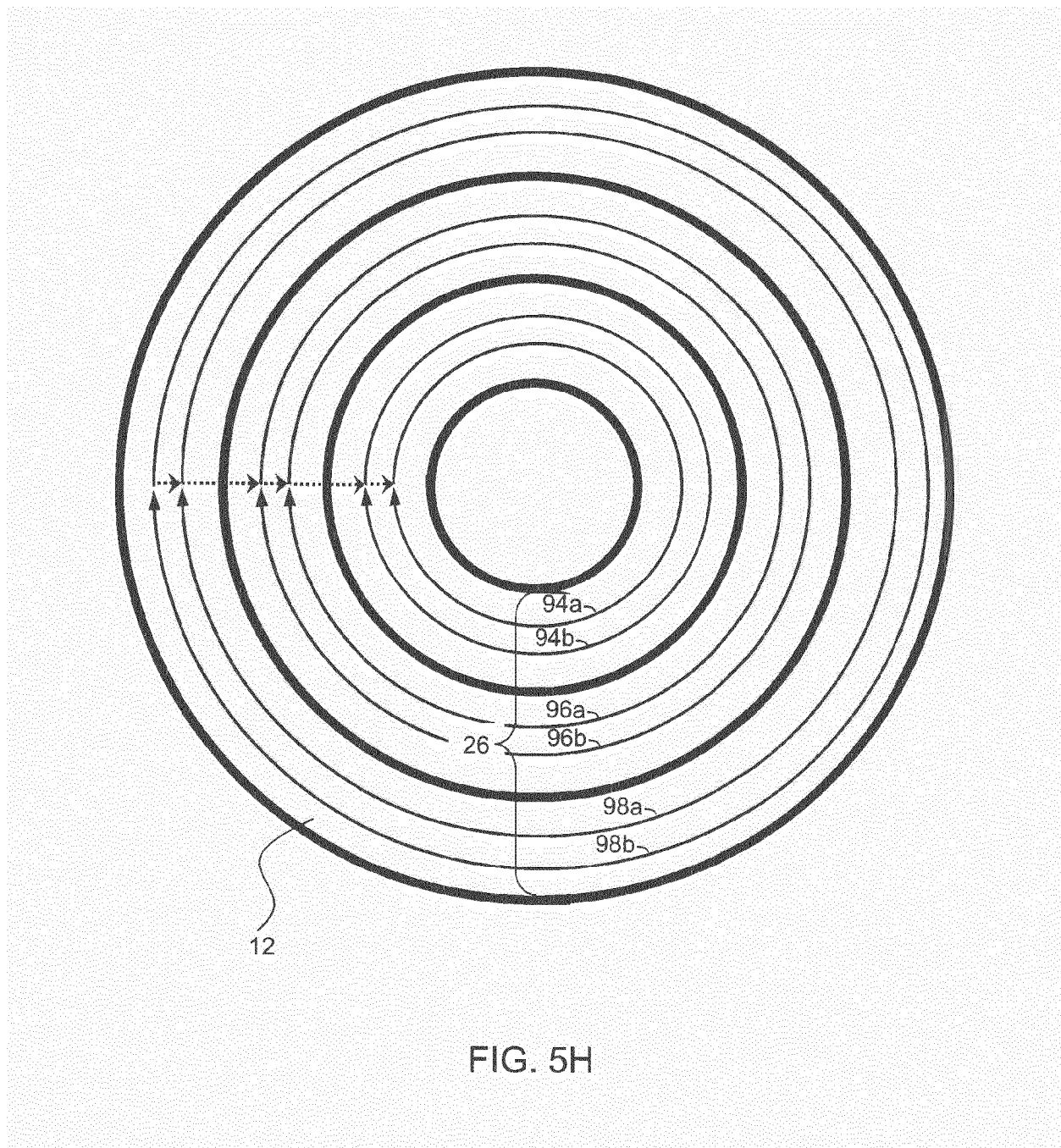


FIG. 5H

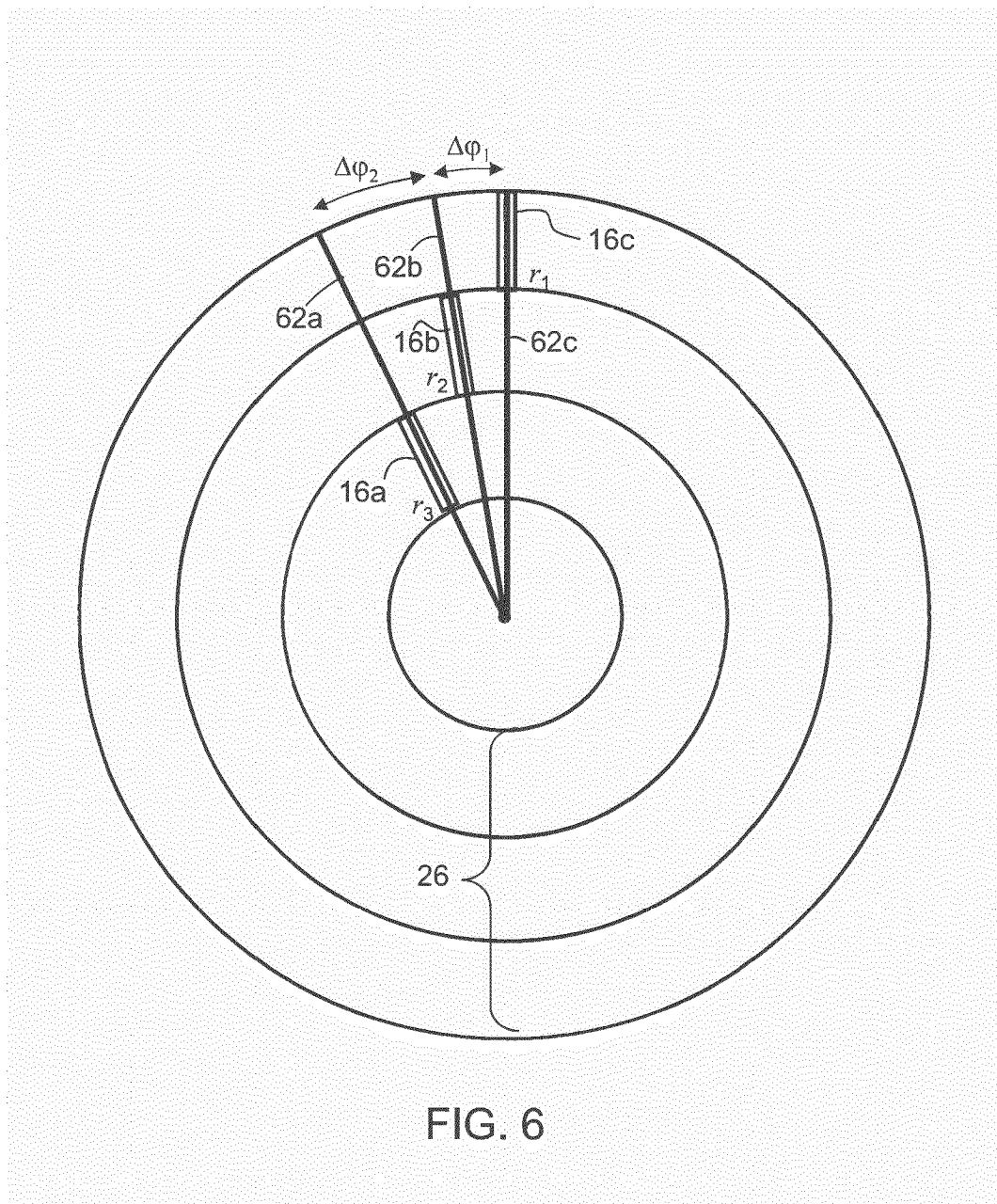


FIG. 6

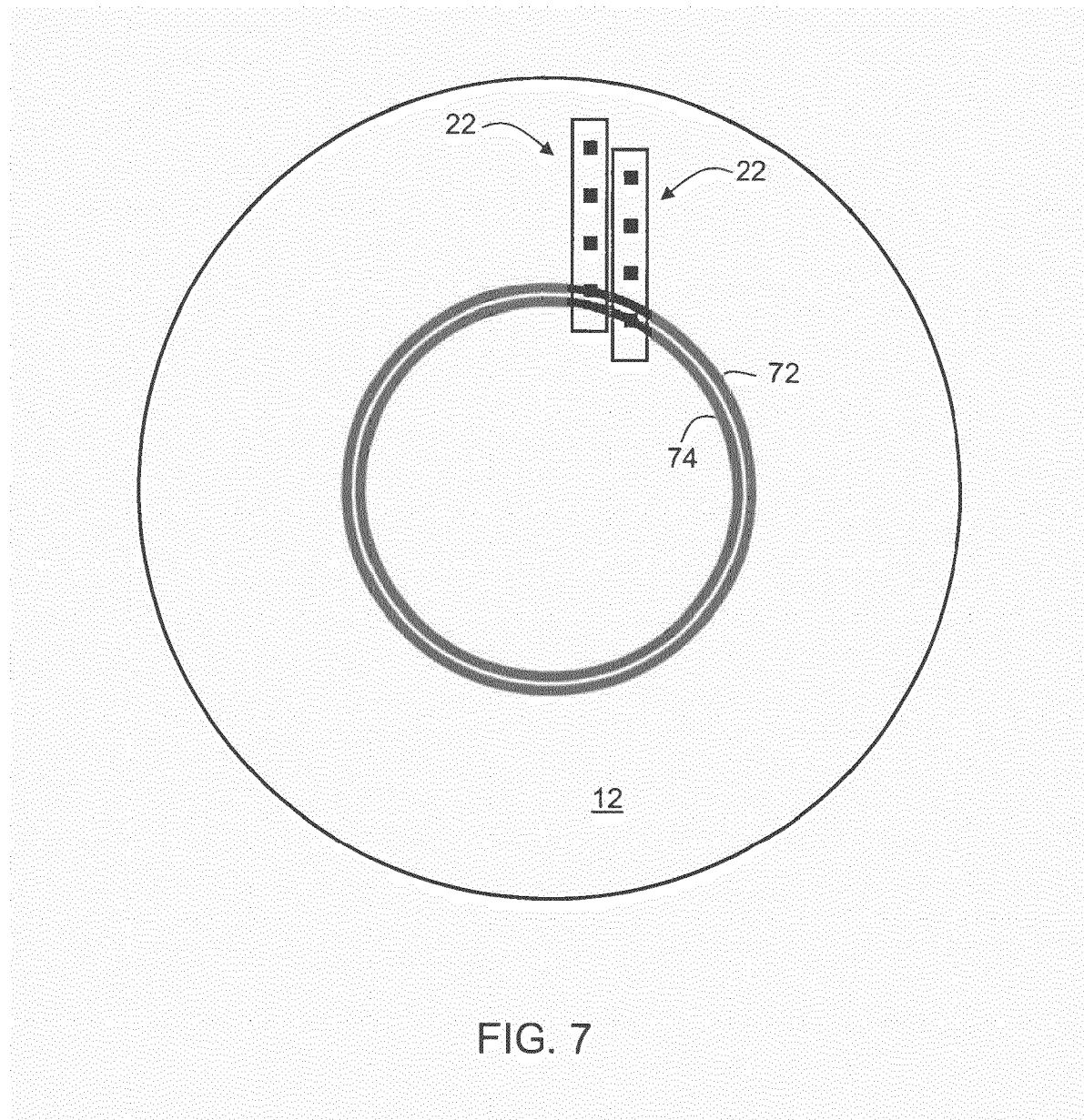


FIG. 8A

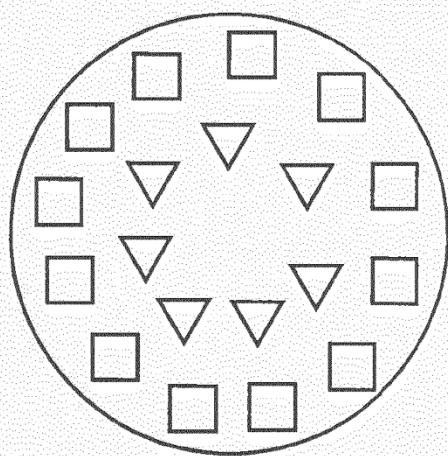
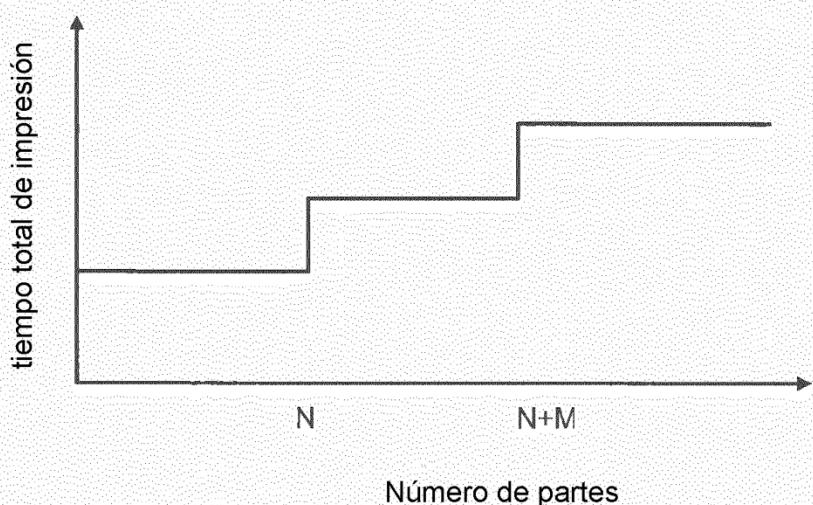
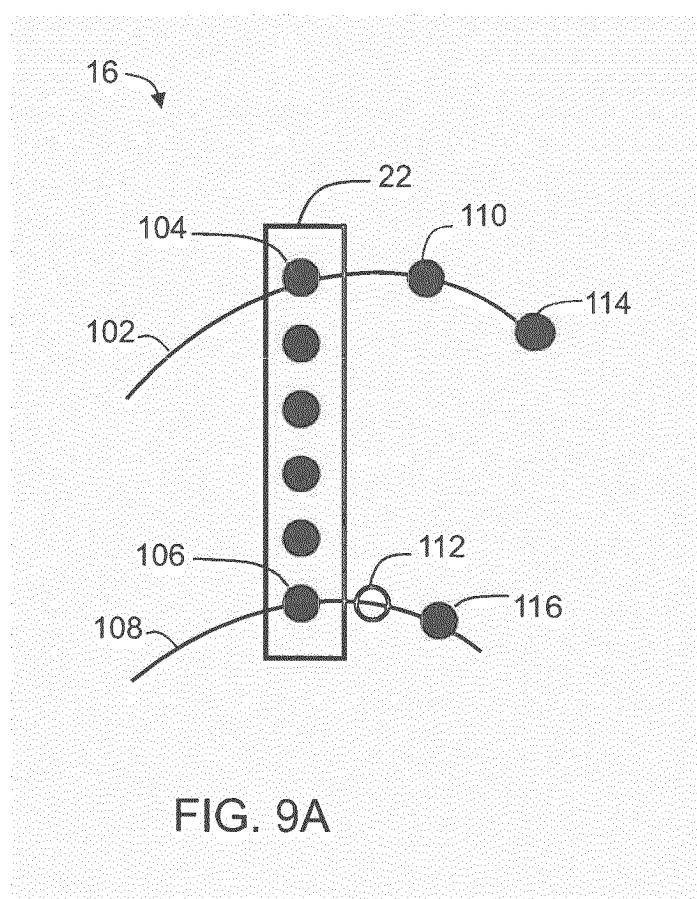


FIG. 8B





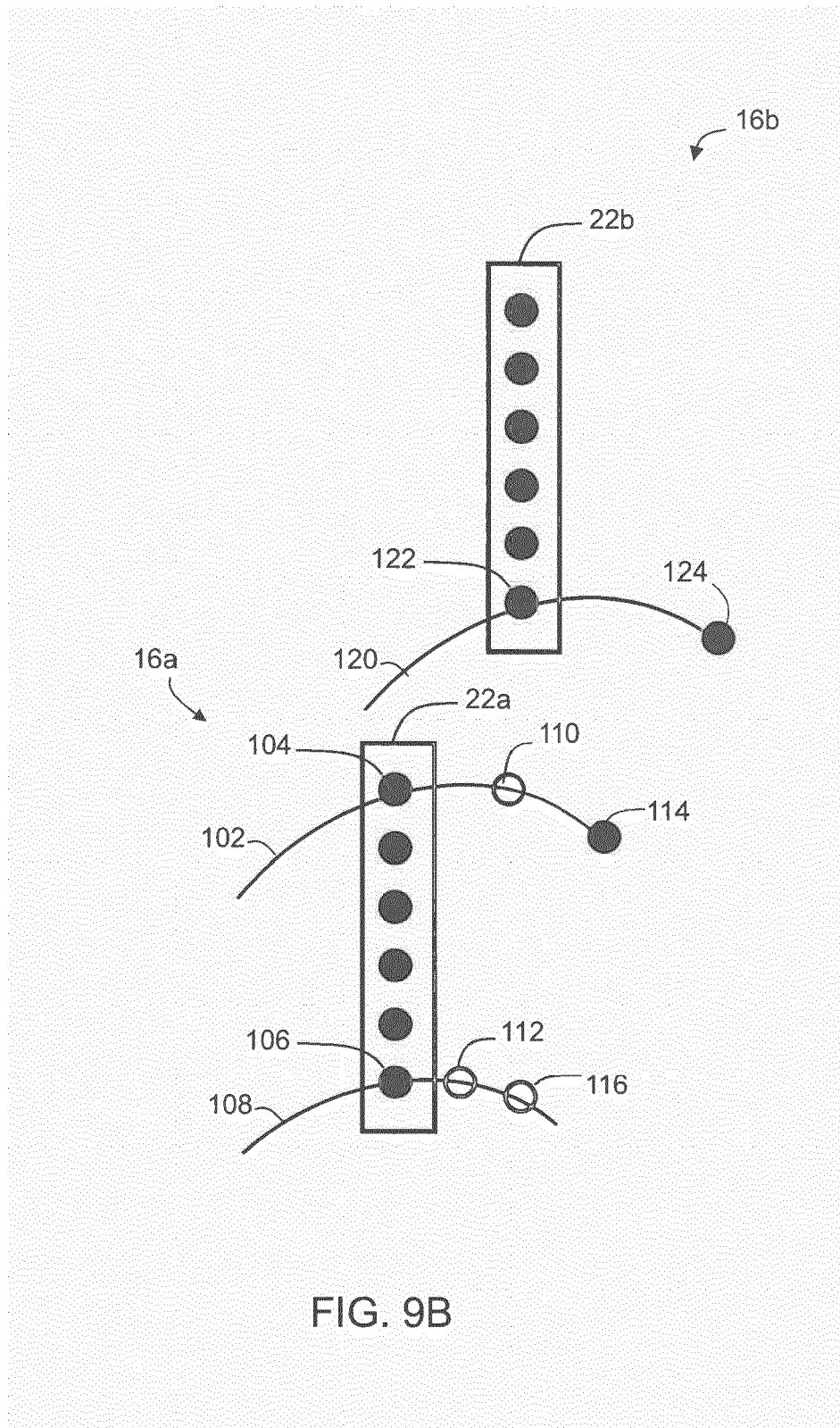
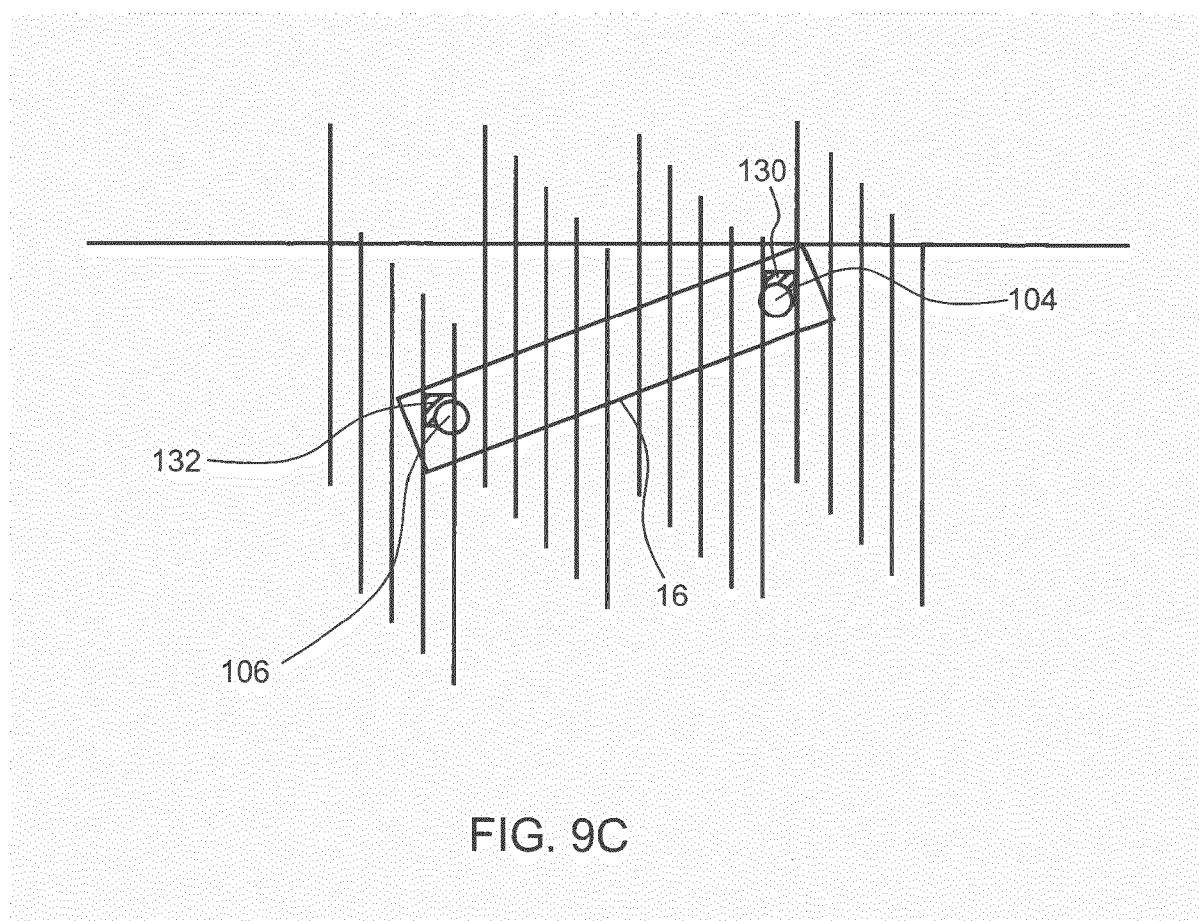


FIG. 9B



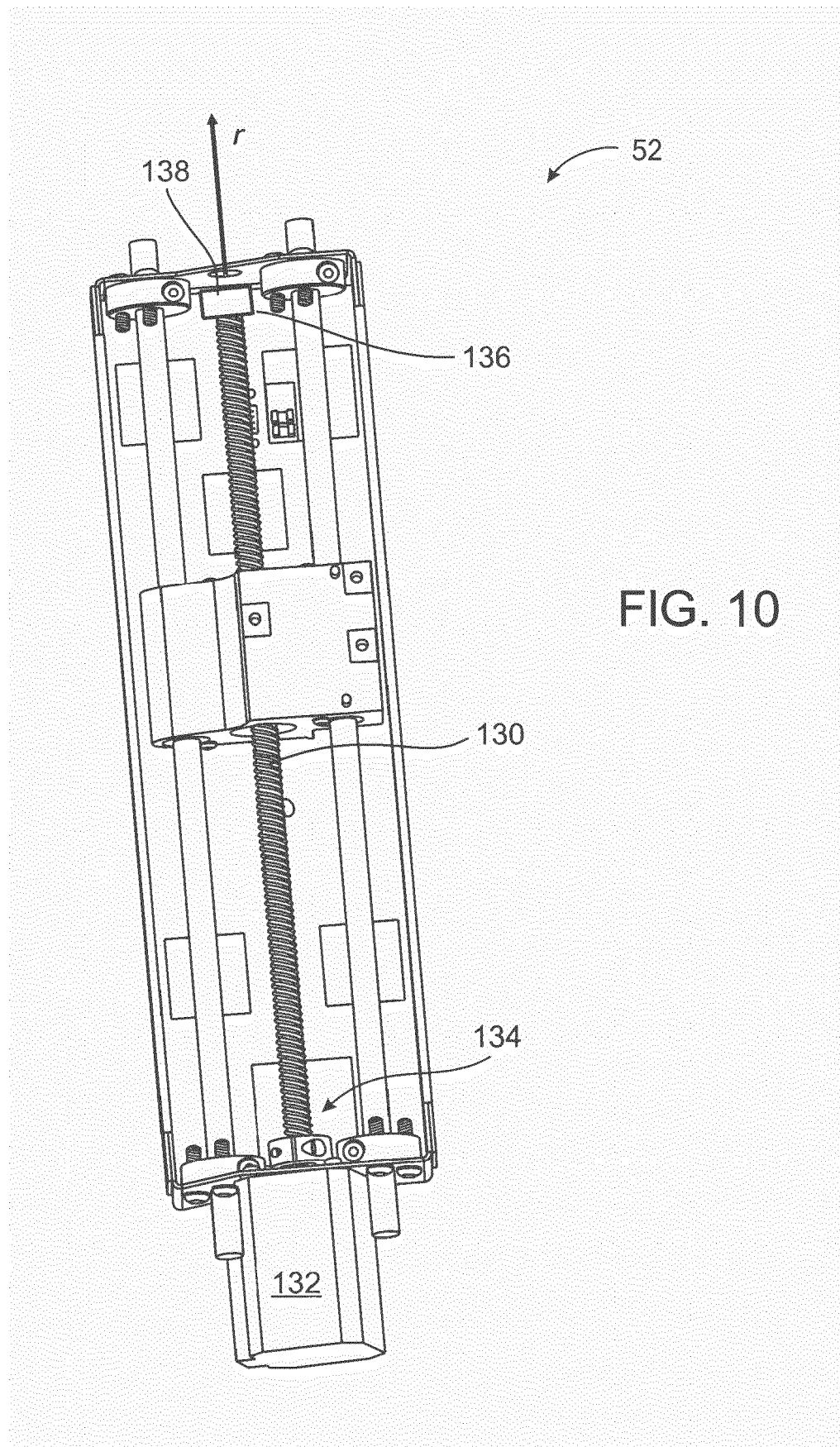


FIG. 10

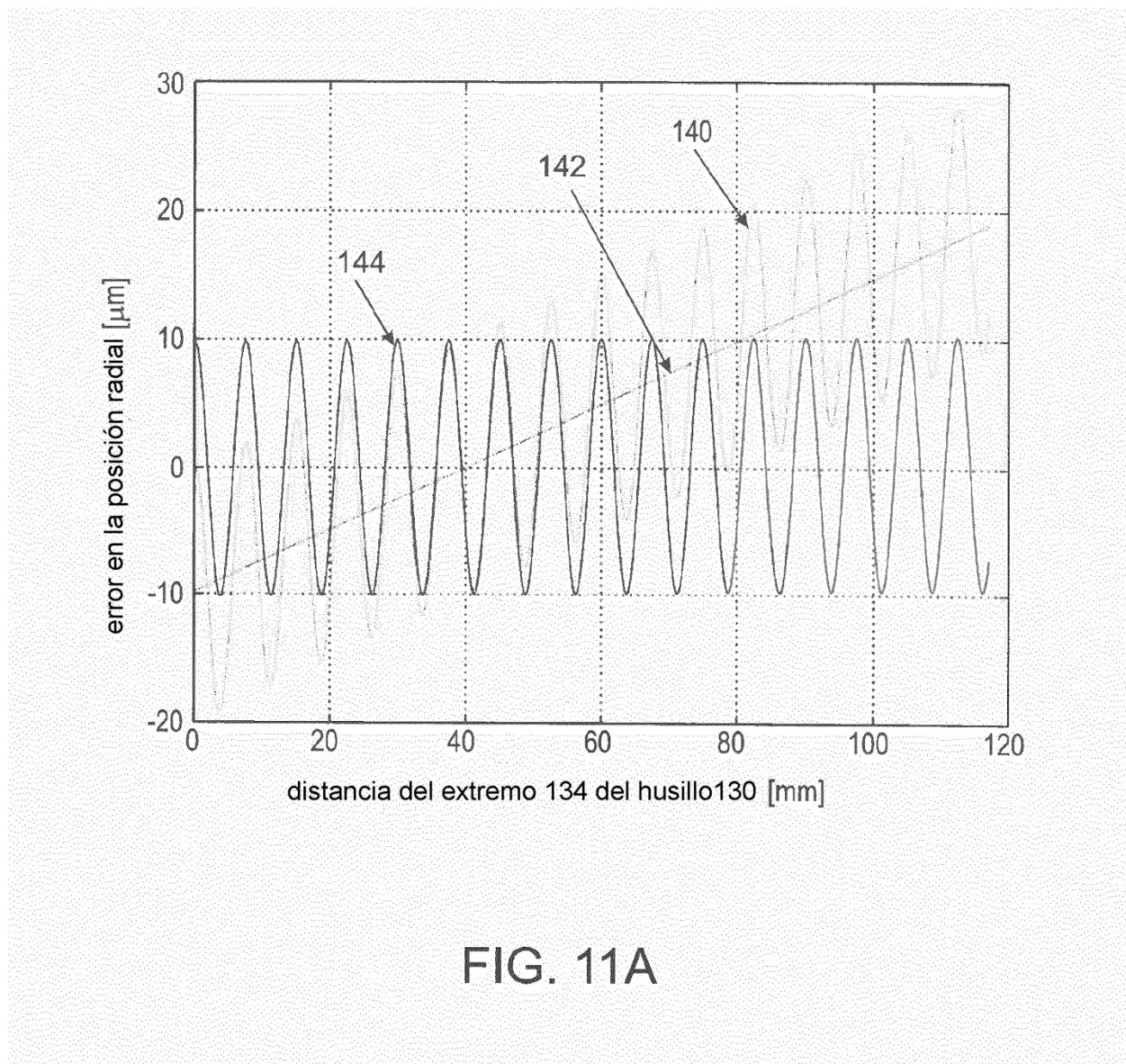


FIG. 11A

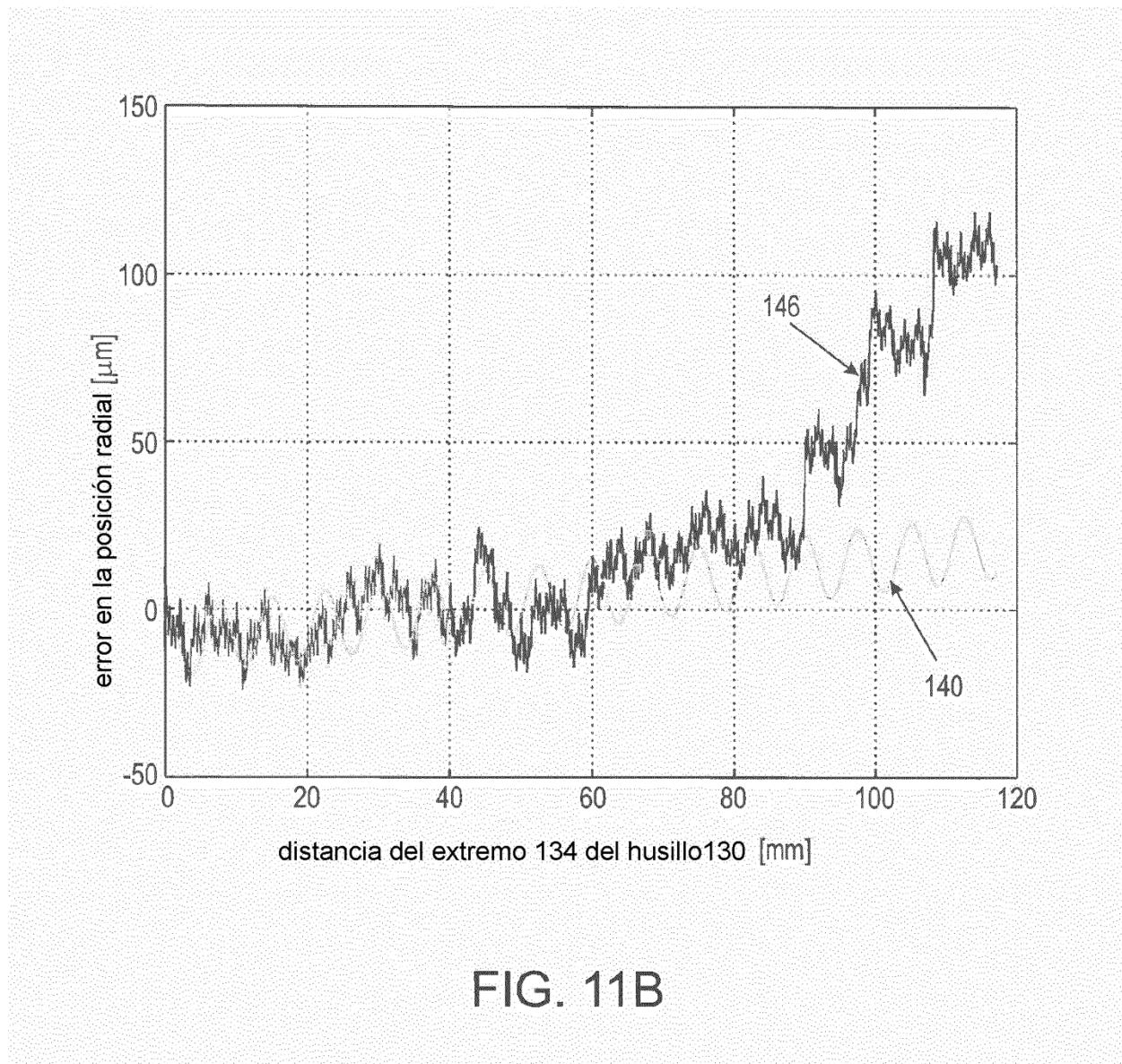


FIG. 11B

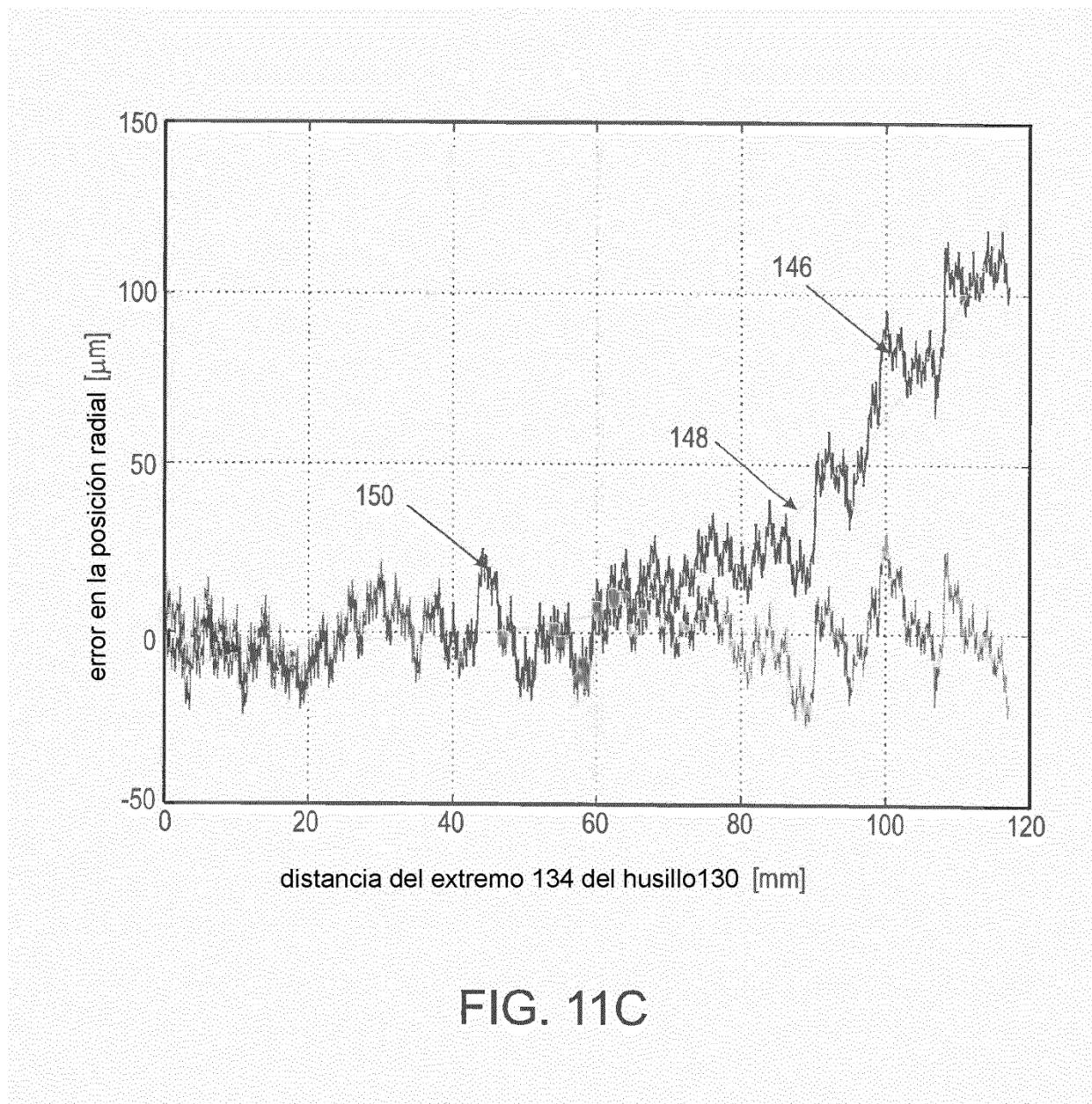


FIG. 11C

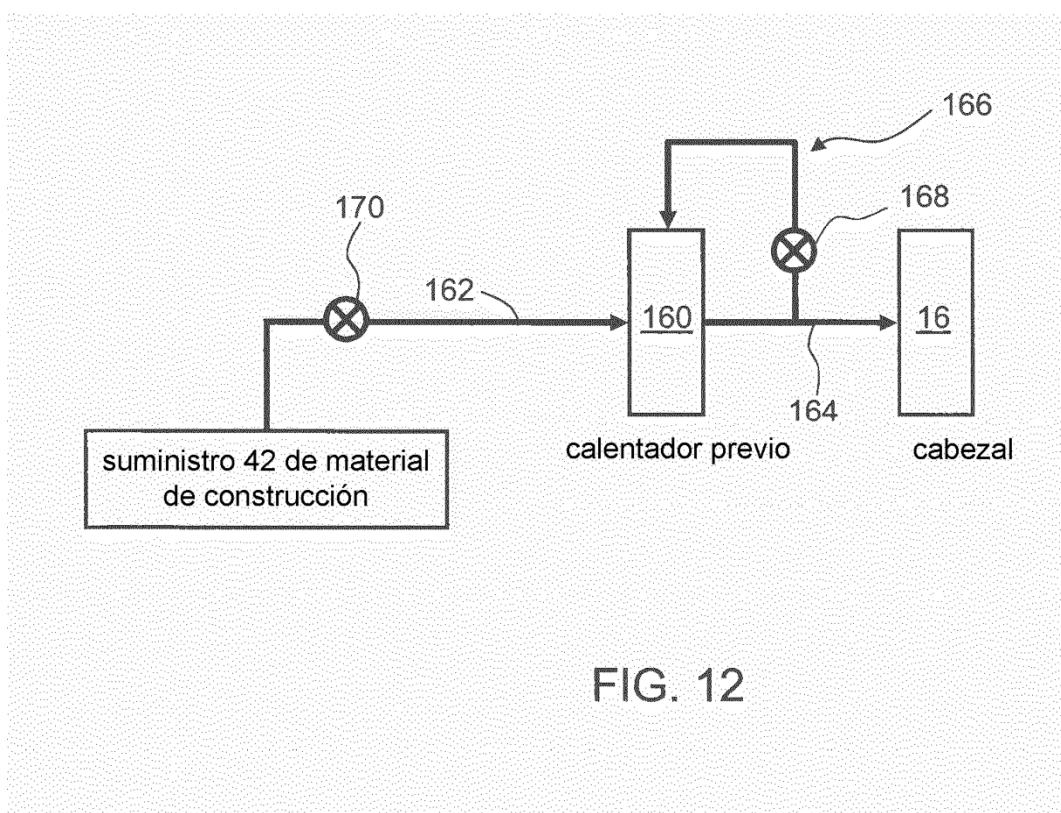


FIG. 12

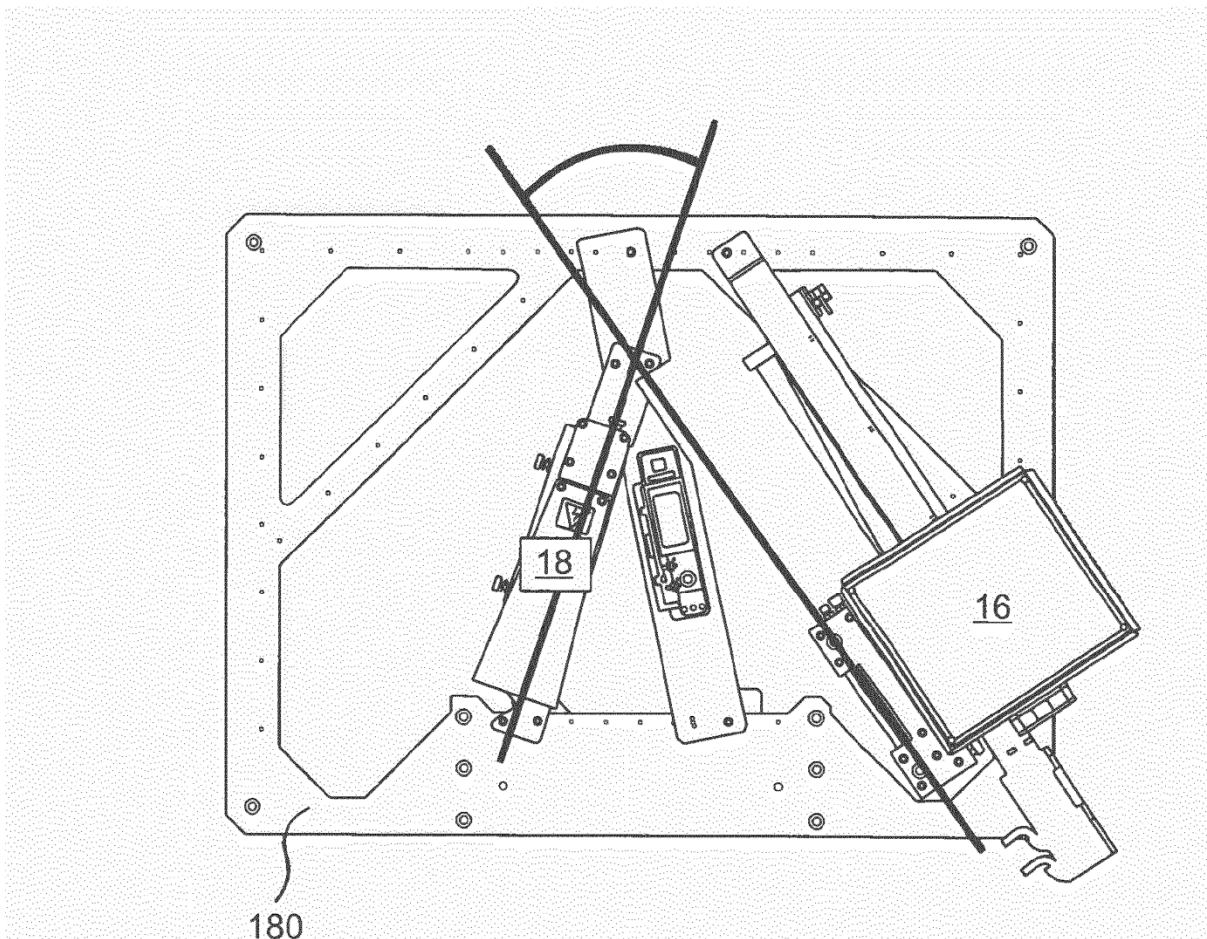


FIG. 13

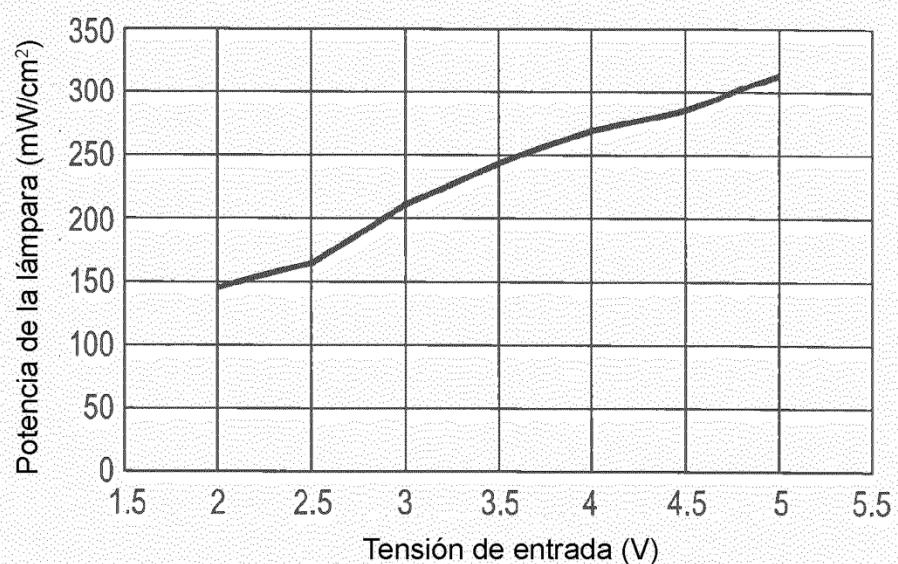


FIG. 14A

FIG. 14B

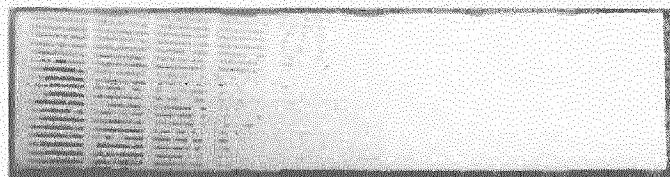


FIG. 14C

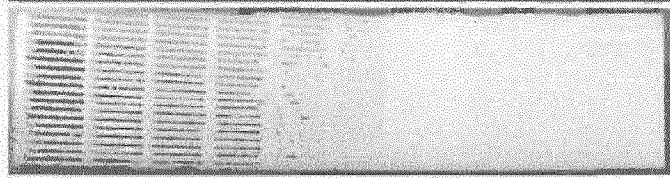


FIG. 14D

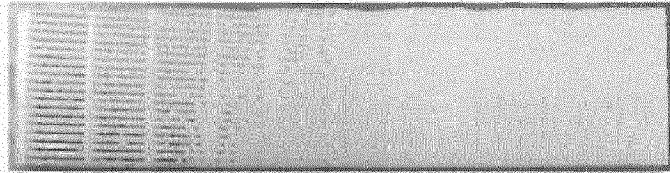


FIG. 14E

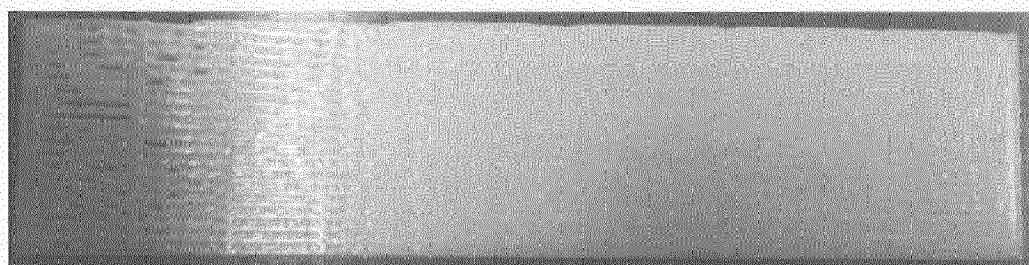


FIG. 14F

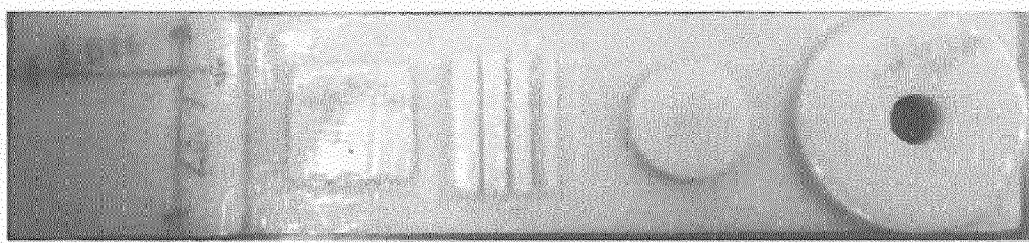


FIG. 14G

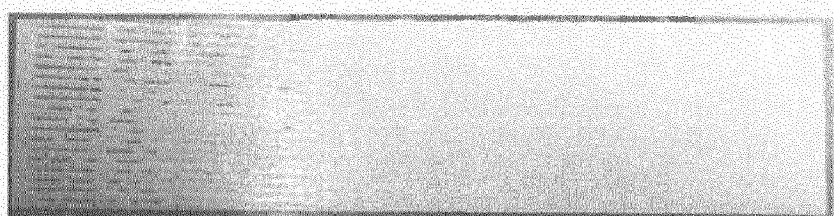


FIG. 14H

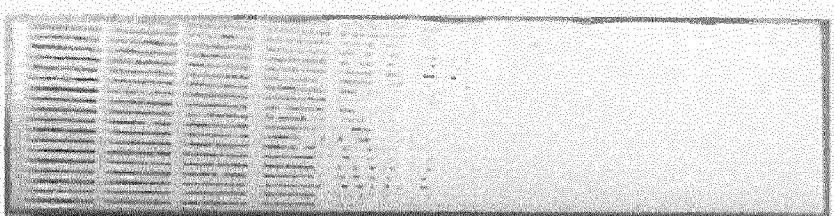


FIG. 14I

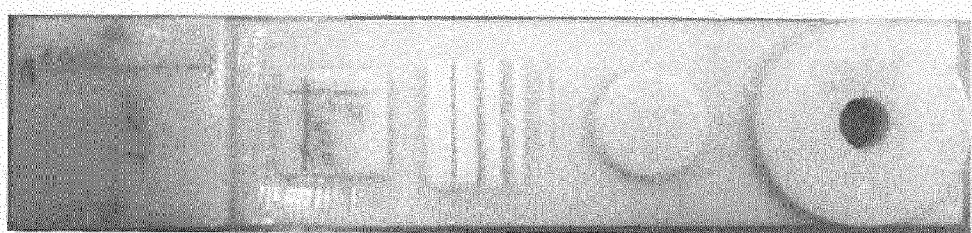


FIG. 15A

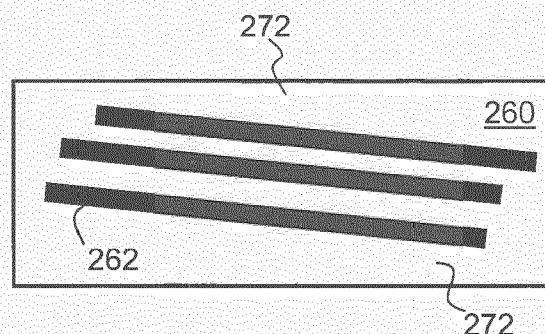


FIG. 15B

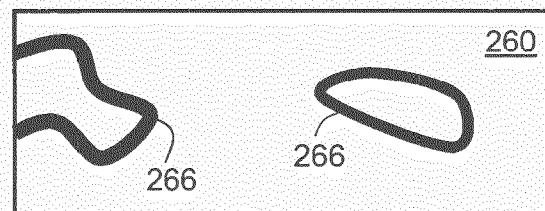


FIG. 15C

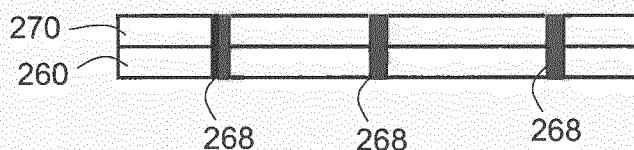
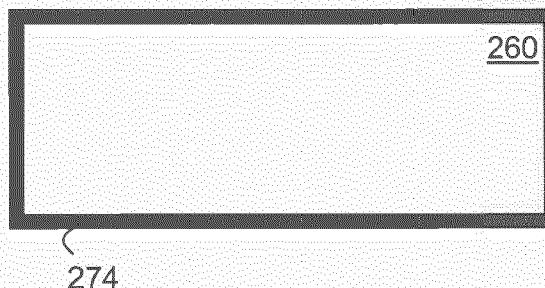


FIG. 15D



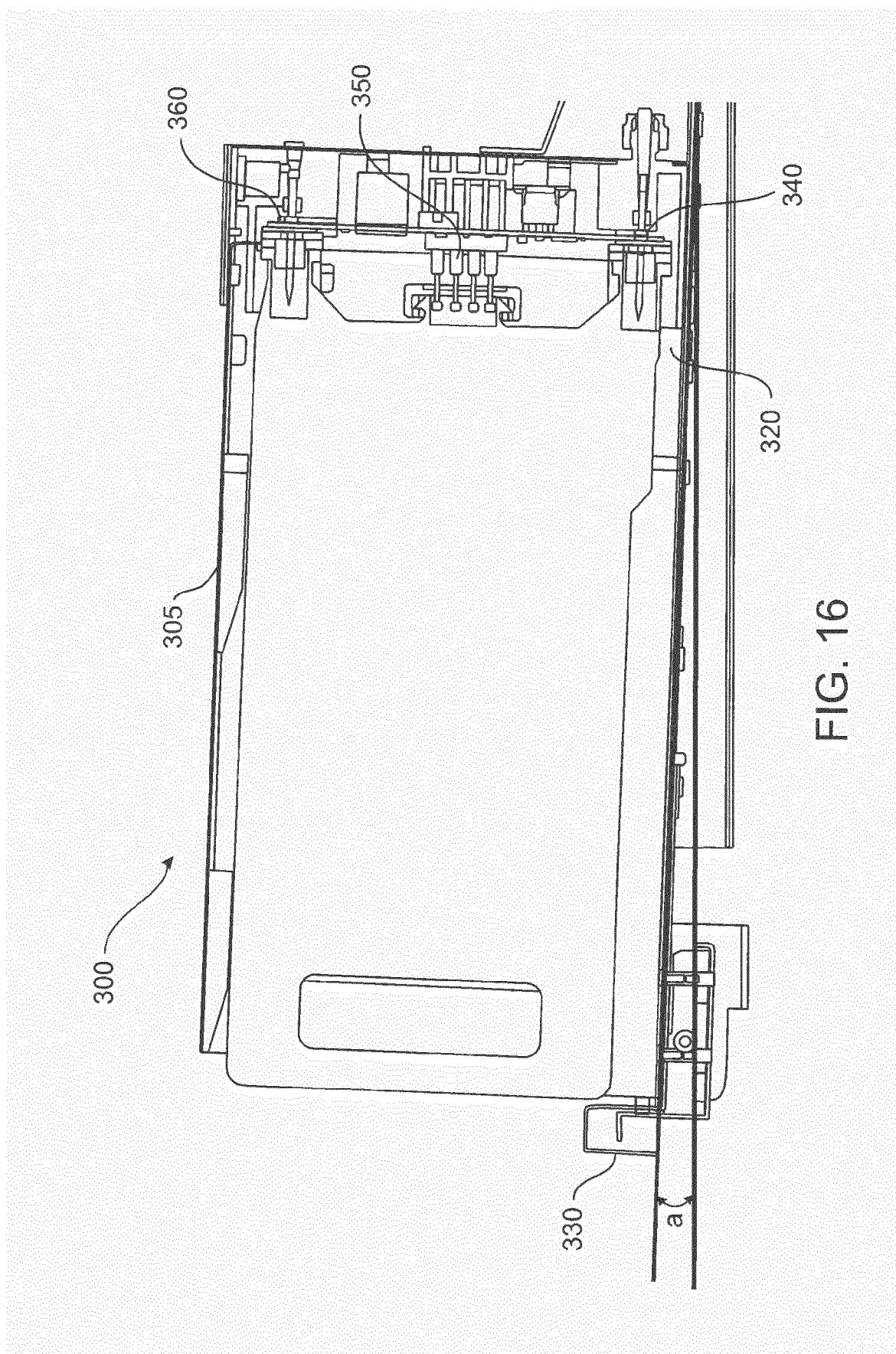


FIG. 16

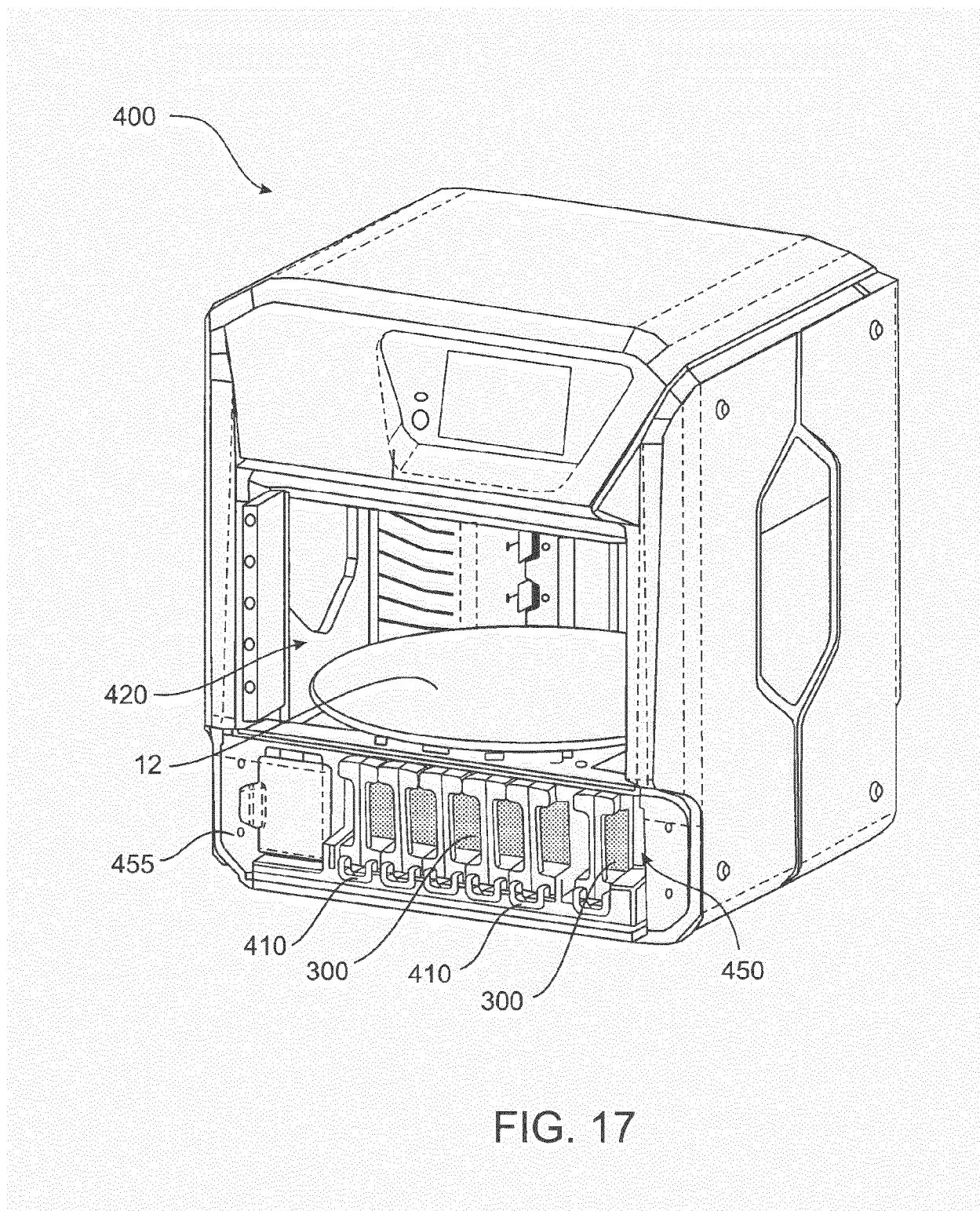


FIG. 17

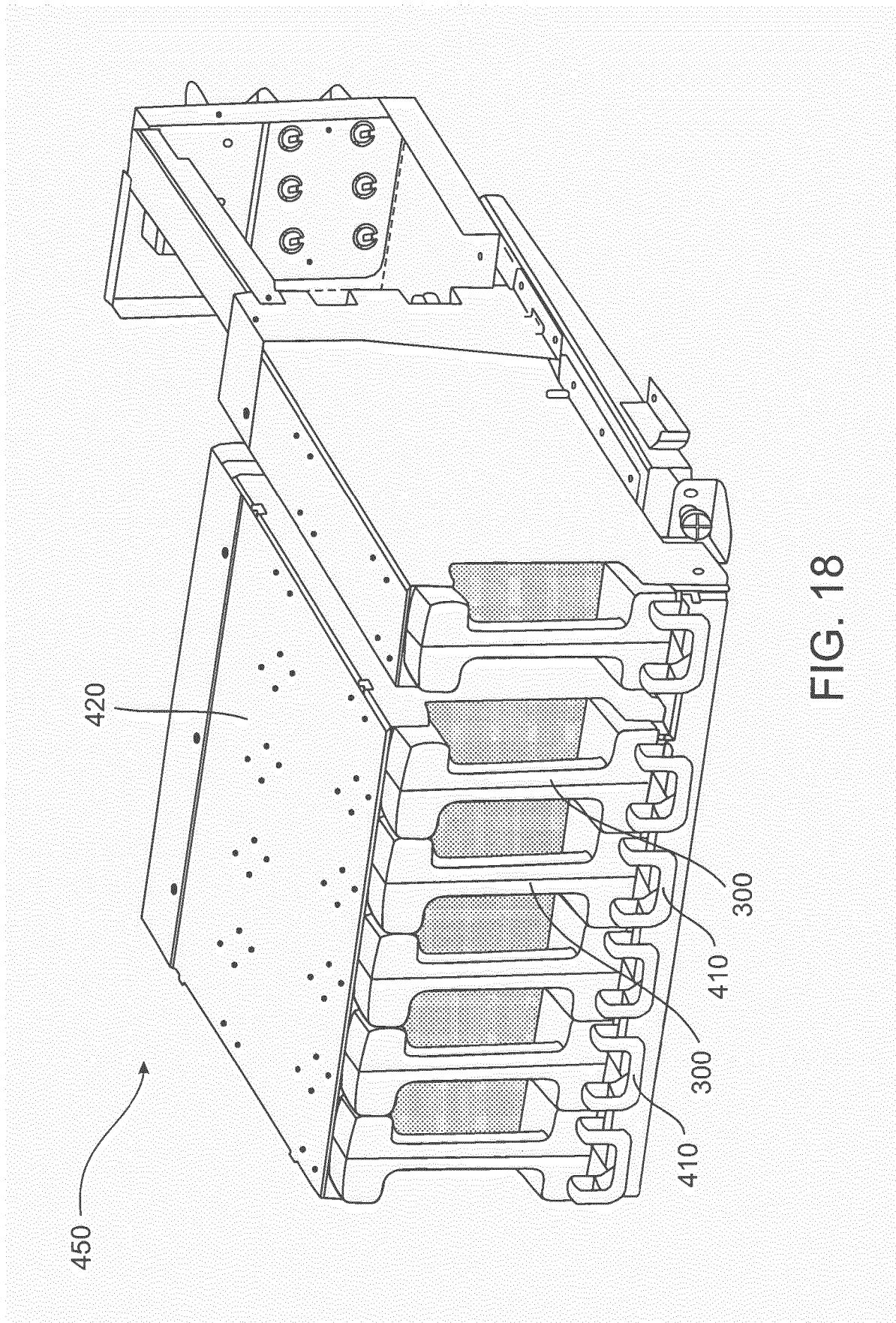


FIG. 18