

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 085**

51 Int. Cl.:

B29C 64/112 (2007.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.07.2015 PCT/IL2015/050722**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2016 WO16009426**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2015 E 15821817 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 3166774**

54 Título: **Método y sistema para impresión 3D rotacional**

30 Prioridad:

13.07.2014 US 201462023897 P

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

27.11.2019

73 Titular/es:

**STRATASYS LTD. (100.0%)
2 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:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 733 085 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

Método y sistema para impresión 3D rotacional

5 Campo y antecedentes de la invención

La presente invención, en algunas de sus realizaciones, se refiere a impresión tridimensional y, más en concreto, a impresión tridimensional rotacional.

10 La fabricación aditiva (FA) es generalmente un proceso en el que se fabrica un objeto tridimensional (3D) utilizando un modelo por ordenador de los objetos. Tal proceso se usa en varios campos, tales como los campos relacionados con el diseño para fines de visualización, demostración y prototipado mecánicos, así como para fabricación rápida.

15 La operación básica de cualquier sistema de fabricación aditiva consiste en cortar un modelo tridimensional por ordenador en secciones transversales finas, trasladar el resultado a datos de posición bidimensional y alimentar los datos a equipo de control que fabrica una estructura tridimensional capa a capa.

20 La fabricación aditiva implica muchos acercamientos diferentes al método de fabricación, incluyendo impresión tridimensional, por ejemplo, impresión tridimensional por inyección de tinta, fabricación de objetos laminados, modelado por deposición fundida y otros.

25 En procesos de impresión tridimensional, por ejemplo, un material de construcción es dispensado desde un cabezal dispensador que tiene un conjunto de boquillas para depositar capas sobre una estructura de soporte. Dependiendo del material de construcción, las capas pueden ser curadas o solidificadas después 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 cuando está siendo construido. Existen varias técnicas de impresión tridimensional y se describen, por ejemplo, en las Patentes de Estados Unidos números 6.259.962, 6.569.373, 6.658.314, 6.850.334, 7.183.335, 7.209.797, 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 de Estados Unidos publicada US 20130040091.

30 Por ejemplo, la Patente de Estados Unidos número 9.031.680 describe un sistema que incluye un aparato de fabricación aditiva que tiene múltiples cabezales dispensadores, un aparato de suministro de material de construcción configurado para suministrar múltiples materiales de construcción al aparato de fabricación, y un controlador configurado para controlar el aparato de fabricación y suministro. El sistema tiene varios modos de operación. En un modo, todos los cabezales dispensadores operan durante un solo ciclo de exploración y construcción del aparato de fabricación. En otro modo, uno o varios de los cabezales dispensadores no son operativos durante un solo ciclo de exploración y construcción o parte de él.

40 La Patente de Estados Unidos número 7.291.002 describe un aparato para fabricar un objeto tridimensional. Un tambor de construcción anular rotativo recibe capas sucesivas de un material de construcción en polvo, y un cabezal de impresión está dispuesto encima del tambor de construcción anular y está configurado para dispensar selectivamente gotitas de un líquido ligante sobre el polvo.

45 La Patente de Estados Unidos número 8.172.562 describe un aparato para fabricar un objeto tridimensional. Este aparato incluye un depósito de construcción, un soporte en el depósito de construcción, y un dispositivo estacionario de aplicación de material que aplica capas de un material de construcción sobre el soporte. Un mecanismo de accionamiento genera un movimiento del depósito alrededor de un eje de rotación, y un mecanismo de accionamiento vertical genera un movimiento vertical del soporte.

50 La Solicitud de Estados Unidos publicada 20080109102 describe un aparato para fabricar artículos tridimensionales. El aparato de esta descripción incluye un controlador por ordenador, una plataforma de construcción para soportar un elemento objeto de fabricación, y una estación de construcción para formar sobre el elemento una capa de material. Cualquiera de la estación de construcción y la plataforma está montada y es movida de manera que gire alrededor de un eje, de modo que la superficie del elemento en fabricación sea presentada repetidas veces a la estación de construcción.

60 La Solicitud de Estados Unidos publicada 20080042321 describe un aparato y métodos para producir objetos tridimensionales y sistemas auxiliares usados en unión con el aparato y los métodos. La publicación describe imprimir radialmente alrededor de una plataforma de construcción circular y/o rotativa usando múltiples cabezales de impresión, y múltiples plataformas de construcción. Los sistemas auxiliares se refieren a suministro de material, limpieza de cabezales de impresión, diagnóstico, y supervisión del aparato.

Resumen de la invención

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

- 5 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un sistema para impresión tridimensional. El sistema incluye: una bandeja rotativa configurada para girar alrededor de un eje vertical; un cabezal de impresión, con múltiples boquillas separadas; y un controlador configurado para controlar los cabezales de impresión por inyección de tinta para dispensar, durante la rotación, gotitas de material de construcción en capas, por ejemplo, para imprimir un objeto tridimensional en la bandeja.
- 10 Según algunas realizaciones de la invención, boquillas diferentes de al menos un cabezal están a distancias diferentes del eje y dispensan el material de construcción a diferentes velocidades de dispensación.
- 15 Según algunas realizaciones de la invención, al menos uno de la bandeja y los cabezales de impresión por inyección de tinta está configurado para moverse a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical con el fin de variar la distancia vertical entre la bandeja y los cabezales de impresión por inyección de tinta, y donde el controlador está configurado para continuar la dispensación durante el movimiento a lo largo de la dirección vertical.
- 20 Según algunas realizaciones de la invención, el cabezal de impresión por inyección de tinta está configurado para moverse recíprocamente con relación a la bandeja a lo largo de una dirección radial.
- Según algunas realizaciones de la invención, el sistema donde el movimiento a lo largo de la dirección radial es por un tornillo.
- 25 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para compensar errores de una posición radial del cabezal según una función de compensación.
- Según algunas realizaciones de la invención, el tornillo es un tornillo soportado dual y la función es una función lineal.
- 30 Según algunas realizaciones de la invención, el tornillo es un tornillo 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 inyección de tinta, el movimiento recíproco a lo largo de la dirección radial es independiente y en un ángulo acimutal diferente.
- 35 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para interrumpir la dispensación durante el movimiento recíproco.
- Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para reanudar la dispensación, siguiendo el movimiento recíproco, en una coordenada acimutal que está desviada con relación a una coordenada acimutal en la que se interrumpió la dispensación.
- 40 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para reanudar la dispensación, siguiendo el movimiento recíproco, en la misma coordenada acimutal en la que se interrumpió la dispensación.
- 45 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para continuar la dispensación durante el movimiento recíproco, ajustando al mismo tiempo los datos de impresión en respuesta al movimiento recíproco.
- 50 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un sistema para impresión tridimensional. El sistema incluye: una bandeja rotativa configurada para girar alrededor de un eje vertical a una velocidad de rotación; un cabezal de impresión, con múltiples boquillas separadas; y un controlador configurado para controlar los cabezales de impresión por inyección de tinta para dispensar, durante la rotación, gotitas de material de construcción en capas, por ejemplo, para imprimir un objeto tridimensional en la bandeja, y para controlar los cabezales de impresión por inyección de tinta para movimiento recíproco con relación a la bandeja a lo largo de una dirección radial.
- 55 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para variar la velocidad de rotación en respuesta al movimiento radial.
- 60 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para interrumpir la dispensación durante el movimiento recíproco; y para reanudar la dispensación, siguiendo el movimiento recíproco, en una coordenada acimutal que está desviada con relación a una coordenada acimutal en la que se interrumpió la dispensación.
- 65 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para continuar la dispensación durante el movimiento recíproco, ajustando al mismo tiempo datos de impresión en respuesta al movimiento recíproco.

Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para controlar los cabezales de impresión por inyección de tinta para dispensar, durante la rotación, gotitas de material de construcción en capas, de tal manera que una distancia acimutal entre gotitas secuencialmente dispensadas varía en función de una posición de los cabezales de impresión por inyección de tinta a lo largo de la dirección radial.

5 Según algunas realizaciones de la invención, la variación de la distancia acimutal se basa en una función probabilística de dicha posición a lo largo de dicha dirección radial.

10 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un sistema para impresión tridimensional. El sistema incluye: una bandeja rotativa configurada para girar alrededor de un eje vertical; un cabezal de impresión, con múltiples boquillas separadas; y un controlador configurado para determinar automáticamente múltiples posiciones en la bandeja, y para controlar los cabezales de impresión por inyección de tinta para dispensar, durante la rotación, capas de gotitas de material de construcción, por ejemplo, para imprimir tridimensionalmente múltiples objetos en la bandeja, respectivamente en las múltiples posiciones; donde la determinación automática es según un criterio predeterminado o conjunto de criterios seleccionados del grupo que consta de: un primer criterio según el que los objetos se disponen con el fin de equilibrar la bandeja, y un segundo criterio según el que se imprimen más objetos lejos del eje que cerca del eje.

20 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un sistema para impresión tridimensional, incluyendo: una bandeja rotativa configurada para girar alrededor de un eje vertical; un cabezal de impresión, con múltiples boquillas separadas; un controlador configurado para controlar el cabezal de impresión por inyección de tinta para dispensar, durante la rotación, gotitas de material de construcción en capas, por ejemplo, para imprimir un objeto tridimensional en la bandeja; y un elemento precalentador para calentar el material de construcción antes de que entre en el cabezal de impresión, estando el elemento precalentador espaciado del cabezal, y está en comunicación de fluido con el cabezal mediante un conducto.

30 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un sistema para impresión tridimensional, incluyendo: una bandeja rotativa configurada para girar alrededor de un eje vertical; un cabezal de impresión, con múltiples boquillas separadas; un controlador configurado para controlar el cabezal de impresión por inyección de tinta para dispensar, durante la rotación, gotitas de material de construcción en capas, por ejemplo, para imprimir un objeto tridimensional en la bandeja; y una fuente de radiación configurada para moverse recíprocamente con relación a la bandeja a lo largo de una dirección radial, donde el cabezal de impresión también está configurado para moverse recíprocamente con relación a la bandeja a lo largo de la dirección radial, de forma no simultánea con la fuente de radiación.

35 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un sistema para impresión tridimensional, incluyendo: una bandeja rotativa configurada para girar alrededor de un eje vertical; un cabezal de impresión, con múltiples boquillas separadas; un controlador configurado para controlar el cabezal de impresión por inyección de tinta para dispensar, durante la rotación, gotitas de material de construcción en capas, por ejemplo, para imprimir un objeto tridimensional en la bandeja; y una fuente de radiación configurada para irradiar las capas de tal manera que energía a diferentes velocidades sea distribuida a posiciones que estén a distancias diferentes del centro de la bandeja.

40 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un sistema para impresión tridimensional, incluyendo: una bandeja rotativa configurada para girar alrededor de un eje vertical; un cabezal de impresión, con múltiples boquillas separadas; un controlador configurado para controlar el cabezal de impresión por inyección de tinta para dispensar, durante la rotación, gotitas de material de construcción en capas, por ejemplo, para imprimir un objeto tridimensional en la bandeja; y una fuente de radiación, donde una separación acimutal entre la fuente de radiación y el cabezal es de aproximadamente $0,3\omega$ radianes y de aproximadamente $0,75\omega$ radianes, siendo ω una velocidad angular media de la bandeja con relación al cabezal y la fuente de radiación.

45 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un sistema para impresión tridimensional, incluyendo: una bandeja rotativa configurada para girar alrededor de un eje vertical; un cabezal de impresión, con múltiples boquillas separadas; y un controlador configurado para controlar el cabezal de impresión por inyección de tinta para dispensar, durante la rotación, gotitas de material de construcción en capas, por ejemplo, para imprimir un objeto tridimensional en la bandeja; donde el controlador está configurado además para terminar cualquier dispensación del material de construcción cuando el cabezal está encima de una zona predeterminada de la bandeja, y para señalar al cabezal que se mueva con relación a la bandeja a lo largo de una dirección radial, mientras el cabezal está encima de la zona predeterminada.

60 Según algunas realizaciones de la invención, el sistema donde el controlador está configurado para señalar a al menos uno de la bandeja y el cabezal de impresión por inyección de tinta que se mueva a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical con el fin de variar la distancia vertical entre la bandeja y el cabezal de impresión por inyección de tinta, mientras el cabezal está encima de la zona predeterminada.

65

- Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para controlar al menos uno de los cabezales de impresión por inyección de tinta para dispensar las gotitas de tal manera que la distancia acimutal entre gotitas secuencialmente dispensadas varíe en función de una posición del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial.
- 5 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para ejecutar dispensación entrelazada de las gotitas durante al menos una rotación de la bandeja.
- 10 Según algunas realizaciones de la invención, el nivel de entrelazado de la dispensación entrelazada varía en función de la posición del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial.
- Según algunas realizaciones de la invención, el nivel de entrelazado de la dispensación entrelazada varía en función de una posición del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial.
- 15 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador accede a un medio legible por ordenador que almacena una máscara de mapa de bits, y para obtener datos de impresión pertenecientes a una forma del objeto solamente con respecto a posiciones en la bandeja que no están enmascaradas por la máscara de mapa de bits.
- 20 Según algunas realizaciones de la invención, el sistema incluye un rodillo cónico para enderezamiento del material de construcción dispensado.
- Según algunas realizaciones de la invención, la bandeja gira de forma continua en la misma dirección durante toda la formación del objeto.
- 25 Según algunas realizaciones de la invención, al menos uno de la bandeja y los cabezales de impresión por inyección de tinta está configurado para movimiento a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical con el fin de variar la distancia vertical entre la bandeja y los cabezales de impresión por inyección de tinta, y donde el controlador está configurado para continuar la dispensación durante el movimiento a lo largo de la dirección vertical.
- 30 Según algunas realizaciones de la invención, el movimiento a lo largo de la dirección vertical es ejecutado de tal manera que la bandeja y los cabezales de impresión por inyección de tinta experimenten al menos dos distancias verticales diferentes entre ellos durante una sola rotación de la bandeja.
- 35 Según algunas realizaciones de la invención, el movimiento a lo largo de la dirección vertical es ejecutado de tal manera que, durante una sola rotación de la bandeja, la distancia vertical se incremente una cantidad que es aproximadamente igual a un grosor característico de una sola capa del material de construcción.
- Según algunas realizaciones de la invención, el movimiento a lo largo de la dirección vertical es ejecutado generalmente de forma continua.
- 40 Según algunas realizaciones de la invención, los múltiples cabezales de impresión por inyección de tinta incluyen al menos un cabezal de material de soporte para dispensar material de soporte, y al menos dos cabezales de material de modelado para dispensar respectivamente al menos dos materiales de modelado diferentes.
- 45 Según algunas realizaciones de la invención, el sistema incluye una estructura de soporte colocada debajo de los cabezales de impresión por inyección de tinta de tal manera que la bandeja esté entre la estructura de soporte y los cabezales, estando la estructura de soporte en contacto con la bandeja para evitar o reducir las vibraciones de la bandeja.
- 50 Según algunas realizaciones de la invención, la bandeja es sustituible.
- Según algunas realizaciones de la invención, el sistema incluye un dispositivo de sustitución de bandeja configurado para sustituir automáticamente la bandeja.
- 55 Según algunas realizaciones de la invención, el cabezal está configurado para mantener un nivel de vacío dentro de un rango predeterminado de niveles de vacío.
- Según algunas realizaciones de la invención, el sistema incluye un elemento precalentador para calentar el material de construcción antes de que entre en el cabezal de impresión.
- 60 Según algunas realizaciones de la invención, el elemento precalentador está espaciado del cabezal, y está en comunicación de fluido con el cabezal mediante un conducto.
- 65 Según algunas realizaciones de la invención, el sistema incluye una bomba para retirar el material de construcción del conducto de nuevo al elemento precalentador.

Según algunas realizaciones de la invención, el sistema incluye al menos un dispositivo de nivel de burbuja montado en una o varias posiciones en un recinto de un chasis del sistema, para indicar la desviación del chasis con respecto a la horizontalidad.

5 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para calcular una cantidad de material de construcción requerido para imprimir el objeto, comparar la cantidad con una cantidad disponible de material de construcción, y emitir una alerta cuando la cantidad requerida para imprimir el objeto es mayor que la cantidad disponible.

10 Según algunas realizaciones de la invención, el sistema incluye una fuente de radiación configurada para moverse recíprocamente con relación a la bandeja a lo largo de una dirección radial, donde el cabezal de impresión también está configurado para moverse recíprocamente con relación 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 tal manera que se distribuya energía a diferentes velocidades a posiciones que estén a distancias diferentes del centro de la bandeja.

20 Según algunas realizaciones de la invención, la separación acimutal entre la fuente de radiación y el cabezal es de aproximadamente $0,3\omega$ radianes y de aproximadamente $0,75\omega$ radianes, siendo ω una velocidad angular media de la bandeja con relación al cabezal y la fuente de radiación.

25 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para calcular un tiempo de impresión total exceptuado de múltiples objetos cuando se imprimen simultáneamente, y para visualizar el tiempo calculado en un dispositivo de visualización.

Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para calcular el tiempo de impresión total por objeto y para visualizar el tiempo de impresión total por objeto.

30 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para terminar cualquier dispensación del material de construcción cuando el cabezal está encima de una zona predeterminada de la bandeja. Según algunas realizaciones de la invención, la zona predeterminada tiene una forma de un sector circular.

35 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para señalar al cabezal que se mueva con relación a la bandeja a lo largo de una dirección radial, mientras el cabezal está encima de la zona predeterminada.

40 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para señalar a al menos uno de la bandeja y el cabezal de impresión por inyección de tinta que se mueva a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical con el fin de variar la distancia vertical entre la bandeja y el cabezal de impresión por inyección de tinta, mientras el cabezal está encima de la zona predeterminada.

45 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para señalar a al menos uno de la bandeja y el cabezal de impresión por inyección de tinta que se mueva a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical con el fin de variar la distancia vertical entre la bandeja y el cabezal de impresión por inyección de tinta, inmediatamente cuando el material de construcción dispensado llega en primer lugar al rodillo.

50 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para señalar a al menos uno de la bandeja y el cabezal de impresión por inyección de tinta que se mueva a lo largo de una dirección vertical paralela al eje vertical con el fin de variar la distancia vertical entre la bandeja y el cabezal de impresión por inyección de tinta, de tal manera que el movimiento vertical se complete inmediatamente cuando el material de construcción dispensado llegue en primer lugar al rodillo.

55 Según algunas realizaciones de la invención, el controlador está configurado para seleccionar un primer modo de impresión en el que se emplea una exploración acimutal, y un segundo modo de impresión en el que se emplea una exploración vectorial, siendo la exploración vectorial a lo largo de un recorrido seleccionado para formar al menos una estructura seleccionada del grupo que consta de (i) una estructura alargada, (ii) una estructura límite que rodea al menos parcialmente una zona llena del primer material de construcción, y (iii) una estructura de conexión entre capas.

60 Según algunas realizaciones de la invención, incluye una fuente de radiación configurada para irradiar las capas, donde el controlador está configurado para controlar la fuente de radiación para asegurar que, con respecto a al menos una capa, la irradiación se inicie al menos t segundos después del comienzo de la curación de una capa que precede inmediatamente a la al menos única capa, siendo t más largo que un tiempo general requerido para la formación.

65

5 Según algunas realizaciones de la invención, según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un aparato incluyendo: un cartucho configurado para contener material de construcción que será dispensado selectivamente por un sistema de fabricación aditiva, incluyendo el cartucho un extremo delantero y un extremo trasero, donde el extremo trasero incluye una conexión fluidica para conectar el cartucho a una unidad dispensadora del sistema FA; y un alojamiento de cartucho para almacenar el cartucho, donde el cartucho está configurado para montaje en el alojamiento en un ángulo de tal manera que el extremo delantero del cartucho esté elevado con respecto al extremo trasero.

10 Según algunas realizaciones de la invención, se facilita el aparato donde el cartucho incluye un muelle de bloqueo y donde el muelle de bloqueo está configurado para bloqueo en el alojamiento de cartucho en el ángulo.

Según algunas realizaciones de la invención, el cartucho incluye una cavidad cerca de la conexión fluidica configurada para acumular una porción del material de construcción contenido en el cartucho.

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

Según algunas realizaciones de la invención, el alojamiento de cartucho está configurado para almacenar múltiples cartuchos.

20 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un sistema para impresión tridimensional, incluyendo el delimitado anteriormente y opcionalmente mejor detallado más adelante.

25 Según un aspecto de algunas realizaciones de la presente invención se facilita un método de fabricar un objeto. El método incluye recibir datos de impresión tridimensional correspondientes a la forma del objeto, alimentar los datos a un sistema para impresión tridimensional, y operar el sistema para imprimir el objeto en base a los datos, donde el sistema es el delimitado anteriormente y opcionalmente mejor detallado más adelante.

30 A no ser que se defina de otro modo, todos los términos técnicos y/o científicos aquí usados tienen el mismo significado que el que comúnmente entienden los expertos en la técnica a la que pertenece la invención. Aunque pueden usarse métodos y materiales similares o equivalentes a los aquí descritos en la práctica o la prueba de realizaciones de la invención, más adelante se describen métodos y/o materiales ejemplares. En caso de conflicto, prevalecerá la memoria descriptiva de la Patente, incluyendo las definiciones. Además, los materiales, los métodos y los ejemplos son ilustrativos solamente y no se pretende que sean necesariamente limitativos.

35 La implementación del método y/o sistema de realizaciones de la invención puede implicar realizar o completar tareas seleccionadas de forma manual, automática o su combinación. Además, según la instrumentación y el equipo reales de realizaciones del método y/o sistema de la invención, varias tareas seleccionadas podrían implementarse mediante hardware, software o microprogramas o mediante su combinación usando un sistema operativo.

40 Por ejemplo, el hardware para realizar tareas seleccionadas según realizaciones de la invención podría implementarse como un chip o un circuito. Como software, tareas seleccionadas según realizaciones de la invención podrían implementarse como múltiples instrucciones de software ejecutadas por un ordenador usando cualquier sistema operativo adecuado. En una realización ejemplar de la invención, una o varias tareas según realizaciones ejemplares del método y/o sistema descritos en este documento son realizadas por un procesador de datos, tal como una plataforma informática para ejecutar múltiples 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 medio extraíble, para almacenar instrucciones y/o datos. Opcionalmente, también se proporciona una conexión de red. También se proporcionan opcionalmente una pantalla y/o un dispositivo de entrada de usuario, tal como un teclado o ratón.

50 **Breve descripción de las varias vistas de los dibujos**

Algunas realizaciones de la invención se describen aquí, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos acompañantes. Con referencia específica ahora a los dibujos en detalle, se recalca que los detalles mostrados son a modo de ejemplo y a efectos de la explicación ilustrativa de realizaciones de la invención. A este respecto, la descripción tomada con los dibujos hace evidente a los expertos en la técnica cómo se pueden llevar a la práctica las realizaciones de la invención.

60 En los dibujos:

Las figuras 1A-1D son ilustraciones esquemáticas de una vista superior (figuras 1A y 1D), una vista lateral (figura 1B) y una vista isométrica (figura 1C) de un sistema para impresión tridimensional, según algunas realizaciones de la presente invención.

65 Las figuras 2A-2C son ilustraciones esquemáticas de cabezales de impresión según algunas realizaciones de la presente invención.

Las figuras 3A-3F son ilustraciones esquemáticas que muestran 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 que la distancia a lo largo de una dirección acimutal entre gotitas secuencialmente dispensadas varía en 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.

La figura 6 es una ilustración esquemática que representa cabezales de impresión montados en diferentes ejes radiales dispuestos de modo que haya un ángulo de separación acimutal entre ejes adyacentes.

15 La figura 7 es una ilustración esquemática que describe el entrelazado 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 en una bandeja de un sistema para impresión tridimensional (figura 8A), y el tiempo de impresión esperado, en función del número de objetos (figura 8B), según algunas realizaciones de la presente invención.

25 Las figuras 9A-C son ilustraciones esquemáticas que muestran una técnica adecuada para reducir o eliminar variaciones de resolución a lo largo de una dirección acimutal en función de la coordenada radial, según algunas realizaciones de la presente invención.

La figura 10 es una ilustración esquemática de una etapa que tiene un tornillo útil para establecer movimiento recíproco de un cabezal de impresión, según algunas realizaciones de la presente invención.

30 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 figura 12 es una ilustración esquemática de un elemento precalentador 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 figura 13 representa 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 exploraciones vectoriales según algunas realizaciones de la presente invención.

La figura 16 es un cartucho ejemplar según algunas realizaciones de la presente invención.

45 La figura 17 es un sistema de impresión 3D rotativo ejemplar incluyendo cartuchos según algunas realizaciones de la presente invención.

50 Y la figura 18 es un alojamiento de cartucho ejemplar con cartuchos según algunas realizaciones de la presente invención.

Descripción de realizaciones específicas de la invención

55 La presente invención, en algunas de sus realizaciones, se refiere a impresión tridimensional y, más en concreto, aunque no exclusivamente, a impresión tridimensional rotacional.

60 Antes de explicar al menos una realización de la invención en detalle, se ha de entender que la invención no se limita necesariamente en su aplicación a los detalles de construcción y la disposición de los componentes y/o métodos expuestos en la descripción siguiente y/o ilustrados en los dibujos y/o los ejemplos. La invención es capaz de otras realizaciones o de ponerse en práctica o realizarse en varias formas.

65 Con referencia ahora a los dibujos, las figuras 1A-D ilustran una vista superior (figuras 1A y 1D), una vista lateral (figura 1B) y una vista isométrica (figura 1C) de un sistema 10 para impresión tridimensional, según algunas realizaciones de la presente invención. El sistema 10 incluye una bandeja 12 y múltiples cabezales de impresión por inyección de tinta 16, teniendo cada uno múltiples boquillas separadas. El material usado para la impresión tridimensional es suministrado a los cabezales 16 por un sistema de suministro de material de construcción 42.

5 Típicamente, una boquilla dispensa una gota de material de construcción en respuesta a un pulso de activación de suficiente energía de activación. Una boquilla que recibe un pulso de energía de activación que es insuficiente para dispensar una gota se denomina “insuficientemente activada”. La bandeja 12 puede tener una forma de disco o puede ser anular. También se contemplan formas no redondas, a condición de que se puedan girar alrededor de un eje vertical.

10 La bandeja 12 y los cabezales 16 están montados de tal manera que permitan un movimiento rotativo relativo entre la bandeja 12 y los cabezales 16. Esto se puede lograr (i) configurando la bandeja 12 para giro alrededor de un eje vertical 14 con relación a los cabezales 16, (ii) configurando los cabezales 16 para giro alrededor del eje vertical 14 con relación a la bandeja 12, o (iii) configurando tanto la bandeja 12 como los cabezales 16 para giro alrededor del eje vertical 14, pero a diferentes velocidades de rotación (por ejemplo, rotación en dirección opuesta). Aunque las realizaciones se describen a continuación con un énfasis especial en la configuración (i) donde la bandeja es una bandeja rotativa que está configurada para girar alrededor del eje vertical 14 con relación a los cabezales 16, se ha de entender que la presente solicitud contempla también las configuraciones (ii) y (iii). Cualquiera de las realizaciones aquí descritas puede ser regulada de manera que sea aplicable a cualquiera de las configuraciones (ii) y (iii), y las personas con conocimientos ordinarios en la técnica, conociendo los detalles aquí descritos, sabrán cómo efectuar dicho ajuste.

20 En la descripción siguiente, una dirección paralela a la bandeja 12 y apuntando hacia fuera del eje 14 se denomina la dirección radial r , una dirección paralela a la bandeja 12 y perpendicular a la dirección radial r se denomina aquí la dirección acimutal ϕ , y una dirección perpendicular a la bandeja 12 se denomina aquí la dirección vertical z .

25 El término “posición radial”, en el sentido en que se usa aquí, se refiere a una posición sobre o encima de la bandeja 12 a una distancia específica del eje 14. Cuando el término se usa en conexión con un cabezal de impresión, el término se refiere a una posición del cabezal que está a una distancia específica del eje 14. Cuando el término se usa en conexión con un punto en la bandeja 12, el término corresponde a cualquier punto que pertenezca a un lugar de puntos que sea un círculo cuyo radio sea la distancia específica del eje 14 y cuyo centro esté en el eje 14.

30 El término “posición acimutal”, en el sentido en que se usa aquí, se refiere a una posición sobre o encima de la bandeja 12 en un ángulo acimutal específico con relación a un punto de referencia predeterminado. Así, la posición radial se refiere a cualquier punto que pertenezca a un lugar de puntos que sea una línea recta que forme el ángulo acimutal específico con relación al punto de referencia.

35 El término “posición vertical”, en el sentido en que se usa aquí, se refiere a una posición sobre un plano que interseca el eje vertical 14 en un punto específico.

40 La bandeja 12 sirve como una estructura de soporte para impresión tridimensional. La zona de trabajo en la que se imprimen uno o varios objetos es típicamente, pero no necesariamente, menor que el área total de la bandeja 12. En algunas realizaciones de la presente invención, la zona de trabajo es anular. La zona de trabajo se representa en 26. En algunas realizaciones de la presente invención, la bandeja 12 gira de forma continua en la misma dirección durante toda la formación del objeto, y, en algunas realizaciones de la presente invención, la bandeja invierte la dirección de rotación al menos una vez (por ejemplo, de manera oscilante) durante la formación del objeto. La bandeja 12 es opcional y preferiblemente extraíble. La extracción de la bandeja 12 puede efectuarse para mantenimiento de sistema 10, o, si se desea, para sustituir la bandeja antes de imprimir un nuevo objeto. En algunas realizaciones de la presente invención, el sistema 10 está provisto de una o varias bandejas de sustitución diferentes (por ejemplo, un kit de bandejas de sustitución), donde dos o más bandejas están diseñadas para tipos diferentes 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, a voluntad. Cuando se emplea sustitución automática, el sistema 10 incluye un dispositivo de sustitución de bandeja 36 configurado para sacar la bandeja 12 de su posición debajo de los cabezales 16 y sustituirla por una bandeja de sustitución (no representada). En la ilustración representativa de la figura 1A, el dispositivo de sustitución de bandeja 36 se ilustra como un mecanismo de accionamiento 38 con un brazo móvil 40 configurado para tirar de la bandeja 12, pero también se contemplan otros tipos de dispositivos de sustitución de bandeja.

55 En algunas realizaciones de la presente invención, los cabezales 16 están configurados para moverse recíprocamente con relación a la bandeja a lo largo de la dirección radial r . Estas realizaciones son útiles cuando las longitudes de las series de boquillas de los cabezales 16 son más cortas que la anchura a lo largo de la dirección radial de la zona de trabajo 26 en la bandeja 12. El movimiento de los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial es controlado opcional y preferiblemente por el controlador 20. Una ilustración representativa de un mecanismo adecuado para mover los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial se ilustra en la figura 1D. En la figura 1D se representa un cabezal 16 montado en una etapa 52 (figura 10) dispuesta para establecer movimiento recíproco del cabezal 16 a lo largo de la dirección radial. El cabezal 16 puede comunicar con el suministro 42 y el controlador 20 (no representado en la figura 1D) mediante una línea flexible de comunicación representada en 54.

65 Se ilustran realizaciones ejemplificadas del cabezal de impresión 16 en las figuras 2A y 2C, que representan un cabezal de impresión 16 con una (figura 2A) y dos (figura 2B) series de boquillas 22. Las boquillas de la serie están

preferiblemente alineadas linealmente, a lo largo de una línea recta. En realizaciones en las que un cabezal de impresión concreto tiene dos o más series lineales de boquillas, las series de boquillas son opcionales y preferiblemente pueden ser paralelas una a otra.

5 Típicamente, pero no necesariamente, todos los cabezales de impresión 16 están orientados radialmente (paralelos a la dirección radial) con sus posiciones acimutales desviadas una de otra. Así, en estas realizaciones, las series de boquillas de diferentes cabezales de impresión no son paralelas una a otra, sino que están más bien en un ángulo una a otra, ángulo que es aproximadamente igual a la desviación acimutal entre los respectivos cabezales. Por ejemplo, un cabezal puede estar orientado radialmente y colocado en posición acimutal (φ_1 , y otro cabezal puede estar orientado radialmente y colocado en posición acimutal (φ_2 . En este ejemplo, la desviación acimutal entre los dos cabezales es $\varphi_1 - \varphi_2$, y el ángulo entre las series lineales de boquillas de los dos cabezales también es $\varphi_1 - \varphi_2$.

10 En algunas realizaciones, dos o más cabezales de impresión pueden estar montados en un bloque de cabezales de impresión, en cuyo caso los cabezales de impresión del bloque están típicamente paralelos uno a otro. Un bloque incluyendo varios cabezales de impresión por inyección de tinta 16a, 16b, 16c se ilustra en la figura 2C.

15 En algunas realizaciones de la presente invención, se mantiene una presión subatmosférica predeterminada del aire por encima del nivel de líquido en el cabezal 16. Para evitar el escape gravitacional de las boquillas, un cierto nivel de vacío con relación a la atmósfera circundante, por ejemplo -60 mm de presión de agua, puede mantenerse continuamente dentro del cabezal 16. En la práctica, los mecanismos para el mantenimiento de la diferencia de presión pueden aportar una tolerancia de, por ejemplo, $\pm 5\%$. En otro ejemplo, los mecanismos para el mantenimiento de la diferencia de presión pueden aportar una tolerancia de ± 5 mm de presión de agua.

20 Con el fin de mantener el nivel de vacío requerido, se puede colocar una bomba bidireccional (no representada) entre la cámara de material del cabezal 16 y la atmósfera. La bomba puede mover el aire desde la cámara de cabezal 16 a la atmósfera, incrementando por ello el vacío dentro del cabezal. A la inversa, la bomba bidireccional puede mover el aire desde la atmósfera al cabezal 16, incrementando por ello la presión dentro del cabezal, es decir, reduciendo el vacío en él. Preferiblemente, el cabezal 16 incluye un sensor de presión (no representado) que mide la diferencia de presión entre el interior del cabezal 16 y la atmósfera exterior. El controlador 20 recibe datos de presión actuales del sensor de presión, y puede accionar la bomba para mantener un nivel predeterminado de vacío dentro del cabezal.

25 En la operación, se mide la diferencia de presión entre la presión dentro del cabezal y una presión ambiente de referencia de la atmósfera. La diferencia de presión es comparada opcional y preferiblemente con una presión relativa deseada o rango de presión. La comparación la puede llevar a cabo, por ejemplo, el controlador 20. Si la diferencia de presión medida es inferior a la presión relativa deseada, o un rango deseado de diferencia de presión, la bomba es activada preferiblemente para añadir aire a la cámara. Si la diferencia de presión medida es más alta que la presión relativa deseada, o un rango deseado de diferencia de presión, entonces la bomba puede ser activada para sacar aire de la cámara. Si se halla que la diferencia de presión medida es igual o suficientemente próxima (dentro de un rango predeterminado de diferencia de presión) a la presión relativa deseada, entonces la bomba es opcional y se mantiene preferiblemente inoperativa, haciendo por ello efectivamente que la bomba actúe como una válvula que bloquea el paso de aire entre la atmósfera ambiente y el interior del cabezal.

30 En algunas realizaciones de la presente invención el material de construcción es precalentado 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. El precalentamiento se efectúa preferiblemente además del calentamiento efectuado dentro de los cabezales de impresión, como es conocido en la técnica. El precalentamiento puede lograrse con un elemento precalentador 160 colocado en el recorrido de fluido entre el suministro de material 42 y el cabezal 16, como se ilustra en la figura 12. El elemento precalentador 160 está preferiblemente espaciado del cabezal 16, y está en comunicación de fluido con el suministro 42 mediante el conducto 162 y con el cabezal 16 mediante el conducto 164. Esto difiere de los sistemas convencionales de impresión 3D en los que el precalentador está montado en el cabezal de impresión. El conducto 162 está provisto opcional y preferiblemente de una bomba 170 configurada para generar un flujo de material de construcción desde el suministro 42 al precalentador 160 y también desde el precalentador 160 al cabezal 16. La bomba 170 es controlada preferiblemente por el controlador 20.

35 En varias realizaciones ejemplares de la invención, el elemento precalentador 160 es estático, a saber, no se puede mover, por ejemplo, conjuntamente con el cabezal 16. El elemento precalentador 160 puede emplear cualquier tipo de técnica de calentamiento, incluyendo, sin limitación, calentamiento resistivo, calentamiento con radiación y calentamiento convectivo. Preferiblemente, el sistema 10 incluye un bucle de retracción de fluido 166 para permitir de forma controlable que el material de construcción se retire del conducto 164 y opcional y preferiblemente también del cabezal 16 volviendo al elemento precalentador 160 o al suministro 42. El bucle de retracción de fluido 166 puede incluir una bomba 168 para controlar el flujo dentro del bucle 166. La bomba 168 es controlada preferiblemente por el controlador 20. Alternativamente, la bomba 170 puede ser una bomba bidireccional, en cuyo caso la retracción del material de construcción volviendo al elemento precalentador 160 puede ser efectuada invirtiendo la operación de la bomba 170. En estas realizaciones no es necesario que el sistema 10 incluya la bomba 168.

La figura 12 ilustra el bucle de retracción de fluido 166 con un conducto que está separado del conducto 164. En estas realizaciones, cuando el material de construcción vuelve en el bucle 166, se evita preferiblemente la entrada de material de construcción al elemento precalentador 160, por ejemplo, mediante una válvula controlable (no representada), que puede montarse en el conducto 164, por ejemplo, en el orificio de salida 172 del precalentador 160. Sin embargo, en algunas realizaciones, puede no ser necesario que el material de construcción sea retirado por 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 hay que tener un conducto separado para la retracción y no hay que montar una válvula en el conducto 164.

Cuando el cabezal 16 es operativo, la bomba 170 (o la bomba 168, si se emplea) no permite típicamente que el material de construcción se retire del conducto 164. Cuando la bomba 170 está inoperativa, por ejemplo, cuando el operador o el controlador 20 interrumpe temporalmente el proceso de impresión (por ejemplo, para sustituir el cartucho de material), el cabezal 16 está inactivo. Si el intervalo de tiempo de inactividad es suficientemente largo, el material de construcción que ya se encuentra en el conducto 164 puede perder calor enviándolo al entorno, dando lugar a una disminución de la temperatura del material de construcción por debajo de dicha temperatura de trabajo. Al final del intervalo de tiempo de inactividad, y antes de la reactivación del cabezal 16, el controlador 20 activa preferiblemente la bomba 168 o invierte la dirección de operación de la bomba 170 para retirar el material de construcción desde el conducto 164 al precalentador 160. El material de construcción retirado es recalentado en el precalentador 160. El proceso de retracción continúa preferiblemente hasta que no queda material de construcción en el conducto 164. A continuación, el controlador 20 puede invertir de nuevo la dirección de operación de la bomba 170 (o reanudar su operación y terminar la operación de la bomba 168, si la retracción es realizada por la bomba 168) y el material de construcción recalentado es alimentado al cabezal 16 mediante el conducto 164.

En algunas realizaciones, el sistema 10 incluye una estructura de soporte 30 colocada debajo de los cabezales 16 de tal manera que la bandeja 12 esté entre la estructura de soporte 30 y los cabezales 16. La estructura de soporte 30 puede servir para evitar o reducir las vibraciones de la bandeja 12 que pueden producirse mientras operan los cabezales de impresión por inyección de tinta 16. En configuraciones en las que los cabezales de impresión 16 giran alrededor del eje 14, la estructura de soporte 30 también gira preferiblemente de tal manera que la estructura de soporte 30 siempre esté directamente debajo de los cabezales 16 (con la bandeja 12 entre los cabezales 16 y la bandeja 12).

En la operación, el sistema 10 se coloca preferiblemente sobre una superficie de tal manera que la bandeja 12 esté sustancialmente horizontal (por ejemplo, con una desviación de menos de 10°, o menos de 5°, o menos de 4°, o menos de 3°, o menos de 2°, o menos de 1°, o menos de 0,5°, o menos, de la dirección horizontal). En algunas realizaciones, el sistema 10 incluye uno o varios dispositivos de nivel de burbuja 44 montados en una o varias posiciones en el recinto de chasis 46 del sistema 10. Opcional y preferiblemente, el dispositivo o los dispositivos de nivel de burbuja 44 son un dispositivo electrónico que comunica con el controlador 20. En estas realizaciones, el controlador 20 puede emitir una señal de alerta cuando la desviación del recinto o chasis 46 de la dirección horizontal es superior a un umbral predeterminado. También se contemplan realizaciones en las que el controlador 20 transmite señales a un dispositivo de accionamiento 48 en respuesta a las señales recibidas del dispositivo o de los dispositivos de nivel de burbuja 44, con el fin de nivelar automáticamente el recinto o chasis 46 cuando se detecta desviación de la dirección horizontal.

La operación de los cabezales de impresión por inyección de tinta 16 y opcional y preferiblemente también de uno u otros varios componentes del sistema 10, por ejemplo, el movimiento de la bandeja 12, es controlada por un controlador 20. El controlador puede tener un circuito electrónico y un medio de memoria no volátil legible por el circuito, donde el medio de memoria guarda instrucciones de programa que, al ser leídas por el circuito, hacen que el circuito realice operaciones de control como se detalla mejor más adelante.

El controlador 20 también puede comunicar con un ordenador host 24 que transmite datos digitales pertenecientes a instrucciones de fabricación en base a datos de objeto de ordenador, por ejemplo, en forma de un lenguaje de teselación estándar (STL) o un formato de contorno de estereolitografía (SLC), lenguaje de modelado de realidad virtual (VRML), formato de archivo de fabricación aditiva (AMF), dibujo de intercambio de formato (DXF), formato de archivo de polígonos (PLY) o cualquier otro formato adecuado para diseño asistido por ordenador (CAD). Los formatos de datos de objeto están estructurados típicamente según un sistema de coordenadas cartesianas. En estos casos, el ordenador 24 ejecuta preferiblemente un procedimiento para transformar las coordenadas de cada corte en los datos de objeto de ordenador desde un sistema de coordenadas cartesianas a un sistema de coordenadas polares. El ordenador 24 transmite opcional y preferiblemente las instrucciones de fabricación en términos del sistema de coordenadas transformadas. Alternativamente, el ordenador 24 puede transmitir las instrucciones de fabricación en términos del sistema original de coordenadas proporcionado por los datos de objeto de ordenador, en cuyo caso la transformación de coordenadas es ejecutada por el circuito de controlador 20.

Cuando el sistema 10 imprime dos o más objetos (o dos o más partes separadas del mismo objeto) en la bandeja 12, el ordenador 24 o el circuito de controlador 20, en algunas realizaciones de la invención, puede determinar automáticamente múltiples posiciones en la bandeja 12. El controlador 20 puede señalar entonces a los cabezales

de impresión 16 que impriman los objetos en las posiciones determinadas. Las posiciones en la bandeja 12 en las que se imprimen los objetos pueden determinarse ejecutando un procedimiento de optimización que simula las diferentes disposiciones de los objetos en la bandeja 12 y elige una de las disposiciones (típicamente la mejor disposición posible), según un criterio predeterminado o conjunto de criterios.

5 Por ejemplo, según un criterio, los objetos se disponen en la bandeja 12 de manera que la bandeja esté equilibrada. Este criterio es especialmente aplicable cuando los objetos a imprimir son relativamente pesados de modo que su peso puede afectar al 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
10 determinar que sus posiciones sean generalmente antipodales con relación al centro de la bandeja, y en general estén en las mismas posiciones radiales (a saber, a distancias similares del eje 14) preferiblemente cerca de la periferia de la zona 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 posiciones estén en tres posiciones
15 acimutales que estén separadas aproximadamente 120° una de otra, y en general en las mismas posiciones radiales, preferiblemente cerca de la periferia de la zona de trabajo.

Según otro criterio, se imprimen más objetos lejos del eje 14 que cerca del eje 14. Este criterio es especialmente aplicable cuando el número de objetos a imprimir es superior a dos, pero también puede aplicarse para el caso de dos objetos. Como ejemplos representativos, cuando el sistema 10 imprime n objetos, el controlador o el ordenador
20 intenta primero disponer todos los objetos en la periferia de la zona de trabajo sin solapamiento y con una distancia suficiente entre objetos adyacentes. Si no todos los objetos pueden ocupar la periferia de la zona de trabajo con distancia suficiente entre objetos adyacentes, el controlador o el ordenador intenta disponer n-1 objetos en la periferia de la zona de trabajo (de nuevo, sin solapamiento y con distancia suficiente entre objetos adyacentes) y 1 objeto más próximo al eje 14, y así sucesivamente.

25 El procedimiento de optimización puede asignar opcional y preferiblemente uno o varios pesos de optimización (que no deberán confundirse con los pesos físicos debidos a la gravedad) a cada objeto, simular disposiciones diferentes de los objetos, calcular un score de optimización general para cada disposición simulada, y selecciona una disposición en base a su score de optimización. Típicamente, pero no necesariamente, los pesos tienen valores
30 numéricos que cuantifican la preferencia para que un objeto particular sea impreso en la periferia de la zona de trabajo. Por cada disposición particular, puede calcularse un score de optimización de objeto para cada objeto y luego pueden combinarse todos los scores de optimización de objeto (por ejemplo, sumarse, multiplicarse). Un score de optimización para la disposición particular puede calcularse en base, al menos en parte, a los scores de optimización de objeto combinados, y opcionalmente también en otro criterio (por ejemplo, las relaciones espaciales
35 entre las posiciones de diferentes objetos).

El score de optimización de objeto puede ser calculado combinando (por ejemplo, sumando, multiplicando) el peso numérico del objeto respectivo con un parámetro que representa la distancia del objeto con respecto al eje 14, para la disposición concreta. Así, cuando, en alguna disposición simulada, un objeto que tiene un peso alto (lo que indica
40 que se desea imprimir el objeto en la periferia de la zona de trabajo) se coloca en la periferia de la zona de trabajo, el score de optimización de objeto para este objeto es alto. Por otra parte, cuando, en alguna disposición simulada, un objeto que tiene un peso alto no se coloca en la periferia de la zona de trabajo, el score de optimización de objeto para este objeto es bajo.

45 El ordenador 24 o el circuito de controlador 20 también pueden ejecutar, en algunas realizaciones de la invención, un procedimiento de optimización que recibe datos pertenecientes al material de construcción general que hay en el sistema (por ejemplo, en el suministro 42), y calcula la cantidad de material necesaria para imprimir el objeto. Cuando la cantidad de material necesaria para imprimir el objeto es mayor que la cantidad de material que hay en el
50 suministro 42, el controlador 20 de las presentes realizaciones emite una alerta.

La transformación de coordenadas permite la impresión tridimensional sobre una bandeja rotativa. En impresión tridimensional convencional, los cabezales de impresión se mueven recíprocamente 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, a condición de que las velocidades de dispensación de los cabezales sean
55 uniformes. A diferencia de la impresión tridimensional convencional, no todas las boquillas de las puntas de cabezal cubren la misma distancia sobre la bandeja 12 al mismo tiempo. La transformación de coordenadas se ejecuta opcional y preferiblemente con el fin de asegurar cantidades iguales de material excedente en diferentes posiciones radiales. Los ejemplos representativos de transformaciones de coordenadas según algunas realizaciones de la presente invención se exponen en las figuras 3A-F, que representan tres cortes de un objeto (cada corte
60 corresponde a instrucciones de fabricación de una capa diferente de los objetos), donde las figuras 3A, 3C y 3E ilustran cortes en un sistema de coordenadas cartesianas y las figuras 3B, 3D y 3F ilustran los mismos cortes después de la aplicación de un procedimiento de transformación de coordenadas al corte respectivo.

Típicamente, el controlador 20 controla el voltaje aplicado al componente respectivo del sistema 10 en base a las instrucciones de fabricación y en base a las instrucciones de programa almacenadas, como se describe más
65 adelante.

Generalmente, el controlador 20 controla los cabezales de impresión 16 para dispensar, durante la rotación de la bandeja 12, gotitas de material de construcción en capas, por ejemplo, para imprimir un objeto tridimensional en la bandeja 12.

5 Los cabezales de impresión por inyección de tinta dispensan capas de material de construcción mediante tecnología de inyección de tinta. Cada uno de los cabezales de impresión puede estar configurado para dispensar un material de construcción. Cuando un cabezal de impresión concreto incluye dos o más series de boquillas, cada serie de boquillas puede estar configurada para dispensar un material de construcción diferente. Así, diferentes posiciones
10 deseadas pueden ser ocupadas por materiales de construcción diferentes. Los tipos de materiales de construcción pueden ser clasificados en dos categorías principales: material de modelado y material de soporte.

15 El material de soporte sirve como una matriz de soporte para soportar el objeto o partes de objeto durante el proceso de fabricación y/u otros fines, por ejemplo, proporcionar objetos huecos o porosos. El material de soporte es preferiblemente dispersible en agua para facilitar su extracción una vez terminada la formación del objeto. El material de soporte es dispensado preferiblemente en forma líquida y es curable por radiación, tal como, aunque sin limitación, radiación electromagnética (por ejemplo, radiación ultravioleta, radiación de luz visible, radiación infrarroja), y radiación de haz de electrones. También se contemplan materiales de soporte que incluyen un componente de cera, y, opcionalmente, también un componente modificador de la viscosidad. Estos tipos de
20 materiales de soporte están en forma líquida a las temperaturas de impresión por inyección de tinta del sistema 10, solidifican una vez enfriados después de ser dispensados, y no requieren curado por radiación.

25 El material de modelado es generalmente una composición formulada para uso en tecnología de inyección de tinta y que es capaz de formar un objeto tridimensional por sí mismo, es decir, sin tener que mezclarse o combinarse con cualquier otra sustancia. El material de modelado es dispensado preferiblemente en forma líquida y es curable por radiación, tal como, aunque sin limitación, radiación electromagnética (por ejemplo, radiación ultravioleta, radiación de luz visible, radiación infrarroja), y radiación de haz de electrones.

30 En algunas realizaciones de la invención, los materiales tanto de soporte como de modelado pueden curarse usando el mismo tipo de radiación.

El objeto tridimensional final que se fabrica con el sistema 10 se hace del material de modelado o una combinación de material de modelado y soporte o una modificación de los mismos (por ejemplo, después del curado).

35 Preferiblemente, pero no obligatoriamente, el número general de boquillas dispensadoras o series de boquillas se selecciona de tal manera que la mitad de las boquillas de dispensación estén destinadas a dispensar material de soporte y la mitad de las boquillas de dispensación estén destinadas a dispensar material de modelado. En el ejemplo representativo de la figura 2C, cada uno de los cabezales 16a y 16b tiene una serie de boquillas, mientras que el cabezal 16c tiene dos series de boquillas. En este Ejemplo, los cabezales 16a y 16b pueden estar destinados
40 a material de modelado y el cabezal 16c puede estar destinado a material de soporte. Así, el cabezal 16a puede dispensar un primer material de modelado, el cabezal 16b puede dispensar un segundo material de modelado y el cabezal 16c puede dispensar material de soporte. En una realización alternativa, el cabezal 16c, por ejemplo, puede incluir 2 estructuras físicamente separadas, teniendo cada una una única serie de boquillas. En esta realización, cada una de las dos estructuras puede ser físicamente similar a los cabezales 16a y 16b.

45 Generalmente, el número de cabezales de modelado, el número de cabezales de soporte y el número de boquillas en cada cabezal se seleccionan para obtener una relación predeterminada, a, entre la velocidad de dispensación máxima del material de soporte y la velocidad de dispensación máxima del material de modelado. El valor de la relación predeterminada, a, se selecciona preferiblemente para asegurar que, en cada capa fabricada, la altura de material de modelado sea igual a la altura de material de soporte. Los valores típicos para a son de aproximadamente 0,6 a aproximadamente 1,5.
50

Por ejemplo, para $a = 1$, la velocidad de dispensación general de material de soporte es generalmente la misma que la velocidad de dispensación general del material de modelado cuando todos los cabezales de modelado y los
55 cabezales de soporte operan.

60 En una realización preferida, hay M cabezales de modelado teniendo cada uno m series de p boquillas, y S cabezales de soporte teniendo cada uno s series de q boquillas de tal manera que $M \times m \times p = S \times s \times q$. Cada una de las M x m series de modelado y las S x s series de soporte puede fabricarse como una unidad física separada, que puede montarse y desmontarse del grupo de series. En esta realización, cada serie incluye opcional y preferiblemente un controlador de temperatura y un sensor de nivel de material propio, y recibe un voltaje controlado individualmente para su operación.

65 El tipo de material que es transportado a cada serie de boquillas de cada cabezal de impresión para dispensación es controlado opcional y preferiblemente por el controlador 20. Por ejemplo, el controlador 20 puede señalizar a un sistema de suministro de material de construcción 42 que suministre un primer material de modelado a una serie de

boquillas de un primer cabezal y un material de soporte a otra serie de boquillas del primer cabezal. El controlador 20 también puede señalar al sistema 42 que suministre el primer material de modelado a una serie de boquillas del primer cabezal, el material de soporte a otra serie de boquillas del primer cabezal, y un segundo material de modelado a una serie de boquillas de un segundo cabezal. Alternativamente, el controlador 20 puede señalar al sistema 42 que suministre el material de soporte a una serie de boquillas de otro cabezal. El controlador 20 también puede señalar al sistema 42 que suministre el primer material de modelado a una serie de boquillas del primer cabezal, el material de soporte a otra serie de boquillas del primer cabezal, el segundo material de modelado a una serie de boquillas del segundo cabezal, y un tercer material de modelado a otra serie de boquillas del segundo cabezal, y así sucesivamente.

La bandeja 12 y/o los cabezales de impresión 16 están configurados para moverse a lo largo de la dirección vertical z, paralela al eje vertical 14 con el fin de variar la distancia vertical entre la bandeja 12 y los cabezales de impresión 16. En configuraciones en las que la distancia vertical se varía moviendo la bandeja 12 a lo largo de la dirección vertical, la estructura de soporte 30 también se mueve preferiblemente de forma vertical junto con la bandeja 12. En configuraciones en las que la distancia vertical es variada por los cabezales 16 a lo largo de la dirección vertical, manteniendo al mismo tiempo fija la posición vertical de la bandeja 12, la estructura de soporte 30 también se mantiene en una posición vertical fija.

El movimiento vertical puede ser establecido por un mecanismo de accionamiento vertical 28. Una vez finalizada una capa, la distancia vertical entre la bandeja 12 y los cabezales 16 puede incrementarse (por ejemplo, la bandeja 12 se baja con relación a los cabezales 16) un escalón vertical predeterminado, según el grosor deseado de la capa a imprimir posteriormente. El procedimiento se repite para formar un objeto tridimensional capa a capa.

El sistema de las presentes realizaciones permite la selección de materiales de modelado a partir de un número dado de materiales de modelado y/o materiales destinados a incluir parte del objeto que se fabrica, definir las combinaciones deseadas de los materiales seleccionados y definir la 'posición espacial' de su deposición (combinada o separada) dentro de la capa, permitiendo así la formación de un amplio rango de materiales (es decir, combinaciones de materiales), que tienen un rango de atributos o propiedades de material, y permitiendo la fabricación de un objeto que puede constar de múltiples combinaciones diferentes de materiales de modelado, en partes diferentes del objeto, según las propiedades deseadas para caracterizar cada parte del objeto.

Se puede crear un objeto tridimensional usando software adecuado tal como software CAD, que exporta el objeto virtual al sistema 10 por un formato de archivo portátil, adecuado para CAD, como se ha detallado mejor anteriormente. El usuario puede dividir o partir el objeto virtual a fabricar en un número de partes o zonas separadas. Una zona en el objeto es así un subvolumen del objeto confinado en una o varias superficies próximas que no intersecan una con otra.

La división del objeto virtual se realiza para poder asignar materiales de modelado diferentes o combinaciones o estructuras de materiales de modelado a las diferentes zonas. En algunas realizaciones, las diferentes zonas se guardan como diferentes archivos de datos o partes diferentes de un archivo de datos, haciendo referencia todos los archivos o partes de archivos al mismo sistema de ejes y origen. El proceso de división en zonas separadas y su conversión a archivos de datos se puede llevar a cabo generalmente como es conocido en la técnica, por ejemplo, generalmente como se describe en la Patente de Estados Unidos número 5.768.134, cedida a Materialise N.V. Un grupo de zonas o archivos de datos puede formar, por lo tanto, un objeto completo o una parte completa del mismo.

En algunas realizaciones de la presente invención, la deposición del material o materiales de modelado se determina según las zonas así definidas, por ejemplo, los materiales de modelado específicos a usar, y su combinación y/o deposición espacial dentro de la zona se definen en el software, así como la definición espacial de las zonas propiamente dichas dentro de la capa de objeto, todos según las propiedades predefinidas deseadas para cada parte del objeto final. Típicamente, la definición de atributos de zona, por ejemplo, los tipos de material de modelado y su combinación en una zona dada puede ser definida por el software en o después del tiempo de división del objeto virtual en zonas. En una realización preferida, para cualquier zona dada, el usuario u operador del sistema 10 puede introducir definiciones, por ejemplo, mediante una interfaz de usuario. Por ejemplo, el operador puede seleccionar una zona específica y seleccionar materiales de modelado y/o combinaciones de materiales para la zona así definida, según las propiedades deseadas para cada zona respectiva. Un ejemplo de esto es definir un material de modelado o combinación de materiales para la periferia o límite de la zona y un material diferente o combinación de materiales para el resto. Un ejemplo útil de esto es imprimir objetos con material duro en la masa, pero material blando en el revestimiento.

Pueden seleccionarse combinaciones de materiales de modelado diferentes de propiedades diferentes a depositar en zonas diferentes, al objeto de crear un material compuesto que tenga propiedades diferentes a las del material dispensado, o que exhiban una combinación de sus propiedades. Las propiedades resultantes pueden diferir según la combinación y/o las cantidades relativas de los materiales dispensados. Los materiales a usar en combinaciones diferentes, así como la estructura, por ejemplo, la deposición espacial/relativa, de sus combinaciones están predeterminados según las propiedades que se desee lograr en el material compuesto final que forme el objeto o partes del objeto.

Un objeto resultante, según algunas realizaciones de la presente invención, puede tener así propiedades que difieren dentro del objeto propiamente dicho, por ejemplo, una propiedad que aumenta o disminuye de un lado del objeto a otro, o propiedades alternas dentro del objeto. Por ejemplo, seleccionar un material de modelado que sea rígido después del curado y otro que sea flexible o elástico después del curado, puede dar lugar a un objeto de material compuesto en el que algunas partes del objeto son más rígidas que otras, algunas más flexibles que otras, o el objeto puede ser rígido, por ejemplo, por fuera y en el centro, pero flexible en otros puntos. Si, por ejemplo, se dispensa 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. Las diferentes zonas del objeto fabricado pueden tener así propiedades de material diferentes, donde una zona puede ser una capa, parte de una capa o un número de capas, por ejemplo, un bloque de capas horizontales, u otras disposiciones estructurales, y así las propiedades del material pueden variar dentro de una capa o entre diferentes bloques de capas. Un material compuesto también puede tener colores que difieren por todo el material compuesto, dependiendo de las cantidades relativas y la dispensación espacial de un número de diferentes materiales de color.

Los diferentes tipos de materiales de modelado pueden permanecer separados y distintos dentro del objeto fabricado o pueden mezclarse durante el proceso de fabricación. En el modo de un solo material, si, por ejemplo, se usan dos materiales de modelado, los materiales pueden combinarse en un solo material, o pueden depositarse de tal manera que cada material siga siendo distinto, sin embargo, su deposición uniforme en gotitas de material uno junto a otra forma una mezcla uniforme, homogénea. En los modos de materiales múltiples, pueden seleccionarse dos o más materiales de modelado a dispensar individualmente en partes o zonas, y/o combinarse en otras, donde la combinación se puede hacer dispensando cantidades relativas de cada material en diferentes posiciones especificadas deseadas o en grupos de posiciones deseadas, o dispensando dos o más tipos de materiales de modelado dentro del mismo grupo de posiciones deseadas.

Las cantidades relativas de materiales de modelado diferentes que son dispensadas por capa o parte de la misma pueden ser variadas dinámicamente por el controlador 20 durante la fabricación del objeto, en particular cuando se desea fabricar un objeto que no tiene propiedades uniformes o anisotrópicas. El controlador 20 recibe preferiblemente del ordenador 24 datos digitales que describen las cantidades relativas y controla la velocidad de dispensación de la velocidad de dispensación individual según los datos. La variación de las cantidades relativas se puede hacer de manera continua o discreta.

La capacidad del sistema de las presentes realizaciones de utilizar dos o más materiales de modelado diferentes, hace posible utilizar muchos más materiales y más variados en la fabricación sin sólidos de lo que ha sido posible hasta la fecha en técnicas convencionales de fabricación de formas libres sólidas, así como proporcionar muchas posibilidades diferentes para combinar múltiples materiales, según el objeto final y/o las propiedades deseadas del objeto a obtener.

Por ejemplo, los materiales de construcción que tienen más tendencia a encogerse como resultado del proceso de polimerización no son generalmente adecuados para uso en los aparatos tradicionales de fabricación de formas libres sólidas. 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 u objeto se hacen de un material, mientras que el resto de la parte u objeto incluye un material diferente. En este ejemplo, las zonas internas pueden fabricarse a partir de un material que carezca de resistencia mecánica, tal como un gel o líquido, pero que tenga otras propiedades deseables, por ejemplo, ser fácilmente extraíble, por ejemplo, con el fin de crear un objeto hueco, o quemarse fácilmente sin dejar ceniza u otras trazas.

En algunas realizaciones de la invención, pueden dispensarse dos o más materiales de modelado, donde uno o ambos materiales pueden no tener las propiedades requeridas para permitir la formación del objeto deseado. La combinación de los dos materiales puede proporcionar un material de modelado funcional. Por ejemplo, uno de los materiales puede no solidificar 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 solidifica durante el proceso de fabricación. El material solidificado puede "contener" el material no solidificado, o, alternativamente, el material no solidificado puede ser drenado, quemado o quitado de otro modo una vez finalizado el proceso con el fin de proporcionar un modelo que sea hueco o poroso.

En algunas realizaciones de la invención, pueden dispensarse dos o más materiales de modelado donde un material puede tener una reactividad demasiado baja para usarse como un material de modelado en un sistema específico, puesto que, si se usase solo, produciría un objeto de pobre definición y baja calidad de impresión, mientras que el otro material tiene la reactividad apropiada. En este ejemplo, se puede indicar que una de las propiedades básicas de una formulación curable por UV es su reactividad a la radiación UV. La reactividad se obtiene generalmente mediante una combinación adecuada de monómeros, oligómeros, fotoiniciador y concentración de fotoiniciador. Los monómeros y oligómeros acrílicos (en contraposición a metacrílicos) son especialmente apropiados debido a su reactividad intrínseca relativamente alta, lo que quiere decir que las formulaciones acrílicas pueden usar concentraciones relativamente bajas de fotoiniciador. Debido a la reactividad intrínseca de los componentes metacrílicos, es bastante difícil usarlos en la preparación de formulaciones. La falta de reactividad de una

formulación afecta directamente a su calidad de impresión. El uso de una formulación con baja reactividad produciría un objeto con bordes y/o superficies no definidos e inexactos.

5 Los componentes metacrílicos tienen generalmente valiosas propiedades tales como una relación de encogimiento más baja y Tg (temperatura de transición vítrea) más alta que los componentes acrílicos; sin embargo, tienen una reactividad más baja que los componentes acrílicos. Este problema puede ser resuelto usando el sistema de la presente invención, donde se usa un material de modelado que tiene alta reactividad, por ejemplo, una formulación acrílica, y otro material de modelado que tiene baja reactividad, por ejemplo, formulación metacrílica. La formulación de alta reactividad puede ser usada para rodear la formulación de baja reactividad en cada capa y así las superficies del objeto constarán de la formulación reactiva y el núcleo del objeto de la formulación de baja reactividad. Como consecuencia, se asegura la calidad de la periferia del objeto; dado que esta característica requiere alta reactividad (la calidad de la periferia incluye suavidad de pared y nitidez de borde). La exactitud del objeto también se asegura dado que la deformación de la masa, que se produce por encogimiento, se minimiza. De esta forma, pueden explotarse las valiosas propiedades de los componentes de baja reactividad. Puede usarse otros tipos de formulaciones de baja reactividad, incluyendo, por ejemplo, formulaciones polimerizables iniciadas catiónicamente por UV.

20 En algunas realizaciones de la presente invención, la serie de boquillas de uno o varios de los cabezales de impresión está configurada de tal manera que las boquillas que están a distancias diferentes para el eje 14 dispensen el material de construcción a velocidades de dispensación diferentes. Preferiblemente, boquillas que están más cerca del eje 14 (o del centro de la bandeja 12) dispensan el material de construcción a una velocidad de dispensación más baja que las boquillas que están más lejos del eje 14. Esta configuración es ventajosa, dado que reduce o elimina el efecto de las diferentes velocidades lineales a distancias diferentes del eje 14.

25 Las diferentes velocidades de dispensación pueden asegurarse en más de una forma.

30 En algunas realizaciones de la presente invención, los diámetros de los agujeros de las boquillas difieren entre boquillas diferentes de la misma serie de boquillas. Por ejemplo, el diámetro del agujero de la boquilla puede ser una función creciente de la distancia de la boquilla del eje 14, de modo que, para cualquier par de boquillas de la misma serie, el agujero de la boquilla que está más próximo al eje 14 es menor que el de la boquilla que está más lejos del eje 14.

35 En algunas realizaciones de la presente invención, los diámetros de los agujeros de las boquillas son los mismos para todas las boquillas de la misma serie de boquillas, pero las boquillas son controladas individualmente por el controlador 20. En estas realizaciones, el controlador 20 aplica diferentes niveles de voltaje a boquillas diferentes de la misma serie, con el fin de asegurar diferentes velocidades de dispensación para las boquillas diferentes en la misma serie. Preferiblemente, el controlador 20 selecciona el voltaje aplicado de tal manera que las boquillas que son estén más cerca del eje 14 dispensen el material de construcción a una velocidad de dispensación más baja que las boquillas que estén más lejos del eje 14.

40 En algunas realizaciones de la presente invención, los diámetros de los agujeros de las boquillas difieren entre las boquillas diferentes de la misma serie de boquillas, y las boquillas son controladas individualmente por el controlador 20. En estas realizaciones, las diferentes velocidades de dispensación se aseguran por los diferentes tamaños de los agujeros y también se aseguran mediante una selección juiciosa del voltaje aplicado por el controlador 20.

45 Los autores de la presente invención también han ideado una técnica que resuelve los problemas asociados con la velocidad de dispensación constante cuando el movimiento relativo entre el cabezal de cebado y la bandeja no es a lo largo de líneas rectas. La técnica descrita más adelante puede emplearse cuando todas las boquillas de los cabezales 16 dispensan el material de construcción a la misma velocidad de dispensación, pero puede emplearse cuando las velocidades de impresión varían. La técnica puede emplearse para cualquier escenario de impresión en el que las boquillas siguen trayectorias que no están a lo largo de una línea recta, en particular en situaciones en las que operar todas las boquillas de un cabezal de impresión a la misma frecuencia da lugar a resolución no uniforme. La técnica incluye enmascaramiento de datos, como se explicará ahora con más detalle.

55 Cada corte en los datos de objeto de ordenador tiene típicamente, aunque no necesariamente, forma de un mapa de bits binario. Alternativamente, los datos de corte pueden ser calculados al vuelo a partir de una representación informática tridimensional del objeto (por ejemplo, una malla 3D).

60 Aunque las realizaciones se describen a continuación con un énfasis especial en el uso de un mapa de bits, se ha de entender que la operación de leer información de un mapa de bits puede ser sustituida por una operación de calcular un valor en una cierta posición dentro de una representación informática tridimensional del objeto, y que ambas se contemplan según varias realizaciones ejemplares de la invención.

65 A partir del mapa de bits de los datos de objeto de ordenador se calcula típicamente un mapa de bits de activación de boquilla. Cada elemento de mapa de bits (por ejemplo, píxel) en el mapa de bits de activación de boquilla corresponde a una posición deseada en la capa respectiva donde el valor del elemento de mapa de bits determina si

una boquilla respectiva que llega a la posición física respectiva está activada o no. Por ejemplo, los "1"s representan posiciones que han de ser ocupadas por material de construcción en la capa final y los "0"s representan vacíos en la capa final.

5 Según las presentes realizaciones, el mapa de bits operativo está enmascarado de tal manera que la resolución a lo largo de la dirección acimutal de todas las boquillas sea la misma independientemente de su posición en el cabezal y la trayectoria del cabezal. Un ejemplo representativo de tal enmascaramiento se representa en la figura 9A, que ilustra la serie de boquillas 22 del cabezal 16. La primera boquilla (más alejada del eje 14) se indica como la boquilla 104 y la última boquilla (más próxima al eje 14) se indica como la boquilla 106. La figura 9A también ilustra dos trayectorias curvadas ejemplificadas 102 y 108 seguidas respectivamente por las boquillas 104 y 106 durante los movimientos relativos del cabezal 16 y de la bandeja 12. Se ilustran seis boquillas en la serie 22, pero la serie 22 puede tener cualquier número de boquillas. Las posiciones representadas de las boquillas 104 y 106 sobre las trayectorias 102 y 108 corresponden a un tiempo denominado T_1 . En otro tiempo T_1+dT , la boquilla 104 llega a la posición 110 a lo largo de la trayectoria 102 y la boquilla 106 llega a la posición 112 a lo largo de la trayectoria 108. En otro tiempo T_1+2dT , la boquilla 104 llega a la posición 114 a lo largo de la trayectoria 102 y la boquilla 106 llega a la posición 116 a lo largo de la trayectoria 108.

Las boquillas 104 y 106 cubren diferentes longitudes de arco sobre las trayectorias 102 y 108 en el mismo intervalo de tiempo. Específicamente, las tres posiciones visitadas por la boquilla 104 en los tiempos T_1 , T_1+dT y T_1+2dT están más espaciadas que las tres posiciones visitadas por la boquilla 106 en estos tiempos. En el ejemplo ilustrado en la figura 9A, la longitud de arco cubierta por la boquilla 106 entre los tiempos T_1 y T_1+2dT es aproximadamente la misma que la longitud de arco cubierta por la boquilla 104 entre los tiempos T_1 y T_1+dT , o entre los tiempos T_1+dT y T_1+2dT . Según algunas realizaciones de la presente invención, la boquilla 106 es activada en el tiempo T_1 y en el tiempo T_1+2dT , pero no en el tiempo T_1+dT . En otros términos, el mapa de bits de activación de boquilla que corresponde a la capa respectiva está enmascarado de tal manera que no se dispensa material en la posición 112 independientemente si el mapa de bits de activación de boquilla o el mapa de bits de los datos de objeto de ordenador introducidos designa o no la posición 112 como una posición en la que se ha de dispensar una gotita de material de construcción.

La ilustración de la figura 9A representa un ejemplo de una relación de enmascaramiento de 50% donde 50% de las posiciones a lo largo de la trayectoria 108 están enmascaradas para la boquilla 106, de modo que la boquilla 106 no dispensa material al llegar a estas posiciones. Se hace notar que, para otros pares de trayectorias, la relación de enmascaramiento puede ser diferente de 50%. La relación de enmascaramiento puede calcularse para cada trayectoria de cada boquilla, en base a la relación entre las longitudes de arco cubiertas por boquillas diferentes durante el mismo intervalo de tiempo dT , o en base a la relación entre las velocidades lineales de las boquillas diferentes. En base a la relación de enmascaramiento, el controlador 20 puede decidir opcional y preferiblemente si activar o no una respectiva boquilla en una posición respectiva. Según algunas realizaciones de la presente invención, cuando una boquilla está enmascarada en un tiempo, no se leen datos de impresión del mapa de bits introducido del mapa de bits de activación de boquilla para dicha boquilla. Alternativamente, tal entrada no se calcula. Estas realizaciones pueden considerarse como dilución de datos dado que reducen la cantidad de datos que son procesados a nivel de mapa de bits. La ventaja de esta realización es que ahorra tiempo de cálculo y recursos.

Puede lograrse otro ahorro de tiempo de cálculo y recursos considerando la longitud de arco de la trayectoria cubierta por una boquilla que pertenece a un grupo de boquillas, por ejemplo, una serie de boquillas. Según algunas realizaciones de la presente invención, se identifica una boquilla que cubre el segmento más largo de la trayectoria del grupo durante un intervalo de tiempo. Entonces se calcula un valor de máscara binario para dicha boquilla (por ejemplo, "0" para enmascaramiento y "1" en otro caso) en un tiempo dentro del intervalo de tiempo. Cuando dicha boquilla está enmascarada, todas las otras 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 figura 9B representa esquemáticamente series de boquillas 22a y 22b de dos cabezales 16a y 16b, respectivamente. Las notaciones correspondientes al cabezal 16a son las mismas que las del cabezal 16 de la figura 9A anterior. La última boquilla del cabezal 16b se indica con 122 y la trayectoria seguida por dicha boquilla se indica con 120.

Las posiciones de las boquillas 104, 106 y 122 sobre las trayectorias 102, 108 y 120 corresponden a un tiempo denominado T_1 . En el caso T_1+Dt , la boquilla 104 llega a la posición 110 a lo largo de la trayectoria 102, la boquilla 106 llega a la posición 112 a lo largo de la trayectoria 108, y la boquilla 122 llega a la posición 124 a lo largo de la trayectoria 120. Para un intervalo de tiempo dado (por ejemplo, entre los tiempos T_1 y T_1+dT), la longitud de arco cubierta por la boquilla 104 es la más larga entre las longitudes de arco cubiertas por cualquier otra boquilla de la serie 22a.

En el ejemplo ilustrado en la figura 9B, la longitud de arco cubierta por la boquilla 122 entre los tiempos T_1 y T_1+dT es aproximadamente la misma que la longitud de arco cubierta por la boquilla 104 entre los tiempos T_1 y T_1+2dT . Según algunas realizaciones de la presente invención, la boquilla 104 es activada en el tiempo T_1 y en el tiempo

- 5 T_1+2dT , pero no en el tiempo T_1+dT , y la boquilla 106 es activada en el tiempo T_1 , pero no en los tiempos T_1+dT y T_1+2dT . Además, dado que cualesquiera boquillas de la serie 22a distintas de la boquilla 104 cubren una longitud de arco que es más corta que la longitud de arco cubierta por la boquilla 104 en el mismo intervalo de tiempo, ninguna de las boquillas de la serie 22a tiene que estar activada en el tiempo T_1+dT . En otros términos, el mapa de bits de activación de boquilla que corresponde a la capa respectiva está enmascarado de tal manera que no se dispense material desde ninguna boquilla de la serie 22a al menos hasta que la primera boquilla 104 llegue a la posición 114 a lo largo de la trayectoria 102. Esto corresponde, como se ha indicado, a una operación de dilución de datos, dado que reduce la cantidad de datos que son procesados al nivel de mapa de bits.
- 10 Los autores de la presente invención hallaron que tal procedimiento reduce de forma significativa el tiempo de procesado y los recursos de cálculo necesarios, porque no hay que acceder al mapa de bits de activación de boquilla (o calcular su valor) hasta que la primera boquilla 104 llega a la posición 114. Este ahorro se puede entender mejor a partir de la ilustración mostrada en la figura 9C.
- 15 La figura 9C ilustra la serie de boquillas 22 superpuestas en un mapa de bits introducido, que en este ejemplo se define sobre una rejilla rectangular. Cada posición en la rejilla representa un elemento de mapa de bits introducido (por ejemplo, un píxel). En la figura 9B se representan elementos de mapa de bits 130 y 132. La serie 22 se ilustra en el tiempo T_1 en el que las boquillas primera 104 y última 106 de la serie 22 se superponen aproximadamente sobre los elementos 130 y 132 del mapa de bits introducido. Por lo tanto, los valores almacenados en los elementos 20 130 y 132 pueden dar lugar a activación o no activación de las boquillas 104 y 106, en el tiempo T_1 .
- 25 Los sistemas de impresión convencionales buscan la posición de las boquillas relevantes en un tiempo específico (T_1 , en el ejemplo presente), buscan los elementos de mapa de bits que están cosituados con las boquillas en el tiempo específico, obtienen información contenida en los respectivos elementos de mapa de bits, y deciden si o no activar las respectivas boquillas. Los autores de la presente invención hallaron que al menos algunos de estos pasos son superfluos y pueden saltarse por la técnica de enmascaramiento de las presentes realizaciones, Es decir, en las posiciones en las que las boquillas están enmascaradas, no hay que procesar el mapa de bits, por lo tanto, se ahorra tiempo de procesado.
- 30 En varias realizaciones ejemplares de la invención, el controlador 20 o el procesador de datos 24 accede a un medio legible por ordenador que almacena una máscara precalculada y aplica la máscara al mapa de bits de entrada o el mapa de bits de activación de boquilla. La máscara precalculada puede tener forma de una matriz booleana rectangular, que indique las posiciones en las que la activación de las boquillas está enmascarada (a saber, las posiciones de boquilla en las que las boquillas no dispensan material independientemente del valor en el respectivo 35 elemento de mapa de bits). La dimensión de la máscara es igual opcional y preferiblemente a la multiplicación del número de boquillas en un cabezal por el número de gotitas dispensables en la trayectoria más larga sobre la zona de trabajo 26 (por ejemplo, el perímetro exterior de la zona de trabajo 26, o el perímetro exterior de la zona ocupada 90).
- 40 El cálculo de los elementos de la máscara precalculada se basa opcional y preferiblemente en dicha relación de máscara. Opcional y preferiblemente el cálculo incluye aplicar un generador de números pseudoaleatorios usando la relación de máscara como probabilidad de entrada. Específicamente, cada posición de boquilla a lo largo de una trayectoria está enmascarada a una probabilidad que es igual a la relación de enmascaramiento asociada con dicha posición. Los autores de la presente invención hallaron que tal aplicación del generador de números 45 pseudoaleatorios mejora significativamente la calidad del objeto impreso. Sin vinculación a ninguna teoría concreta, se supone que la mejor calidad de cuando se aplica el 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.
- 50 Cuando una boquilla que cubre la longitud de arco más larga es identificada entre un grupo de boquillas (por ejemplo, una serie de boquillas) en un intervalo de tiempo, entonces el generador de números pseudoaleatorios se aplica preferiblemente sólo a la trayectoria de dicha boquilla, donde todas las otras boquillas del grupo están enmascaradas durante todo el intervalo de tiempo. Con referencia de nuevo a la figura 9B, según las presentes realizaciones, el generador de números pseudoaleatorios es aplicado solamente a la trayectoria 102 y todas las 55 demás boquillas de la serie 22a están enmascaradas durante todo el intervalo de tiempo entre los tiempos T_1 y T_1+dT . Este procedimiento se puede considerar matemáticamente como enmascarar una boquilla (boquilla 104, en el ejemplo presente) con probabilidad inferior a 1, y enmascarar todas las demás boquillas del grupo (serie 22a en el ejemplo presente) con probabilidad 1, cuando una boquilla está enmascarada.
- 60 Los autores de la presente invención también contemplan calcular valores de máscara binarios para cada una de al menos algunas de las posiciones de boquilla durante el proceso de impresión tridimensional. Esto se puede hacer, por ejemplo, en base a una función de máscara predeterminada de la longitud de arco de la posición respectiva a partir del eje 14. En varias realizaciones ejemplares de la invención, la función de máscara se selecciona de tal manera que las posiciones de las boquillas que están más próximas al eje 14 estén enmascaradas más a menudo 65 que las posiciones de las boquillas que están lejos 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 las boquillas diferentes

a lo largo de trayectorias diferentes. Una vez que se calcula la relación de enmascaramiento, la decisión relativa al enmascaramiento de una posición de boquilla concreta a lo largo de la trayectoria se efectúa opcional y preferiblemente de manera probabilística como se ha detallado mejor anteriormente. Cuando una boquilla que cubre la longitud de arco más larga es identificada entre un grupo de boquillas (por ejemplo, una serie de boquillas) en un intervalo de tiempo, entonces la decisión se realiza (se hace opcional y preferiblemente de manera probabilística) solamente en la trayectoria de dicha boquilla, como se ha detallado mejor anteriormente.

Los autores de la presente invención también contemplan calcular valores de máscara binarios en situaciones en las que la impresión no es a lo largo de segmentos circulares. En estas realizaciones, se reciben datos pertenecientes a la trayectoria de las boquillas durante la impresión, y la relación de enmascaramiento se calcula en base a las trayectorias recibidas (por ejemplo, en base a relaciones de longitud de arco como se ha detallado mejor anteriormente). Cada posición de boquilla es enmascarada entonces en base a la relación de enmascaramiento calculada, opcional y preferiblemente de manera probabilística como se ha detallado mejor anteriormente. Cuando una boquilla que cubre la longitud de arco más larga es identificada entre un grupo de boquillas (por ejemplo, una serie de boquillas) en un intervalo de tiempo, la decisión se realiza (se hace opcional y preferiblemente de manera probabilística) solamente en la trayectoria de dicha boquilla, como se ha detallado mejor anteriormente.

En cualquiera de las realizaciones anteriores, se accede al mapa de bits de activación de boquilla, opcional y preferiblemente solamente para las posiciones de boquilla que no están enmascaradas, para determinar si activar o no las boquillas en estas posiciones no enmascaradas.

En cualquiera de las realizaciones anteriores, las boquillas que no están activadas (por ejemplo, las boquillas que están enmascaradas) son activadas insuficientemente opcional y preferiblemente, a saber, reciben una energía de activación que es menor que la energía requerida para activar las boquillas para dispensar material de construcción.

Los autores de la presente invención hallaron que operar las boquillas a ciertas frecuencias puede, en algunos casos, ser perjudicial para la salud a largo término de las boquillas, puesto que puede hacer que una boquilla deje de operar o cambie sus características de operación, tales como el peso o la subida de la gota emitida. Así, en algunas realizaciones de la presente invención, algunas frecuencias son eliminadas de la máscara pseudoaleatoria. Por ejemplo, las frecuencias más altas pueden ser eliminadas de la máscara, de modo que nunca aparece una secuencia de apagado-encendido-apagado, mientras que aparece una secuencia de apagado-encendido-encendido-apagado.

El sistema 10 incluye opcional y preferiblemente una o varias fuentes de radiación 18, que pueden ser, por ejemplo, una lámpara ultravioleta o visible o infrarroja, u otras fuentes de radiación electromagnética, o fuente de haz de electrones, dependiendo del material de modelado que se use. La fuente de radiación 18 puede incluir cualquier tipo de dispositivo emisor de radiación, incluyendo, sin limitación, diodo fotoemisor (LED), sistema procesador de luz digital (DLP), lámpara resistiva y análogos. La fuente de radiación 18 sirve para curar o solidificar el material de modelado. En varias realizaciones ejemplares de la invención, la operación de la fuente de radiación 18 es controlada por el controlador 20 que puede activar y desactivar la fuente de radiación 18 y también puede controlar opcionalmente la cantidad de radiación generada por la fuente de radiación 18.

En algunas realizaciones de la presente invención, la fuente de radiación 18 está configurada para moverse recíprocamente con relación a la bandeja a lo largo de la dirección radial r . Estas realizaciones son útiles cuando la longitud de la fuente de radiación 18 es más corta que la anchura a lo largo de la dirección radial de la zona de trabajo 26 en la bandeja 12. El movimiento de la fuente de radiación 18 a lo largo de la dirección radial es opcional y preferiblemente es controlada por el controlador 20. Una ilustración representativa de un mecanismo adecuado para mover la fuente de radiación 18 a lo largo de la dirección radial se ilustra en la figura 1D. En la figura 1D se representa una fuente de radiación 18 montada en una etapa 56 dispuesta para establecer el movimiento recíproco de la fuente de radiación 18 a lo largo de la dirección radial. Así, las presentes realizaciones contemplan una fuente de radiación y un cabezal de impresión, siendo controlable cada uno independientemente para movimiento en la dirección radial a lo largo de una etapa de movimiento separada. 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, por lo tanto, tienen que moverse simultáneamente. En algunas realizaciones de la invención, el controlador 20 está configurado para mover la fuente de radiación 18 y el cabezal 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 de radiación 18 y el cabezal o los cabezales 18 de forma no simultánea independientemente a lo largo de la dirección radial durante la operación del sistema 10. Estas realizaciones son especialmente útiles cuando se desea seleccionar el tiempo en el que se inicia el curado, por ejemplo, para retardar el curado, como se detalla mejor más adelante.

La fuente de radiación 18 y/o el controlador 20 están configurados opcional y preferiblemente para asegurar que la velocidad de curado del material de construcción dispensado sea generalmente (por ejemplo, dentro de 20% o dentro de 10% o dentro de 5% o dentro de 1%) la misma para las gotitas dispensadas en posiciones radiales diferentes. Típicamente, esto se logra configurando o controlando la fuente de radiación 18 para distribuir energía a diferentes velocidades a posiciones que están a distancias diferentes del eje 14. Preferiblemente, la velocidad a la

que la fuente 18 distribuye energía, disminuye linealmente con la distancia del eje 14. Específicamente, indicando con P_1 la velocidad de energía distribuida a una posición a una distancia r_1 del eje 14, y con P_2 la velocidad de energía distribuida a una posición a una distancia r_2 del eje 14, las tasas P_1 y P_2 satisfacen preferiblemente la relación $P_1/P_2 \approx r_1/r_2$.

5 La distribución de diferentes dosis de energía a posiciones que están a distancias diferentes del eje 14 se puede hacer en más de una forma. En algunas realizaciones de la presente invención, la fuente de radiación 18 tiene una forma ahusada, de modo que su anchura generalmente a lo largo de la dirección acimutal es estrecha en su extremo hacia dentro (más próximo al eje 14) que en su extremo que apunta hacia fuera (más lejos del eje 14). En algunas realizaciones de la presente invención, no todos los elementos emisores de radiación dentro de la fuente de radiación 18 (por ejemplo, LEDs o análogos) están caracterizados por la misma potencia de emisión. En estas realizaciones, los elementos emisores están distribuidos preferiblemente radialmente a lo largo de la fuente de radiación 18 de tal manera que los elementos con menor potencia de emisión están más próximos al extremo hacia dentro y los elementos con potencia de emisión más alta están más próximos al extremo hacia fuera. Preferiblemente, los elementos emisores están distribuidos de tal manera que la potencia de emisión disminuye linealmente con la distancia desde el extremo hacia dentro. En algunas realizaciones de la presente invención, todos los elementos emisores de radiación dentro de la fuente de radiación 18 (por ejemplo, LEDs o análogos) están caracterizados por la misma potencia de emisión, pero el controlador 20 controla individualmente cada elemento emisor de radiación o cada grupo de elementos emisores de radiación para emitir radiación a una potencia diferente. Esto se puede hacer generando diferentes campos eléctricos dentro de diferentes elementos emisores de radiación o grupos diferentes de elementos emisores de radiación. También se contempla la combinación de las realizaciones anteriores (por ejemplo, fuente ahusada con elementos emisores de radiación de los que no todos emiten a la misma potencia de emisión).

25 Los autores de la presente invención han observado que el intervalo de tiempo entre el evento en el que el material de construcción es dispensado y el evento en el que el material nuevamente dispensado está expuesto a la radiación procedente de la fuente 18 puede afectar a la exactitud, el acabado superficial, y la calidad de impresión general del objeto impreso. En general, los intervalos de tiempo más cortos entre estos eventos dan lugar a menos ganancia de punto y mejor calidad del objeto impreso. Por otra parte, los autores de la presente invención hallaron que colocar la fuente 18 en estrecha proximidad con el cabezal o los cabezales 16 puede tener efectos adversos en los chorros dispensados desde el cabezal o los cabezales 16. Sin querer quedar vinculados a ninguna teoría concreta, se considera que estos efectos son debidos a la radiación que es reflejada de la bandeja 12 o del material de construcción de la bandeja 12 en la dirección de las boquillas del cabezal o los cabezales 16.

35 Los autores de la presente invención realizaron experimentos para determinar una disposición geométrica preferida de la fuente 18 y el cabezal o los cabezales 16 de tal manera que se logre adecuada calidad de impresión reduciendo al mismo tiempo o minimizando el daño de las boquillas. Los experimentos se describen en la sección de ejemplos siguiente. En base a datos experimentales obtenidos según algunas realizaciones de la presente invención, se logró una adecuada calidad de impresión cuando el tiempo de curado era aproximadamente 0,5 segundos, y preferiblemente no más de 0,75 segundos. Así, la separación acimutal entre la fuente 18 y el cabezal o los cabezales 16 es preferiblemente de entre $0,3\omega$ radianes y $0,75\omega$ radianes, donde ω es la velocidad angular media de la bandeja 12 con relación al cabezal o los cabezales 16 y la fuente 18. Típicamente, aunque no necesariamente, la separación acimutal entre el cabezal o los cabezales 16 y la fuente 18 es de aproximadamente 30° a aproximadamente 120° , más preferiblemente de aproximadamente 40° a aproximadamente 110° , más preferiblemente de aproximadamente 45° a aproximadamente 100° , más preferiblemente de aproximadamente 45° a aproximadamente 90° , más preferiblemente de aproximadamente 55° a aproximadamente 90° .

50 En algunas realizaciones de la invención, el sistema 10 incluye además uno o varios dispositivos niveladores 32 que pueden fabricarse como un rodillo o una cuchilla. El dispositivo nivelador 32 sirve para enderezar la capa nuevamente formada antes de la formación de la capa sucesiva encima. En algunas realizaciones, el dispositivo nivelador 32 tiene la forma de un rodillo cónico colocado de tal manera que su eje de simetría 34 esté basculado con relación a la superficie de la bandeja 12 y su superficie sea paralela a la superficie de la bandeja. Esta realización se ilustra en la vista lateral del sistema 10 (figura 1B).

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

60 El ángulo de abertura del rodillo cónico se selecciona preferiblemente de tal manera que sea una relación constante entre el radio del cono en cualquier posición a lo largo de su eje 34 y la distancia entre dicha posición y el eje 14. Esta realización permite que el rodillo 32 nivele eficientemente las capas, dado que, mientras el rodillo gira, 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 de punto p . En algunas realizaciones, el rodillo tiene una forma de un tronco cónico que tiene una altura h , un radio R_1 en su distancia más próxima del eje 14, y un radio R_2 en su distancia más alejada del eje 14, donde los parámetros h , R_1 y R_2 satisfacen la relación $R_1/R_2=(R-h)/h$ y donde R es la distancia más alejada del rodillo con respecto al eje 14 (por ejemplo, R puede ser el radio de la bandeja 12).

65

La operación del dispositivo nivelador 32 es controlada opcional y preferiblemente por el controlador 20 que puede activar y desactivar el dispositivo nivelador 32 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 apuntar hacia el eje 14 o en dirección contraria a él.

5 Como se ha indicado, los cabezales 16 pueden moverse recíprocamente con relación 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 con respecto a cada uno de los cabezales de impresión. Preferiblemente, cada movimiento independiente está en un ángulo acimutal diferente. Por ejemplo, dos o más de
10 los cabezales pueden ir montados en diferentes ejes radiales dispuestos de modo que haya un ángulo de separación acimutal entre ejes adyacentes. Esta realización se ilustra en la figura 6, que representa tres cabezales 16a, 16b y 16c respectivamente montado en tres ejes radiales 62a, 62b y 62c. Como se representa, el ángulo de separación acimutal entre el eje 62a y el eje 62b es $\Delta\phi_2$ y el ángulo de separación acimutal entre el eje 62b y el eje 62c es $\Delta\phi_1$. Puede emplearse cualquier número de cabezales y cualquier número de ejes.

15 Los autores de la presente invención hallaron que, cuando la bandeja 12 gira de forma continua en la misma dirección, el tiempo de impresión total esperado aumenta con el número de pasadas de cabezales 16 a lo largo de la dirección radial, y no aumenta necesariamente con el número de objetos que se imprimen.

20 Supóngase, por ejemplo, que se pueden imprimir N objetos a distancias similares del eje 14 de tal manera que los cabezales 16 pueden formar todos estos objetos sin moverse a lo largo de la dirección radial, por ejemplo, todos los N objetos se imprimen en la zona exterior de la bandeja 12. Supóngase además que también se pueden imprimir M objetos adicionales a distancias similares del eje 14, pero las distancias de los M objetos difieren de las distancias de los N objetos. Este escenario se ilustra en la figura 8A, donde los N objetos se representan con cuadrados, y los M
25 objetos adicionales se representan con triángulos. El tiempo de impresión general esperado en función del número de objetos en este escenario se ilustra en la figura 8B. Para cualquier número de objetos que sea N o menos, el tiempo de impresión total 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 de impresión total también es generalmente el mismo, pero es más largo que el tiempo requerido para imprimir N objetos.

30 En algunas realizaciones, el ordenador 24 o el circuito de controlador 20 calcula el tiempo de impresión total esperado de todos los objetos, y visualiza el tiempo calculado en un dispositivo de visualización. En varias realizaciones ejemplares 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 incrementar de forma significativa el tiempo de impresión total. El número de objetos calculado puede visualizarse, y el sistema 10 puede imprimir el número de objetos calculado en base al procedimiento de optimización. En algunas realizaciones de la presente invención, el ordenador 24 o el circuito de controlador 20 calcula el tiempo de impresión total por objeto para varios
35 escenarios de impresión y visualiza el resultado del cálculo. El número de objetos impresos puede seleccionarse en base al resultado del cálculo (por ejemplo, seleccionando el número para el que el tiempo de impresión total por objeto es el más corto). Como un ejemplo representativo, supóngase que el tiempo de impresión total esperado para N_1 objetos en una cierta disposición es T_1 , de modo que el tiempo de impresión total por objeto es T_1/N_1 . Supóngase además que para $N_2 < N_1$ el tiempo de impresión total esperado es T_2 . Cuando $T_1/N_1 < T_2/N_2$, el sistema 10 se usa para una impresión simultánea de N_1 objetos y cuando $T_1/N_1 > T_2/N_2$, el sistema 10 se usa para una impresión simultánea de N_2 objetos.

40 El procedimiento de optimización que calcula el número de objetos a imprimir también puede recibir datos pertenecientes al material de construcción general que hay en el sistema (por ejemplo, en el suministro 42). Cuando la cantidad de material requerida para imprimir los objetos es mayor que la cantidad de material que hay en el suministro 42, el controlador 20 puede emitir una alerta. Alternativa o adicionalmente, el controlador 20 puede generar salida con respecto a un número reducido de objetos que pueden imprimirse usando el material disponible en el suministro 42, en cuyo caso el sistema 10 puede ser usado para imprimir el número reducido de objetos, aunque ese número no sea óptimo desde el punto de vista del gráfico ejemplificado representado en la figura 8B.
45

50 Los autores de la presente invención hallaron que la reasignación del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial puede afectar a la resolución de impresión dado que una reasignación de la impresión a lo largo de la dirección radial da lugar a un cambio de las distancias entre el eje de rotación y cada una de las boquillas en la serie de boquillas del cabezal.

55 Los autores de la presente invención hallaron más de una solución a este problema.

60 En algunas realizaciones, el controlador 20 varía la velocidad de rotación de la bandeja 12 en respuesta a la posición radial del cabezal de impresión 16. Preferiblemente, cuando el cabezal de impresión 16 es recolocado de manera que esté más próximo al eje 14, el controlador 20 incrementa la velocidad de rotación de la bandeja 12, y cuando el cabezal de impresión 16 es recolocado de manera que esté más lejos del eje 14, el controlador 20 reduce la velocidad de rotación de la bandeja 12. La cantidad de cambio de la velocidad de rotación se selecciona preferiblemente de tal manera que, cuando el cabezal de impresión 16 opere a la misma velocidad de dispensación,
65

la resolución de impresión de cabezal 16 antes de la reasignación a lo largo de la dirección radial sea la misma que la resolución de impresión del cabezal 16 después de la reasignación a lo largo de la dirección radial. Como un ejemplo representativo, considérese un cabezal de impresión que dispensa inicialmente material de construcción a una distancia r_1 del eje 14, mientras que la velocidad de rotación de la bandeja 12 es ω_1 . El cabezal de impresión es
 5 recolocado después a lo largo de la dirección radial para dispensar material de construcción a una distancia r_2 del eje 14, y el controlador cambia la velocidad de rotación de la bandeja 12 a $\omega_2 \neq \omega_1$. En varias realizaciones ejemplares de la invención, se selecciona ω_2 para satisfacer la relación $\omega_1/\omega_2 = r_2/r_1$.

En algunas realizaciones, el controlador 20 varía la velocidad de dispensación de cabezal de impresión 16 en respuesta a la posición radial del cabezal de impresión 16. Preferiblemente, cuando el cabezal de impresión 16 es
 10 recolocado de manera que esté más próximo al eje 14, el controlador 20 reduce la velocidad de dispensación, y cuando el cabezal de impresión 16 es recolocado de manera que esté más lejos del eje 14, el controlador 20 incrementa la velocidad de dispensación. La cantidad de cambio de la velocidad de dispensación se selecciona preferiblemente de tal manera que la resolución de impresión del cabezal 16 antes de la reasignación a lo largo de la
 15 dirección radial sea la misma que la resolución de impresión del cabezal 16 después de la reasignación a lo largo de la dirección radial.

En algunas realizaciones, el controlador 20 controla uno o varios de los cabezales de impresión 16 para dispensar gotitas de tal manera que una distancia acimutal entre gotitas secuencialmente dispensadas varíe en función de una
 20 posición del cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial. Estas realizaciones se ilustran en las figuras 4A y 4B. En la figura 4A se representan varias gotitas (círculos sólidos) dispensadas sobre la bandeja 12 mientras que el cabezal de impresión (no representado) está a tres distancias diferentes Δr_1 , Δr_2 y Δr_3 del eje de rotación 14. Se ilustran cuatro gotitas para cada distancia. A la distancia más corta Δr_1 del eje 14, las gotitas están a una distancia próxima una a otra a lo largo de la dirección acimutal, a la distancia más corta siguiente Δr_2 , las gotitas están
 25 separadas una de otra a lo largo de la dirección acimutal, y a la distancia más larga Δr_3 , las gotitas están más separadas una de otra a lo largo de la dirección acimutal. Tal protocolo de dispensación puede asegurarse señalizando a los cabezales de impresión que abandonen una o varias posiciones vacías entre sucesivas deposiciones de gotitas durante la rotación de la bandeja 12.

El protocolo de dispensación anterior puede ser ejecutado en dispensación entrelazada. Esta realización se ilustra en la figura 4B. En la figura 4B se representan gotitas adicionales dispensadas durante pasadas adicionales de la
 30 bandeja con respecto a las posiciones respectivas de los cabezales de impresión. Las gotitas se representan como círculos sólidos, círculos abiertos y círculos cruzados. Algunas gotitas están entrelazadas a lo largo de la dirección acimutal.

Específicamente, la figura 4B representa gotitas adicionales (círculos abiertos) dispensadas mientras el cabezal de impresión está a las distancias Δr_2 y Δr_3 , y más gotitas adicionales (círculos cruzados) dispensadas mientras el
 35 cabezal de impresión está a la distancia Δr_3 . Cuando el cabezal de impresión está a la distancia Δr_1 , dispensa todas las gotitas (círculos sólidos) durante una sola pasada de la bandeja. Cuando el cabezal de impresión está a la distancia Δr_2 , dispensa 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 está a la distancia Δr_3 , dispensa primero gotitas (círculos sólidos) durante la primera pasada de la bandeja, segundas gotitas (círculos abiertos) durante la segunda pasada de la bandeja, y terceras gotitas (círculos cruzados) durante la tercera
 40 pasada de la bandeja. Así, en estas realizaciones, el cabezal de impresión es controlado por el controlador 20 para ejecutar dispensación entrelazada, donde al menos una gotita es dispensada entre dos gotitas previamente dispensadas y en la misma posición vertical.

La dispensación entrelazada se caracteriza típicamente por un nivel de entrelazado que indica cuántas pasadas son necesarias para llenar un contorno. En la realización ejemplificada ilustrada en la figura 4B, que no se ha de
 50 considerar como limitativa, se imprimen tres contornos, cada uno en forma de un arco de un círculo. El contorno a la distancia Δr_1 es dispensado sin entrelazamiento. Se dice que el contorno a la distancia Δr_2 es dispensado a un nivel de entrelazado de 2 pasadas (para indicar que se precisan dos pasadas de la bandeja para llenar el contorno) o, equivalentemente, a un nivel de entrelazado de 50% (para indicar que en cada pasada se llena 50% del contorno). Se dice que el contorno a la distancia Δr_3 es dispensado a un nivel de entrelazado de 3 pasadas (para indicar que se precisan tres pasadas de la bandeja para llenar el contorno) o, equivalentemente, a un nivel de entrelazado de
 55 33,33% (para indicar que en cada pasada se llena 33,33% del contorno). A menudo, el término "dispensación entrelazada" se entiende en sentido amplio abarcando también la situación en la que el contorno se llena durante una sola pasada. Con tal generalización del término, se dice que el contorno a la distancia Δr_1 es dispensado a un nivel de entrelazado de 1 pasada, o, equivalentemente, a un nivel de entrelazado de 100%.

Por lo tanto, las presentes realizaciones contemplan un nivel de entrelazado que varía en función de la posición de cabezal de impresión a lo largo de la dirección radial.

Las presentes realizaciones también contemplan la dispensación entrelazada, donde las gotitas dispensadas son entrelazadas a lo largo de la dirección radial. En estas realizaciones, el cabezal dispensa gotitas de tal manera que
 65 haya un intervalo entre gotitas simultáneamente dispensadas, donde la longitud del intervalo a lo largo de la

dirección radial (denominado aquí un intervalo radial) es de al menos el diámetro de una gotita dispensada, y es preferiblemente un múltiplo entero del diámetro de una gotita dispensada. A continuación, el cabezal es desplazado a lo largo de la dirección radial de modo que, en una pasada posterior de la bandeja, el cabezal dispense gotitas para llenar o llenar parcialmente los intervalos radiales. La ventaja de la dispensación 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 la serie de boquillas del cabezal.

Cuando el sistema 10 incluye dos o más cabezales de impresión de material de modelado, el entrelazado a lo largo de la dirección radial también se puede lograr mediante la alineación juiciosa de los cabezales de impresión. En estas realizaciones dos o más cabezales de impresión de material de modelado están alineados de tal manera que sus series de boquillas estén dispuestas de manera entrelazada. Un ejemplo representativo de estas realizaciones se ilustra en la figura 7, que ilustra la correspondiente a un cabezal diferente de impresión por inyección de tinta (no representado), donde la distancia entre los círculos 72 y 74 a lo largo de la dirección radial es menor que la distancia entre boquillas contiguas más próximas en cada serie.

En la presente invención, el controlador 20 interrumpe la dispensación durante el movimiento recíproco de los cabezales de impresión a lo largo de la dirección radial. Después de que el cabezal de impresión está estacionario en una posición radial nueva, el controlador 20 controla el cabezal de impresión para reanudar la dispensación. Esto se puede hacer en más de una forma.

En algunas realizaciones, el controlador 20 reanuda la dispensación en la misma coordenada acimutal en la que se interrumpió la dispensación. En estas realizaciones, el período de tiempo durante el que se interrumpe la dispensación es igual al período de rotación de la bandeja 12 o un múltiplo entero del mismo. Así, el protocolo de dispensación es tal que, después de que el cabezal de impresión está estacionario en una posición radial nueva, el controlador 20 espera hasta que la misma posición acimutal esté directamente debajo de los cabezales de impresión y entonces reanuda la impresión.

En algunas realizaciones, el controlador 20 reanuda la dispensación en una coordenada acimutal que está desviada con relación a una coordenada acimutal en la que se interrumpió la dispensación. Esto se puede hacer en más de una forma, como se explicará ahora con referencia a las figuras 5A-F.

La figura 5A ilustra una situación en la que el cabezal de impresión 16 (representado para simplicidad como una barra negra) se mueve recíprocamente entre una primera posición radial r_1 y una segunda posición radial r_2 . Durante el movimiento recíproco a lo largo de la dirección radial, la bandeja 12 sigue girando, de modo que la bandeja 12 asume diferentes orientaciones acimutales. En la ilustración representativa, el cabezal 16 está en la primera posición radial r_1 cuando la bandeja 12 asume la orientación acimutal indicada con ϕ_0 y ϕ_2 , y en la segunda posición radial r_2 cuando la bandeja 12 asume las orientaciones acimutales indicadas con ϕ_1 y ϕ_3 . Cada orientación acimutal corresponde a una posición acimutal de la bandeja debajo del cabezal 16. Según las presentes realizaciones, cuando el cabezal 16 llega a r_2 en el primer tiempo reanuda la dispensación en la posición acimutal ϕ_1 que está desviada con relación a ϕ_0 , cuando el cabezal 16 vuelve a r_1 , reanuda la dispensación en la posición acimutal ϕ_2 que está desviada con relación a ϕ_1 , y cuando el cabezal 16 llega a r_2 en el segundo tiempo, reanuda la dispensación en la posición acimutal ϕ_3 que está desviada con relación a ϕ_2 .

La figura 5B ilustra una realización preferida en la que los objetos se imprimen ocupando un rango predeterminado de ángulos acimutales sobre la bandeja 12. El rango predeterminado es preferiblemente 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 figura 5B se representa una primera zona 90 y una segunda zona 92 en la bandeja 12, donde la zona 90 representa el rango predeterminado de ángulos acimutales en el que se imprimen objetos. Cada una de las zonas 90 y 92 tiene forma de sector circular. Preferiblemente, la longitud de arco de la zona 92 es más corta que la longitud de arco de la zona 90. Así, se imprimen uno o varios objetos en la zona 90 de la bandeja 12 y la zona 92 permanece desprovista de objetos impresos encima, preferiblemente en todo momento. La zona 90 se denomina la zona ocupada y la zona 92 se denomina la zona desocupada. El uso de una zona ocupada y una zona desocupada es útil para la temporización del movimiento de los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial. En estas realizaciones, el controlador 20 señala a los cabezales 16 que se muevan a lo largo de la dirección radial solamente cuando estén encima de la zona desocupada, por ejemplo, la zona 92.

Las figuras 5C-F ilustran un protocolo de dispensación en el que cabezales 16 se mueven radialmente solamente cuando están encima de la zona desocupada. En las figuras 5C-F, flechas arqueadas sólidas representan las trayectorias a lo largo de las que los cabezales 16 pueden dispensar material de construcción, mientras que no hay movimiento relativo de los cabezales 16 con relación a la bandeja 12 a lo largo de la dirección radial. Los círculos sólidos marcan diferentes bandas de las trayectorias. Los movimientos del cabezal 16 a lo largo de la posición radial, mientras la bandeja 12 gira, se ilustran con flechas de puntos. Las coordenadas acimutales correspondientes a la zona 92 (y en consecuencia también a la zona 90) se indican con ϕ_1 y ϕ_2 .

En las figuras 5C-F se representan 6 trayectorias, indicadas con 94a a 98b. Cada trayectoria dentro de la misma banda puede corresponder a una boquilla diferente del cabezal 16 o a la misma boquilla, pero desplazada a lo largo

de la dirección radial para efectuar dispensación entrelazada a lo largo de la dirección radial, como se ha detallado mejor anteriormente. Así, cuando se emplea dispensación entrelazada a lo largo de la dirección radial, la diferencia entre las posiciones radiales de trayectorias adyacentes dentro de la misma banda (trayectorias 94a y 94b, trayectorias 96a y 96b, y trayectorias 98a y 98b, en el ejemplo presente) puede ser el diámetro de una gotita dispensada, y cuando no se emplea dispensación entrelazada a lo largo de la dirección radial, la diferencia entre las posiciones radiales de trayectorias adyacentes dentro de la misma banda puede ser la distancia entre boquillas adyacentes de la serie.

Las diferentes bandas de las trayectorias corresponden típicamente a desplazamientos radiales del cabezal 16 una cantidad que es múltiplo entero de la longitud de la serie de boquillas. Así, la diferencia entre las posiciones radiales de trayectorias correspondientes en dos bandas adyacentes (por ejemplo, entre las trayectorias 94a y 96a, las trayectorias 96a y 98a, las trayectorias 94b y 96b, las trayectorias 96b y 98b, en el ejemplo presente) puede ser, pero no es necesariamente, la longitud de la serie de boquillas del cabezal 16.

Se ha de entender que el número de trayectorias se ha reducido en las figuras 5C-F y que no se tiene la finalidad de limitar el alcance de la presente invención a 6 trayectorias. En general, el número de bandas de trayectorias es a lo sumo W/L , donde W es la anchura a lo largo de la dirección radial de la zona de trabajo 26 en la bandeja 12, y L es la longitud de la serie de boquillas del cabezal 16. Cuando se emplea dispensación entrelazada a lo largo de la dirección radial, el número total de trayectorias es preferiblemente a lo sumo W/D , y el número de trayectorias en cada banda es preferiblemente aproximadamente L/D , donde D es el diámetro característico de una gotita dispensada. Cuando no se emplea dispensación entrelazada a lo largo de la dirección radial, el número de trayectorias en cada banda es preferiblemente igual a lo sumo al número de boquillas en la serie. Preferiblemente, hay al menos dos o al menos tres bandas de trayectorias, y al menos dos o al menos tres o al menos cuatro trayectorias en cada banda.

Las figuras 5C y 5D describen un protocolo de dispensación en el que se emplea dispensación entrelazada a lo largo de la dirección radial. Con referencia a la figura 5C, el cabezal 16 dispensa material de construcción en una posición radial correspondiente a la trayectoria 94a. Cuando la bandeja llega a la posición acimutal φ_1 , el cabezal 16 está encima de la zona 92, y la dispensación se interrumpe temporalmente. Mientras el cabezal 16 todavía está encima de la zona 92, el cabezal 16 se desplaza hacia fuera a una posición radial correspondiente a la trayectoria 94b. El cabezal 16 no reanuda la dispensación al menos hasta que la bandeja llega a la posición acimutal φ_2 , a saber, cuando el cabezal 16 está encima de la zona 90. El proceso continúa hasta que los cabezales visitan todas o algunas de las trayectorias de la banda 94. El movimiento radial desde una banda a la otra también es ejecutado durante el período de tiempo en el que el cabezal 16 está encima de la zona 92, como se ilustra, por ejemplo, con las flechas de puntos que representan el movimiento radial del cabezal 16 desde la posición radial correspondiente a la trayectoria 94b a la posición radial correspondiente a la trayectoria 96a, y el movimiento radial del cabezal 16 desde la posición radial correspondiente a la trayectoria 96b a la posición radial correspondiente a la trayectoria 98a.

Cuando no se emplea dispensación entrelazada a lo largo de la dirección radial, el protocolo de dispensación no incluye desplazamientos radiales en una cantidad que sea igual a la diferencia entre las posiciones radiales de las trayectorias adyacentes dentro de la misma banda. En estas realizaciones, los desplazamientos radiales son una cantidad que es igual a la longitud de la serie de boquillas del cabezal 16. Estas realizaciones se ilustran en las figuras 5E y 5F. Con referencia a la figura 5E, el cabezal 16 dispensa material de construcción en una posición radial correspondiente a las trayectorias 94a y 94b desde dos boquillas diferentes. Cuando la bandeja llega a la posición acimutal φ_1 , el cabezal 16 está encima de la zona 92, y la dispensación está temporalmente interrumpida. Mientras el cabezal 16 todavía está encima de la zona 92, el cabezal 16 se desplaza hacia fuera a una posición radial correspondiente a la trayectoria 96a. El cabezal 16 no reanuda la dispensación al menos hasta que la bandeja llega a la posición acimutal φ_2 , a saber, cuando el cabezal 16 está encima de la zona 90. El proceso continúa a la banda 96 y a la banda 98.

Las figuras 5D y 5F describen protocolos de dispensación que son similares a las figuras 5C y 5E, respectivamente, a excepción de que el cabezal se desplaza hacia dentro sobre la zona 92. También se contemplan 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 ser ejecutados de forma alterna.

También se contemplan realizaciones en las que el controlador 20 reanuda la dispensación en una coordenada acimutal que es sustancialmente la misma (por ejemplo, dentro de menos de 1° o menos de $0,1^\circ$ o menos de $0,01^\circ$) como la coordenada acimutal en la que se interrumpió la dispensación.

Las figuras 5G y 5H ilustran protocolos de dispensación en los que la dispensación se reanuda en la misma coordenada acimutal en la que se interrumpió la dispensación, como se ha detallado mejor anteriormente. La figura 5G describe un protocolo de dispensación en el que el cabezal se mueve hacia fuera, y la figura 5H describe un protocolo de dispensación en el que el cabezal se desplaza hacia dentro. También se contemplan combinaciones de los protocolos descritos en las figuras 5G y 5H. Por ejemplo, estos protocolos pueden ser ejecutados de forma alterna. Las notaciones de las figuras 5G y 5H son las mismas que las de las figuras 5C-E anteriores.

En las realizaciones en las que el controlador 20 reanuda la dispensación en una coordenada acimutal desviada, los datos de impresión son ajustados de tal manera que las coordenadas polares correspondientes de diferentes porciones del objeto que corresponden a posiciones radiales diferentes también estén desviadas. Tal disposición de los datos la puede hacer el controlador 20 o el ordenador 24.

5 Un protocolo de dispensación según las ideas mostradas en la figura 5A es preferible a los protocolos de dispensación según las ideas mostradas en las figuras 5B-H desde el punto de vista de la producción de impresión. Un protocolo de dispensación según las ideas mostradas en las figuras 5B-F es preferible a los protocolos de dispensación según las ideas mostradas en la figura 5A desde el punto de vista de la simplicidad del manejo de datos. Un protocolo de dispensación según las ideas mostradas en las figuras 5G-H es preferible a los protocolos de dispensación según las ideas mostradas en las figuras 5A-F desde el punto de vista de la simplicidad del manejo de datos.

15 Los autores de la presente invención también contemplan realizaciones en las que el controlador 20 continúa la dispensación de material de construcción también durante el movimiento recíproco. En estas realizaciones, los datos de impresión son ajustados en respuesta al movimiento recíproco del cabezal. Tal protocolo de dispensación permite dispensar gotitas a lo largo de segmentos no circulares.

20 Como se ha indicado, la distancia vertical entre la bandeja 12 y los cabezales 16 puede variar para poder formar un objeto tridimensional capa a capa. En algunas realizaciones, el controlador 20 cesa la dispensación de material de construcción durante el movimiento vertical. Estas realizaciones son preferibles desde el punto de vista de la simplicidad del protocolo de dispensación.

25 Los autores de la presente invención hallaron que la temporización del movimiento vertical tiene un efecto en la calidad del objeto impreso. Los autores de la presente invención idearon, por lo tanto, 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. Éstas incluyen, por ejemplo, la dispensación de materiales de construcción por los cabezales 16, la nivelación de la capa recién impresa por el dispositivo nivelador 32 y el curado de la capa por las fuentes de radiación 18. Estas operaciones son ejecutadas típicamente en diferentes posiciones acimutales en 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 está sincronizada con los tiempos de estas operaciones secuenciales. Por ejemplo, el movimiento vertical puede iniciarse después de la última operación aplicada a la capa nuevamente formada (por ejemplo, después del curado de la capa efectuado por las fuentes de radiación 18) y antes de que la capa posterior sea dispensada.

35 En algunas realizaciones de la presente invención, el movimiento vertical se inicia inmediatamente (por ejemplo, dentro de menos de 1 segundo) cuando una capa nuevamente formada llega al dispositivo nivelador 32. Alternativamente, el movimiento vertical puede iniciarse de tal manera que el movimiento vertical se complete inmediatamente (por ejemplo, dentro de menos de 1 segundo) cuando una capa nuevamente formada llegue al dispositivo nivelador 32. Estas realizaciones son especialmente útiles en escenarios de impresión en los que no se desea reservar una zona desocupada en la bandeja 12 (por ejemplo, cuando la zona de las capas de un objeto a imprimir es mayor que el área de zona 90 de la figura 5B).

45 En las realizaciones en las que los objetos se imprimen ocupando un rango predeterminado de ángulos acimutales sobre la bandeja 12, donde se definen zonas ocupadas y desocupadas predeterminadas en la bandeja 12 (véase la figura 5B), el movimiento vertical es opcional y se ejecuta preferiblemente mientras la zona 90 está debajo del dispositivo nivelador 32 o debajo de los cabezales 16 o debajo de la fuente de radiación 18, muy preferiblemente debajo del dispositivo nivelador 32.

50 En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador 20 sigue dispensando el material de construcción también durante el movimiento de los cabezales 16 y/o la bandeja 12 a lo largo de la dirección vertical. Los cabezales siguen dispensando material de construcción durante el movimiento vertical. La ventaja de estas realizaciones es que reducen el tiempo de impresión total porque hay menos tiempo durante el que el sistema no dispensa material. En las realizaciones en las que la dispensación continúa, la transformación de coordenada incluye preferiblemente transformar las coordenadas de al menos una porción de los datos de objeto de ordenador a un sistema de coordenadas helicoidales.

60 El movimiento a lo largo de la dirección vertical es opcional y se ejecuta preferiblemente de tal manera que mientras los cabezales de impresión 16 dispensan los materiales de construcción, la bandeja 12 y los cabezales de impresión 16 experimentan al menos dos distancias verticales diferentes entremedio durante una sola rotación de la bandeja. En algunas realizaciones de la presente invención, el movimiento a lo largo de la dirección vertical es ejecutado durante una sola rotación de la bandeja 12, la distancia vertical se incrementa una cantidad que es aproximadamente igual a un grosor característico de una sola capa de material de construcción. Por ejemplo, cuando el grosor de una sola capa es t micras y la velocidad angular de rotación de la bandeja 12 es ω radianes por segundo, la distancia vertical puede incrementarse a una velocidad de $t \times \omega/2\pi$ micras por segundo, que es

equivalente a $t/360$ micras por grado de rotación de la bandeja 12. El movimiento a lo largo de la dirección vertical puede ser continuo o intermitente, a voluntad.

5 Cuando el sistema 10 incluye dos o más cabezales de impresión 16 para dispensar materiales de modelado, estos cabezales se pueden disponer sobre la bandeja 12 según el modo de impresión. Por ejemplo, cuando el mismo material de modelado es dispensado desde dos o más cabezales de material de modelado, estos cabezales se pueden disponer en una posición radial diferente, por ejemplo, las posiciones radiales r_1 , r_2 y r_3 ilustradas en la figura 6 para el caso de tres cabezales de impresión de material de modelado 16a, 16b y 16c, reduciendo por ello la necesidad de mover dichos cabezales a lo largo de la dirección radial. El número de cabezales de material de modelado puede seleccionarse de tal manera que, cuando estén desplegados en posiciones radiales diferentes, cubran toda la anchura de la zona de trabajo 26 a lo largo de la dirección radial.

15 Cuando los dos o más cabezales diferentes de material de modelado dispensan dos o más materiales de modelado diferentes, las posiciones radiales de estos cabezales son controladas independientemente por el controlador 20, dependiendo de las posiciones en la bandeja en la que los materiales de modelado diferentes han de ser dispensados.

20 Como se ha indicado anteriormente, en algunas realizaciones, los cabezales 16 se mueven recíprocamente con relación a la bandeja a lo largo de la dirección radial r por medio de una etapa dispuesta para establecer el movimiento recíproco de los cabezales 16 a lo largo de la dirección radial. Un ejemplo representativo de la etapa 52 adecuada para la presente realización se ilustra en la figura 10. En el ejemplo presente, el movimiento radial de los cabezales 16 es efectuado por un tornillo 130 que un motor 132 pone en movimiento rotacional. El motor 132 va montado opcional y preferiblemente en un extremo de la etapa 52 que está más próximo al eje 14 (no representado, véase, por ejemplo, la figura 1D). Un extremo 134 del tornillo 130 está conectado al motor 132. El otro extremo 136 puede no estar soportado, en cuyo caso el tornillo 130 sirve como un tornillo en voladizo, o puede estar soportado por una estructura de soporte de tornillo 138.

30 Los autores de la presente invención hallaron que, cuando el cabezal 16 se mueve a lo largo de la etapa 52, en particular por medio de un tornillo rotativo, la posición radial del cabezal es susceptible de inexactitudes que varían en función de la posición radial. Las inexactitudes se denominan aquí errores de forma intercambiable.

35 Según algunas realizaciones de la presente invención, se aplica una función de compensación para compensar al menos parcialmente la variación de las inexactitudes en función de la posición radial. Preferiblemente, la función de compensación se selecciona para compensar al menos parcialmente variaciones no oscilatorias de la inexactitud. La función de compensación puede ser aplicada por el controlador 20, donde, para cualquier desplazamiento del cabezal 16 desde una posición radial a la otra, el controlador 20 calcula, en base a la función de compensación, la inexactitud que se espera en el punto de destino y recalcula la posición radial del punto de destino con el fin de compensar la inexactitud calculada. El controlador 20 mueve entonces el cabezal 16 a la posición radial recalculada. Por ejemplo, cuando el cabezal 16 se ha de mover desde la posición radial r_1 a la posición radial r_2 , el controlador 20 utiliza la función de compensación para calcular la inexactitud Δr_2 que se espera en r_2 y mueve el cabezal 16 a la posición radial $r_2 - \Delta r_2$, donde Δr_2 puede ser positivo, cero o negativo.

45 La función de compensación depende típicamente de las propiedades mecánicas del tornillo 130 y de la rigidez de la conexión entre el tornillo 130 y la etapa 52.

50 La figura 11A representa las inexactitudes esperadas en función de la distancia desde el extremo 134 cuando el extremo 136 del tornillo 130 es soportado por una estructura de soporte. En la figura 11A, el gráfico 140 describe la variación del error en la posición radial en función de la distancia desde el extremo 134. Como se representa, el error exhibe un comportamiento oscilante con una media que incrementa con la distancia desde el extremo 134. El cambio de la media es aproximadamente lineal. Así, en estas realizaciones, el controlador 20 emplea una función de compensación generalmente lineal (por ejemplo, con desviación de la linealidad de menos de 20% o menos de 10% o menos de 5% o menos de 1%). La inclinación y la intersección de la función lineal pueden ser calculadas en base a las propiedades mecánicas del tornillo 130, por ejemplo, su módulo de elasticidad y su segundo momento de área. Alternativamente, la inclinación y la intersección pueden ser calculadas midiendo el error en función de la posición radial para obtener experimentalmente la línea 140, y encajando la media de la línea obtenida experimentalmente en una función lineal. Un ejemplo representativo de una función de compensación adecuada para las presentes realizaciones se muestra en 142, y el resultado de la compensación se expone en 144 (figura 11A). Como se representa, el error todavía es oscilante, pero el error medio es sustancialmente cero.

60 La figura 11B representa las inexactitudes esperadas 146 en función de la distancia desde el extremo 134 cuando el tornillo 130 es un tornillo en voladizo, a saber, cuando el extremo 136 no está soportado. También se muestran, para comparación, las inexactitudes esperadas 140 cuando el extremo 136 es soportado. Como se representa, la media de las inexactitudes 146 aumenta de forma no lineal en función de la distancia desde el extremo 134, y es significativamente más alta en comparación con la media de las inexactitudes 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 incluir una función polinomial de grado n , donde $n > 1$. Los coeficientes de la función

polinomial pueden ser calculados midiendo el error en función de la posición radial para obtener experimentalmente la línea 146, y encajando la media de la línea experimentalmente obtenida en una función polinomial de grado n.

5 Teóricamente, cuando una viga unidimensional a lo largo de una dirección x es soportada en x=0 y sometida a una carga concentrada P en su extremo libre en x=L, la viga exhibe una forma curvada que puede ser aproximada como un polinomio de tercer grado dado por $y=Px^2(3L-x)/(6EI)$, donde E e i son el módulo de elasticidad de la viga y el segundo momento de área, respectivamente, e y se mide perpendicularmente a x. Así, la función de compensación no lineal incluye preferiblemente un polinomio de tercer grado.

10 Un ejemplo representativo de una función de compensación polinomial de tercer grado adecuada para las presentes realizaciones se representa en la figura 11C en 148. El resultado de la compensación se muestra en 150. Como se representa, el error todavía es oscilante, pero el error medio está próximo a cero. En experimentos realizados por los autores de la presente invención, el error máximo en ausencia de compensación (línea 146) era aproximadamente 119 µm, y el error máximo después de la compensación (línea 150) era aproximadamente 30 µm.

15 Típicamente, el material de construcción es suministrado a un sistema FA, tal como, aunque sin limitación, el sistema 10, con cartuchos prellenados. Los cartuchos se instalan en el sistema FA y conectan a un sistema de distribución a través del que el material de construcción es depositado para impresión. Los cartuchos son sustituidos una vez que el suministro de material de construcción está a punto de agotarse. Se desea que la extracción y la instalación de los cartuchos se puedan realizar fácilmente y sin herramientas adicionales.

20 Típicamente, los cartuchos son desechables, pero hay que vaciarlos antes de tirarlos para un desecho seguro. Es un reto típico agotar todo el contenido de los cartuchos durante la operación sin impedir el proceso de fabricación. Sin embargo, el agotamiento completo o casi completo de los cartuchos es deseable porque maximiza la capacidad de impresión del cartucho y minimiza el desperdicio de material de construcción caro.

25 Según algunas realizaciones de la presente invención, se instalan múltiples cartuchos en un alojamiento de cartuchos en un ángulo que promueve el flujo del contenido hacia una conexión fluidica usada para distribuir el material de construcción durante la fabricación aditiva, por ejemplo, la impresión. En algunas realizaciones ejemplares, el cartucho se ha formado con una cavidad, o una depresión, en una pared del cartucho en o cerca de la zona más baja del cartucho de modo que una salida del material de construcción esté próxima a la zona 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 promover flujo hacia la cavidad. Opcionalmente, el alojamiento aloja 4-10, por ejemplo, 6 cartuchos, y está construido de modo que pueda sacarse fácilmente de la impresora permitiendo el acceso para el servicio del sistema de distribución de material de construcción que por lo demás está conectado a los cartuchos durante la operación del sistema FA, por ejemplo, el sistema 10. Según algunas realizaciones de la presente invención, cada uno de los cartuchos se instala con un bloqueo elástico que sujeta el cartucho en posición después de la instalación y se libera fácilmente cuando el cartucho tiene que ser sustituido.

40 Se hace referencia ahora a la figura 16 que representa un cartucho ejemplar según algunas realizaciones de la presente invención. Según algunas realizaciones de la presente invención, un cartucho 300 para un sistema FA, tal como, aunque sin limitación, el sistema 10, incluye un alojamiento 305 para almacenar material de construcción, por ejemplo material de construcción, una conexión fluidica 340 para conectar el cartucho 300 a una unidad de distribución del sistema FA, uno o varios sensores 350 para detectar la presencia de contenido en el cartucho 300 y/o para identificar el contenido, y un agujero de ventilación 360 a la atmósfera. Según algunas realizaciones de la presente invención, el cartucho 300 incluye adicionalmente un muelle de bloqueo con un mango 330 para bloquear el cartucho en el sistema FA de modo que se pueda establecer una conexión estable entre el cartucho y una unidad dispensadora del sistema FA. Según algunas realizaciones de la presente invención, el cartucho 300 está inclinado un ángulo 'a' cuando está instalado en el sistema FA. La inclinación del cartucho 300 promueve el flujo del contenido hacia la conexión fluidica 340. Opcionalmente, el ángulo 'a' es de entre 2-10 grados, por ejemplo 2 grados. Según algunas realizaciones de la presente invención, el alojamiento 305 se ha formado con una cavidad o depresión 320 en el punto más bajo del cartucho y una salida a través de la conexión fluidica 340 está alineada próxima a la cavidad 320 de modo que puede acumularse contenido cerca de la salida.

55 Se hace referencia ahora a la figura 17 que representa un sistema de impresión 2D rotativo ejemplar con cartuchos, y a la figura 18 que representa un alojamiento de cartucho ejemplar según algunas realizaciones de la presente invención. En algunas realizaciones ejemplares, los cartuchos 300 se instalan en un sistema FA rotativo 400. Los principios y las operaciones del sistema 400 pueden ser similares a los principios y las operaciones del sistema 10, añadiendo debajo el cartucho y el alojamiento de cartucho a voluntad. Alternativamente, el cartucho 300 puede ser usado en otros sistemas FA, por ejemplo, sistemas FA lineales. Típicamente, el sistema rotativo FA 400 incluye una cámara de impresión 420 en la que se fabrica un objeto dispensando material sobre la bandeja de construcción 12 capa a capa y una cámara de cartucho 455 para alojar uno o varios cartuchos 300.

65 Típicamente, los cartuchos 300 están conectados a una unidad dispensadora para dispensar selectivamente material sobre la bandeja 12, mientras la bandeja 12 gira. Según algunas realizaciones de la presente invención, múltiples cartuchos, por ejemplo, 4-10 cartuchos, están alojados en un alojamiento de cartucho 420 y bloqueados en

posición por un muelle de bloqueo 410. Con referencia de nuevo a la figura 16, el muelle de bloqueo 410 es empujado hacia abajo por el cuerpo de cartucho cuando está instalado en el alojamiento 420. Cuando el cartucho está completamente instalado, el bloqueo salta detrás del cartucho para bloquearlo en posición. Esto permite instalar con una mano el cartucho en la impresora. Para liberar el bloqueo, el muelle de bloqueo puede ser presionado hacia abajo expulsando el cartucho del alojamiento 420. Cada uno de los cartuchos puede ser sustituido independientemente de los otros. El bloqueo de un cartucho 300 en posición establece una conexión de fluido entre el cartucho 300 y los cabezales dispensadores del sistema FA (por ejemplo, los cabezales 16).

Siguen varios modos de impresión contemplados en cualquiera de las realizaciones anteriores.

En el sentido en que se usa aquí "exploración acimutal" 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 acimutal. En este modo de exploración, el material de construcción es dispensado preferiblemente solamente durante el movimiento relativo a lo largo de un recorrido que es equidistante del eje 14. Tal recorrido se denomina aquí un arco circular.

Un ejemplo representativo de una exploración acimutal es el siguiente. Mientras el cabezal está estático y la bandeja gira. Mientras la bandeja está girando, cada boquilla visita múltiples posiciones deseadas en una capa previamente formada o la superficie de la bandeja a lo largo de un arco circular. El controlador decide, con respecto a cada posición deseada o a un grupo de posiciones deseadas, si la posición deseada o el grupo de posiciones deseadas ha de ser ocupada o no por material de construcción, y qué tipo de material de construcción se le ha de distribuir. La decisión se realiza según una imagen de ordenador de la superficie. Opcionalmente, el cabezal dispensador se desplaza entonces en la dirección radial sin dispensar material de construcción.

En el sentido en que se usa aquí "exploración vectorial" se refiere a un modo de exploración en el que el movimiento relativo entre el cabezal o los cabezales 16 y la bandeja es a lo largo de un recorrido que es seleccionado dinámicamente por un controlador según la imagen de ordenador de la capa. Opcionalmente, el recorrido es distinto de un arco circular. Opcionalmente, al menos parte del recorrido no es paralela a los límites de la superficie de trabajo sobre la que tiene lugar la dispensación.

Así, a diferencia de la exploración acimutal en la que cualquier movimiento del cabezal es paralelo a las direcciones r o ϕ , el movimiento en la exploración vectorial puede ser a lo largo de cualquier recorrido, no necesariamente paralelo a las direcciones r o ϕ .

En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador selecciona el modo de exploración en base a los datos de posición bidimensional correspondientes a la capa que se construye. En exploración vectorial, la producción de una capa dada es controlada por el tamaño de la zona a cubrir con materiales de soporte o de construcción, y, por lo tanto, los objetos no voluminosos se construyen más rápidamente que los voluminosos. En exploración acimutal, por otra parte, la producción no es controlada necesariamente por la zona donde el material tiene que ser depositado, sino que es controlada por el número de pasadas de exploración que el cabezal tiene que realizar con el fin de depositar dichos materiales. Por ejemplo, construir una barra con eje paralelo al eje Z dura el mismo tiempo que construir un tubo de la misma longitud y diámetro, si se imprimen usando el modo de exploración acimutal; mientras que construir la misma barra dura mucho más tiempo que construir el mismo tubo si se usa un modo de exploración vectorial.

Así, en algunas realizaciones, se emplea exploración acimutal cuando la producción obtenida es similar o mayor que la producción obtenida alternativamente por exploración vectorial. Esto depende de características del sistema tales como la velocidad de rotación, la velocidad de movimiento radial, el grosor de capa, etc.

En algunas realizaciones, se emplea deposición acimutal para depositar uno o varios materiales, y se emplea deposición vectorial para deposición de uno o varios materiales diferentes, según las propiedades o los atributos de los materiales depositados y/o de las propiedades o atributos que se desea exhibir en el objeto final, mediante el uso y/o la posición específica de los materiales concretos seleccionados para deposición.

La exploración vectorial es ventajosa para imprimir "pistas" conductoras, tales como estructuras alargadas continuas, puesto que el cabezal de deposición vectorial puede depositar de forma continua material conductor en su movimiento paralelo a la bandeja. La exploración vectorial es opcional y preferiblemente 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.

El término "estructura alargada" se refiere a un cuerpo tridimensional en el que una de sus dimensiones es al menos 2 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. La dimensión más grande de la estructura alargada sólida se denomina aquí la dimensión longitudinal, y las dimensiones se denominan aquí las dimensiones transversales.

Un ejemplo representativo de múltiples estructuras alargadas 262 formadas en una capa 260 por exploración vectorial se ilustra en la figura 15A. La estructura también puede ser una estructura límite rodeando al menos parcialmente una zona llena con el primer material de construcción. Un ejemplo representativo de una estructura límite 266 formada en la capa 260 por exploración vectorial se ilustra en la figura 15B. La estructura también puede ser una estructura de conexión entre capas. En estas realizaciones, la estructura es preferiblemente pequeña (por ejemplo, menos de 1%) con relación al tamaño general de la capa. Un ejemplo representativo de la estructura entre capas 268 que conecta dos capas 260 y 270 se ilustra en la figura 15C. La estructura también puede estar incrustada dentro de una zona formada por la exploración acimutal. Por ejemplo, con referencia de nuevo a la figura 15A, la zona principal 272 de la capa 260 se puede formar por exploración acimutal donde las estructuras 262 pueden estar incrustadas dentro de la zona 272. La estructura también puede ser periférica con respecto a una capa. Esta realización se ilustra en la figura 15D que representa la capa 260 y la estructura 274 en su periferia.

La combinación de exploraciones acimutal y vectorial puede estar en cualquiera de las capas que forman el objeto. Específicamente, en algunas realizaciones, la combinación de exploraciones acimutal y vectorial se realiza para una capa interior dentro de múltiples capas, en algunas realizaciones, la combinación de exploraciones acimutal y vectorial se realiza para una capa superior, y en algunas realizaciones, la combinación de exploración acimutal y vectorial se realiza para una capa inferior. La combinación de exploraciones acimutal y vectorial también puede realizarse en múltiples capas, a voluntad.

El autor de la presente invención descubrió que es problemático exponer disolventes de baja viscosidad a altas temperaturas debido a la prematura evaporación del disolvente mientras el material de construcción todavía está en los cabezales dispensadores. Además, los autores de la presente invención hallaron que las altas temperaturas también pueden dañar el sustrato sobre el que se construye el objeto, por ejemplo, cuando el sustrato es un polímero.

Los autores de la presente invención observaron, por lo tanto, que es problemático dispensar a la misma temperatura tanto materiales curables por UV, que son demasiado viscosos a bajas temperaturas, como materiales de construcción que incluyen disolventes volátiles.

El problema anterior se ha resuelto de forma novedosa con una técnica en la que un material de construcción es dispensado a una temperatura alta (por ejemplo, superior a 60°C o superior a 65°C o superior a 70°C o superior a 75°C o al menos 80°C) y el otro material de construcción es dispensado a una temperatura baja (por ejemplo, inferior a 40°C o inferior a 35°C o inferior a 30°C).

Esto se puede hacer controlando individualmente la temperatura de cada material de construcción al mismo tiempo que se carga en el cabezal dispensador respectivo. Así, en varias realizaciones ejemplares de la invención, el controlador mantiene al menos dos cabezales dispensadores a diferentes temperaturas. Opcional y preferiblemente, el controlador efectúa exploraciones acimutales para la dispensación de materiales de construcción a temperaturas más altas, y exploraciones vectoriales para la dispensación de materiales de construcción a temperaturas más bajas.

Los autores de la presente invención hallaron que algunos materiales de modelado, en particular los materiales polimerizables por UV, exhiben deformación indeseada tal como rizado, durante la fabricación del objeto. Se descubrió que dicha tendencia al rizado es el resultado del encogimiento del material durante la transición de fase de líquido a sólido.

La extensión de rizado es una cantidad mensurable. Un proceso adecuado para medir la extensión del rizado puede incluir la fabricación de un objeto de 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 encima de la superficie.

En una investigación efectuada por los autores de la presente invención para resolver el problema del rizado, se halló que la extensión del rizado es proporcional a la extensión del encogimiento volumétrico que el material experimenta durante el proceso de polimerización y la diferencia de temperatura entre la temperatura de distorsión térmica (TDT) del material y la temperatura dentro del sistema durante la fabricación. Los autores de la presente invención hallaron que el rizado puede observarse en especial en materiales con un encogimiento volumétrico relativamente alto y TDT relativamente alta (por ejemplo, dentro del rango de la temperatura de polimerización). Los autores de la presente invención también descubrieron que hay una relación monotónica entre la TDT y la tendencia al rizado. Sin querer quedar vinculados a ninguna teoría, se postula que los materiales que durante el curado desarrollan TDT próxima a la temperatura dentro del sistema durante la fabricación, pueden experimentar relajación de esfuerzos o deformación plástica durante el proceso FA, más fácilmente que los materiales con similar encogimiento, pero que desarrollan TDT más alta.

En el sentido en que se usa aquí, el término "temperatura de distorsión térmica" (TDT) se refiere a una temperatura a la que el material respectivo o la combinación de materiales se deforman bajo una carga predeterminada a cierta

temperatura. Los procedimientos de prueba adecuados para determinar la TDT de un material o combinación de materiales son la serie ASTM D-648, en particular los métodos ASTM D-648-06 y ASTM D-648-07.

5 Por ejemplo, en sistemas PolyJet™, comercializados por Stratasys Ltd., Israel, se usan formulaciones que, a la irradiación UV, producen un material polimérico entrecruzado. Los objetos fabricados con estos materiales tienen rigidez relativamente alta con TDT más alta que la temperatura ambiente, por ejemplo, de aproximadamente 50°C o más alta. Se halló que tales valores TDT elevados proporcionan baja exactitud dimensional (efecto de rizado alto). Así, se descubrió que la TDT alta y el rizado bajo son propiedades contradictorias. Los autores de la presente invención realizaron un estudio experimental, entre otros, con la finalidad de proporcionar una técnica para la fabricación aditiva de un objeto tridimensional que tenga tanto alta exactitud dimensional (bajo efecto de rizado) con alta TDT inmediatamente después de finalizar la fabricación.

15 Los autores de la presente invención hallaron que la existencia de efecto de rizado o su ausencia dependen del tiempo transcurrido entre el curado de capas sucesivas. Específicamente, se halló que el efecto de rizado del objeto final puede reducirse o eliminarse poniendo un intervalo de tiempo suficientemente prolongado entre los inicios del curado de capas sucesivas.

20 En varias realizaciones ejemplares de la invención, el controlador 20 está configurado para operar el cabezal o los cabezales 16 y la fuente de radiación 18 de tal manera que, para al menos una, o al menos dos, o al menos tres de las capas que forman el objeto, por ejemplo, la mayoría o todas las capas, el curado de la capa respectiva se inicia al menos t segundos después del comienzo del curado de una capa inmediatamente precedente a la capa respectiva. Típicamente, pero no necesariamente, la capa respectiva tiene un grosor que es de aproximadamente 15 micras. En algunas realizaciones, la capa respectiva tiene un grosor de al menos 5 micras, por ejemplo, de aproximadamente 5 micras, o de aproximadamente 10 micras, o de aproximadamente 15 micras o de aproximadamente 30 micras. Otros grosores no quedan excluidos del alcance de la presente invención.

30 En varias realizaciones ejemplares de la invención, t es más largo que el tiempo general en el que se forma una sola capa, incluyendo los tiempos de dispensación y curado que dura el agregado. Por ejemplo, cuando el tiempo de formación general de una capa dada es 5 segundos, t es mayor que 5. La diferencia entre el tiempo de formación general y t se define como el "retardo". Así, a diferencia de los sistemas convencionales en los que cada capa es depositada y curada inmediatamente después del curado de la capa previa, el controlador 20 retarda la deposición y/o el curado de la capa hasta que el tiempo transcurrido desde el inicio del curado de la capa previa inmediata sea t o más segundos.

35 Los valores típicos 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 a lo sumo 25. En algunas realizaciones de la invención, t es menos de 6.

40 El valor de t también puede depender de las propiedades de los respectivos materiales usados para fabricar el objeto y opcionalmente también de la temperatura a la que se fabrica el objeto.

45 En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador 20 recibe datos TDT que caracterizan el material de construcción que se usa. Los datos TDT corresponden típicamente a la TDT que el material adquiere una vez curado. Tales datos puede proporcionarlos, por ejemplo, el operador por medio del procesador de datos 24. Se ha de entender que no es necesario que el operador introduzca literalmente los datos TDT (aunque esto también se contempla). En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador o el procesador de datos acceden a una base de datos de valores TDT que puede estar almacenada en un medio de memoria (no representado) y seleccionar el valor TDT en base a otros tipos de entrada efectuados por el operador. Por ejemplo, tal base de datos puede incluir múltiples entradas, cada una de las cuales tiene un tipo de material de construcción y un valor TDT correspondiente. En estas realizaciones, el operador puede introducir el tipo de material de construcción o seleccionarlo de una lista de opciones, y el controlador o el procesador de datos obtienen el valor TDT respectivo de la base de datos. También se contemplan realizaciones en las que el controlador o el procesador de datos obtienen el valor TDT respectivo de la base de datos en base al tipo o tipos de materiales de construcción cargados en el sistema de suministro 42.

55 Una vez que el controlador recibe los datos TDT, selecciona opcionalmente el valor de t en respuesta a la TDT. Esto se puede hacer en más de una forma. En algunas realizaciones, se usa una tabla de consulta. Tal tabla de consulta puede estar almacenada en un medio de memoria accesible por el controlador. La tabla de consulta puede incluir múltiples entradas, cada una de las cuales tiene un valor TDT y un valor t correspondiente. El controlador puede buscar en la tabla la entrada que mejor corresponda al valor TDT recibido y seleccionar el valor t respectivo o el valor t aproximado en base a la entrada o entradas más idóneas. En algunas realizaciones, el controlador puede emplear una función $t(\text{TDT})$ preprogramada para determinar el valor de t para un valor dado de TDT. Tal función es preferiblemente una función monotónicamente creciente (por ejemplo, una función lineal que tenga una inclinación positiva) de TDT. Preferiblemente, el valor devuelto de la función para $\text{HDT}=50^\circ\text{C}$ es al menos 6.

65

- Se ha de entender que no es necesario que el controlador 20 seleccione el valor de t en base al valor de TDT. En algunas realizaciones de la presente invención, el controlador 20 selecciona el valor de t directamente del tipo de material de construcción que se usa para fabricar el objeto. Esto se lleva a cabo típicamente con 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 múltiples entradas, cada una de las cuales tiene un tipo de material de construcción o un tipo de familia de materiales de construcción y un valor t correspondiente. El controlador 20 puede buscar en la tabla la entrada que mejor corresponda al tipo de material de construcción o el tipo de familia del material de construcción, y seleccionar el valor t respectivo.
- También se contemplan realizaciones en las que el valor de t también se basa en la temperatura operativa del proceso de fabricación, preferiblemente, pero no necesariamente, en la diferencia entre el valor TDT y la temperatura operativa.
- El valor de t puede basarse opcional y preferiblemente, al menos en parte, en la dosis de energía distribuida a la capa más recientemente formada. La dosis de energía por unidad de volumen depende, en principio, de la intensidad de la radiación emitida por la fuente de radiación 18, y de la velocidad a la que el material es dispensado. A su vez, la velocidad de dispensación depende de la velocidad de rotación relativa de la bandeja 12 y del flujo de material de construcción que sale de las boquillas del cabezal 16. Por ejemplo, para un material de modelado dado, un flujo dado de material de construcción que sale de las boquillas y una intensidad de radiación dada, la velocidad de rotación da lugar a una menor extensión de la polimerización por capa en el proceso de formación, siguiendo polimerizándose las capas durante el curado de las capas posteriores encima de ellas. Los autores de la presente invención hallaron que tal polimerización de las capas previamente formadas incrementa el efecto de rizado.
- Así, en varias realizaciones ejemplares de la invención, el valor de t se calcula en base a uno o varios de los parámetros siguientes: (i) grosor de capa, (ii) velocidad de dispensación, (iii) intensidad de radiación, (iv) velocidad de polimerización por dosis unitaria de energía, y (v) la TDT del material que se cura. En algunas realizaciones, el valor de t se calcula en base a al menos dos de los parámetros anteriores, en algunas realizaciones de la presente invención el valor de t se calcula en base a al menos tres de los parámetros anteriores, y en algunas realizaciones de la presente invención, el valor de t se calcula en base a todos los parámetros anteriores.
- El método y el sistema de las presentes realizaciones puede utilizar muchos tipos de materiales de construcción. Los ejemplos representativos incluyen, sin limitación, materiales de construcción para los que la TDT después del curado a una presión de aproximadamente 0,45 MPa, medida por uno o varios de los procedimientos de la serie ASTM D-648, en particular los métodos ASTM D-648-06 y ASTM D648-07, y opcionalmente ambos métodos ASTM D-648-06 y ASTM D-648-07, es más alta que la temperatura de las capas que se forman al mismo tiempo, preferiblemente una TDT de aproximadamente 50°C o más alta.
- Los materiales de construcción adecuados pueden incluir composiciones que incluyen funcionalidades acrílicas o metacrílicas, que son polimerizables por UV por mecanismo de radicales, por ejemplo, la reacción de adición de grupos funcionales acrílicos. Otros ejemplos incluyen, sin limitación, composiciones polimerizables por UV que incluyen al menos 30% en peso de un monómero funcional mono acrílico o mono metacrílico, donde el respectivo polímero del monómero tiene una temperatura de transición vítrea (T_g) superior a aproximadamente 50°C. En alguna realización, T_g es superior a 60°C o superior a 70°C.
- Aquí, "T_g" se refiere a temperatura de transición vítrea definida como la posición del máximo local de la curva E", donde E" es el módulo de pérdida del material en función de la temperatura.
- 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 que se pueden obtener en el mercado de Stratasys Ltd.
- En el sentido en que se usa aquí el término "aproximadamente" se refiere a ± 10% y el símbolo "≈" denota igualdad con una tolerancia de a lo sumo 10%.
- El término "ejemplar" se usa aquí en el sentido de que "sirve como ejemplo, caso o ilustración". Cualquier realización descrita como "ejemplar" no ha de interpretarse necesariamente como preferida o ventajosa con respecto a otras realizaciones y/o excluyendo la incorporación de características de otras realizaciones.
- La palabra "opcionalmente" se usa aquí en el sentido de que "está dispuesto en algunas realizaciones y no se dispone en otras realizaciones". Cualquier realización particular de la invención puede incluir múltiples elementos "opcionales", a no ser que tales elementos estén en conflicto.
- Los términos "incluye", "incluir", "comprende", "comprender", "tener" y sus formas conjugadas quieren decir "incluyendo, pero sin limitación".
- El término "constar de" significa "incluyendo y limitado a".

El término “que consta esencialmente de” significa que la composición, el método o la estructura pueden incluir ingredientes, pasos y/o partes adicionales, pero solamente si los ingredientes, pasos y/o partes adicionales no alteran materialmente las características básicas y nuevas de la composición, el método o la estructura reivindicados.

En el sentido en que se usa aquí, las formas singulares “un/uno/una”, y “el/la/los/las” incluyen múltiples referencias a no ser que el contexto indique claramente lo contrario. Por ejemplo, el término “un compuesto” o “al menos un compuesto” puede incluir múltiples compuestos, incluyendo sus mezclas.

En toda esta solicitud, varias realizaciones de esta invención pueden presentarse en un formato de rango. Se deberá entender que la descripción en formato de rango es simplemente para conveniencia y brevedad y no se deberá interpretar como una limitación inflexible del alcance de la invención. Consiguientemente, deberá considerarse que la descripción de un rango describe específicamente todos los subrangos posibles, así como los valores numéricos individuales dentro de dicho rango. Por ejemplo, deberá considerarse que la descripción de un rango, tal como de 1 a 6, indica específicamente subrangos, 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 dicho rango, por ejemplo, 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Esto se aplica independientemente del alcance del rango.

Siempre que aquí se indica un rango numérico, se pretende incluir cualquier número indicado (fraccional o entero) dentro del rango indicado. Las expresiones “es del rango de entre” un primer número indicado y un segundo número indicado y “es del rango de desde” un primer número indicado “a” un segundo número indicado, se usan aquí de forma intercambiable y se entienden incluyendo los números primero y segundo indicados y todos los números fraccionales o enteros entre ellos.

Se hace notar que algunos elementos de la invención, que, para claridad, se describen en el contexto de realizaciones separadas, también se pueden disponer en combinación en una sola realización. A la inversa, varios elementos de la invención, que, para brevedad, se describen en el contexto de una sola realización, también pueden proporcionarse por separado o en cualquier subcombinación adecuada o cuando sean adecuados en cualquier otra realización descrita de la invención. Algunos elementos descritos en el contexto de varias realizaciones no se han de considerar elementos esenciales de dichas realizaciones, a no ser que la realización sea inoperativa sin dichos elementos.

Varias realizaciones y aspectos de la presente invención antes expuestos y reivindicados en la sección siguiente de reivindicaciones, tienen soporte experimental en los ejemplos siguientes.

Ejemplos

Se hace referencia ahora a los ejemplos siguientes, que conjuntamente con las descripciones anteriores ilustran algunas realizaciones de la invención de forma no limitativa.

Se realizaron experimentos para determinar una disposición geométrica preferida de la fuente de radiación y el cabezal o los cabezales de impresión. La disposición experimental se ilustra en la figura 13, que representa el cabezal 16 y la fuente de radiación 18 montados en un bastidor 180. La fuente de radiación era una lámpara UV.

Se llevó a cabo un proceso de impresión a un diámetro de 352,8 mm, que permitió una velocidad angular de aproximadamente 100 grados/s. La separación angular entre la fuente de radiación y el cabezal era aproximadamente 52°, y el intervalo de tiempo correspondiente de dispensación de material a curar era aproximadamente 0,52 segundos.

Se realizaron pruebas base a diferentes niveles de potencia. Se utilizó un radiómetro UV para medir la salida de potencia de la lámpara a diferentes entradas de voltaje al estabilizador. La potencia de la lámpara en función del voltaje aplicado se expone en la figura 14A, y las imágenes de la configuración impresa resultante para voltajes de entrada de 2,2 V, 3,2 V y 4,5 V se representan en las figuras 14B, 14C y 14D, respectivamente. El radiómetro confirmó el aumento de salida de potencia. El efecto de la potencia en el nivel de llenado de la configuración impresa no era significativo.

Se llevó a cabo otro proceso de impresión en un diámetro de 497,8 mm, que permitió una velocidad angular de aproximadamente 80 grados/s. La separación angular entre la fuente de radiación y el cabezal era aproximadamente 180°, y el intervalo de tiempo correspondiente de dispensación de material a curar era aproximadamente 2,25 segundos. El nivel de llenado de la configuración impresa obtenida era significativamente más alto en comparación con las líneas base representadas en las figuras 14B-D. El acabado superficial del modelo quedó afectado de forma significativa. Los bordes y las esquinas no eran afilados y produjeron un acabado ondulado. La exactitud dimensional también se redujo con un 2% de error en la dimensión nominal. Las imágenes de la configuración impresa resultante para estos experimentos se muestran en las figuras 14E y 14F.

Para confirmar que la calidad de impresión no quedaba afectada por el paso al diámetro mayor, la lámpara se movió a posiciones alternativas alrededor de la bandeja. Las figuras 14G y 14H muestran imágenes de la configuración impresa resultante para una separación angular entre la fuente de radiación y el cabezal de aproximadamente 80° y aproximadamente 60°. Como se representa, cuando la lámpara se aproximó más al cabezal de impresión, el nivel de llenado disminuyó.

En otro proceso de impresión, la ganancia de punto aumentó. Mejoraron el acabado superficial y la exactitud dimensional. El error dimensional se redujo a menos de 0,5% de la dimensión nominal. Una imagen representativa de la configuración impresa resultante para una separación angular de 80° se representa en la figura 14I. Esta calidad de impresión era consistente con la impresión de diámetro más pequeño efectuada para la base.

Para confirmar que el nivel de llenado quedaba menos afectado por la potencia de la lámpara, se realizaron experimentos adicionales a diferentes niveles de potencia en diámetros de impresión más grandes. No se observaron variaciones significativas del nivel de llenado y la exactitud dimensional (datos no mostrados).

La Tabla 1 resume los parámetros y los resultados de los experimentos.

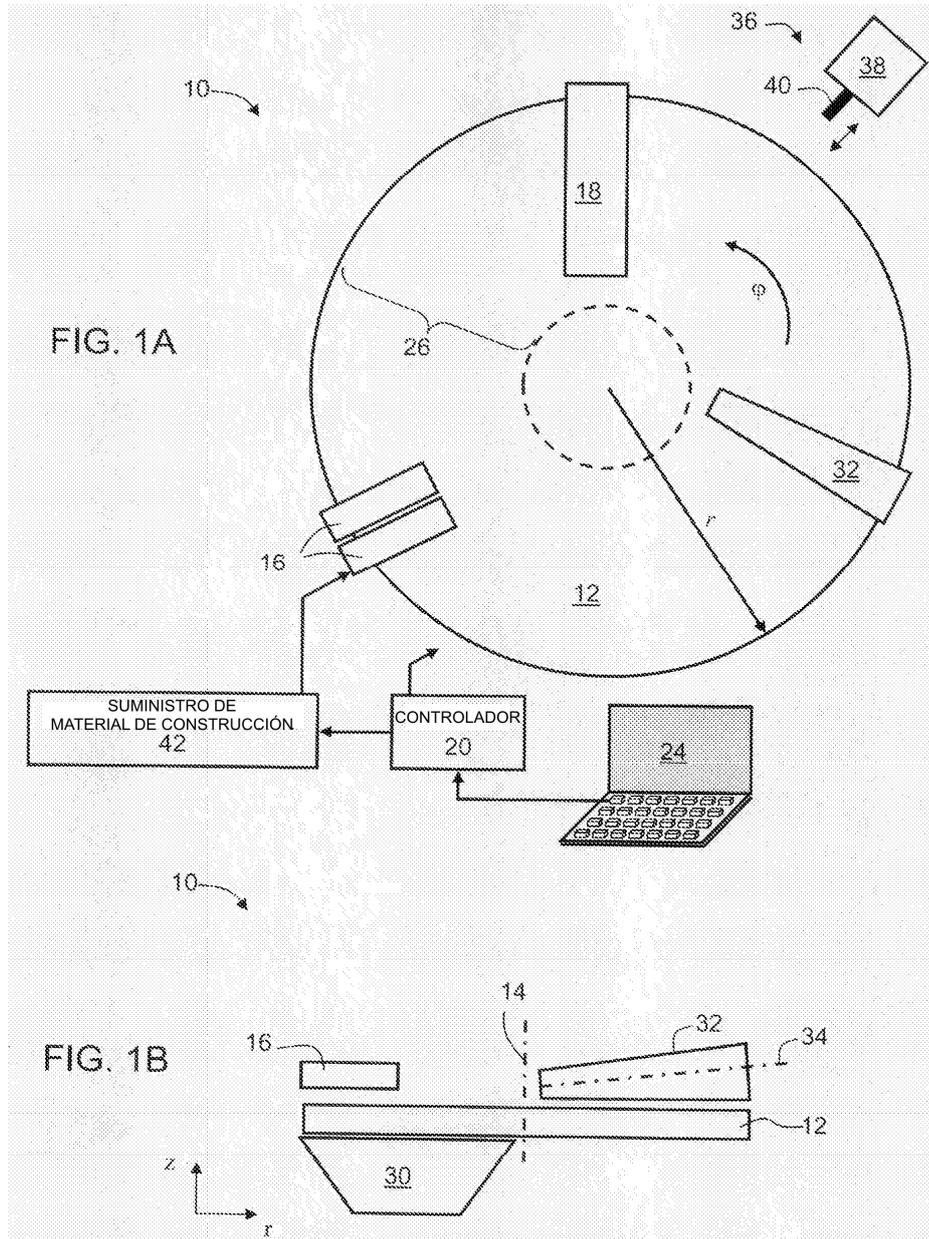
Tabla 1

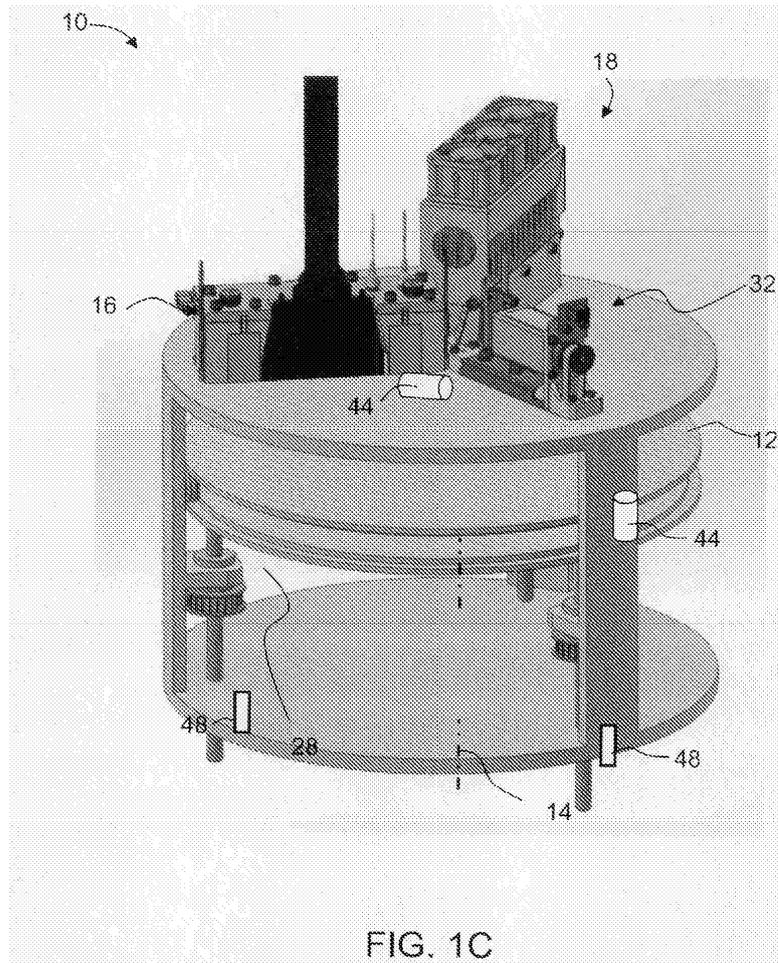
Diámetro de impresión (mm)	352,8	352,8	352,8	497,8	497,8	497,8	497,8
Separación angular (grados)	52	52	52	180	80	60	60
Potencia de lámpara (voltios)	2,2	3,2	4,5	4,5	4,5	4,5	2,5
Resolución de impresión (DPI a diámetro de impresión)	1833	1833	1833	1797	1797	1797	1797
Velocidad de bandeja (grados/s)	100	100	100	80	80	80	80
Tiempo a curación (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 impresión tridimensional, incluyendo:
 - 5 una bandeja rotativa (12) configurada para girar alrededor de un eje vertical (14);
un cabezal de impresión por inyección de tinta (16) que tiene múltiples boquillas separadas (22); y
 - 10 un controlador (20) configurado para controlar dicho cabezal de impresión por inyección de tinta (16) para dispensar, durante dicha rotación, gotitas de material de construcción en capas, por ejemplo, para imprimir un objeto tridimensional en dicha bandeja (12);
 - 15 donde dicho controlador (20) está configurado además para terminar cualquier dispensación de dicho material de construcción cuando dicho cabezal (16) está encima de una zona predeterminada (92) de dicha bandeja (12), **caracterizado porque** dicha zona predeterminada (92) tiene una forma de un sector circular.
2. El sistema (10) según la reivindicación 1, donde un rango de ángulos acimutales en el que se imprimen objetos en dicha bandeja rotativa (12) es de al menos 5°, pero menos de 350°.
- 20 3. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-2, donde dicho controlador (20) está configurado para señalar a dicho cabezal de impresión (16) que se mueva con relación a dicha bandeja (12) a lo largo de una dirección radial (r), mientras que dicho cabezal de impresión (16) está encima de dicha zona predeterminada (92).
- 25 4. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-3, donde dicho controlador (20) está configurado para señalar a al menos uno de dicha bandeja (12) y dicho cabezal de impresión por inyección de tinta (16) que se mueva a lo largo de una dirección vertical (z) paralela a dicho eje vertical (14) con el fin de variar la distancia vertical entre dicha bandeja (12) y dicho cabezal de impresión por inyección de tinta (16), mientras dicho cabezal (16) está encima de dicha zona predeterminada (92).
- 30 5. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-4, donde para al menos un cabezal de impresión (16), boquillas diferentes (22) están a distancias diferentes de dicho eje vertical (14) y dispensan dicho material de construcción a diferentes velocidades de dispensación.
- 35 6. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-5, donde hay múltiples cabezales de impresión por inyección de tinta (16) configurados para moverse recíprocamente con relación a dicha bandeja (12) a lo largo de direcciones radiales (r) independientemente y a un ángulo acimutal diferente.
- 40 7. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-6, donde dicho controlador (20) está configurado para variar la velocidad de rotación de dicha bandeja (12) en respuesta a una posición radial de dicho cabezal de impresión por inyección de tinta (16).
- 45 8. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-7, donde 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 pertenecientes a la forma del objeto solamente para posiciones en dicha bandeja (12) que no están enmascaradas por dicha máscara de mapa de bits.
9. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-8, incluyendo además un elemento precalentador (160) para calentar dicho material de construcción antes de que entre en dicho cabezal de impresión (16).
- 50 10. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-9, incluyendo además una fuente de radiación (18) configurada para moverse recíprocamente con relación a dicha bandeja (12) a lo largo de una dirección radial (r), donde dicho cabezal de impresión (16) también está configurada para moverse recíprocamente con relación a dicha bandeja (12) a lo largo de dicha dirección radial (r), de forma no simultánea con dicha fuente de radiación (18).
- 55 11. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-9, incluyendo además una fuente de radiación (18) configurada para irradiar dichas capas de tal manera que energía a diferentes velocidades sea distribuida a posiciones que están a distancias diferentes de un centro de dicha bandeja (12).
- 60 12. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-9, incluyendo además una fuente de radiación (18), donde una separación acimutal entre dicha fuente de radiación (18) y dicho cabezal (16) es de aproximadamente $0,3\omega$ radianes y aproximadamente $0,75\omega$ radianes, siendo dicho ω una velocidad angular media de dicha bandeja (12) con relación a dicho cabezal (16) y dicha fuente de radiación (18).
- 65 13. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-12, incluyendo además un rodillo (32) para enderezar material de construcción dispensado.

- 5 14. El sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-13, donde dicho controlador (20) está configurado para seleccionar un primer modo de impresión en el que se emplea una exploración acimutal, y un segundo modo de impresión en el que se emplea una exploración vectorial, siendo dicha exploración vectorial a lo largo de un recorrido seleccionado para formar al menos una estructura seleccionada del grupo que consta de (i) una estructura alargada (262), (ii) una estructura límite (266) que rodea al menos parcialmente una zona llena de un material de construcción, y (iii) una estructura de conexión entre capas (268).
- 10 15. Un método de fabricar un objeto, incluyendo recibir datos de impresión tridimensional correspondientes a la forma del objeto, alimentar dichos datos a un sistema para impresión tridimensional, y operar dicho sistema para imprimir el objeto en base a dichos datos, donde dicho sistema es el sistema (10) según alguna de las reivindicaciones 1-14.





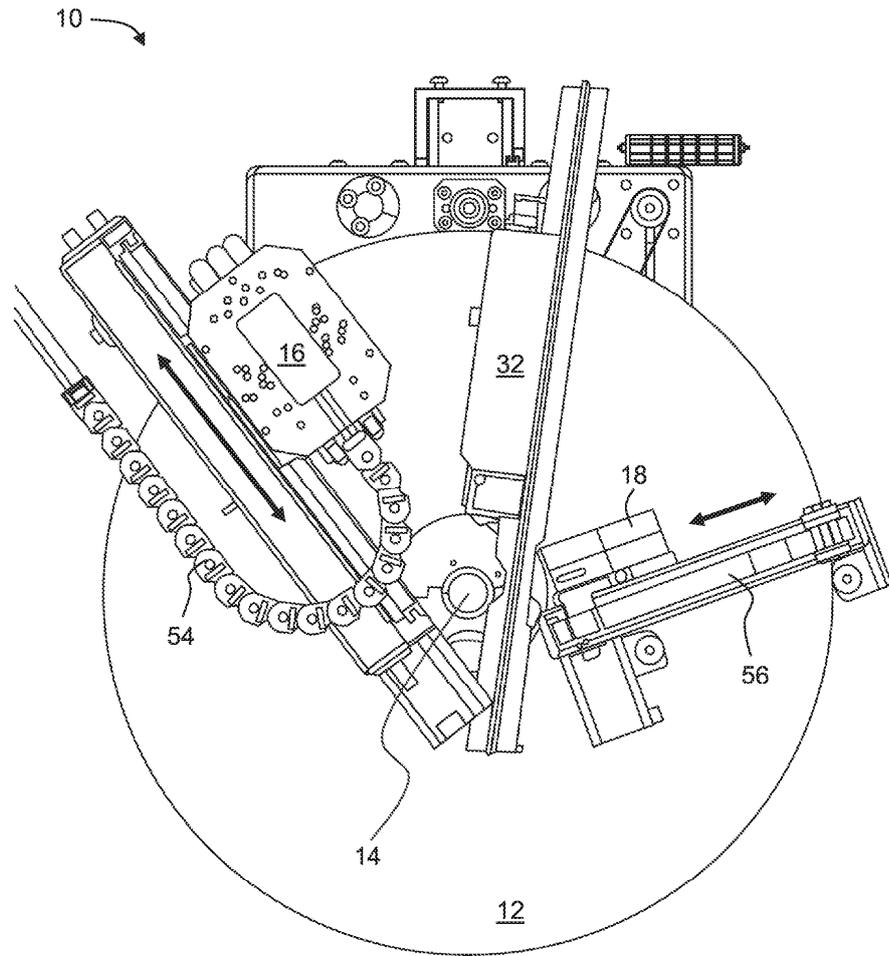


FIG. 1D

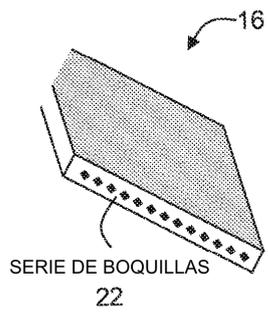


FIG. 2A

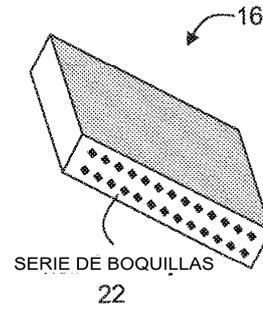


FIG. 2B

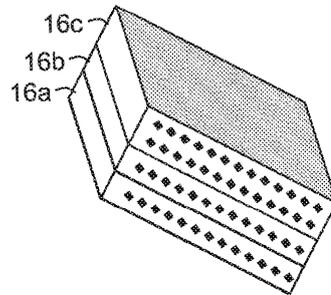


FIG. 2C

FIG. 3A

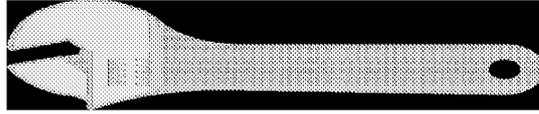


FIG. 3B

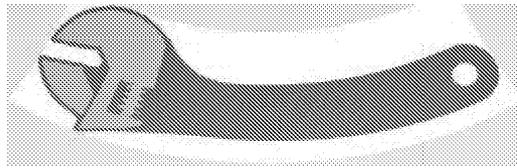


FIG. 3C

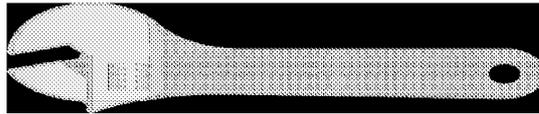


FIG. 3D

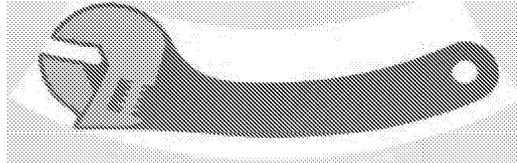


FIG. 3E

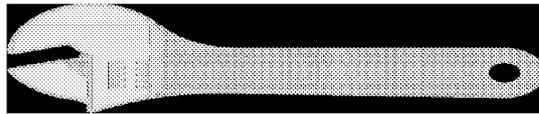
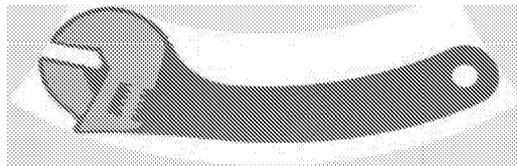


FIG. 3F



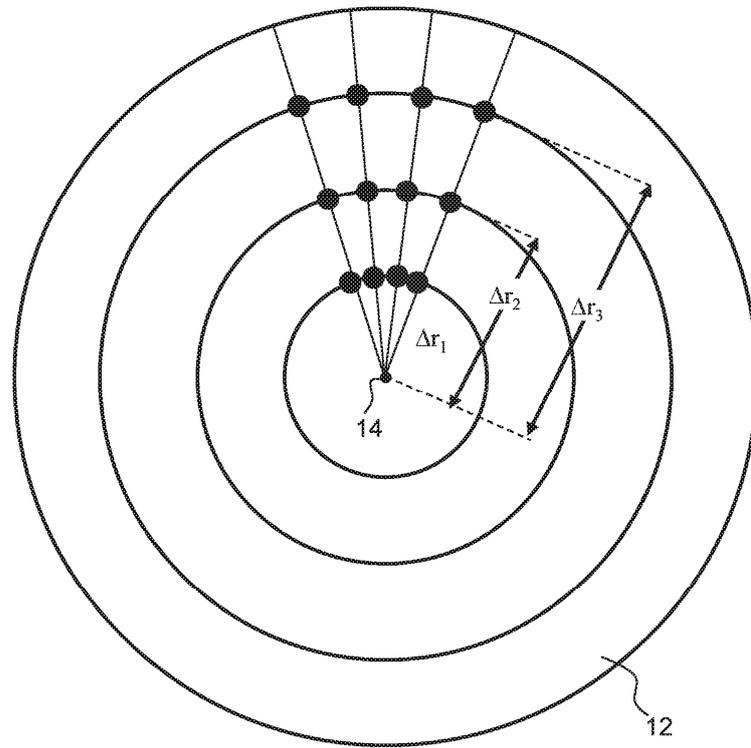


FIG. 4A

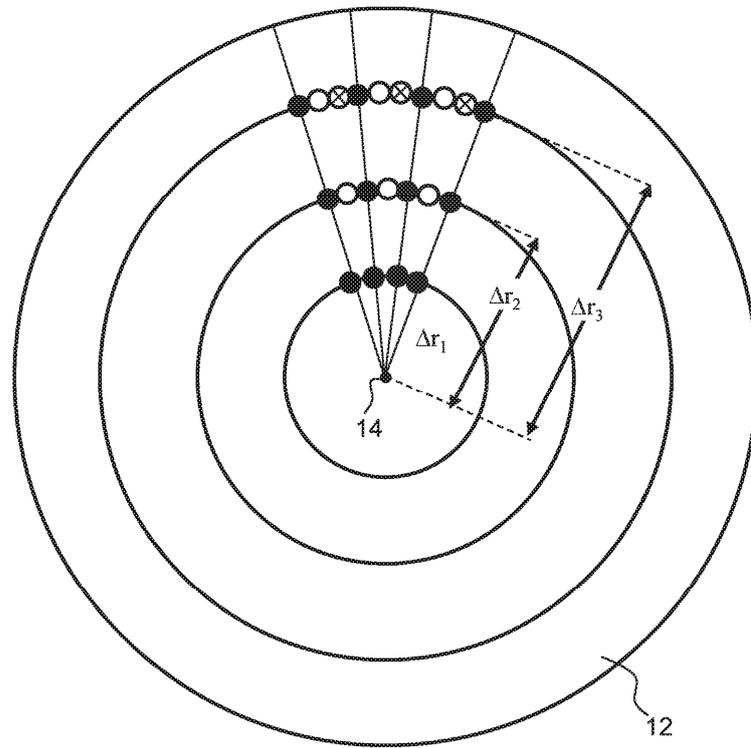


FIG. 4B

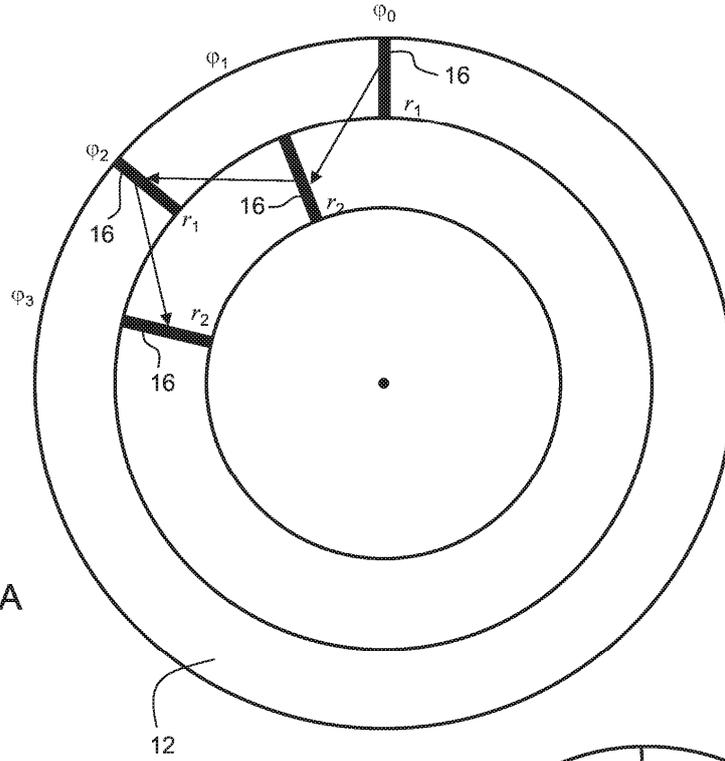


FIG. 5A

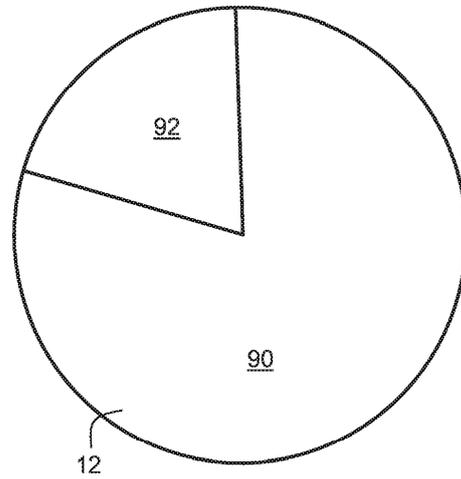


FIG. 5B

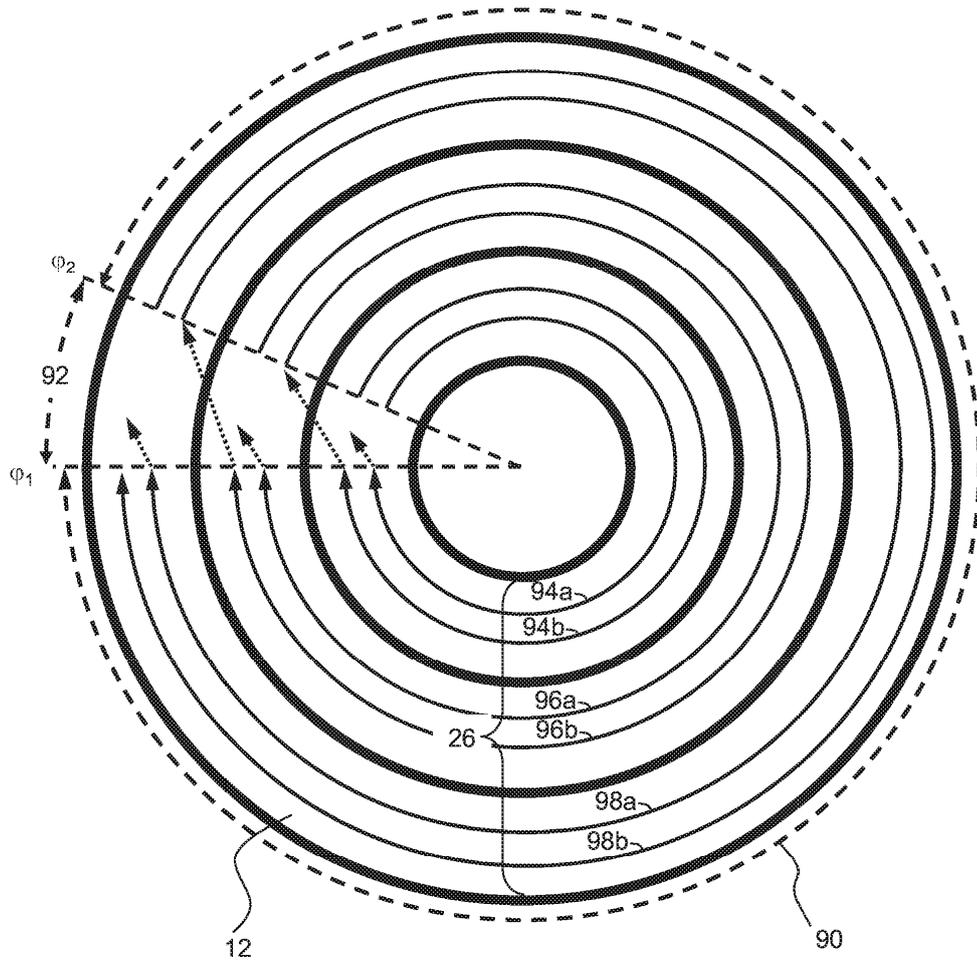


FIG. 5C

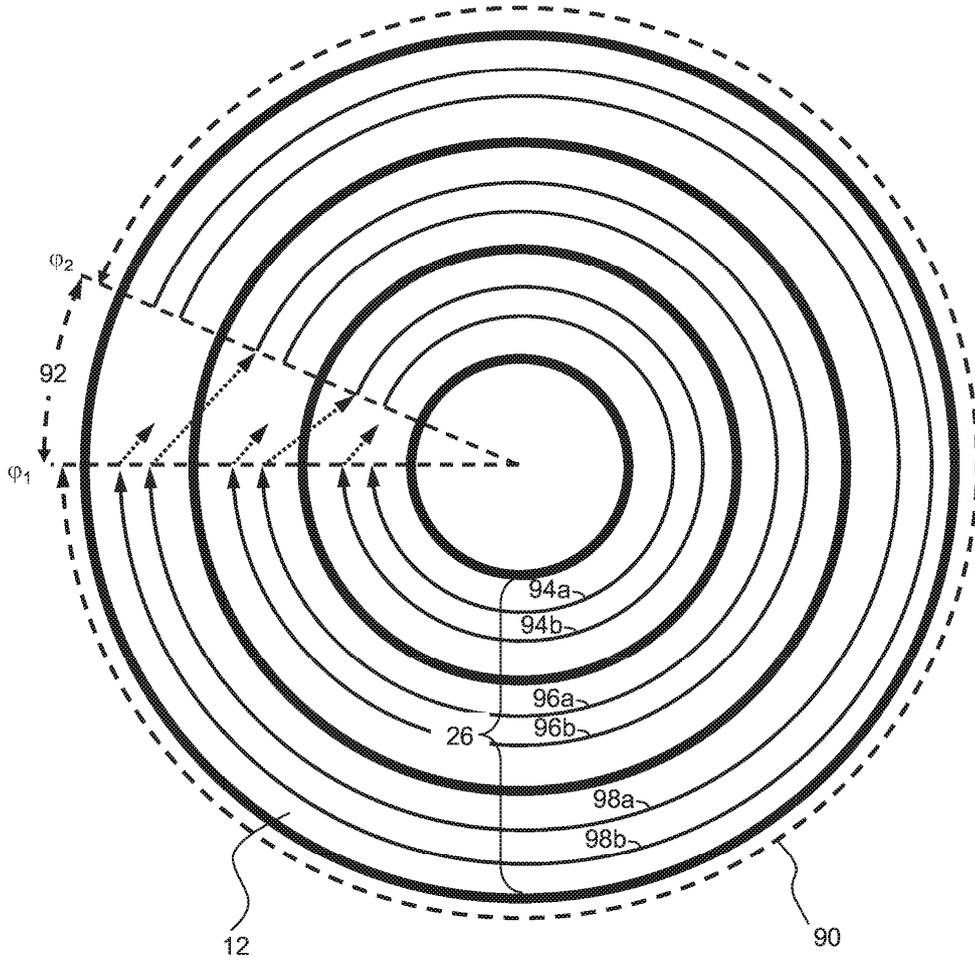


FIG. 5D

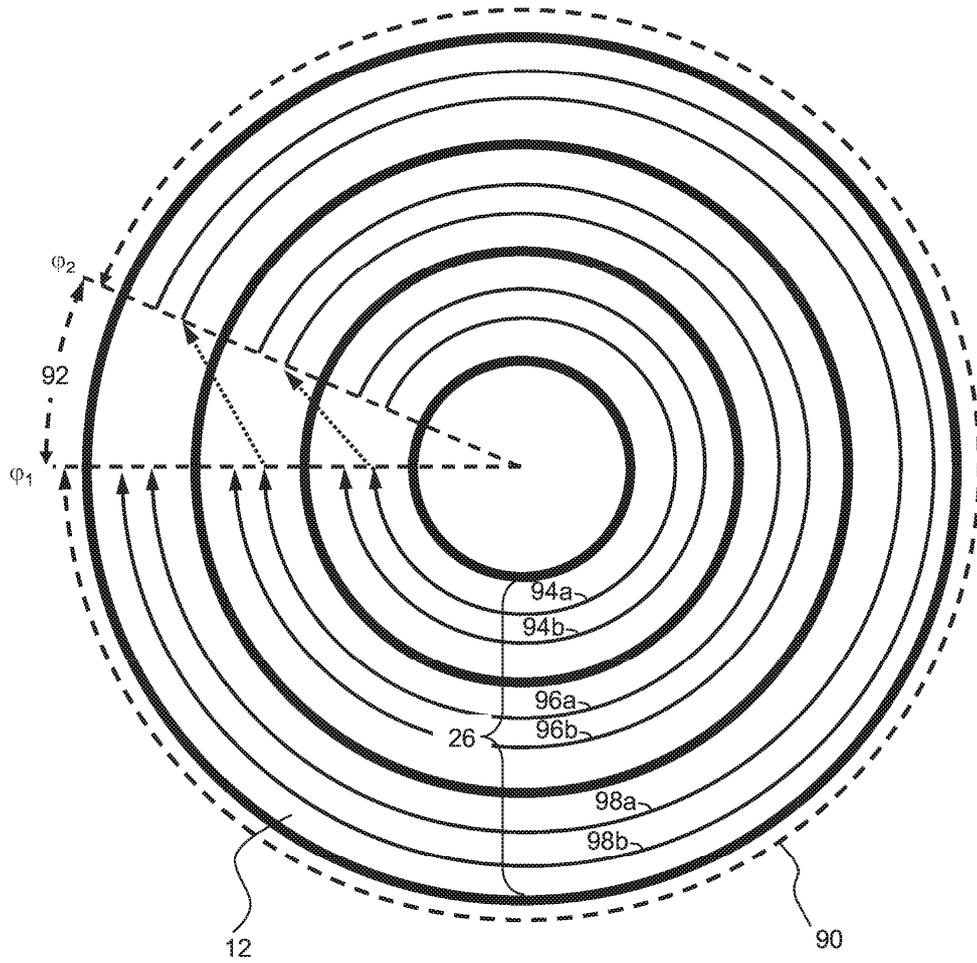


FIG. 5E

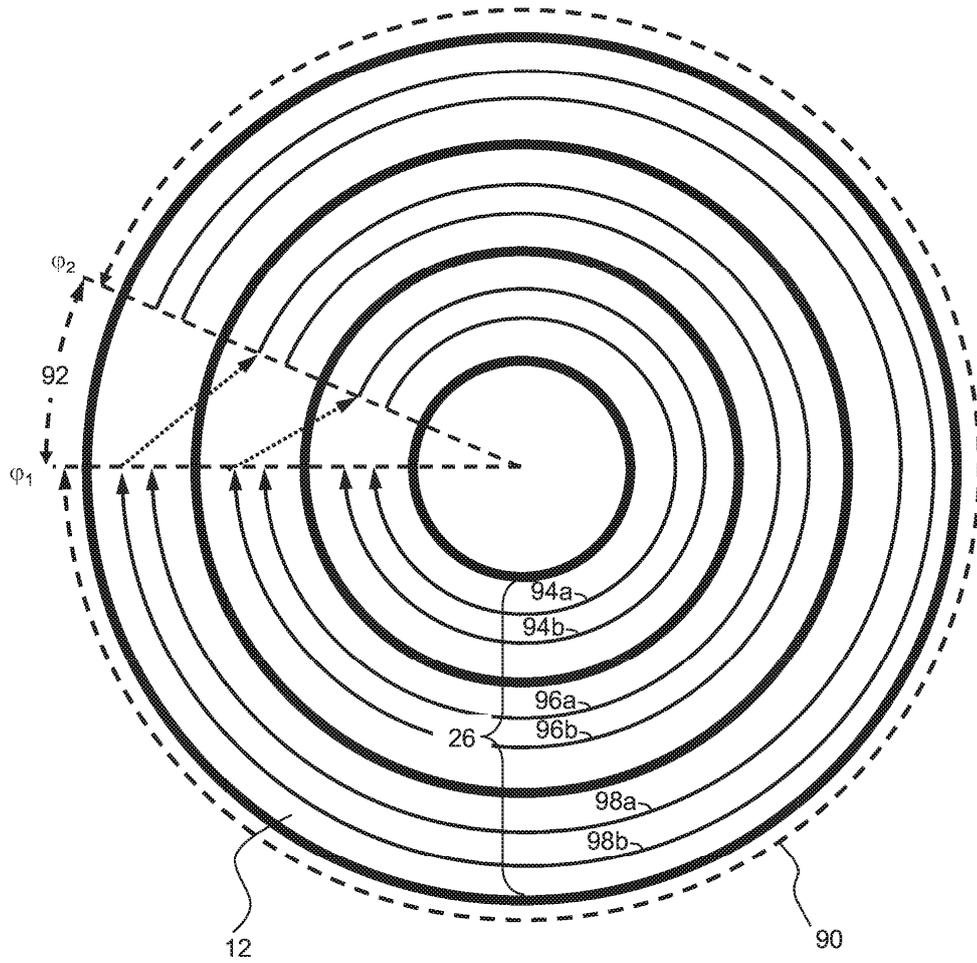


FIG. 5F

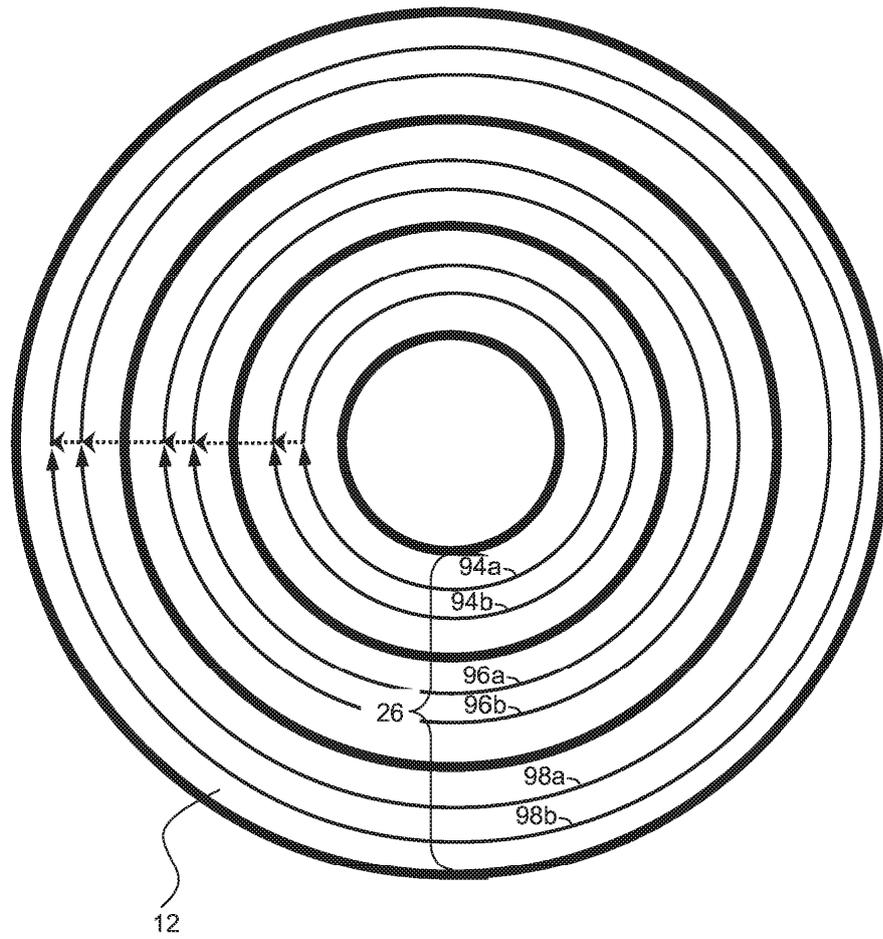


FIG. 5G

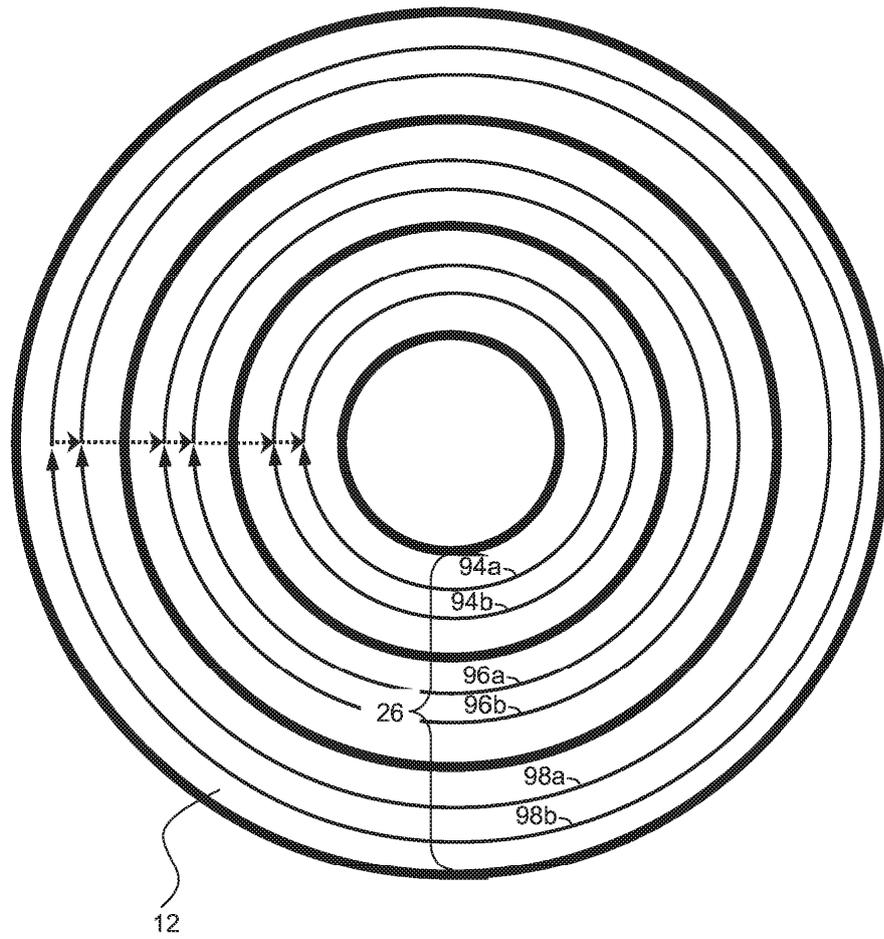


FIG. 5H

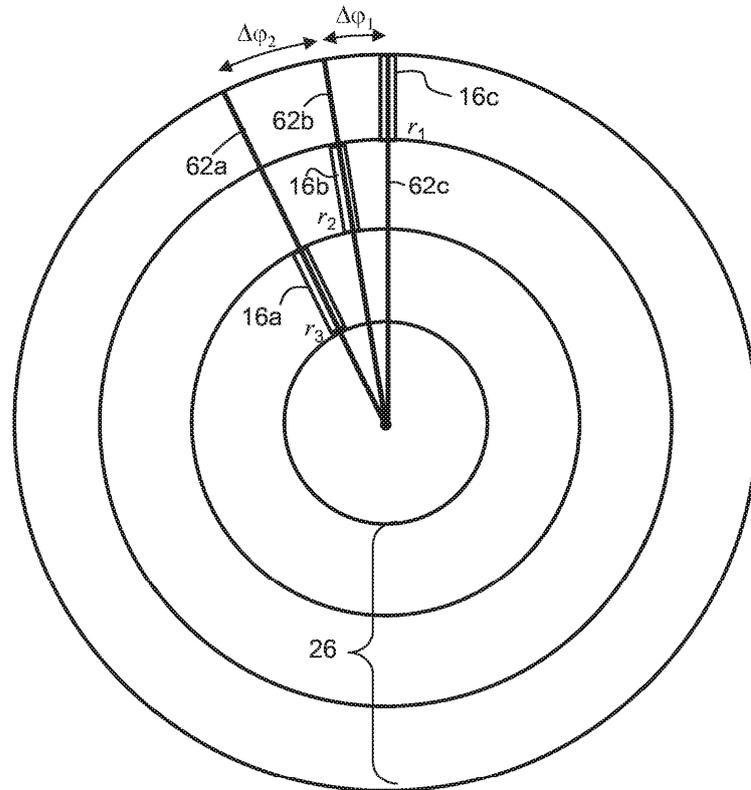


FIG. 6

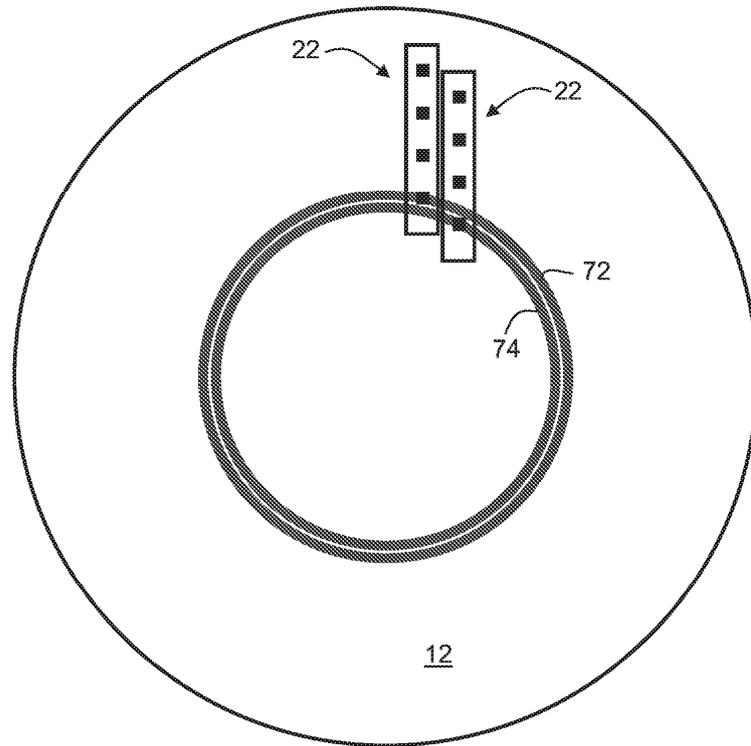


FIG. 7

FIG. 8A

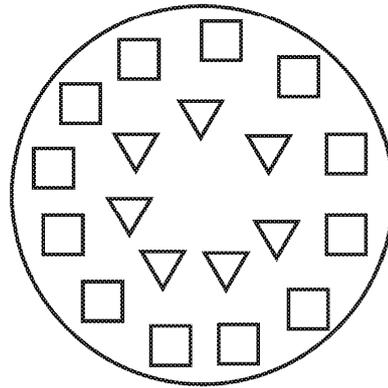
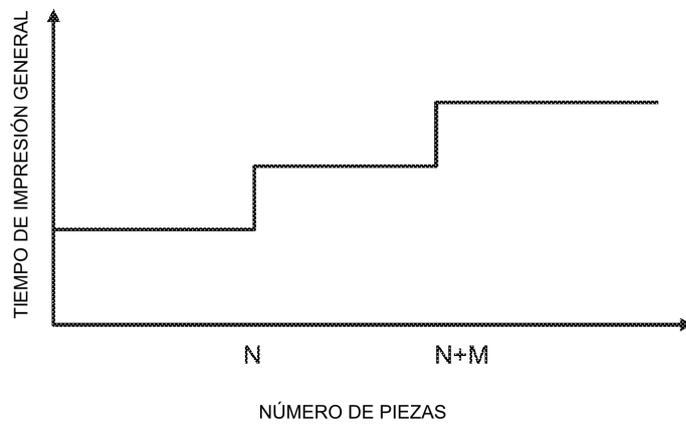


FIG. 8B



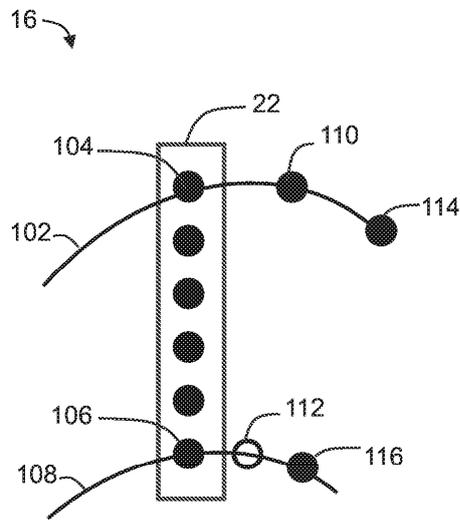


FIG. 9A

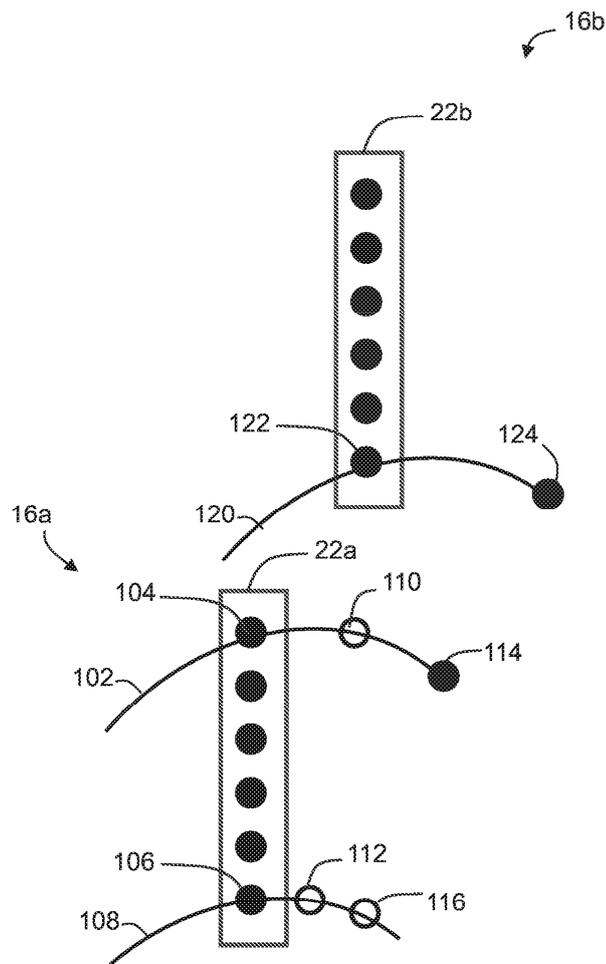


FIG. 9B

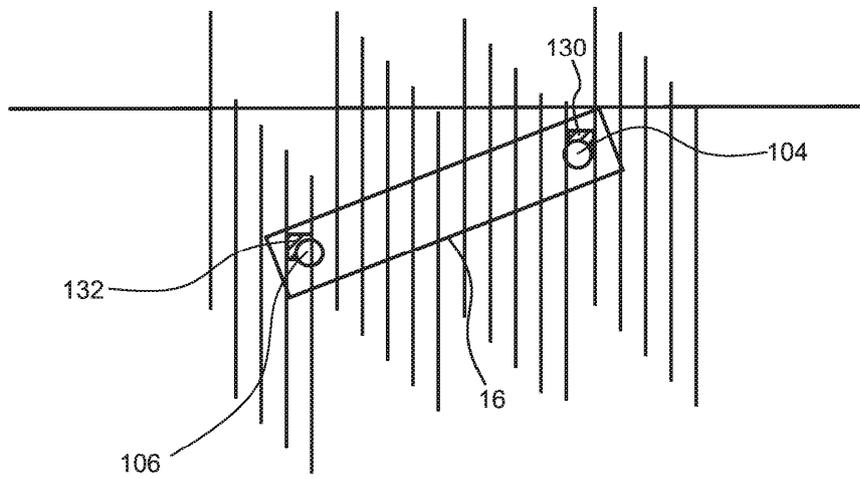
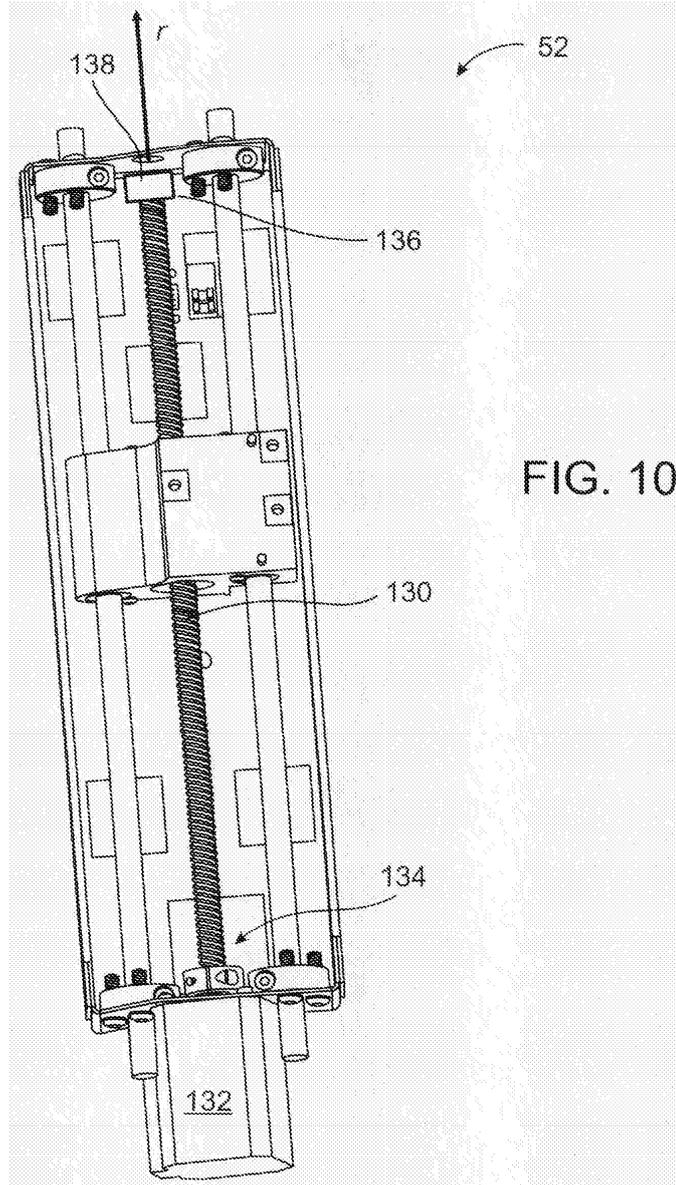


FIG. 9C



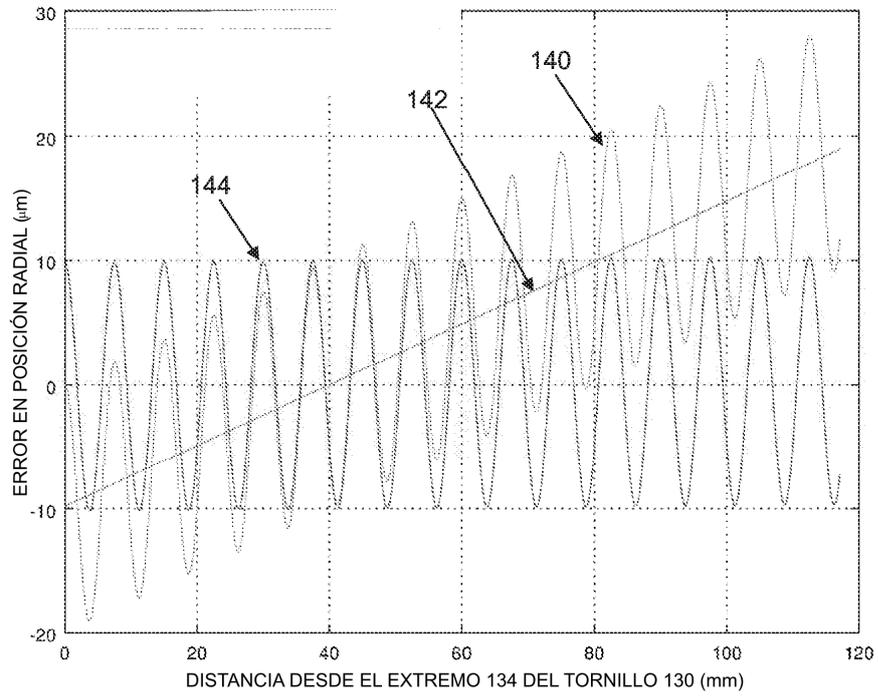


FIG. 11A

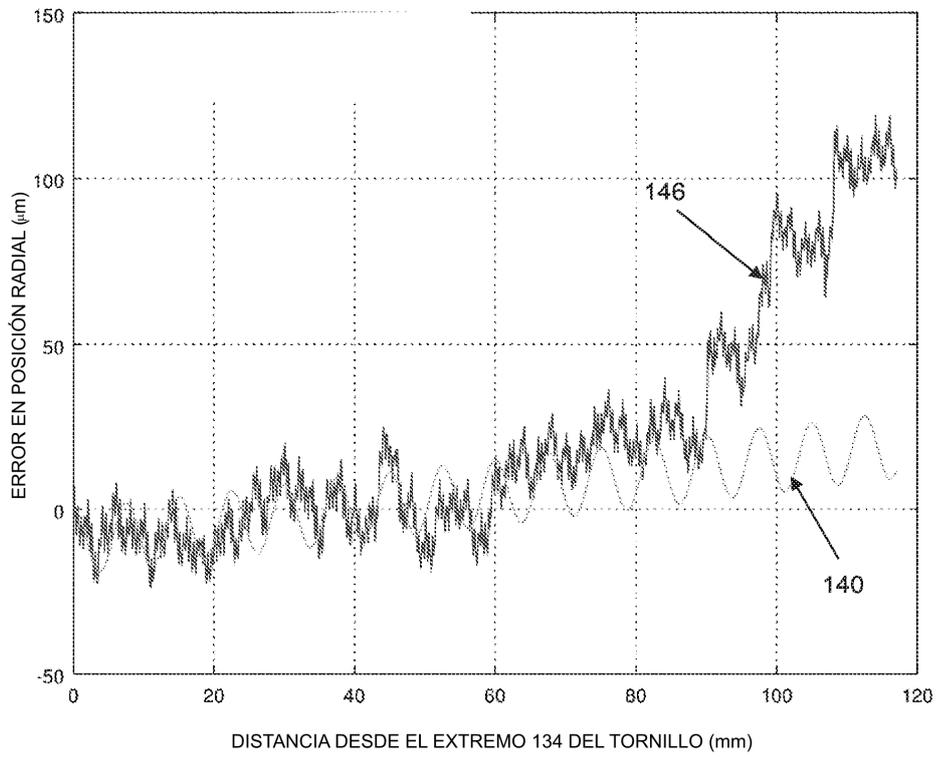


FIG. 11B

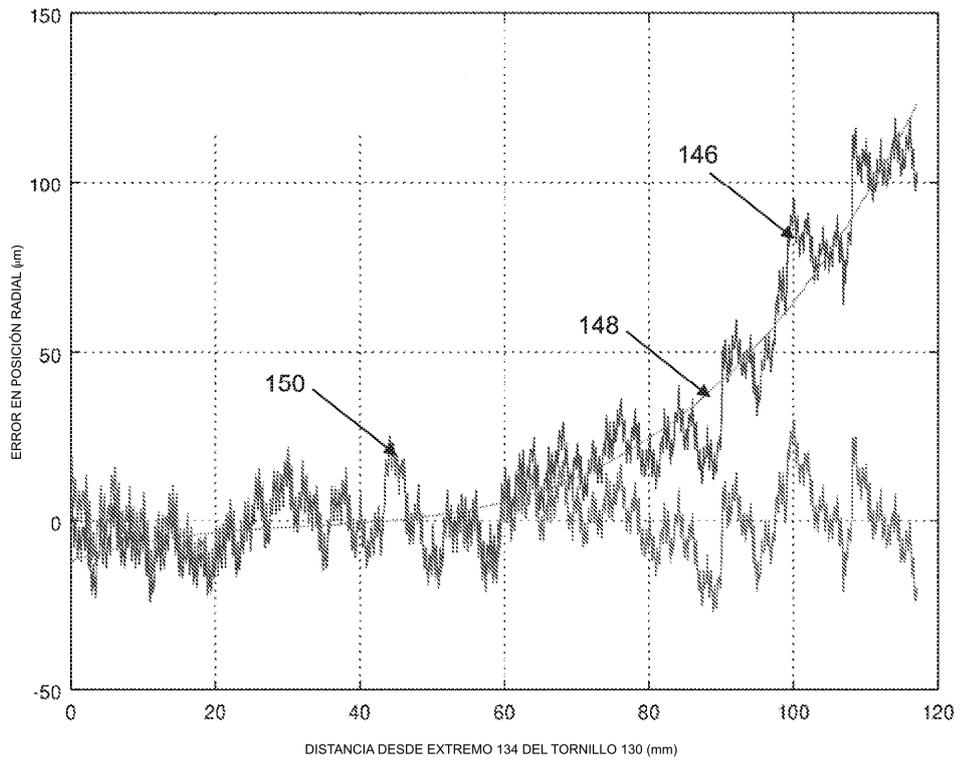


FIG. 11C

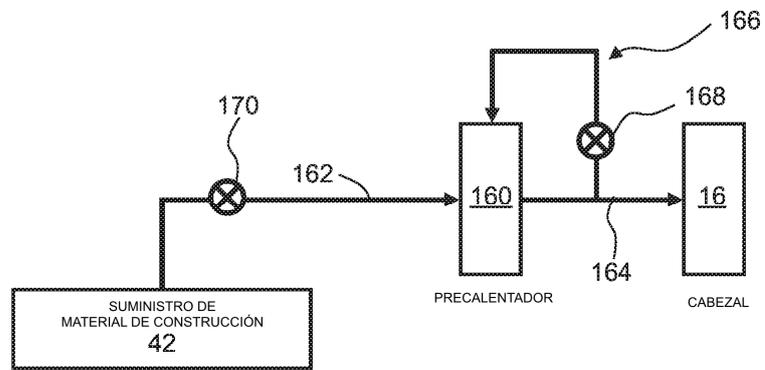


FIG. 12

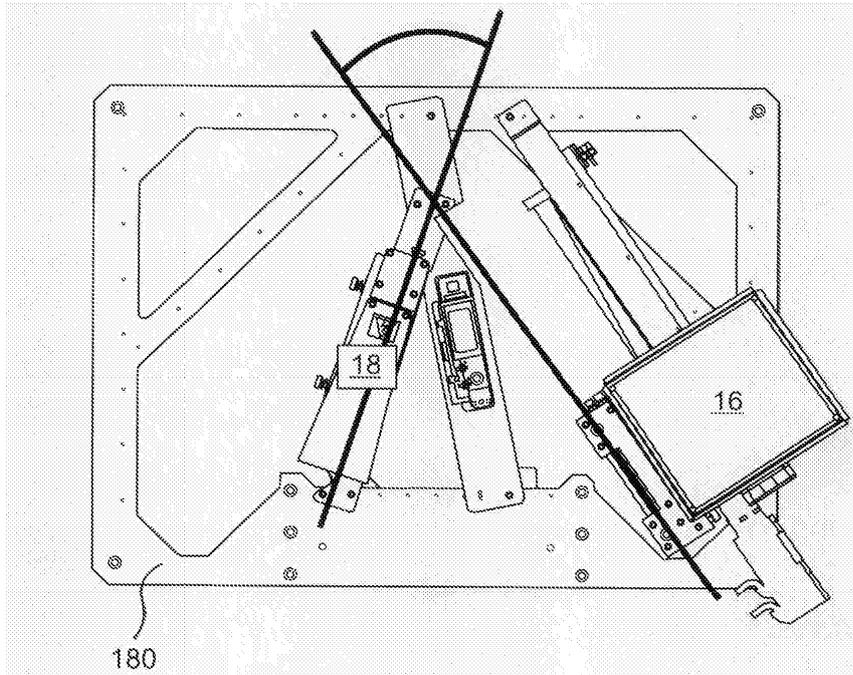


FIG. 13

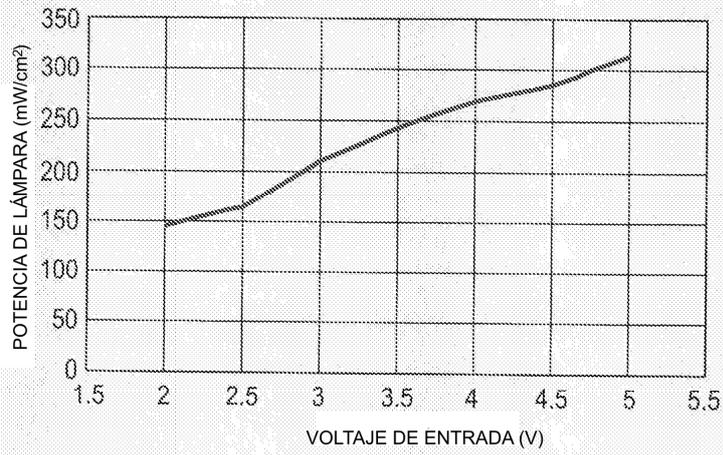


FIG. 14A

FIG. 14B

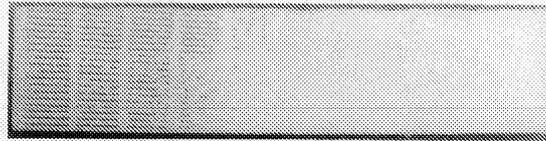


FIG. 14C

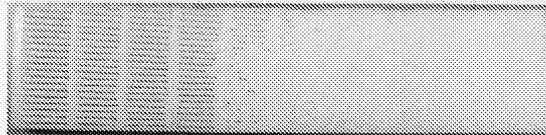


FIG. 14D

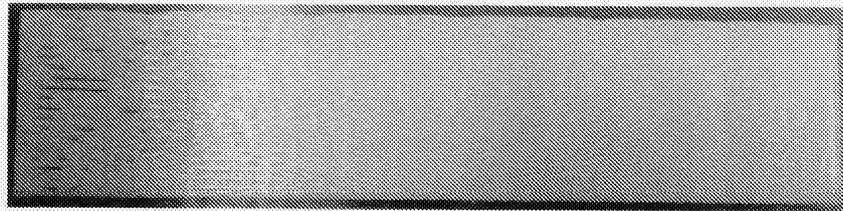
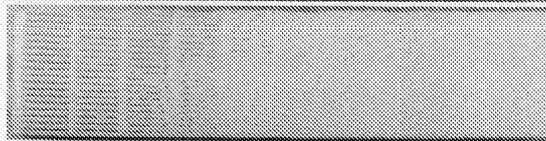


FIG. 14E

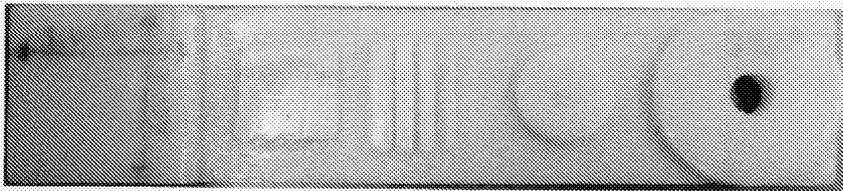


FIG. 14F

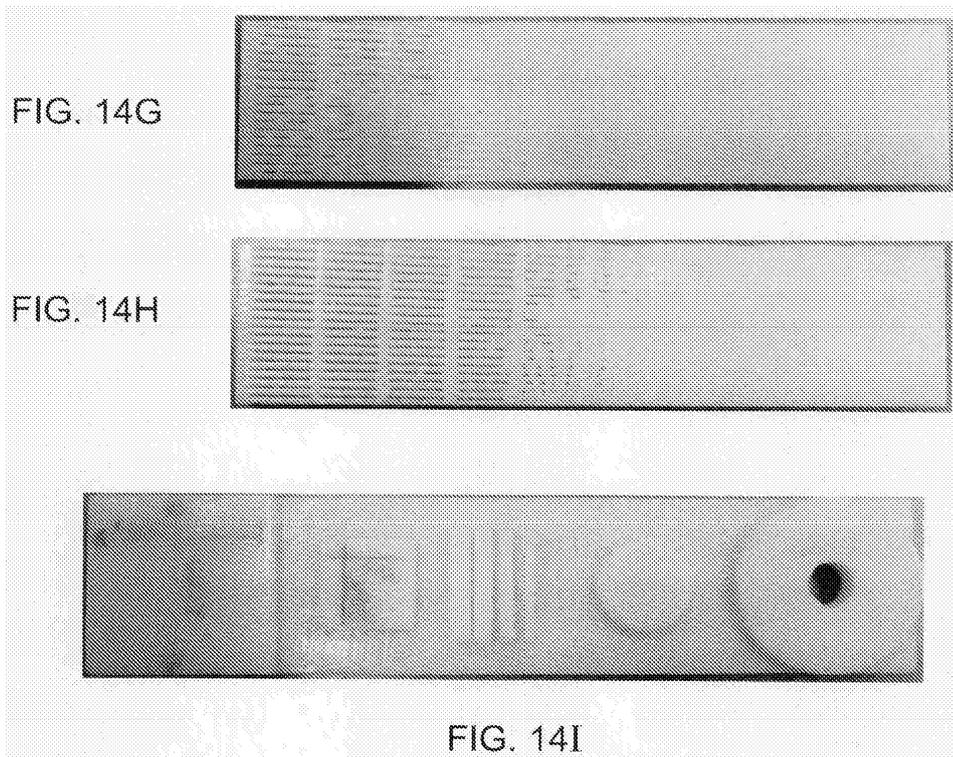


FIG. 15A

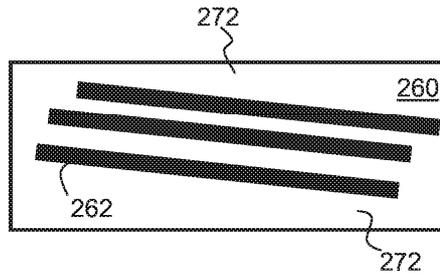


FIG. 15B

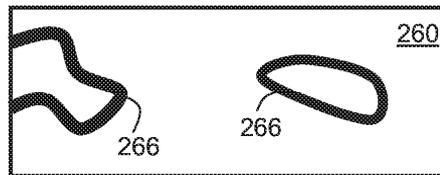


FIG. 15C

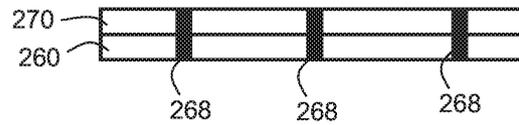
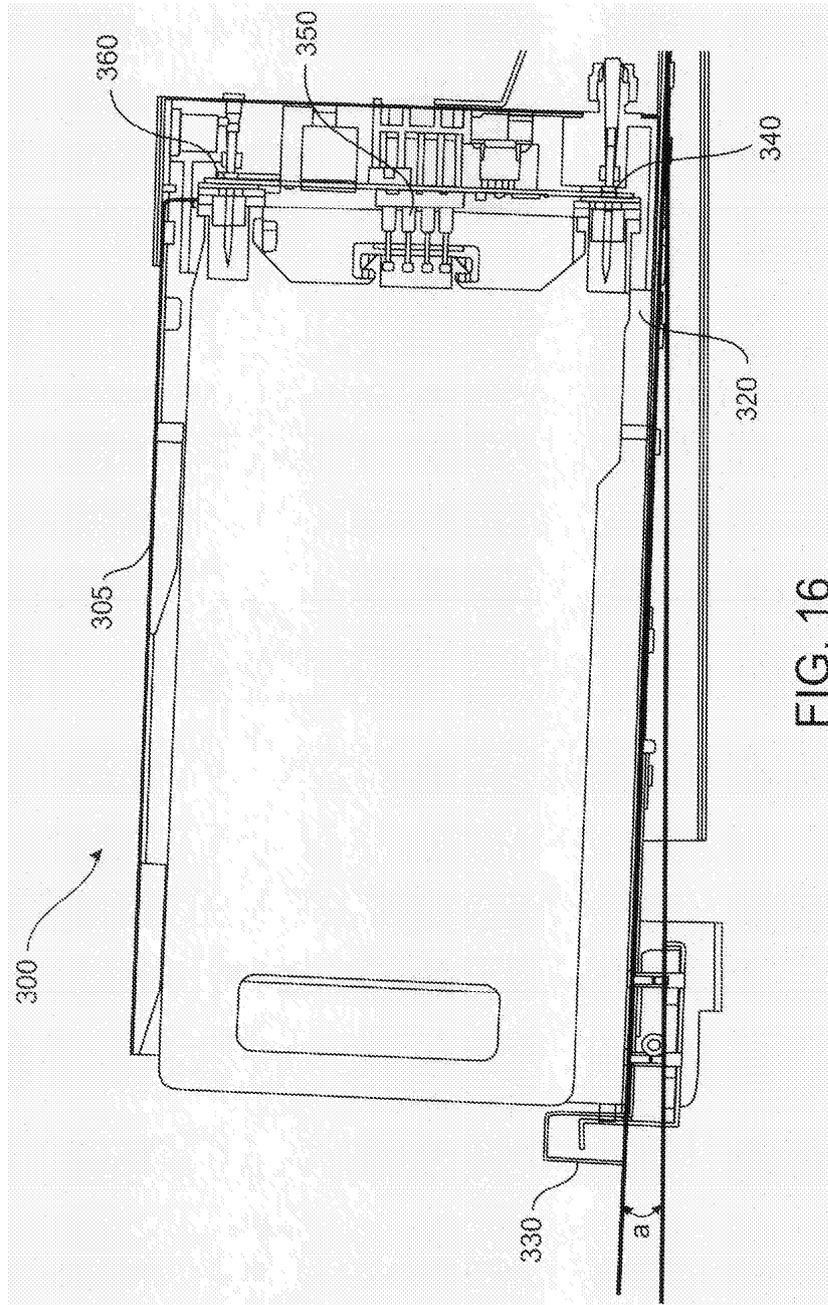
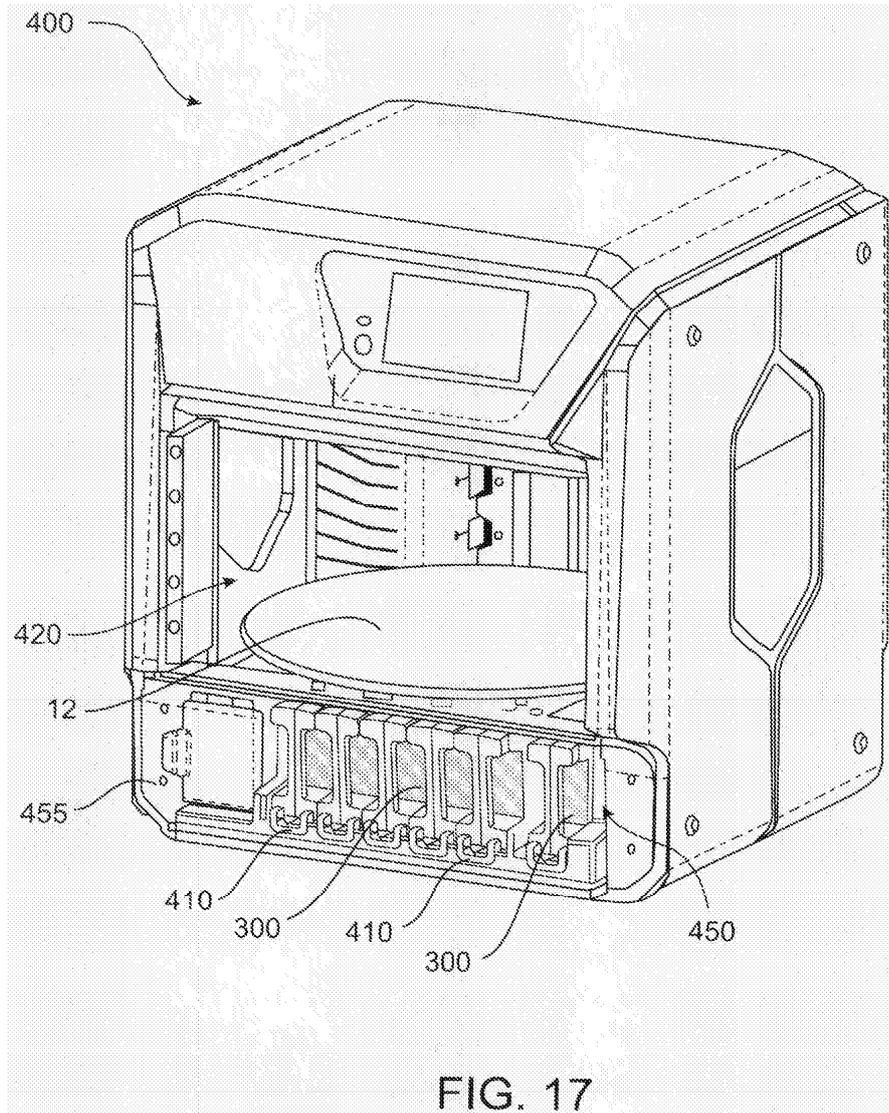


FIG. 15D







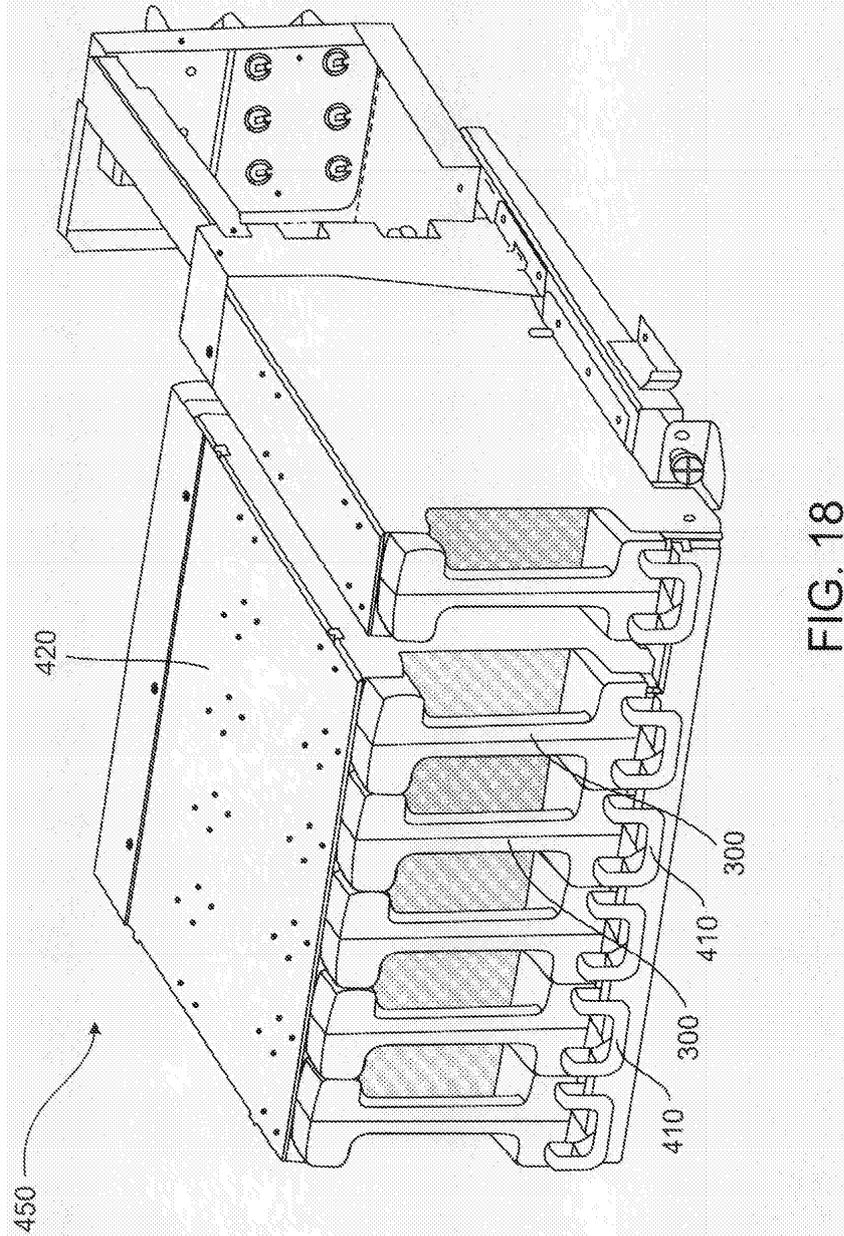


FIG. 18