

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 906 339**

(51) Int. Cl.:

B23K 15/00	(2006.01)	B33Y 10/00	(2015.01)
B29C 64/147	(2007.01)	B33Y 30/00	(2015.01)
B29C 64/386	(2007.01)	B33Y 50/00	(2015.01)
B23K 26/08	(2014.01)	B33Y 50/02	(2015.01)
B32B 37/06	(2006.01)		
B22F 3/105	(2006.01)		
B22F 12/00	(2011.01)		
B23K 35/02	(2006.01)		
B23P 17/00	(2006.01)		
B23P 23/04	(2006.01)		

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2018 E 18205652 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.12.2021 EP 3482865**

(54) Título: **Vectorización de piezas de láminas para la fabricación aditiva móvil a gran escala utilizando materiales de construcción a base de láminas**

(30) Prioridad:

13.11.2017 US 201715811400

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

18.04.2022

(73) Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

(72) Inventor/es:

**MAMRAK, JUSTIN y
REDDING, MACKENZIE RYAN**

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 906 339 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

Vectorización de piezas de láminas para la fabricación aditiva móvil a gran escala utilizando materiales de construcción a base de láminas

5 La presente divulgación se refiere por lo general a métodos y aparatos para la fabricación aditiva utilizando materiales de construcción a base de láminas. Más específicamente, la divulgación se refiere a proporcionar una capa de lámina en un área de construcción.

10 Antecedentes

Los procesos de fabricación aditiva (AM) o de impresión aditiva implican por lo general la acumulación de uno o más materiales para hacer un objeto de forma neta o casi neta (NNS), en contraste con los métodos de fabricación sustractivos. Si bien la "fabricación aditiva" es una expresión estándar de la industria (ASTM F2792), la AM (por sus siglas en inglés) abarca varias técnicas de fabricación y creación de prototipos conocidas bajo varios nombres, incluida la fabricación de forma libre, impresión 3D, creación rápida de prototipos/herramientas, etc. Las técnicas de AM son capaces de fabricar componentes complejos a partir de una amplia variedad de materiales. Por lo general, un objeto independiente se puede fabricar a partir de un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD). Un tipo particular de proceso de AM utiliza radiación electromagnética tal como un rayo láser, para fundir o sinterizar un material en polvo, creando un objeto tridimensional sólido.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de un aparato para la AM que utiliza un material de construcción en polvo. El aparato 140 construye objetos o porciones de objetos, por ejemplo, el objeto 152, capa por capa sinterizando o fundiendo un material en polvo (no mostrado) utilizando un haz de energía 170 generado por una fuente 150, que puede ser, por ejemplo, un láser para producir un rayo láser, o un filamento que emite electrones cuando fluye una corriente a través del mismo. El depósito 156 suministra el polvo que va a derretir el haz de energía y se distribuye uniformemente sobre un lecho de polvo 142 usando un brazo de recubrimiento 146 que se desplaza en la dirección 164 para mantener el polvo en un nivel 148 y eliminar el exceso de material en polvo que se extiende por encima del nivel de polvo 148 al recipiente de residuos 158. El haz de energía 170 sinteriza o funde una capa transversal del objeto que se está construyendo bajo el control de un dispositivo de dirección de emisión de irradiación, tal como un escáner láser galvo 162. El escáner galvo 162 puede comprender, por ejemplo, una pluralidad de espejos móviles o lentes de escaneo. La velocidad a la que se escanea el haz de energía es un parámetro de proceso controlable crítico, afectando la cantidad de energía entregada a un lugar en particular. Las velocidades normales de escaneo del haz de energía son del orden de 10 a varios miles de milímetros por segundo. Se baja la plataforma de construcción 144 y se extiende otra capa de polvo sobre el lecho de polvo y el objeto que se está construyendo, seguido de la fusión/sinterización sucesiva del polvo por el láser 150. La capa de polvo tiene normalmente, por ejemplo, de 10 a 100 micrómetros de espesor. El proceso se repite hasta que el objeto 152 se construye completamente a partir del material en polvo fundido/sinterizado. El haz de energía 170 puede ser controlado por un sistema informático que incluye un procesador y una memoria (no mostrados). El sistema informático puede determinar un patrón de escaneo para cada capa y controlar el haz de energía 170 para irradiar el material en polvo de acuerdo con el patrón de escaneo. Una vez completada la fabricación del objeto 152, se pueden aplicar varios procedimientos de procesamiento posterior al objeto 152. Los procedimientos de procesamiento posterior incluyen la eliminación del exceso de polvo mediante, por ejemplo, soplando o aspiración. Otros procedimientos de procesamiento posterior incluyen un proceso de tratamiento térmico para aliviar tensiones. Adicionalmente, se pueden utilizar procedimientos de procesamiento posterior térmicos y químicos para terminar el objeto 152.

La mayoría de las máquinas de AM comerciales permiten que los componentes se construyan capa por capa utilizando material de construcción en polvo, lo que tiene varios inconvenientes. Por lo general, los materiales en polvo sueltos pueden ser selectivamente difíciles de almacenar y transportar. También puede haber riesgos para la salud asociados con la inhalación de polvos sueltos. Puede ser necesario un equipo adicional para aislar el entorno de polvo y la filtración de aire para reducir estos riesgos para la salud. Por otra parte, en algunas situaciones, el polvo suelto puede volverse inflamable, el documento US2015/0251351 A1 desvela un método y un aparato para formar un objeto tridimensional a partir de laminación de chapas. El material de desecho que rodea las laminaciones se separa del objeto. Cada contorno de material de desecho está formado para estar conectado entre sí con "esteras" de material de producto.

En vista de lo anterior, son deseables métodos y aparatos no a base de polvo.

Sumario

60 A continuación se presenta un sumario simplificado de uno o más aspectos de la presente divulgación para proporcionar una comprensión básica de dichos aspectos.

65 En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un aparato para la fabricación aditiva de un objeto, comprendiendo el aparato: una placa de construcción que tiene una cara de construcción; una unidad de construcción orientada hacia la cara de construcción, comprendiendo la unidad de construcción una unidad de suministro de láminas y un dispositivo

- de dirección de emisión de radiación, la unidad de construcción acoplada a un sistema de posicionamiento capaz de proporcionar un movimiento independiente de la unidad de construcción en al menos tres dimensiones con respecto a la placa/cara de construcción; en donde la unidad de construcción está configurada para mover la lámina desde la unidad de entrega de la lámina hasta que entre en contacto con la placa de construcción, o un objeto sobre la misma, para que la lámina pueda ser irradiada e incorporada al objeto. En algunos aspectos, el dispositivo de dirección de emisión de radiación comprende una fuente de energía. En algunos aspectos, la unidad de construcción comprende además un escáner galvo. En algunos aspectos, la fuente de energía es una fuente de láser. En algunos aspectos, la fuente de energía es una fuente de haz de electrones. En algunos aspectos, la unidad de suministro de láminas es un dispensador de láminas capaz de almacenar uno o más rollos de láminas y dispensar una longitud de láminas desde un rollo activo de láminas. En algunos aspectos, el aparato comprende además un rollo de recogida de excesos. En algunos aspectos, la unidad de suministro de láminas es un dispensador de chapas de lámina capaz de almacenar y dispensar chapas de lámina. En algunos aspectos, el aparato comprende además una bandeja de desechos. En algunos aspectos, la unidad de construcción comprende además un dispositivo de flujo de gas configurado para proporcionar un flujo de gas laminar sustancialmente paralelo a una cara de la lámina.
- En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un método que comprende: posicionar una unidad de construcción con respecto a una placa de construcción que tiene una cara; dispensar, mediante la unidad de construcción, una capa de lámina metálica orientada hacia la cara de la placa de construcción; reposicionar la unidad de construcción para poner la lámina en contacto con la cara de la placa de construcción o un objeto sobre la misma; fundir las áreas seleccionadas de la capa respectiva de lámina metálica en la superficie de trabajo sobre la cara de la placa de construcción o el objeto; y eliminar las áreas no fundidas de la respectiva capa de lámina metálica del objeto. En algunos aspectos, la fusión de las áreas seleccionadas de la capa respectiva de lámina metálica en la superficie de trabajo comprende irradiar las áreas seleccionadas con un haz de energía procedente de una fuente de energía. En algunos aspectos, la fuente de energía es una fuente de láser. En algunos aspectos, la fuente de energía es una fuente de haz de electrones. En algunos aspectos, la fuente de energía es modulada por un escáner galvo. En algunos aspectos, la dispensación por parte de la unidad de construcción de una capa de lámina metálica comprende dispensar una longitud de lámina desde un rollo continuo de lámina metálica para extender una chapa de lámina metálica sobre la cara de la placa de construcción. En algunos aspectos, la eliminación de áreas no fundidas de la capa respectiva de lámina metálica comprende enrollar áreas no fundidas de la chapa de lámina metálica sobre un rollo de recogida de excesos. En algunos aspectos, la dispensación por parte de la unidad de construcción de una capa de lámina metálica comprende dispensar una chapa de lámina metálica desde un cartucho, en donde el cartucho es capaz de almacenar una pluralidad de chapas de lámina metálica. En algunos aspectos, la eliminación de las porciones restantes de la capa de lámina metálica comprende mover la chapa de lámina metálica del objeto. En algunos aspectos, reposicionar la unidad de construcción comprende posicionar un dispositivo de flujo de gas próximo a una cara de la lámina, para proporcionar un flujo de gas laminar sustancialmente paralelo a la cara de la lámina.
- En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un aparato que comprende una placa de construcción que tiene dos caras opuestas; un par de unidades de construcción en las caras opuestas de la placa de construcción, comprendiendo cada unidad de construcción una unidad de suministro de láminas y un dispositivo de dirección de emisión de radiación, cada unidad de construcción acoplada a un sistema de posicionamiento capaz de proporcionar un movimiento independiente de la unidad de construcción respectiva en al menos tres dimensiones. En algunos aspectos, el dispositivo de dirección de emisión de radiación comprende una fuente de energía. En algunos aspectos, la unidad de construcción comprende además un escáner galvo. En algunos aspectos, la fuente de energía es una fuente de láser. En algunos aspectos, la fuente de energía es una fuente de haz de electrones. En algunos aspectos, la unidad de suministro de láminas es un dispensador de chapas de lámina capaz de almacenar y dispensar chapas de lámina. En algunos aspectos, el aparato comprende además una bandeja de desechos. En algunos aspectos, la unidad de suministro de láminas es un dispensador de láminas capaz de almacenar uno o más rollos de láminas y dispensar una longitud de láminas desde un rollo activo de láminas. En algunos aspectos, el aparato comprende además un rollo de recogida de excesos. En algunos aspectos, el aparato comprende además un controlador configurado para controlar el par de unidades de construcción para construir simultáneamente un par de objetos correspondientes en las dos caras opuestas.
- En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un método que comprende: posicionar un par de unidades de construcción con respecto a una placa de construcción que tiene dos caras opuestas, comprendiendo cada cara una superficie de trabajo; dispensar, mediante cada una de las unidades de construcción, una capa respectiva de lámina metálica sobre las caras opuestas de la placa de construcción; fundir las áreas seleccionadas de la capa respectiva de lámina metálica en la superficie de trabajo sobre cada cara de la placa de construcción; y eliminar las áreas no fundidas de la capa de lámina metálica respectiva. En algunos aspectos, la fusión de las áreas seleccionadas de la capa respectiva de lámina metálica en la superficie de trabajo comprende irradiar las áreas seleccionadas con una fuente de energía. En algunos aspectos, la fuente de energía es una fuente de láser. En algunos aspectos, la fuente de energía es una fuente de haz de electrones. En algunos aspectos, la fuente de energía es modulada por un escáner galvo. En algunos aspectos, la dispensación por parte de cada una de las unidades de construcción de una capa respectiva de lámina metálica comprende dispensar una chapa de lámina metálica desde un cartucho, en donde el cartucho es capaz de almacenar una pluralidad de chapas de lámina metálica. En algunos aspectos, la eliminación de las áreas no fundidas de la capa respectiva de lámina metálica comprende mover la lámina de la superficie de trabajo a una bandeja de desechos. En algunos aspectos, la dispensación por parte de cada una de las unidades de

- construcción de una capa respectiva de lámina metálica comprende dispensar una longitud de lámina desde un rollo continuo de lámina metálica para extender una chapa de lámina metálica sobre la cara de la placa de construcción. En algunos aspectos, la eliminación de áreas no fundidas de la capa respectiva de lámina metálica comprende enrollar áreas no fundidas de la chapa de lámina metálica sobre un rollo de recogida de excesos. En algunos aspectos, la dispensación, fusión y eliminación se realizan simultáneamente por cada una de las unidades de construcción basándose en una señal de control de un controlador.
- La invención se dirige a un método de vectorización para la construcción a base de láminas metálicas de acuerdo con la reivindicación 1. En algunos aspectos, el método comprende además determinar que una segunda abertura no fundida aislada de la porción restante de la chapa de lámina tiene un área menor que un umbral; y separar por ablación la segunda abertura. En algunos aspectos, la ablación comprende la ablación de la segunda porción no fusionada cuando la chapa de lámina no está en contacto con la pieza de trabajo. En algunos aspectos, mover la chapa de lámina comprende: separar la chapa de lámina de la pieza de trabajo; reposicionar la chapa de lámina con respecto a la pieza de trabajo; y poner la chapa de lámina en contacto con la pieza de trabajo. En algunos aspectos, un borde de la primera área de escaneo contacta con un borde de la segunda área de escaneo. En algunos aspectos, la pieza de trabajo incluye un espacio vacío entre la primera área de escaneo y la segunda área de escaneo. En algunos aspectos, el método comprende además: dividir una segunda región en al menos una tercera área de escaneo y una cuarta área de escaneo; reposicionar al menos una de la tercera área de escaneo y la cuarta área de escaneo; fusionar la tercera área de escaneo con la pieza de trabajo; mover la chapa de lámina; y fusionar una cuarta área de escaneo de las al menos dos áreas de escaneo con la pieza de trabajo adyacente a la tercera área de escaneo. En algunos aspectos, dividir la segunda región comprende: determinar que un área superficial de una porción de la segunda región es menor que un área de la porción restante exterior a la primera región; y designar la porción de la segunda región como la tercera área de escaneo, en donde el reposicionamiento de al menos una de la tercera área de escaneo y la cuarta área de escaneo comprende mover la tercera área de escaneo a la porción restante exterior a la primera región. En algunos aspectos, dividir la segunda región comprende: determinar que la anchura de una porción de la segunda región a lo largo de un eje es menor que un umbral; y designar la porción de la segunda región como la tercera área de escaneo, en donde el reposicionamiento de al menos una de la tercera área de escaneo y la cuarta área de escaneo comprende mover la tercera área de escaneo.
- La invención se refiere también a un aparato para formar un objeto utilizando materiales a base de láminas metálicas de acuerdo con la reivindicación 10. En algunos aspectos, el controlador está configurado para: determinar que una segunda abertura sin fusionar aislada de la porción restante de la chapa de lámina tiene un área menor que un umbral; y separar por ablación la segunda abertura no fusionada. En algunos aspectos, el controlador está configurado para extirpar la segunda parte no fusionada cuando la chapa de lámina no está en contacto con la pieza de trabajo. En algunos aspectos, el controlador está configurado para: separar la chapa de lámina de la pieza de trabajo; reposicionar la chapa de lámina con respecto a la pieza de trabajo; y poner la chapa de lámina en contacto con la pieza de trabajo. En algunos aspectos, un borde de la primera área de escaneo fusionada entra en contacto con un borde de la segunda área de escaneo fusionada. En algunos aspectos, la pieza de trabajo incluye un espacio vacío entre la primera área de escaneo y la segunda área de escaneo. En algunos aspectos, el controlador está configurado para: dividir una segunda región en al menos una tercera área de escaneo y una cuarta área de escaneo; reposicionar al menos una de la tercera área de escaneo y la cuarta área de escaneo; fusionar la tercera área de escaneo con la pieza de trabajo; mover la chapa de lámina; y fusionar una cuarta área de escaneo de las al menos dos áreas de escaneo con la pieza de trabajo adyacente a la tercera área de escaneo. En algunos aspectos, el controlador está configurado para: determinar que un área superficial de una porción de la segunda región es menor que un área de la porción restante exterior a la primera región; y designar la porción de la segunda región como la tercera área de escaneo; y mover la tercera área de escaneo a la porción restante exterior a la primera región. En algunos aspectos, el controlador está configurado para: determinar que la anchura de una porción de la segunda región a lo largo de un eje es menor que un umbral; y designar la porción de la segunda región como la tercera área de escaneo, en donde el reposicionamiento de al menos una de la tercera área de escaneo y la cuarta área de escaneo comprende mover la tercera área de escaneo. En algunos aspectos, el aparato comprende además un sistema de posicionamiento capaz de proporcionar un movimiento independiente de la unidad de suministro de láminas y el dispositivo de dirección de emisión de radiación en al menos tres dimensiones con respecto a la cara de construcción.
- En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un aparato para la fabricación aditiva de un objeto, comprendiendo el aparato: una placa de construcción que tiene una cara de construcción; una unidad de construcción orientada hacia la cara de construcción, comprendiendo la unidad de construcción: una unidad de suministro de láminas y un dispositivo de dirección de emisión de radiación, en donde la unidad de construcción está configurada para mover la lámina desde la unidad de entrega de la lámina hasta que entre en contacto con la placa de construcción, o un objeto sobre la misma, para que la lámina pueda ser irradiada e incorporada al objeto; y uno o más detectores configurados para inspeccionar una o más láminas, el objeto, y la radiación emitida o recibida por el dispositivo de dirección de emisión de radiación. En algunos aspectos, el aparato comprende además un controlador configurado para recibir datos de uno o más detectores y ajustar uno o más de la radiación emitida por una fuente de energía y/o el dispositivo de dirección de emisión de radiación, la unidad de suministro de láminas, la unidad de construcción, o uno o más detectores basándose en los datos recibidos. En algunos aspectos, el uno o más detectores está ubicado entre la placa de construcción y la unidad de suministro de láminas y está configurado para inspeccionar el objeto. En algunos aspectos, el uno o más detectores comprende un escáner térmico configurado para inspeccionar el objeto y generar

- un perfil térmico del objeto. En algunos aspectos, el uno o más detectores comprende un detector electromagnético configurado para aplicar una corriente eléctrica al objeto y medir una propiedad magnética de las corrientes parásitas generadas dentro del objeto. En algunos aspectos, el uno o más detectores comprende un escáner de tomografía computarizada. En algunos aspectos, el uno o más detectores están configurados para inspeccionar antes de completar el objeto. En algunos aspectos, el aparato comprende además un dispositivo de recogida de láminas configurado para recibir una porción restante de la lámina después de la irradiación, en donde uno o más detectores están configurados para inspeccionar la porción restante.
- 5 En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un método que comprende: posicionar una unidad de construcción con respecto a una placa de construcción que tiene una cara; dispensar, mediante la unidad de construcción, una capa de lámina metálica orientada hacia la cara de la placa de construcción; reposicionar la unidad de construcción para poner la lámina en contacto con la cara de la placa de construcción o un objeto sobre la misma; fundir las áreas seleccionadas de la capa respectiva de lámina metálica en la superficie de trabajo sobre la cara de la placa de construcción o el objeto; retirar las porciones restantes de la capa respectiva de lámina metálica del objeto; e inspeccionar, mediante un detector, al menos una de las capas de lámina metálica, el objeto, o las porciones restantes de la respectiva capa de lámina metálica. En algunos aspectos, el método incluye al menos una etapa de inspeccionar, mediante un detector, la capa de lámina metálica antes de la fusión o inspeccionar, mediante un detector, el objeto. En algunos aspectos, el método comprende además transmitir datos sobre la capa de lámina metálica del detector a un controlador, comparar los datos con un modelo para la lámina y ajustar la lámina de acuerdo con el modelo. En 10 algunos aspectos, el método comprende además transmitir datos sobre el objeto del detector a un controlador, y comparar los datos con un modelo para el objeto. En algunos aspectos, el método comprende además: determinar que los datos del objeto difieren del modelo para el objeto en más de una cantidad umbral; y detener un proceso de construcción para el objeto.
- 15 20 Estos y otros aspectos de la invención se entenderán más completamente tras una revisión de la descripción detallada, que sigue.

Breve descripción de los dibujos

- 30 La Figura 1 muestra un ejemplo de un aparato para AM de acuerdo con los métodos convencionales.
 La Figura 2A muestra un diagrama esquemático de un aparato para AM de acuerdo con una primera realización de la presente divulgación.
 La Figura 2B muestra un diagrama esquemático del suministro de una longitud de material de construcción nuevo de acuerdo con una primera realización de la presente divulgación.
 35 La Figura 2C muestra un diagrama esquemático del corte e irradiación de una porción del material de construcción en la preparación de una nueva capa de acuerdo con una primera realización de la presente divulgación.
 La Figura 2D muestra un diagrama esquemático del aparato después de fusionar la nueva capa con el objeto de acuerdo con una primera realización de la presente divulgación.
 La Figura 2E muestra un diagrama esquemático de un aparato para AM con supervisión del proceso de acuerdo 40 con una primera realización de la presente divulgación.
 La Figura 3A muestra un diagrama esquemático de un aparato para AM de acuerdo con una segunda realización de la presente divulgación.
 La Figura 3B muestra un diagrama esquemático del suministro de una lámina de material de construcción nuevo de acuerdo con una segunda realización de la presente divulgación.
 45 La Figura 3C muestra un diagrama esquemático del corte e irradiación de una parte del material de construcción en la preparación de una nueva capa de acuerdo con una segunda realización de la presente divulgación.
 La Figura 3D muestra un diagrama esquemático del aparato después de fusionar la nueva capa con el objeto de acuerdo con una segunda realización de la presente divulgación.
 La Figura 3E muestra un diagrama esquemático de un aparato para AM con supervisión del proceso de acuerdo 50 con una segunda realización de la presente divulgación.
 La Figura 4A muestra un diagrama esquemático de un aparato para AM de acuerdo con una tercera realización de la presente divulgación.
 La Figura 4B muestra un diagrama esquemático del suministro de una longitud de material de construcción nuevo de acuerdo con una segunda realización de la presente divulgación.
 55 La Figura 4C muestra un diagrama esquemático del corte e irradiación de una parte del material de construcción en la preparación de una nueva capa de acuerdo con una tercera realización de la presente divulgación.
 La Figura 4D muestra un diagrama esquemático del aparato después de fusionar la nueva capa con el objeto de acuerdo con una tercera realización de la presente divulgación.
 La Figura 4E muestra un diagrama esquemático de un aparato para AM con supervisión del proceso de acuerdo 60 con una tercera realización de la presente divulgación.
 La Figura 5A muestra un diagrama esquemático de un aparato para AM de acuerdo con una cuarta realización de la presente divulgación.
 La Figura 5B muestra un diagrama esquemático del suministro de una lámina de material de construcción nuevo de acuerdo con una cuarta realización de la presente divulgación.
 65 La Figura 5C muestra un diagrama esquemático del corte e irradiación de una parte del material de construcción en la preparación de una nueva capa de acuerdo con una cuarta realización de la presente divulgación.

La Figura 5D muestra un diagrama esquemático del aparato después de fusionar la nueva capa con el objeto de acuerdo con una cuarta realización de la presente divulgación.

La Figura 5E muestra un diagrama esquemático de un aparato para AM con supervisión del proceso de acuerdo con una cuarta realización de la presente divulgación.

5 La Figura 6 muestra un diagrama esquemático de una capa de ejemplo que se agregará a un objeto usando cualquiera de los aparatos de la presente divulgación.

La Figura 7 muestra un diagrama esquemático de la capa de ejemplo de la Figura 7 reorganizada de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

10 Descripción detallada

La descripción detallada que se establece a continuación en relación con los dibujos adjuntos pretende ser una descripción de las diversas configuraciones y no pretende representar las únicas configuraciones en las que se pueden implementar los conceptos descritos en el presente documento. La descripción detallada incluye detalles específicos 15 con el fin de proporcionar una comprensión completa de los diversos conceptos. Sin embargo, resultará evidente para los expertos en la materia que los conceptos se pueden implementar sin estos detalles específicos.

Fabricación aditiva móvil a gran escala utilizando materiales de construcción a base de láminas

20 La presente solicitud se refiere a métodos y aparatos para la fabricación aditiva móvil a gran escala utilizando materiales de construcción a base de láminas. De acuerdo con la presente divulgación, la fabricación aditiva se lleva a cabo en una cara de una placa de construcción, utilizando materiales de construcción a base de láminas. El uso de una chapa de un metal de "lámina" fina colocada sobre una región de interés permite al usuario incidir en el lado opuesto de la lámina con una fuente de radiación y soldar la lámina inmediatamente debajo del punto de irradiación a 25 la superficie de abajo. Esta tecnología crea una nueva capa del objeto a partir de la lámina de la misma forma que una impresora de lecho de polvo convencional. Sin embargo, los métodos de la presente divulgación tienen las ventajas de no manipular polvo, no recubrir ni tiempo de recubrir, no atascos de recubridores ni desacoplamiento gravitacional, puesto que la tecnología puede funcionar para imprimir en ángulos, boca abajo o en gravedad cero.

30 En algunos aspectos, el método y el aparato de la presente divulgación pueden incluir también la supervisión del proceso. Sin el lecho de polvo, la pieza u objeto en crecimiento puede estar siempre visible. Esta visibilidad permite una inspección en tiempo real que incluye, aunque sin limitación, inspección de acabado superficial; examen de tolerancia dimensional, ya sea a través de sonda, telemetría láser o cámara; e inspección metalúrgica microscópica. En algunos aspectos, la supervisión del proceso puede incluir la inspección posterior del objeto o pieza terminados, 35 de la última capa terminada, de las porciones restantes de la lámina, o una combinación de los anteriores. La supervisión del proceso de acuerdo con la presente divulgación puede facilitar la determinación de la sostenibilidad de la pieza o del objeto antes que en la fabricación aditiva a base de lecho de polvo. Las tecnologías y modalidades existentes para la supervisión del proceso, tales como la tomografía CT, pueden ser capaces de utilizarse con la presente divulgación, ya sea en serie o en paralelo con el proceso de construcción, o posterior a la construcción.

40 Algunos de estos aspectos pueden incluir además el control de bucle cerrado, que puede proporcionar la capacidad de realizar un seguimiento capa por capa de los modelos de deformación y el ajuste del proceso de construcción a medida que surgen características geométricas (u otras) no deseadas. Además de corregir las características del objeto, la supervisión del proceso y el control de bucle cerrado pueden facilitar también la supervisión de estado de 45 los equipos de fabricación aditiva. La visibilidad de la pieza durante su construcción permite comentarios y correcciones en tiempo real. En algunos aspectos, se puede usar un algoritmo de bucle cerrado multisensor para modificar el progreso de escaneo. Las capacidades de inspección mejoradas pueden facilitar la compensación de construcción "sobre la marcha" para obtener un producto final más deseable (es decir, el objeto) con respecto a la geometría del producto u otras propiedades.

50 Como se utiliza en el presente documento, un "material de construcción a base de láminas" es una chapa de metal continua, uniforme, sólida, preparada convencionalmente por martilleo o laminación. En algunos aspectos de la presente divulgación, los materiales de construcción a base de láminas no comprenden un respaldo o portador. Las láminas adecuadas para su uso con la presente divulgación se pueden usar en forma de rollos de lámina, que pueden 55 estar pre-perforadas o no, o en forma de láminas pre-cortadas. Los materiales de construcción a base de láminas adecuados para su uso con la presente divulgación incluyen, pero sin limitación, aluminio, cobalto-cromo, HS188, acero martensítico, aceros inoxidables, acero para herramientas, níquel, titanio, cobre, estaño, cobalto, niobio, tantalio, aluminuro de titanio gamma, Inconel 625, Inconel 718, Inconel 188, Haynes 188®, Haynes 625®, Súper aleación Inconel 625™, Chronin® 625, Altemp® 625, Nickelvac® 625, Nicrofer® 6020, Inconel 188, y cualquier otro material 60 que tenga propiedades materiales atractivas para la formación de componentes usando las técnicas antes mencionadas.

Como se utiliza en el presente documento, un material es "opaco" a la radiación si el material no transmite la radiación entrante.

65 Como se utiliza en el presente documento, "modular" un haz de energía de una fuente de energía incluye uno o más

- de ajustar un ángulo del haz, ajustar un foco del haz, y trasladar un dispositivo de dirección de emisión de radiación en al menos una dimensión. Los dispositivos de dirección de emisión de radiación adecuados para su uso de acuerdo con la presente divulgación incluyen, pero sin limitación, escáneres galvo y bobinas deflectoras. En algunos aspectos, un dispositivo de dirección de emisión de radiación puede modular un haz de energía de una fuente de energía doblando y/o reflejando el haz de energía para escanear diferentes regiones en una cara de construcción y/o mediante el movimiento xyz del dispositivo de dirección de emisión de radiación, que opcionalmente se puede alojar en una unidad de construcción.
- 5 Como se utiliza en el presente documento, "radiación" se refiere a la energía en forma de ondas o partículas, incluyendo, aunque sin limitación, calor, ondas de radio, luz visible, rayos X, radioactividad, radiación acústica y radiación gravitacional.
- 10 Las figuras 2A-2D muestran diagramas esquemáticos de un aparato 240 de acuerdo con una primera realización de la presente divulgación.
- 15 El aparato 240 comprende una placa de construcción con una cara 244, que está disponible para construir un objeto por fabricación aditiva (Figura 2A). En algunos aspectos, la placa de construcción y la cara 244 se encuentran en un plano xy, con la construcción ocurriendo en la dirección z con respecto a la cara 244. Como se utiliza en el presente documento, el término "encima" puede significar separados en la dirección z. Debe apreciarse que el aparato 240 no
- 20 puede limitarse a una orientación gravitacional particular. Es decir, si bien la dirección z se extiende verticalmente opuesta a una dirección gravitatoria para el aparato convencional 100, el aparato 240 puede operar con una dirección z transversal a la dirección gravitatoria, opuesta a la dirección de la gravedad, o en gravedad cero.
- 25 Una unidad de construcción 275 que comprende el sistema de posicionamiento 275a, 275b para unidad de suministro de láminas 276a, compuesto por suministro de láminas 276 y colector de láminas 277, se utiliza para construir un objeto 252 utilizando lámina 278. En algunos aspectos, sistema de posicionamiento 275a, 275b permite el movimiento de la unidad de suministro de láminas 276a en tres dimensiones. En algunos aspectos, la unidad de construcción 275 alberga un dispositivo de dirección de emisión de radiación, tal como el escáner galvo 262, que puede usarse para modular el haz de energía 270 de la fuente de energía 250. Por ejemplo, el escáner galvo 262 puede reflejar o doblar el haz de energía 270 para escanear diferentes regiones en la cara 244 o un objeto sobre la misma. En tales aspectos, al moverse a una ubicación particular con respecto a la cara 244, la unidad de construcción 275 puede limitar el ángulo θ_2 del haz de energía 270 utilizado para escanear la cara 244. El ángulo limitado puede proporcionar una fusión más consistente de la lámina. En otros aspectos, el escáner galvo 262 no está contenido dentro de la unidad de construcción 275.
- 30 35 En algunos aspectos, la fuente de energía 250 es una fuente de láser. En otros aspectos, la fuente de energía 250 es una fuente de haz de electrones. En tales aspectos, el aparato 240 funciona en condiciones de vacío. En algunos de estos aspectos, el dispositivo de dirección de emisión de radiación es una bobina deflectora. La fuente de energía 250 puede ser una fuente de láser en condiciones de vacío o sin vacío.
- 40 45 En algunos aspectos, la unidad de construcción 275 está unida a un sistema de posicionamiento, tal como un pórtico o un cabezal coordinado multidimensional (por ejemplo, un brazo robótico), que se puede mover en al menos tres dimensiones, que pueden ser, por ejemplo, las coordenadas x, y, y z, durante el funcionamiento, para posicionar el dispositivo de dirección de emisión de radiación (representado como un escáner galvo 262) y/o la unidad de suministro de láminas 276a en relación con la cara de la placa de construcción 244 y/o el objeto 252. De forma adicional, la unidad de construcción 275 es preferiblemente giratoria en todas las direcciones, tales con rodadura, cabeceo y guíñada. Como resultado, la unidad de construcción 275 es preferiblemente capaz de operar boca abajo o en cualquier ángulo.
- 50 En una primera realización, la unidad de suministro de láminas 276a suministra un rollo continuo de un material de construcción en forma de lámina.
- 55 Las Figuras 2B-2D representan etapas de un método de fabricación aditiva de acuerdo con una primera realización de la presente divulgación. En algunos aspectos, la unidad de suministro de láminas 276a contiene un rollo de suministro de láminas 276 y un rollo de recogida 277. El rollo de suministro 276 suministra una longitud de lámina nueva 278, que se extiende sobre una cara de placa de construcción 244, sobre la que se construye el objeto 252, en la dirección 282 hacia el rollo de recogida 277 (Figuras 2A-2B).
- 60 65 En algunos aspectos, el rollo de suministro 276 se suministra como un cartucho para ser instalado en la unidad de suministro de láminas. El cartucho puede ser una unidad sellada que protege la hoja de elementos externos antes de la inserción en el aparato 240. En tales aspectos, el cartucho puede suministrar lámina de forma manual o automática después de la inserción del cartucho. En tales aspectos, después de que se hayan gastado todos los materiales del cartucho, el cartucho se puede retirar o separarse, y un cartucho nuevo se puede insertar (manualmente) o recoger (automáticamente), permitiendo que el proceso de construcción continúe.
- En algunos aspectos, se aplica un flujo de gas laminar 281 al área de construcción (Figura 2C). Los gases adecuados

para su uso en el flujo de gas laminar incluyen, pero sin limitación, nitrógeno, argón, helio, y combinaciones de los mismos. El flujo laminar puede efectuarse por cualquier medio adecuado conocido por los expertos en la materia, tal como mediante el uso de un dispositivo de flujo de gas 285, por ejemplo, como se desvela en la solicitud de patente de EE. UU. n.º 15/406.454, con expediente de abogado n.º 313524/037216.00060, presentada el 13 de enero de 2017.

- 5 En algunos aspectos, el dispositivo de flujo de gas 285 puede adaptarse para proporcionar un entorno de oxígeno reducido. Durante el funcionamiento, si se utiliza un flujo de gas laminar, entonces la fuente de energía 250 es una fuente de láser y el haz de energía 270 es un haz de láser. Esto facilita la eliminación del penacho de efluentes causado por la fusión por láser.
- 10 Cuando se irradia una capa de lámina, los humos, condensados y otras impurezas fluyen hacia la zona de flujo de gas laminar 281 y se transfieren lejos de la lámina y del objeto que se está formando por el flujo de gas laminar. Los humos, condensados y otras impurezas fluyen hacia la porción de salida de gas de baja presión y finalmente se recolectan en un filtro, tal como un filtro HEPA. Al mantener el flujo laminar, los humos, condensados y otras impurezas antes mencionadas se pueden eliminar de forma simultánea al tiempo que se enfrián rápidamente el uno o más charcos de fusión creados por el láser, sin perturbar la capa de aluminio, dando como resultado piezas de mayor calidad con características metalúrgicas mejoradas. En un aspecto, el flujo de gas en el volumen de flujo de gas es de aproximadamente 3 metros por segundo. El gas puede fluir en la dirección x o y.
- 15
- 20 El contenido de oxígeno del segundo ambiente atmosférico controlado, si está presente, es generalmente aproximadamente igual al contenido de oxígeno del primer ambiente atmosférico controlado (la zona de flujo de gas laminar 281), aunque no tiene por qué serlo. El contenido de oxígeno de ambos ambientes atmosféricos controlados es preferiblemente relativamente bajo. Por ejemplo, puede ser del 1 % o menos, o más preferiblemente del 0,5 % o menos, o aún más preferiblemente del 0,1 % o menos. Los gases que no son oxígeno pueden ser cualquier gas adecuado para el proceso. Por ejemplo, el nitrógeno obtenido al separar el aire ambiental puede ser una opción conveniente para algunas aplicaciones. Algunas aplicaciones pueden utilizar otros gases como helio, neón o argón. Una ventaja de la presente divulgación es que es mucho más fácil mantener un ambiente con bajo contenido de oxígeno en el volumen relativamente pequeño del primer y segundo ambientes atmosféricos controlados. Es preferible que solo volúmenes relativamente pequeños requieran un control atmosférico relativamente estricto, como se desvela en la solicitud de patente de EE. UU. n.º 15/406.454, con expediente de abogado n.º 313524/037216.00060, presentada el 13 de enero de 2017. Por lo tanto, de acuerdo con la presente divulgación, es preferible que el primer y segundo ambientes atmosféricos controlados puedan ser, por ejemplo, 100 veces más pequeño en términos de volumen de construcción que el entorno de construcción. La primera zona de gas, y también el dispositivo de flujo de gas 285, pueden tener un área de sección transversal xy más grande que es más pequeña que el área de sección transversal xy más pequeña del objeto 252. No existe un límite particular en el tamaño del objeto 252 en relación con la primera zona de gas 281 y/o el dispositivo de flujo de gas 285. Ventajosamente, el dispositivo de dirección de emisión de radiación (ilustrado, por ejemplo, como el escáner galvo 262) dispara a través de la primera y segunda zona de gas, que son zonas de oxígeno relativamente bajas. Cuando la primera zona de gas es una zona de flujo de gas laminar 281, con flujo de gas sustancialmente laminar, el haz de energía 270 es un rayo láser con una línea de visión más clara hacia el objeto, debido a la mencionada evacuación eficiente de humos, condensados y otros contaminantes o impurezas.
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65
- En algunos aspectos, la unidad de construcción comprende un dispositivo de flujo de gas 285 adaptado para proporcionar un flujo de gas sustancialmente laminar a una zona de flujo de gas laminar 281 de 5,1 cm (dos pulgadas) y sustancialmente paralelo a, una superficie de trabajo, tal como la placa de construcción 244 o un objeto 252 sobre la misma. El dispositivo de flujo de gas 285 puede adaptarse para mantener una zona de flujo de gas laminar 281, para proporcionar un ambiente con poco oxígeno alrededor de la superficie de trabajo en una región debajo de la unidad de construcción. También puede haber una zona de gas oxígeno reducida por encima de la zona de flujo de gas laminar 281. En algunos aspectos, ambas zonas de gas pueden estar contenidas dentro de una zona de contención que rodea al menos la unidad de construcción y el sistema de posicionamiento. En algunos aspectos, la unidad de construcción puede estar al menos parcialmente encerrada para formar un ambiente bajo en oxígeno sobre el área de construcción de la superficie de trabajo, es decir, alrededor de la trayectoria del haz 270.
- En la realización ilustrada en la Figura 2B, la zona de flujo de gas laminar 281 es esencialmente el volumen del dispositivo de flujo de gas 285, es decir, el volumen definido por las superficies verticales (xz) de la porción de entrada presurizada 283 y de la porción de salida presurizada 284 y por la extensión de las superficies imaginarias desde los bordes superior e inferior respectivos de la porción de entrada hasta los bordes superior e inferior de la parte de salida del plano xy.
- En algunos aspectos, el flujo de gas laminar 281 se aplica sustancialmente paralelo a la cara de la longitud de la hoja nueva 278 que no mira hacia el objeto 252 o la cara de la placa de construcción 244, dando lugar a una lámina activa 280. El posicionamiento del dispositivo de flujo de gas 285 y la aplicación del flujo de gas laminar 281 minimiza cualquier distancia entre la lámina activa 280 y el objeto 252 o, al construir la capa inicial del objeto 252, entre la lámina activa 280 y la cara de la placa de construcción 244, estableciendo así contacto entre la lámina activa 280 y el objeto 252 o, al construir la capa inicial del objeto, entre la lámina activa 280 y la cara de la placa de construcción 244. En algunos aspectos, el aparato 240 puede comprender además rodillos para ayudar a establecer contacto entre la lámina

activa 280 y el objeto 252 o, al construir la capa inicial del objeto, entre la lámina activa 280 y la placa/cara de construcción 244. Los rodillos pueden moverse en la dirección z con respecto al rollo de suministro de lámina 276 para poner la lámina activa 280 en contacto con el objeto 252 o la cara de la placa de construcción 244, tal como formando curvas 286, 287 en la lámina activa 280, y retrayendo la lámina activa 280 desde las mismas.

- 5 El haz de energía 270 se usa después para cortar la lámina activa 280 (Figura 2C) para producir una capa adicional 258 (Figura 2D). Como se utiliza en el presente documento, "cortar" la lámina activa de acuerdo con la presente divulgación se refiere a separar la capa adicional 258 (o la parte de la hoja 280 que se convertirá en la capa adicional 258) de la mayor parte de la lámina activa 280. El corte lo realiza preferentemente el haz de energía 270. En algunos 10 aspectos, la capa 258 puede ser la capa inicial en la fabricación del objeto 252. En algunos aspectos, la capa 258 puede ser la capa final en la fabricación del objeto 252. En algunos aspectos, la capa 258 puede ser una capa intermedia en la fabricación del objeto 252.

- 15 En algunos aspectos, el haz de energía 270 se irradia primero a lo largo de un perímetro 254 de la capa 258 que se agregará para fusionar la lámina activa 280 al objeto 252 en el perímetro 254 (Figura 2C). En algunos aspectos, la irradiación corta simultáneamente la lámina activa 280. En otros aspectos, el haz de energía 270 corta la lámina activa 280 a lo largo del perímetro 254 antes de la irradiación dentro del perímetro 254 para fusionar la capa 258 con el objeto 20 252. En otros aspectos, el haz de energía 270 se irradia a lo largo del perímetro 254 para fusionar la lámina activa 280 con el objeto 252 en el perímetro 254, y después el haz de energía 270 corta la lámina activa 280 a lo largo del perímetro 254.

25 En algunos aspectos, después del corte y la irradiación (simultánea o secuencialmente en cualquier orden) a lo largo del perímetro 254, el haz de energía 270 irradia el área 256 de una forma de relleno de trama, para fusionar la lámina activa 280 al objeto 252.

- 30 En otros aspectos, el haz de energía 270 irradia primero el área 256 en una forma de relleno de trama, para fusionar la lámina activa 280 al objeto 252, y se corta e irradia después a lo largo del perímetro 254 de la capa añadida. En tales aspectos, el corte y la irradiación a lo largo del perímetro 254 pueden ocurrir simultánea o secuencialmente en cualquier orden.

- 35 Ajustes adecuados para el haz de energía 270, fuente de energía 250, y/o el dispositivo de dirección de emisión de radiación (ilustrado como, por ejemplo, el escáner galvo 262) para cortar la lámina activa 280 y para irradiar la lámina activa 280 a lo largo del perímetro 254 o en el área 256 son conocidos o pueden determinarse por los expertos en la materia.

- 40 35 La finalización del corte y la irradiación a lo largo del perímetro 254 crea un orificio 260, de donde se agregó la nueva capa 258 al objeto 252, en la porción restante 279 (Figura 2D). En algunos aspectos, el flujo de gas laminar 281 puede reducirse o eliminarse con la creación del orificio 260 y/o llenar la trama del área 256, para mejorar la separación de la porción restante 279 del objeto 252. La porción restante 279 puede después avanzar en la dirección 282 sobre el rollo de recogida 277, para proporcionar una nueva longitud de lámina 278 para construir la siguiente capa. En algunos aspectos, no se construyen más capas. En algunos aspectos, se construyen una o más capas adicionales.

- 45 40 En algunos aspectos, el aparato 240 puede comprender además uno o más detectores para la supervisión del proceso (Figura 2E). El proceso de construcción representado en las Figuras 2B-2D refleja el haz de radiación de retorno 289, que viaja de regreso al escáner galvo 262 y después al fotodetector 288, que analiza el haz de radiación de retorno 289 para tales propiedades, aunque sin limitación. De forma adicional, el aparato 240 puede comprender además detectores 290, 291 para inspeccionar la lámina y el objeto 252, respectivamente. La inspección por el detector 290 de la lámina puede incluir la inspección de uno o más del suministro de láminas 276, rollo de recogida 277, lámina nueva 278, lámina activa 280 y porción restante 279. El detector 291 puede estar ubicado debajo de una capa de construcción actual. Es decir, al menos una vez que el objeto 252 alcanza un tamaño umbral en la dimensión z, el detector 291 se extiende en la dimensión z menos que el tamaño del objeto 252 en la dimensión z. Esta posición permite que el detector 291 observe directamente el objeto 252 sin que la unidad de construcción 275 interfiera en la observación. Adicionalmente, una perspectiva de este tipo puede no estar disponible en un aparato a base de polvo porque el polvo sin fusionar impediría la observación directa del objeto 252. El detector 291 puede proporcionar 50 45 información sobre las partes terminadas del objeto 252 antes de que se haya completado todo el objeto 252. Los detectores 290, 291 pueden ser cada uno independientemente cualquier detector adecuado, tal como, pero sin limitarse a una cámara o un escáner térmico. En un aspecto, el detector 291 puede ser un detector electromagnético. El detector 291 puede aplicar una corriente eléctrica al objeto 252. El detector 291 puede observar corrientes de Foucault dentro del objeto 252. Las corrientes de Foucault pueden indicar huecos o fracturas dentro del objeto 252 55 50 que alteran un patrón esperado. Por consiguiente, los defectos pueden detectarse en una etapa temprana del proceso de construcción.

- 60 55 En algunos aspectos, los detectores 288, 290 y 291 transmiten datos a un controlador, que puede ser un ordenador. En algunos aspectos, el método puede incluir ajustar el proceso de construcción en respuesta a los datos. Los expertos en la materia pueden determinar los ajustes adecuados basándose en los datos y en el conocimiento del objeto 252 que se desea construir. Los ajustes adecuados pueden incluir, pero sin limitación, ajustar uno o más de la frecuencia

o intensidad del haz de energía 270; reposicionar uno o más del rollo de suministro 276, rollo de recogida de excesos 277, dispositivo de flujo de gas 285, unidad de construcción 275 y detectores 288, 290 o 291. Los ajustes pueden ser realizados por un controlador, tal como un ordenador, ya sea de forma automática o manual.

- 5 Las figuras 3A-D muestran diagramas esquemáticos de un aparato 340 de acuerdo con una segunda realización de la presente divulgación. El aparato 340 puede ser similar en algunos aspectos al aparato 240.

El aparato 340 comprende una placa de construcción con una cara 344, que está disponible para construir un objeto por fabricación aditiva (Figura 3A). En algunos aspectos, la placa de construcción y la cara 344 se encuentran en un plano xy, con la construcción ocurriendo en la dirección z con respecto a la cara 344. Como se utiliza en el presente documento, el término "encima" puede significar separados en la dirección z. Debe apreciarse que el aparato 340 no puede limitarse a una orientación gravitacional particular. Es decir, si bien la dirección z se extiende verticalmente opuesta a una dirección gravitatoria para el aparato 100, el aparato 340 puede operar con una dirección z transversal a la dirección gravitatoria, opuesta a la dirección gravitatoria, o en gravedad cero.

15 Una unidad de construcción 375 que comprende el sistema de posicionamiento 375a, 375b para unidad de suministro de láminas 376a, compuesto por suministro de láminas 376 y colector de láminas 377, se utiliza para construir un objeto 352 utilizando lámina 378. En algunos aspectos, sistema de posicionamiento 375a, 375b permite el movimiento de la unidad de suministro de láminas 376a en tres dimensiones. La unidad de construcción 375 puede ser similar en 20 algunos aspectos a la unidad de construcción 275. En algunos aspectos, la unidad de construcción 375 alberga un dispositivo de dirección de emisión de radiación, tal como el escáner galvo 362, que puede usarse para modular el haz de energía 370 de la fuente de energía 350. Por ejemplo, el escáner galvo 362 puede reflejar o doblar el haz de energía 370 para escanear diferentes regiones en la cara 344 o un objeto sobre la misma. En tales aspectos, al moverse a una ubicación particular con respecto a la cara 344, la unidad de construcción 375 puede limitar el ángulo 25 θ_3 del haz de energía 370 utilizado para escanear la cara 344. Este ángulo limitado puede proporcionar una fusión más consistente de la lámina. En otros aspectos, el escáner galvo 362 no está contenido dentro de la unidad de construcción 375.

30 En algunos aspectos, la fuente de energía 350 es una fuente de láser. En otros aspectos, la fuente de energía 350 es una fuente de haz de electrones. En tales aspectos, el aparato 340 funciona en condiciones de vacío. En algunos de estos aspectos, el dispositivo de dirección de emisión de radiación es una bobina deflectora. La fuente de energía 350 puede ser una fuente de láser en condiciones de vacío o sin vacío.

35 En algunos aspectos, la unidad de construcción 375 está unida a un sistema de posicionamiento, tal como un pórtico, que se puede mover en al menos tres dimensiones, que pueden ser, por ejemplo, las coordenadas x, y, y z, durante el funcionamiento, para posicionar el dispositivo de dirección de emisión de radiación (ilustrado como, por ejemplo, el escáner galvo 362) y/o unidad de suministro de láminas 376a en relación con la cara de la placa de construcción 344 y/o el objeto 352. De forma adicional, la unidad de construcción 375 es preferiblemente giratoria en al menos dos dimensiones, es decir, en el plano xy, alrededor del eje z.

40 En una segunda realización, la unidad de suministro de láminas 376a suministra chapas de láminas pre-cortadas.

Las Figuras 3B-3D representan etapas de un método de fabricación aditiva de acuerdo con una segunda realización de la presente divulgación. En algunos aspectos, la unidad de suministro de láminas 376a contiene un cartucho de chapas 376 y una bandeja de desechos 377 (Figuras 3A-3B). La bandeja de desechos 377 puede ser de carga superior, carga inferior o carga lateral, y puede estar cubierta o descubierta. En otros aspectos, la unidad de suministro de láminas 376a contiene un cartucho de chapas 376 y ninguna bandeja de desechos. El cartucho de chapas 376 suministra una nueva chapa de lámina 378, que se extiende sobre una cara de placa de construcción 344, sobre la que se construye el objeto 352. El cartucho puede ser una unidad sellada que protege la hoja de elementos externos antes de la inserción en el aparato 340. La Figura 3B muestra una vista superior simplificada de un esquema del aparato 340 antes de que el cartucho de chapas 376 dispense una chapa 378 de lámina. En algunos aspectos, el cartucho de chapas 376 almacena múltiples chapas 378 de lámina. Los cartuchos de chapas 376 pueden suministrar cada chapa 378 de lámina de forma manual o automática después de la inserción del cartucho. Después de que se hayan gastado todos los materiales del cartucho 376, el cartucho 376 se puede retirar o separarse, y un cartucho 55 nuevo se puede insertar (manualmente) o recoger (automáticamente), permitiendo que el proceso de construcción continúe.

De acuerdo con una segunda realización de la presente divulgación, el cartucho de chapas 376 dispensa una lámina activa 380 sobre el objeto 352 (no mostrado) o, en el caso de construir una capa inicial de un objeto, sobre la cara de la placa de construcción 344 (Figura 3C).

En algunos aspectos, se aplica un flujo de gas laminar (no mostrado) a la cara de la lámina activa 380 no orientada hacia el objeto 352 o la placa de construcción 344. La aplicación de flujo de gas laminar puede ayudar a minimizar cualquier distancia entre la lámina activa 380 y el objeto 352, mejorando así el contacto entre la lámina activa 380 y el objeto 352 o, al construir la capa inicial del objeto, entre la lámina activa 380 y la cara de la placa de construcción 344. Durante el funcionamiento, si se utiliza un flujo de gas laminar, la fuente de energía 350 es una fuente de láser y el

haz de energía 370 es un haz de láser. El flujo de gas laminar de acuerdo con la segunda realización de la presente divulgación puede ser similar en algunos aspectos al flujo de gas laminar de acuerdo con la primera realización de la presente divulgación.

- 5 El haz de energía 370 se usa después para cortar la lámina activa 380 (Figura 3C) para producir una capa de objeto 352 (no mostrado). Cortar la lámina activa de acuerdo con la segunda realización de la presente divulgación puede ser similar en algunos aspectos al corte de la lámina activa de acuerdo con la primera realización de la presente divulgación. En algunos aspectos, la capa puede ser la capa inicial en la fabricación del objeto 352. En algunos aspectos, la capa puede ser la capa final en la fabricación del objeto 352. En algunos aspectos, la capa puede ser una capa intermedia en la fabricación del objeto 352.

10 En algunos aspectos, el haz de energía 370 se irradia primero a lo largo de un perímetro 354 de la capa 358 que se agregará para fusionar la chapa activa 380 al objeto 352 en el perímetro 354 (Figura 3C). En algunos aspectos, la irradiación corta simultáneamente la lámina activa 380. En otros aspectos, el haz de energía 370 corta la lámina activa 380 a lo largo del perímetro 354 antes de la irradiación a lo largo del perímetro 354 para fusionar la lámina activa 380 con el objeto 352 en el perímetro 354, y después el haz de energía 370 irradia la lámina activa 380 a lo largo del perímetro 354.

15 En algunos aspectos, después del corte y la irradiación (simultánea o secuencialmente en cualquier orden) a lo largo del perímetro 354, el haz de energía 370 irradia el área 356 de una manera de relleno de trama, para fusionar la lámina activa 380 al objeto 352.

20 En otros aspectos, el haz de energía 370 irradia primero el área 356 en una forma de relleno de trama, para fusionar la lámina activa 380 al objeto 352, y se corta e irradia después a lo largo del perímetro 354 de la capa añadida. En tales aspectos, el corte y la irradiación a lo largo del perímetro 354 pueden ocurrir simultánea o secuencialmente en cualquier orden.

25 Ajustes adecuados para el haz de energía 370, fuente de energía 350, y/o el dispositivo de dirección de emisión de radiación (ilustrado como, por ejemplo, el escáner galvo 362) para cortar la lámina activa 380 y para irradiar la lámina activa 380 a lo largo de cualquiera del perímetro 354 o en el área 356 son conocidos o pueden determinarse por los expertos en la materia.

30 La finalización del corte y la irradiación a lo largo del perímetro 354 crea un orificio 360, desde donde se agregó una nueva capa al objeto 352, en la porción restante 379 (Figuras 3C-3D). En algunos aspectos, el flujo de gas laminar puede reducirse o eliminarse con la creación del orificio 360 y/o llenar la trama del área 356, para mejorar la separación de la porción restante 379 del objeto 352. La porción restante 379 se puede mover a la bandeja de desechos 377, ya sea de forma manual o automática, tal como mediante la dispensación de una nueva lámina activa 380 encima del objeto 352 para construir la siguiente capa. En algunos aspectos, el aparato 340 no incluye una bandeja de desechos 377 y puede comprender un brazo robótico separado para retirar la lámina de desecho 379 de la cara de la placa de construcción 344. En otros aspectos, el aparato 340 incluye una bandeja de desechos 377 y un brazo robótico separado para mover la lámina de desecho 379 a la bandeja de desechos 377.

35 En algunos aspectos, no se construyen más capas. En algunos aspectos, se construyen una o más capas adicionales.

40 En algunos aspectos, el aparato 240 puede comprender además uno o más detectores para la supervisión del proceso (Figura 3E). El proceso de construcción representado en las Figuras 3B-3D refleja el haz de radiación de retorno 389, que puede ser similar en algunos aspectos al haz de radiación de retorno 289 y viaje de regreso al escáner galvo 362 y después al fotodetector 388. El fotodetector 388 puede ser similar en algunos aspectos al fotodetector 288. De forma adicional, el aparato 340 puede comprender además detectores 390, 391, que pueden ser similares en algunos aspectos a los detectores 290, 291, respectivamente. La inspección por el detector 390 de la lámina puede incluir la inspección de uno o más del cartucho de chapas 376, bandeja de desechos 377, chapa de lámina 380 y porción restante 279.

45 Compensación de deformación de piezas de láminas para fabricación aditiva móvil a gran escala utilizando materiales de construcción a base de láminas

50 En un aspecto, la divulgación incluye métodos y aparatos para la compensación de deformación durante la fabricación aditiva móvil a gran escala utilizando materiales de construcción a base de láminas. En los procesos DMLM (por sus siglas en inglés) convencionales, el calor aplicado a un lado de una placa de construcción puede provocar la deformación de la placa de construcción o de una pieza de trabajo construida sobre la misma. De acuerdo con la presente divulgación, la fabricación aditiva se lleva a cabo en caras opuestas de una placa de construcción, de forma simultánea, utilizando materiales de construcción a base de láminas. Construir en caras opuestas de una placa de construcción simultáneamente puede minimizar la deformación de la placa de construcción y/o del objeto o la pieza que se está construyendo al equilibrar la distribución de calor en ambos lados de la placa de construcción. De forma adicional, construir simultáneamente en caras opuestas de una placa de construcción duplica la tasa de construcción por placa, acelerando así los procesos de fabricación.

Las Figuras 4A-4D muestran diagramas esquemáticos de un aparato de acuerdo con una tercera realización de la presente divulgación.

- 5 El aparato 440 comprende una placa de construcción con dos caras 444, 444', ambas de las que están disponibles para construir un objeto mediante fabricación aditiva (Figura 4A). En algunos aspectos, la placa de construcción se encuentra en un plano xy con respecto a la cara 444 y en un plano x'y' con respecto a la cara 444', produciéndose la construcción en la dirección z con respecto a la cara 444 y en la dirección z' con respecto a la cara 444'. Por motivos de simplicidad, solo se describirá la construcción en la cara 444', pero debe entenderse que los mismos aspectos 10 descritos para construir sobre la cara 444' se aplican para la construcción sobre la cara 444 con igual fuerza.

Como se ha descrito anteriormente, la fabricación aditiva puede llevarse a cabo simultáneamente en ambas caras de la placa de construcción 444, 444' del aparato 440. Las dos caras 444, 444' son preferiblemente simétricas. Sin desear quedar ligado a teoría particular alguna, se cree que simultáneamente, la fabricación aditiva simétrica en las caras 15 444, 444' equilibra el calor, el peso y otros factores y/o fuerzas en cada cara y, por lo tanto, minimiza la deformación del objeto y/o la placa de construcción.

En algunos aspectos, objetos idénticos 452, 452' están construidos en las caras 444, 444' respectivamente. En otros 20 aspectos, los objetos 452, 452' no son idénticos. En algunos de estos aspectos, los objetos 452, 452' son complementarios o suplementarios. En algunos aspectos, se usa el mismo material de construcción en ambas caras 444, 444'. En otros aspectos, se utilizan diferentes materiales de construcción para construir sobre las caras 444, 444'.

Construir sobre las caras 444, 444' puede ser controlado por un controlador 401. En un aspecto donde se construyen 25 objetos idénticos 452, 452', el controlador 401 recibe una sola entrada para el objeto 452, por ejemplo, un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD) del objeto. El controlador 401 genera una señal de control basada en el objeto, por ejemplo, rebanando el objeto para determinar un patrón de escaneo para cada capa. Después, la señal de control se envía a ambos lados del aparato 440. Por consiguiente, los componentes respectivos (por ejemplo, las unidades 30 de construcción 475, 475') se controlan simultáneamente. En cualquier momento durante el proceso de construcción, los objetos 452, 452' pueden ser sustancialmente idénticos. Adicionalmente, las propiedades térmicas y las fuerzas aplicadas de los dos lados del aparato 440 pueden ser similares. Por lo tanto, el aparato 400 puede duplicar la velocidad de construcción del aparato 240 y puede reducir potencialmente el alabeo debido a diferenciales térmicos y 35 fuerzas desequilibradas.

Una unidad de construcción 475' que comprende el sistema de posicionamiento 475a', 475b' para la unidad de 35 suministro de láminas 476a', compuesta por el suministro de láminas 476' y el colector de láminas 477', se usa para construir un objeto 452' usando la lámina 478'. En algunos aspectos, el sistema de posicionamiento 475a', 475b' permite el movimiento de la unidad de suministro de láminas 476a' en tres dimensiones. En algunos aspectos, la unidad de construcción 475' alberga un dispositivo de dirección de emisión de radiación, tal como el escáner galvo 462', que puede usarse para modular el haz de energía 470' desde la fuente de energía 450'. Por ejemplo, el escáner 40 galvo 462' puede reflejar o doblar el haz de energía 470' para escanear diferentes regiones en la cara 444' o un objeto sobre la misma. En tales aspectos, al moverse a una ubicación particular con respecto a la cara 444', la unidad de construcción 475' puede limitar el ángulo θ_4' del haz de energía 470' utilizado para escanear la cara 444'. El ángulo limitado puede proporcionar una fusión más consistente de la lámina. En otros aspectos, el escáner galvo 462' no está 45 contenido dentro de la unidad de construcción 475'.

En algunos aspectos, la fuente de energía 450' es una fuente de láser. En otros aspectos, la fuente de energía 450' es una fuente de haz de electrones. En tales aspectos, el aparato 440 funciona en condiciones de vacío. En algunos 50 de estos aspectos, el dispositivo de dirección de emisión de radiación es una bobina deflectora. La fuente de energía láser 450' puede ser una fuente láser en condiciones de vacío o sin vacío.

En algunos aspectos, la unidad de construcción 475' está unida a un sistema de posicionamiento, tal como un pórtico, que se puede mover en al menos tres dimensiones, que pueden ser, por ejemplo, las coordenadas x, y, y z, durante 55 el funcionamiento, para posicionar el dispositivo de dirección de emisión de radiación (ilustrado como, por ejemplo, escáner galvo 462') y/o unidad de suministro de láminas 476a' en relación con la cara 444' de la placa de construcción y/o el objeto 452'. De forma adicional, la unidad de construcción 475' es preferiblemente giratoria en todas las direcciones, tales con rodadura, cabeceo y guiñada. Como resultado, la unidad de construcción 475' es preferiblemente capaz de funcionar boca abajo o en cualquier ángulo.

En una tercera realización, la unidad de suministro de láminas 476a' suministra un rollo continuo de un material de 60 construcción en forma de lámina. La unidad de suministro de láminas 476a' puede ser similar en algunos aspectos a la unidad de suministro de láminas 276a.

Las Figuras 4B-4D representan etapas de un método de fabricación aditiva de acuerdo con una tercera realización de 65 la presente divulgación. En algunos aspectos, la unidad de suministro de láminas 476a' contiene un rollo de suministro de láminas 476' y un rollo de recogida 477'. El rollo de suministro 476' suministra una longitud de lámina nueva 478', que se extiende sobre una cara de placa de construcción 444', sobre la que se construye el objeto 452', en la dirección

482' hacia el rollo de recogida 477' (Figuras 4A-4B).

- En algunos aspectos, el rollo de suministro 476' se suministra como un cartucho para ser instalado en la unidad de suministro de láminas. El cartucho puede ser una unidad sellada que protege la hoja de elementos externos antes de la inserción en el aparato 440. En tales aspectos, el cartucho puede suministrar lámina de forma manual o automática después de la inserción del cartucho. En tales aspectos, después de que se hayan gastado todos los materiales del cartucho, el cartucho se puede retirar o separarse, y un cartucho nuevo se puede insertar (manualmente) o recoger (automáticamente), permitiendo que el proceso de construcción continúe.
- 10 En algunos aspectos, se aplica un flujo de gas laminar 481' al área de construcción (Figura 4C). El flujo de gas laminar 481' puede ser similar en algunos aspectos al flujo de gas laminar 281. Los gases adecuados para su uso en el flujo de gas laminar 281 incluyen, pero sin limitación, nitrógeno, argón y/o helio, y combinaciones de los mismos. El flujo laminar puede efectuarse por cualquier medio adecuado conocido por los expertos en la materia, tal como mediante el uso de un dispositivo de flujo de gas 485', por ejemplo, como se desvela en la solicitud de patente de EE. UU. n.º 15/406.454, expediente del abogado n.º 313524/037216.00060, presentada el 13 de enero de 2017. El dispositivo de flujo de gas 485' puede ser similar en algunos aspectos al dispositivo de flujo de gas 285. En algunos aspectos, el dispositivo de flujo de gas 485' puede adaptarse para proporcionar un entorno de oxígeno reducido. Durante el funcionamiento, si se utiliza un flujo de gas laminar, entonces la fuente de energía 450' es una fuente de láser y el haz de energía 470' es un haz de láser.
- 20 En algunos aspectos, la unidad de construcción comprende un dispositivo de flujo de gas 485 adaptado para proporcionar un flujo de gas sustancialmente laminar a una zona de flujo de gas laminar 481 de 5,1 cm (dos pulgadas) de, sustancialmente paralelo a, una superficie de trabajo, tal como la cara 444' de la placa de construcción o un objeto 452' sobre la misma. El dispositivo de flujo de gas 485' puede adaptarse para mantener una zona de flujo de gas laminar 481', para proporcionar un ambiente con poco oxígeno alrededor de la superficie de trabajo en una región debajo de la unidad de construcción. También puede haber una zona de oxígeno reducida por encima de la zona de flujo de gas laminar 481'. En algunos aspectos, ambas zonas de gas pueden estar contenidas dentro de una zona de contención que rodea al menos la unidad de construcción y el sistema de posicionamiento. En algunos aspectos, la unidad de construcción puede estar al menos parcialmente encerrada para formar un ambiente bajo en oxígeno sobre el área de construcción de la superficie de trabajo, es decir, alrededor de la trayectoria del haz 470'; un ejemplo de una unidad de construcción de este tipo al menos parcialmente cerrada se describe en la Solicitud de Patente de EE. UU. n.º 15.406.454.
- 30 En la realización ilustrada en la Figura 4B, la zona de flujo de gas laminar 481' es esencialmente el volumen del dispositivo de flujo de gas 485', es decir, el volumen definido por las superficies verticales (x'z') de la porción de entrada presurizada 483' y de la porción de salida presurizada 484' y por la extensión de las superficies imaginarias desde los bordes superior e inferior respectivos de la porción de entrada hasta los bordes superior e inferior de la salida porción en el plano x'y'.
- 35 En la realización ilustrada en la Figura 4B, la zona de flujo de gas laminar 481' es esencialmente el volumen del dispositivo de flujo de gas 485', es decir, el volumen definido por las superficies verticales (x'z') de la porción de entrada presurizada 483' y de la porción de salida presurizada 484' y por la extensión de las superficies imaginarias desde los bordes superior e inferior respectivos de la porción de entrada hasta los bordes superior e inferior de la salida porción en el plano x'y'.
- 40 En algunos aspectos, el flujo de gas laminar 481' se aplica sustancialmente paralelo a la cara de la longitud de la hoja nueva 478' que no mira hacia el objeto 452' o la cara 444' de la placa de construcción, dando lugar a una lámina activa 480'. El posicionamiento del dispositivo de flujo de gas 485' y la aplicación del flujo de gas laminar 481' minimiza cualquier distancia entre la lámina activa 480' y el objeto 452', estableciendo así contacto entre la lámina activa 480' y el objeto 452' o, al construir la capa inicial del objeto, entre la lámina activa 480' y la cara 444' de la placa de construcción. Cuando se utiliza un flujo de gas laminar 481', la fuente de energía 450' es una fuente de láser y el haz de energía 470' es un haz de láser. En algunos aspectos, el aparato 440 puede comprender además rodillos para ayudar a establecer contacto entre la lámina activa 480' y el objeto 452' o, al construir la capa inicial del objeto, entre la lámina activa 480' y la cara de construcción 444'. Los rodillos pueden moverse en la dirección z con respecto al rollo de suministro de lámina 476' para poner la lámina activa 480' en contacto con el objeto 452' o la cara 444', tal como formando curvas 486', 487' en la lámina activa 480', y retrayendo la lámina activa 480' desde las mismas.
- 45 En algunos aspectos, el haz de energía 470' se usa después para cortar la lámina activa 480 (Figura 4C) para producir una capa adicional 458' (Figura 4D). Cortar la lámina activa de acuerdo con la tercera realización de la presente divulgación puede ser similar en algunos aspectos al corte de la lámina activa de acuerdo con la primera realización. En algunos aspectos, la capa 458' puede ser la capa inicial en la fabricación del objeto 452'. En algunos aspectos, la capa 458' puede ser la capa final en la fabricación del objeto 452'. En algunos aspectos, la capa 458' puede ser una capa intermedia en la fabricación del objeto 452'.
- 50 En algunos aspectos, el haz de energía 470' se irradia primero a lo largo de un perímetro 454' de la capa 458' que se agregará para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452' en el perímetro 454' (Figura 4C). En algunos aspectos, la irradiación corta simultáneamente la lámina activa 480'. En otros aspectos, el haz de energía 470' corta la lámina activa 480' a lo largo del perímetro 454' antes de la irradiación a lo largo del perímetro 454' para fusionar el perímetro 454' con el objeto 452'. En otros aspectos, el haz de energía 470' se irradia a lo largo del perímetro 454' para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452' en el perímetro 454', y después el haz de energía 470' corta la lámina activa 480' a lo largo del perímetro 454'.
- 55 En algunos aspectos, el haz de energía 470' se irradia primero a lo largo de un perímetro 454' de la capa 458' que se agregará para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452' en el perímetro 454' (Figura 4C). En algunos aspectos, la irradiación corta simultáneamente la lámina activa 480'. En otros aspectos, el haz de energía 470' corta la lámina activa 480' a lo largo del perímetro 454' antes de la irradiación a lo largo del perímetro 454' para fusionar el perímetro 454' con el objeto 452'. En otros aspectos, el haz de energía 470' se irradia a lo largo del perímetro 454' para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452' en el perímetro 454', y después el haz de energía 470' corta la lámina activa 480' a lo largo del perímetro 454'.
- 60 En algunos aspectos, el haz de energía 470' se irradia primero a lo largo de un perímetro 454' de la capa 458' que se agregará para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452' en el perímetro 454' (Figura 4C). En algunos aspectos, la irradiación corta simultáneamente la lámina activa 480'. En otros aspectos, el haz de energía 470' corta la lámina activa 480' a lo largo del perímetro 454' antes de la irradiación a lo largo del perímetro 454' para fusionar el perímetro 454' con el objeto 452'. En otros aspectos, el haz de energía 470' se irradia a lo largo del perímetro 454' para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452' en el perímetro 454', y después el haz de energía 470' corta la lámina activa 480' a lo largo del perímetro 454'.
- 65 En algunos aspectos, el haz de energía 470' se irradia primero a lo largo de un perímetro 454' de la capa 458' que se agregará para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452' en el perímetro 454' (Figura 4C). En algunos aspectos, la irradiación corta simultáneamente la lámina activa 480'. En otros aspectos, el haz de energía 470' corta la lámina activa 480' a lo largo del perímetro 454' antes de la irradiación a lo largo del perímetro 454' para fusionar el perímetro 454' con el objeto 452'. En otros aspectos, el haz de energía 470' se irradia a lo largo del perímetro 454' para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452' en el perímetro 454', y después el haz de energía 470' corta la lámina activa 480' a lo largo del perímetro 454'.

En algunos aspectos, después del corte y la irradiación (simultánea o secuencialmente en cualquier orden) a lo largo del perímetro 454', el haz de energía 470' irradia el área 456' de una forma de relleno de trama, para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452'.

- 5 En otros aspectos, el haz de energía 470' irradia primero el área 456' en una forma de relleno de trama, para fusionar la lámina activa 480' al objeto 452', y se corta e irradia después a lo largo del perímetro 454' de la capa añadida. En tales aspectos, el corte y la irradiación a lo largo del perímetro 454' pueden ocurrir simultánea o secuencialmente en cualquier orden.
- 10 Ajustes adecuados para el haz de energía 470', fuente de energía 450', y/o el dispositivo de dirección de emisión de radiación (ilustrado como, por ejemplo, el escáner galvo 462') para cortar la lámina activa 480' y para irradiar la lámina activa 480' a lo largo del perímetro 454' o en el área 456' son conocidos o pueden determinarse por los expertos en la materia.
- 15 La finalización del corte y la irradiación a lo largo del perímetro 454' crea un orificio 460', de donde se agregó la nueva capa 458' al objeto 452', en la porción restante 479' (Figura 4D). En algunos aspectos, el flujo de gas laminar 481' puede reducirse o eliminarse con la creación del orificio 460' y/o llenar la trama del área 456', para mejorar la separación de la porción restante 479' del objeto 452'. La porción restante 479' puede entonces avanzar en la dirección 482' hacia el rollo de recogida 477', para proporcionar una nueva longitud de lámina 478' para construir la siguiente capa. En algunos aspectos, no se construyen más capas. En algunos aspectos, se construyen una o más capas adicionales.

- 25 En algunos aspectos, el aparato 440 puede comprender además uno o más detectores para la supervisión del proceso (Figura 4E). El proceso de construcción representado en las Figuras 4B-4D refleja el haz de radiación de retorno 489', que puede ser similar en algunos aspectos al haz de radiación de retorno 289 y viaja de regreso al escáner galvo 462' y después al fotodetector 488'. El fotodetector 488' puede ser similar en algunos aspectos al fotodetector 288. De forma adicional, el aparato 440 puede comprender además detectores 490', 491', que pueden ser similares en algunos aspectos a los detectores 290, 291, respectivamente. La inspección por el detector 490' de la lámina puede incluir la inspección de uno o más del rollo de suministro de láminas 476', rollo de recogida de láminas 477', lámina nueva 478', lámina activa 480' y porción restante 479'. Los detectores 491 y 491' pueden ubicarse en lados opuestos de la placa de construcción 444 y pueden posicionarse para observar los objetos respectivos 452 y 452'. El detector 491 puede estar ubicado en la dirección z con un tamaño menor que el del objeto 452 en la dirección z. El detector 491' puede estar ubicado en la dirección z con un tamaño menor que el objeto 452' en la dirección z'. Como se ha descrito anteriormente con respecto al detector 291, el posicionamiento de un detector debajo de la capa de construcción actual puede permitir la observación directa de porciones completadas del objeto 452, 452'. Como se estableció anteriormente, debe entenderse que la inspección por el detector 490 será análoga (es decir, puede incluir la inspección de uno o más del rollo de suministro de láminas 476, rollo de recogida de láminas 477, etc.).

- 40 Las Figuras 5A-D muestran diagramas esquemáticos de un aparato de acuerdo con una cuarta realización de la presente divulgación.

- 45 El aparato 540 comprende una placa de construcción con dos caras 544, 544', ambas de las que están disponibles para construir un objeto mediante fabricación aditiva (Figura 5A). En algunos aspectos, la placa de construcción se encuentra en un plano xy con respecto a la cara 544 y en un plano x'y' con respecto a la cara 544', produciéndose la construcción en la dirección z con respecto a la cara 544 y en la dirección z' con respecto a la cara 544'. Por motivos de simplicidad, solo se describirá la construcción en la cara 544', pero debe entenderse que los mismos aspectos descritos para construir sobre la cara 544' se aplican para la construcción sobre la 544 con igual fuerza. El aparato 540 y las caras 544, 544' son similares en algunos aspectos al aparato 440 y las caras 444, 444'.
- 50 Una unidad de construcción 575' que comprende el sistema de posicionamiento 575a', 575b' para la unidad de suministro de láminas 576a', compuesta por el suministro de láminas 576' y el colector de láminas 577', se usa para construir un objeto 552' usando la lámina 578'. En algunos aspectos, el sistema de posicionamiento 575a', 575b' permite el movimiento de la unidad de suministro de láminas 576a' en tres dimensiones. La unidad de construcción 575' puede ser similar en algunos aspectos a la unidad de construcción 475'. En algunos aspectos, la unidad de construcción 575' alberga un dispositivo de dirección de emisión de radiación, tal como el escáner galvo 562', que puede usarse para modular el haz de energía 570' de la fuente de energía 550'. El haz de energía de modulación 570' puede ser similar en algunos aspectos al haz de energía de modulación 470'. Por ejemplo, el escáner galvo 562' puede reflejar o doblar el haz de energía 570' desde la fuente de energía 550' para escanear diferentes regiones en la superficie 544' o un objeto 552' sobre la misma. En tales aspectos, al moverse a una ubicación particular con respecto a la cara 544', la unidad de construcción 575' puede limitar el ángulo θ' del haz de energía 570' utilizado para escanear la superficie 544'. Este ángulo limitado puede proporcionar una fusión más consistente de la lámina. En otros aspectos, el escáner galvo 562' no está contenido dentro de la unidad de construcción 575'.
- 55 En algunos aspectos, la fuente de energía 550' es una fuente de láser. En otros aspectos, la fuente de energía 550' es una fuente de haz de electrones. En tales aspectos, el aparato 540' funciona en condiciones de vacío. En algunos de estos aspectos, el dispositivo de dirección de emisión de radiación es una bobina deflectora. La fuente de energía

550' puede ser una fuente de láser en condiciones de vacío o sin vacío.

- En algunos aspectos, la unidad de construcción 575' está unida a un sistema de posicionamiento, tal como un pórtico, que se puede mover en dos o tres dimensiones, que pueden ser, por ejemplo, las coordenadas x, y, y z, durante el 5 funcionamiento, para posicionar el dispositivo de dirección de emisión de radiación (ilustrado como, por ejemplo, escáner galvo 562') y/o unidad de suministro de láminas 576a' en relación con la cara 544' de la placa de construcción y/o el objeto 552'. De forma adicional, la unidad de construcción 575' es preferiblemente giratoria en al menos dos dimensiones, es decir, en el plano x'y', alrededor del eje z'.
- 10 En una cuarta realización, la unidad de suministro de láminas 576a' suministra chapas de láminas pre-cortadas.
- Las Figuras 5B-5D representan etapas de un método de fabricación aditiva de acuerdo con una cuarta realización de la 15 presente divulgación. En algunos aspectos, la unidad de suministro de láminas 576a' contiene un cartucho de chapas 576' y una bandeja de desechos 577' (Figuras 5A-5B). El cartucho de chapas 576' y la bandeja de desechos 577' pueden ser similares en algunos aspectos al cartucho de chapas 376 y a la bandeja de desechos 377, respectivamente. La unidad de suministro de láminas 576a' puede ser similar en algunos aspectos a la unidad de 20 suministro de láminas 376a. La bandeja de desechos 577' puede ser de carga superior, carga inferior o carga lateral, y puede estar cubierta o descubierta. En otros aspectos, la unidad de suministro de láminas 576a' contiene un cartucho de chapas 576' y ninguna bandeja de desechos. El cartucho de chapas 576' suministra una nueva chapa de lámina 25 578', que se extiende sobre una cara de placa de construcción 544', sobre la que se construye el objeto 552'. La Figura 5B muestra una vista superior simplificada de un esquema del aparato 540 antes de que el cartucho de chapas 576' dispense una chapa 578 de lámina. En algunos aspectos, el cartucho de chapas 576' almacena múltiples chapas 578' de lámina. Los cartuchos de chapas 576' pueden suministrar cada chapa 578' de lámina de forma manual o automática después de la inserción del cartucho. Después de que se hayan gastado todos los materiales del cartucho, el cartucho 576' se puede retirar o separarse, y un cartucho nuevo se puede insertar (manualmente) o recoger (automáticamente), permitiendo que el proceso de construcción continúe.
- De acuerdo con una cuarta realización de la presente divulgación, el cartucho de chapas 576' dispensa una lámina activa 580' sobre el objeto 552' (no mostrado) o, en el caso de construir una capa inicial de un objeto, sobre la cara 30 544' de la placa de construcción (Figura 5C).
- En algunos aspectos, se aplica un flujo de gas laminar (no mostrado) a la cara de la lámina activa 580' no orientada hacia el objeto 552' o la placa de construcción 544'. La aplicación de flujo de gas laminar puede ayudar a minimizar cualquier distancia entre la lámina activa 580' y el objeto 552', mejorando así el contacto entre la lámina activa 580' y el objeto 552' o, al construir la capa inicial del objeto, entre la lámina activa 580' y la cara 544' de la placa de 35 construcción. Durante el funcionamiento, si se utiliza un flujo de gas laminar, la fuente de energía 550' es una fuente de láser y el haz de energía 570' es un haz de láser. El flujo de gas laminar de acuerdo con la cuarta realización de la presente divulgación puede ser similar en algunos aspectos al flujo laminar de acuerdo con la primera, segunda y tercera realizaciones.
- 40 El haz de energía 570' se usa para cortar la lámina activa 580' (Figura 5C) para producir una capa de objeto 552' (no mostrado). Cortar la lámina activa de acuerdo con la cuarta realización puede ser similar en algunos aspectos al corte de acuerdo con la primera, segunda y tercera realizaciones. En algunos aspectos, la capa puede ser la capa inicial en la fabricación del objeto 552'. En algunos aspectos, la capa puede ser la capa final en la fabricación del objeto 552'. 45 En algunos aspectos, la capa puede ser una capa intermedia en la fabricación del objeto 552'.
- En algunos aspectos, el haz de energía 570' se irradia primero a lo largo de un perímetro 554' de la capa 558' que se 50 agregará para fusionar la chapa activa 580' al objeto 552' en el perímetro 554' (Figura 5C). En algunos aspectos, la irradiación corta simultáneamente la lámina activa 580'. En otros aspectos, el haz de energía 570' corta la lámina activa 580' a lo largo del perímetro 554' antes de la irradiación a lo largo de 554' para fusionar la lámina activa 580' al objeto 552' en el perímetro 554', y después el haz de energía 570' corta la lámina activa 580' a lo largo del perímetro 554'.
- En algunos aspectos, después del corte y la irradiación (simultánea o secuencialmente en cualquier orden) a lo largo 55 del perímetro 554', el haz de energía 570' irradia el área 556' de una forma de relleno de trama, para fusionar la lámina activa 580' al objeto 552'.
- En otros aspectos, el haz de energía 580' irradia primero el área 556' en una forma de relleno de trama, para fusionar la lámina activa 580' al objeto 552', y se corta e irradia después a lo largo del perímetro 554' de la capa añadida. En tales aspectos, el corte y la irradiación a lo largo del perímetro 554' pueden ocurrir simultánea o secuencialmente en cualquier orden.
- Ajustes adecuados para el haz de energía 570', fuente de energía 550', y/o el dispositivo de dirección de emisión de radiación (ilustrado como, por ejemplo, el escáner galvo 562') para cortar la lámina activa 580' y para irradiar la lámina activa 580' a lo largo de cualquiera del perímetro 554' o en el área 556' son conocidos o pueden determinarse por los 60 expertos en la materia.

La finalización del corte y la irradiación a lo largo del perímetro 554' crea un orificio 560', desde donde se agregó una nueva capa al objeto 552', en la porción restante 579' (Figuras 5C-5D). En algunos aspectos, el flujo de gas laminar puede reducirse o eliminarse al crear el orificio 560' y/o llenar la trama del área 556', para mejorar la separación de la porción restante 579' del objeto 552'. La porción restante 579' se puede mover a la bandeja de desechos 577', ya

- 5 sea de forma manual o automática, tal como mediante la dispensación de una nueva lámina activa 580' encima del objeto 552'. En algunos aspectos, el aparato 540 no incluye una bandeja de desechos 577' y puede comprender un brazo robótico separado para retirar la porción restante 579' de la cara 544' de la placa de construcción. En otros aspectos, el aparato 540 incluye una bandeja de desechos 577' y un brazo robótico separado para mover la porción restante 579' a la bandeja de desechos 577'. En algunos aspectos, no se construyen más capas. En algunos aspectos, 10 se construyen una o más capas adicionales.

En algunos aspectos, el aparato 540 puede comprender además uno o más detectores para la supervisión del proceso (Figura 5E). El proceso de construcción representado en las Figuras 5B-5D refleja el haz de radiación de retorno 589', que puede ser similar en algunos aspectos al haz de radiación de retorno 389 y viaja de regreso al escáner galvo 562' 15 y después al fotodetector 588'. El fotodetector 588' puede ser similar en algunos aspectos al fotodetector 388. De forma adicional, el aparato 540 puede comprender además detectores 590', 591', que pueden ser similares en algunos aspectos a los detectores 390, 391, respectivamente. La inspección por el detector 590' de la lámina puede incluir la inspección de uno o más del cartucho de chapas 576', bandeja de desechos 577', chapa de lámina 578' y porción restante 579'. Como se estableció anteriormente, debe entenderse que la inspección por el detector 590 será análoga 20 (es decir, puede incluir la inspección de uno o más del cartucho de chapas 576, bandeja de desechos 577, etc.).

La Figura 6 ilustra un ejemplo de una capa transversal 600 de un objeto (por ejemplo, el objeto 252) en un plano x-y. Un controlador 401 puede rebanar el objeto 252 en múltiples capas dispuestas en la dimensión z. Después, el aparato 25 construye el objeto 252 escaneando la capa x00 en el área 256 de la lámina activa 280 para fusionar el área 256 con la placa de construcción 244 de las porciones previamente construidas del objeto 252.

En el ejemplo ilustrado, la capa 600 incluye una porción principal 610 y porciones laterales 620, 622. La porción principal 610 incluye una abertura relativamente grande 612 y una abertura relativamente pequeña 614. En un aparato a base de láminas como el aparato 240, una abertura 612, 614 dentro de una capa 600 puede plantear un problema. 30 Cuando se escanea la capa 600, un área definida por el perímetro 254 se separa de la lámina activa 280, que se convierte en la porción restante 279. Cuando se escanea toda el área 256, el área separada se convierte en parte del objeto 252. Cuando la capa 600 incluye una abertura 612, 614, sin embargo, la lámina dentro de la abertura se separa tanto de la porción restante 279 como del resto de la capa 600. Para algunos objetos, la lámina desprendida se puede retirar al finalizar la construcción. Sin embargo, también es posible que la lámina desprendida correspondiente a la abertura 612 pueda moverse durante una operación de construcción e interferir con la operación de construcción. Adicionalmente, para objetos que forman un volumen hueco cerrado, la lámina desprendida puede quedar atrapada 35 dentro del objeto. La presente divulgación proporciona técnicas para evitar la creación de porciones de lámina sueltas.

40 En un aspecto, una abertura relativamente pequeña (por ejemplo, la abertura 614) puede formarse por ablación de la lámina. Por ejemplo, la potencia de la fuente de energía 250 puede ajustarse a un nivel que provoque que la lámina se desintegre en lugar de fusionarse con un objeto subyacente. En un aspecto, la abertura 614 se puede formar cuando la lámina activa 280 no está en contacto con el objeto 252 de modo que la ablación no dañe el objeto 252. En un aspecto, el tamaño de una abertura creada por ablación está limitado de acuerdo con el material de construcción, forma de la abertura y potencia de la fuente de energía 250. Por consiguiente, la ablación se puede usar cuando el 45 tamaño y la forma de la abertura 614 son menores que los parámetros de umbral.

La Figura 7 es un diagrama que muestra la capa 600 de la Figura 6 reorganizada como la capa 700 sin aberturas relativamente grandes, de acuerdo con una realización de la invención. La capa 700 se puede escanear desde la lámina activa 280 sin crear una lámina separada correspondiente a la abertura 612. La porción principal 610 se divide 50 en una porción izquierda 712 y una porción derecha 714 separadas por un espacio 716. El espacio 716 se conecta al borde 720 de la lámina activa 280. Los bordes de la abertura 612 se dividen entre la porción izquierda 712 y la porción derecha 714. Por consiguiente, la lámina dentro de la abertura también está conectada al espacio 716. La porción lateral 620, 622 también está separada de la porción izquierda 712 y de la porción derecha 714 para reducir la longitud total de la lámina para la capa. La abertura relativamente pequeña 614 puede permanecer dentro de la porción derecha 55 714 y puede formarse por ablación como se ha explicado anteriormente.

Al escanear la capa 700, el aparato 240 mueve la unidad de construcción 275 y/o la lámina activa 280 en una o más dimensiones con respecto a la placa de construcción 244 y/o el objeto 252. Por ejemplo, el aparato 240 escanea primero la porción derecha 714 en una posición correcta con respecto a la placa de construcción 244 para agregar la porción derecha 714 al objeto 252. La porción derecha 714 se puede cortar de la lámina activa 280 mediante el escaneo para que la lámina activa 280 se pueda mover con respecto a la porción derecha 714. Por ejemplo, el aparato 240 puede mover la lámina activa 280 en la dimensión z alejándola de la porción derecha 714. El aparato 240 luego hace avanzar la lámina activa 280, o mueve la unidad de construcción 275, en la dimensión x la distancia y16 y mueve también la unidad de construcción 275 en la dimensión y para alinear la porción izquierda 712 con la porción derecha 714. La unidad de construcción 275 puede entonces mover la lámina activa 280 en la dimensión z para restablecer el 60 contacto entre la lámina activa 280 y el objeto 252. La unidad de construcción 275 escanea después la porción 65

izquierda 712 para fusionar la porción izquierda 712 con el objeto 252. El aparato 240 puede seguir una secuencia similar de posicionamiento de la unidad de construcción 275 y/o la lámina activa 280 para alinear las porciones laterales 620, 622 en sus ubicaciones respectivas con respecto a la porción principal 610 formada al escanear la porción izquierda 712 y la porción derecha 714.

- 5 Por consiguiente, múltiples porciones de una capa se escanean secuencialmente para formar una capa completa del objeto. La separación de una capa del objeto en múltiples porciones evita que las aberturas dentro de la capa formen secciones de lámina separadas aisladas. Adicionalmente, se puede usar la separación de la capa en múltiples porciones para reorganizar porciones del objeto sobre la lámina para utilizar más eficazmente el área de la lámina.
- 10 Además, las porciones de capas secuenciales pueden superponerse en la lámina (por ejemplo, en la dimensión y) para proporcionar un uso más eficaz de la lámina.

Esta descripción escrita se sirve de ejemplos para divulgar la invención, incluyendo las realizaciones preferidas, y también para permitir que cualquier experto en la materia ponga en práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier método incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de vectorización para materiales de construcción a base de láminas metálicas, que comprende:

- 5 recibir una representación (600) de una capa que se va a formar mediante la fusión de una o más regiones de una chapa de lámina metálica (280) a una pieza de trabajo (252);
determinar que al menos una primera región (610) de una o más regiones define una abertura no fusionada (612, 614) aislada de una porción restante (720) de la lámina metálica;
- 10 dividir la primera región en al menos dos áreas de escaneo (712, 714), en donde un fragmento de la abertura no fusionada adyacente a cada área de escaneo (712, 7149) está conectado a la porción restante;
- 15 fusionar una primera área de escaneo (712) de las al menos dos áreas de escaneo (712, 714) con la pieza de trabajo con un dispositivo de dirección de emisión de radiación (262);
mover la chapa de lámina metálica; y
fusionar una segunda área de escaneo (714) de las al menos dos áreas de escaneo (712, 714) con la pieza de trabajo controlando el dispositivo de dirección de emisión de radiación (262) para fusionar la segunda área de escaneo (712) de las al menos dos áreas de escaneo (712, 714).

2. El método de la reivindicación 1, que comprende, además:

- 20 determinar que una segunda abertura no fusionada (614) aislada de la porción restante (720) de la chapa de lámina metálica tiene un área menor que un umbral; y
separar por ablación la segunda abertura no fusionada (614).

25 3. El método de la reivindicación 2, en donde la ablación comprende la ablación de la segunda abertura no fusionada (614) cuando la chapa de lámina metálica (280) no está en contacto con la pieza de trabajo (252).

4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde mover la chapa de lámina metálica comprende:

- 30 separar la chapa de lámina metálica de la pieza de trabajo;
repositionar la chapa de lámina metálica con respecto a la pieza de trabajo; y
poner la chapa lámina metálica en contacto con la pieza de trabajo.

35 5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde un borde de la primera área de escaneo entra en contacto con un borde de la segunda área de escaneo.

35 6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde la pieza de trabajo incluye un espacio vacío entre la primera área de escaneo y la segunda área de escaneo.

40 7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que comprende, además:

- 40 dividir una segunda región (620, 622) en al menos una tercera área de escaneo (620) y una cuarta área de escaneo (622);
repositionar al menos una de la tercera área de escaneo (620) y la cuarta área de escaneo (622);
fusionar la tercera área de escaneo (620) con la pieza de trabajo (252);
mover la chapa de lámina metálica (280); y
fusionar una cuarta área de escaneo (622) de las al menos dos áreas de escaneo con la pieza de trabajo adyacente a la tercera área de escaneo (620).

45 8. El método de la reivindicación 7, en donde dividir la segunda región comprende:

- 50 determinar que un área superficial de una porción de la segunda región (620, 622) es menor que un área de la porción restante (720) exterior a la primera región; y
designar la porción de la segunda región como la tercera área de escaneo (620), en donde la reposicionamiento de al menos una de la tercera área de escaneo (620) y la cuarta área de escaneo (622) comprende mover la tercera área de escaneo (620) a la porción restante exterior a la primera región.

55 9. El método de la reivindicación 7, en donde dividir la segunda región comprende:

- 60 determinar que la anchura de una porción de la segunda región a lo largo de un eje es menor que un umbral; y
designar la porción de la segunda región como la tercera área de escaneo (620), en donde el reposicionamiento de al menos una de la tercera área de escaneo y la cuarta área de escaneo comprende mover la tercera área de escaneo.

65 10. Un aparato para formar un objeto utilizando materiales de construcción a base de láminas metálicas, que comprende:

una placa de construcción que tiene una cara de construcción (244);
una unidad de suministro de láminas metálicas (276a);
un dispositivo de dirección de emisión de radiación (262); y
un controlador configurado para:

- 5 recibir una representación (600) de una capa que se va a formar mediante la fusión de una o más regiones de una chapa de lámina metálica (280) a una pieza de trabajo (252);
determinar que al menos una primera región (610) de una o más regiones define una abertura no fusionada (612, 614) aislada de una porción restante (720) de la chapa de lámina metálica;
10 dividir la primera región (610) en al menos dos áreas de escaneo (712, 714), en donde un fragmento de la abertura no fusionada adyacente a cada área de escaneo está conectado a la porción restante;
controlar el dispositivo de dirección de emisión de radiación (262) para fusionar una primera área de escaneo (712) de las al menos dos áreas de escaneo con la pieza de trabajo (252);
15 controlar la unidad de entrega de lámina metálica (276a) para mover la chapa de lámina metálica (280); y
controlar el dispositivo de dirección de emisión de radiación (262) para fusionar una segunda área de escaneo (714) de las al menos dos áreas de escaneo con la pieza de trabajo (252).

11. El aparato de la reivindicación 10, en donde el controlador está configurado para:

- 20 determinar que una segunda abertura no fusionada (614) aislada de la porción restante (720) de la chapa de lámina metálica tiene un área menor que un umbral; y
separar por ablación la segunda abertura no fusionada (614).
25 12. El aparato de la reivindicación 11, en donde en el que el controlador está configurado para separar por ablación la segunda abertura no fusionada (614) cuando la chapa de lámina metálica (280) no está en contacto con la pieza de trabajo (252).
30 13. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 10-12, en donde un borde de la primera área de escaneo fusionada (712) entra en contacto con un borde de la segunda área de escaneo fusionada (714).
35 14. El aparato de la reivindicación 10, en donde la pieza de trabajo (252) incluye un espacio vacío (716) entre la primera área de escaneo (712) y la segunda área de escaneo (714).
15. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 10-14, que comprende además un sistema de posicionamiento (275a, 275b) capaz de proporcionar un movimiento independiente de la unidad de suministro de láminas metálicas (276a) y el dispositivo de dirección de emisión de radiación (262) en al menos tres dimensiones con respecto a la cara de construcción (244).

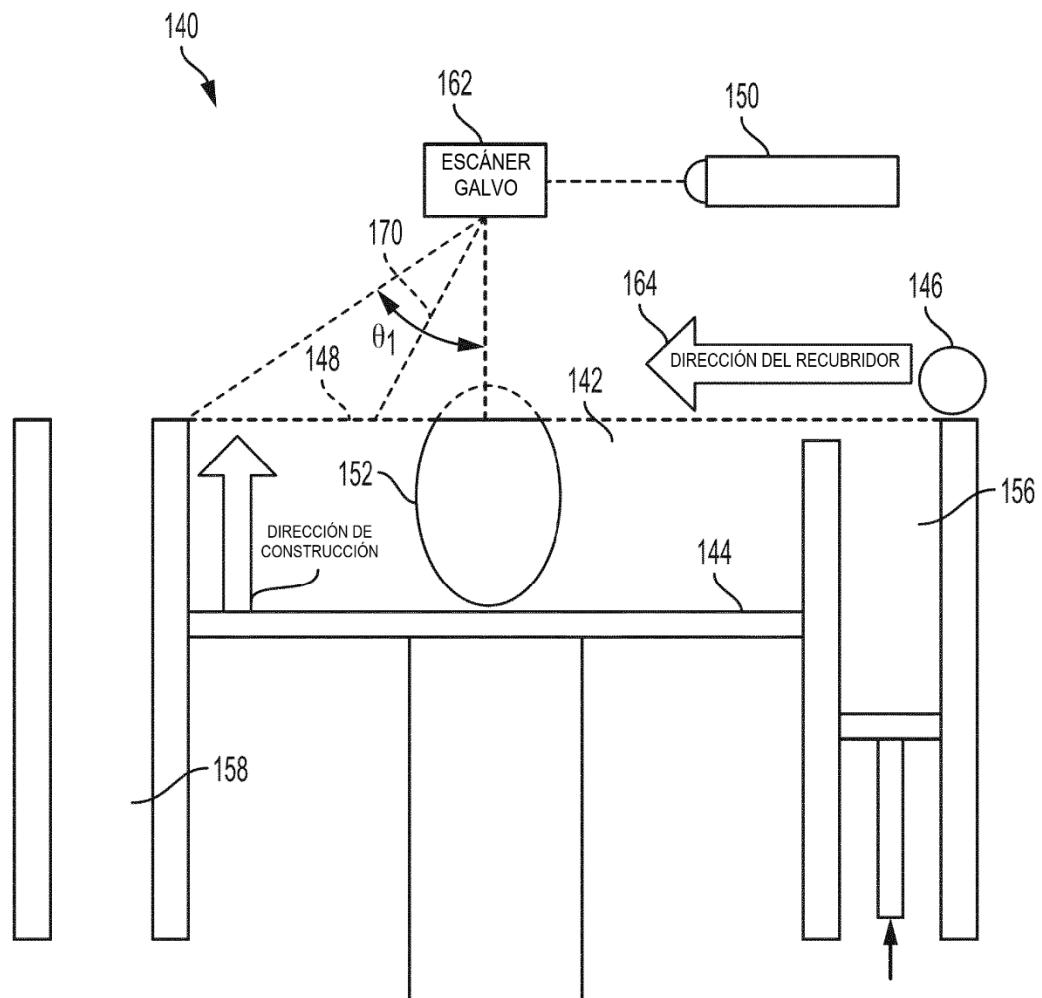


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

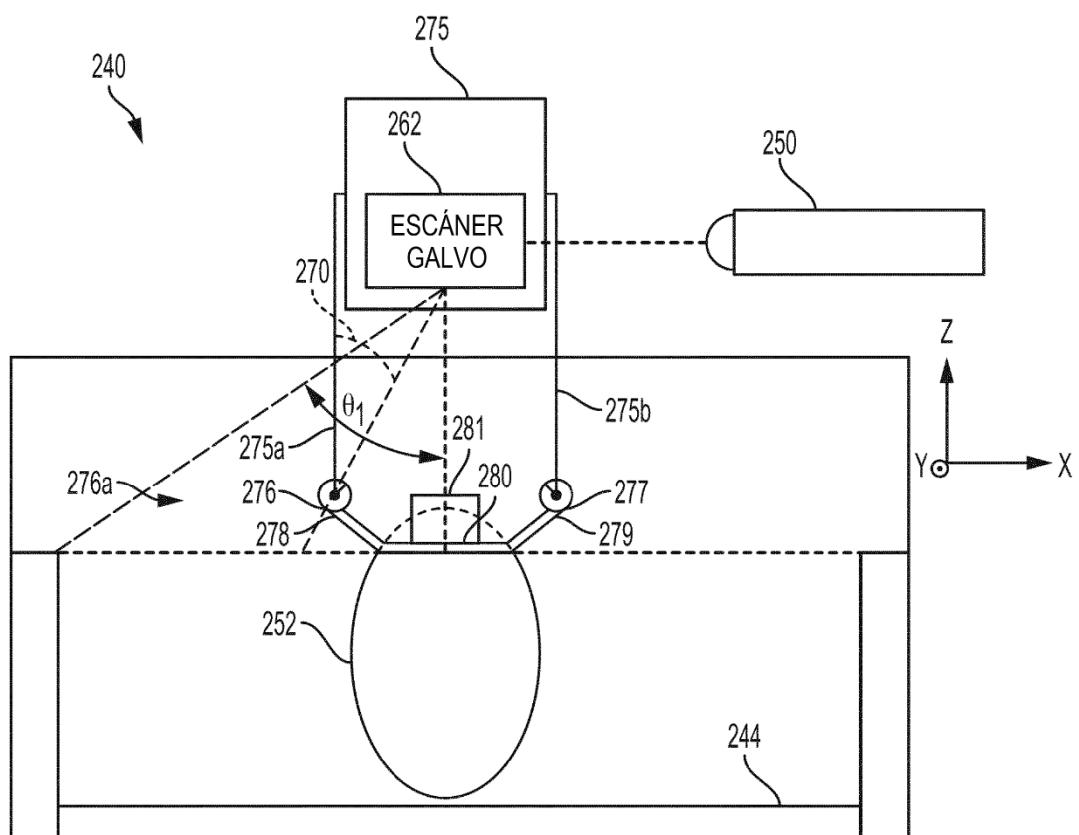


FIG. 2A

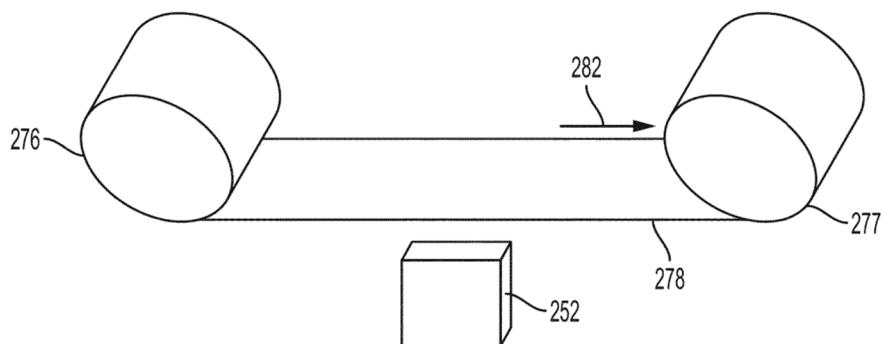


FIG. 2B

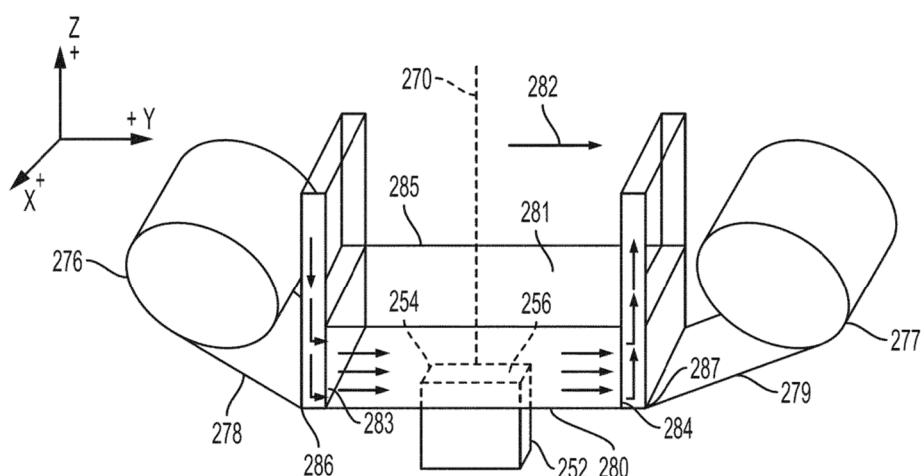


FIG. 2C

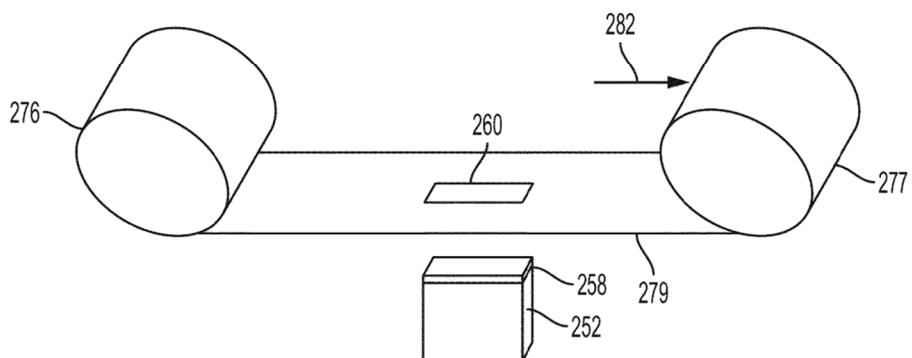


FIG. 2D

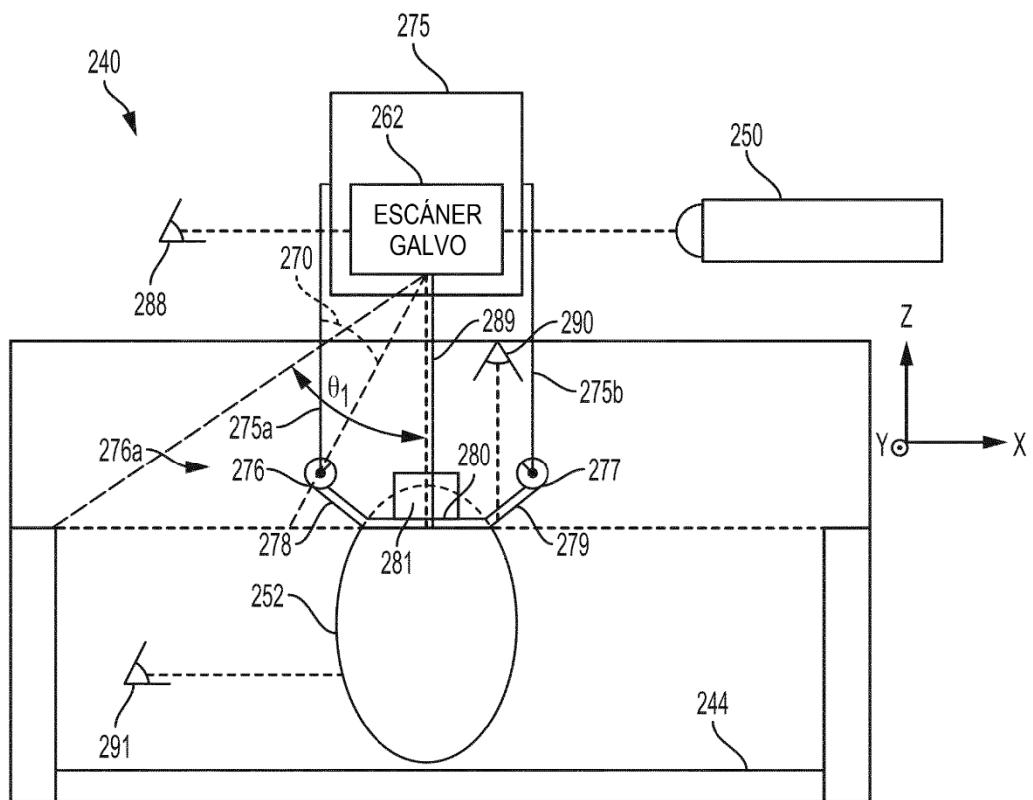


FIG. 2E

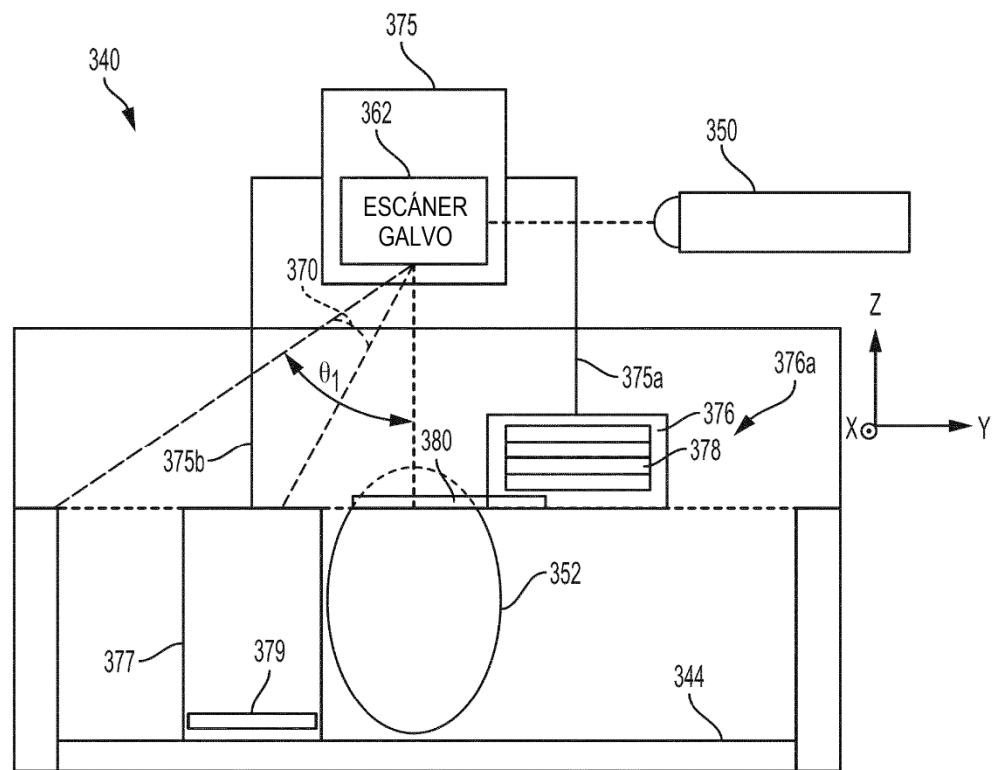


FIG. 3A

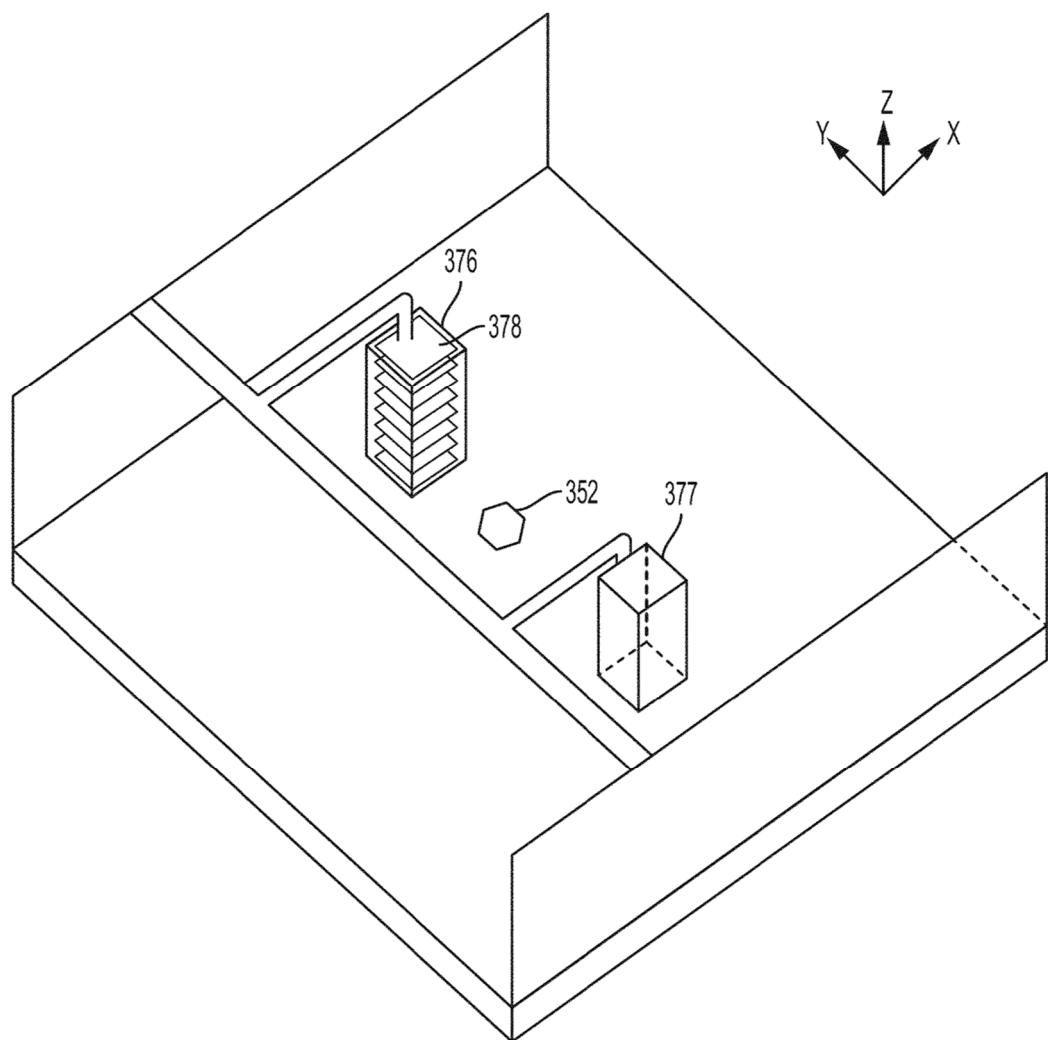


FIG. 3B

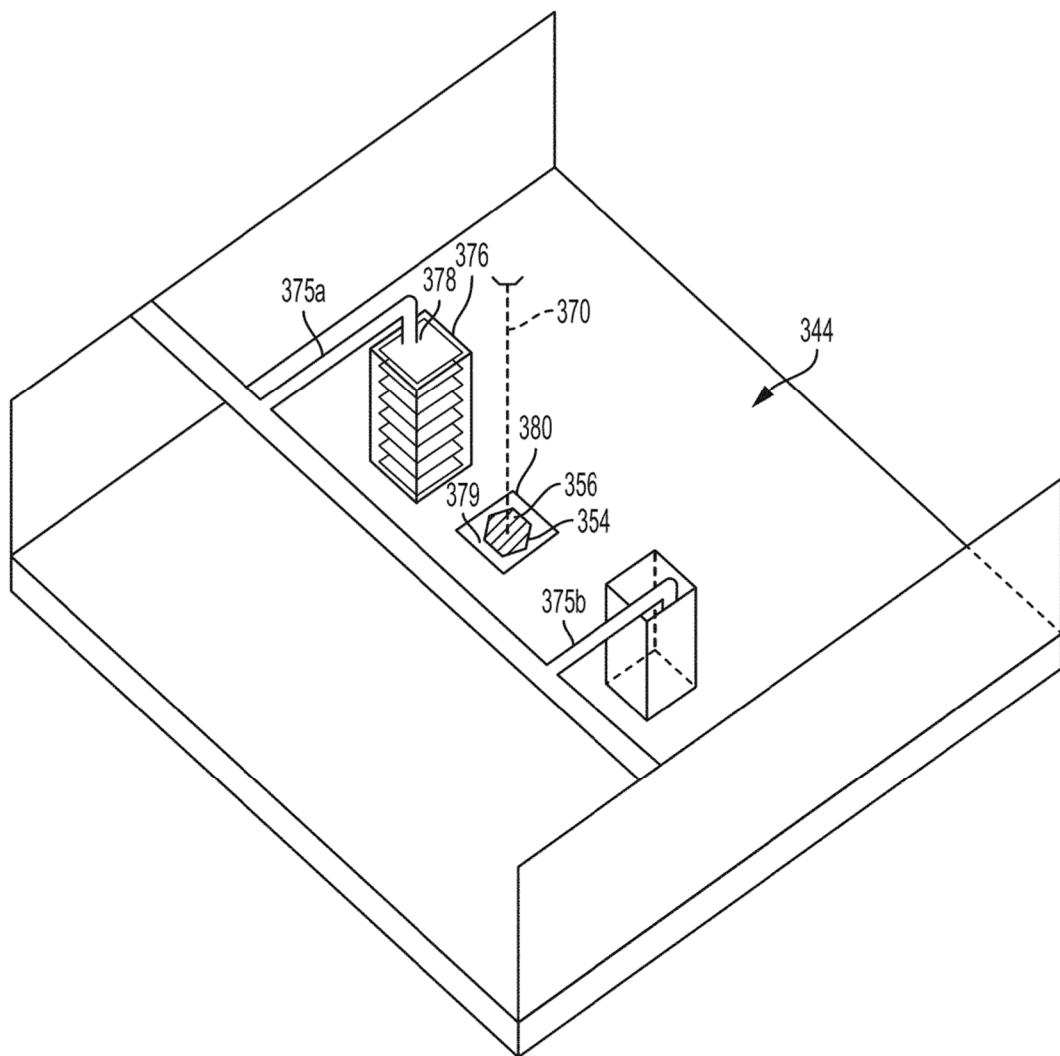


FIG. 3C

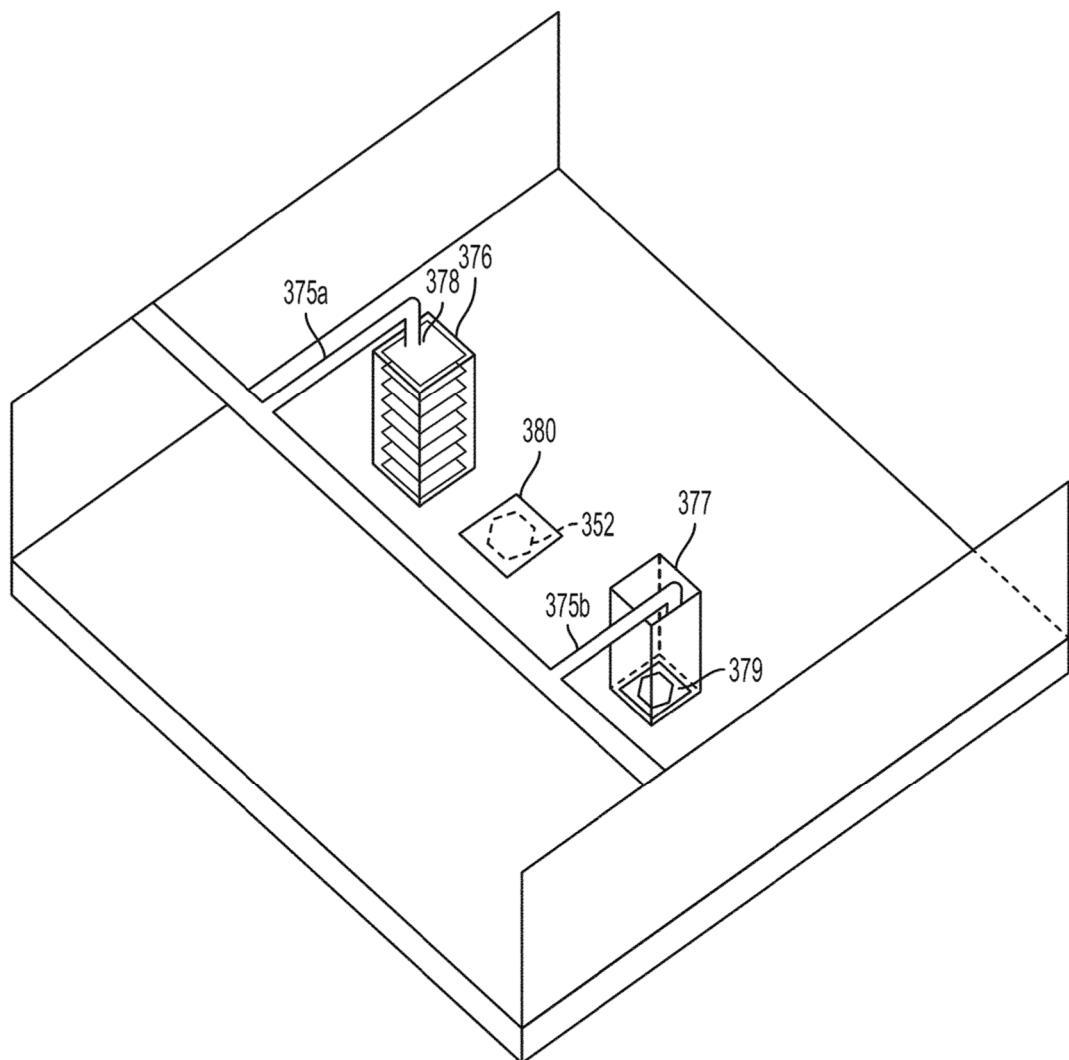


FIG. 3D

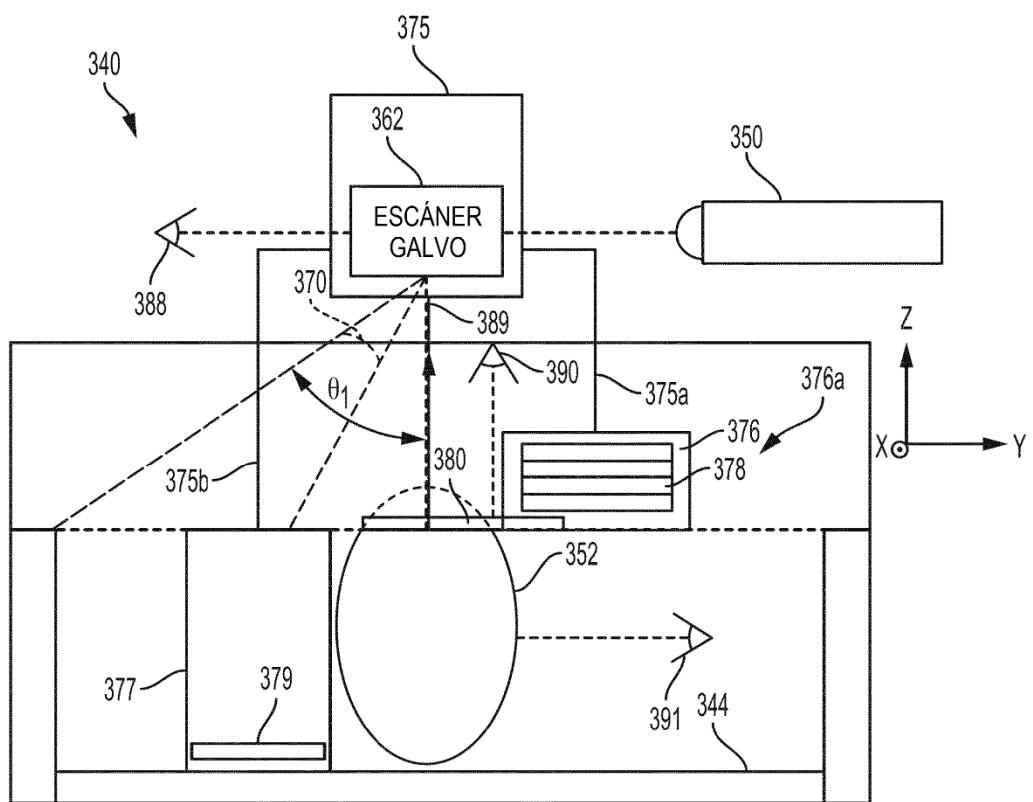


FIG. 3E

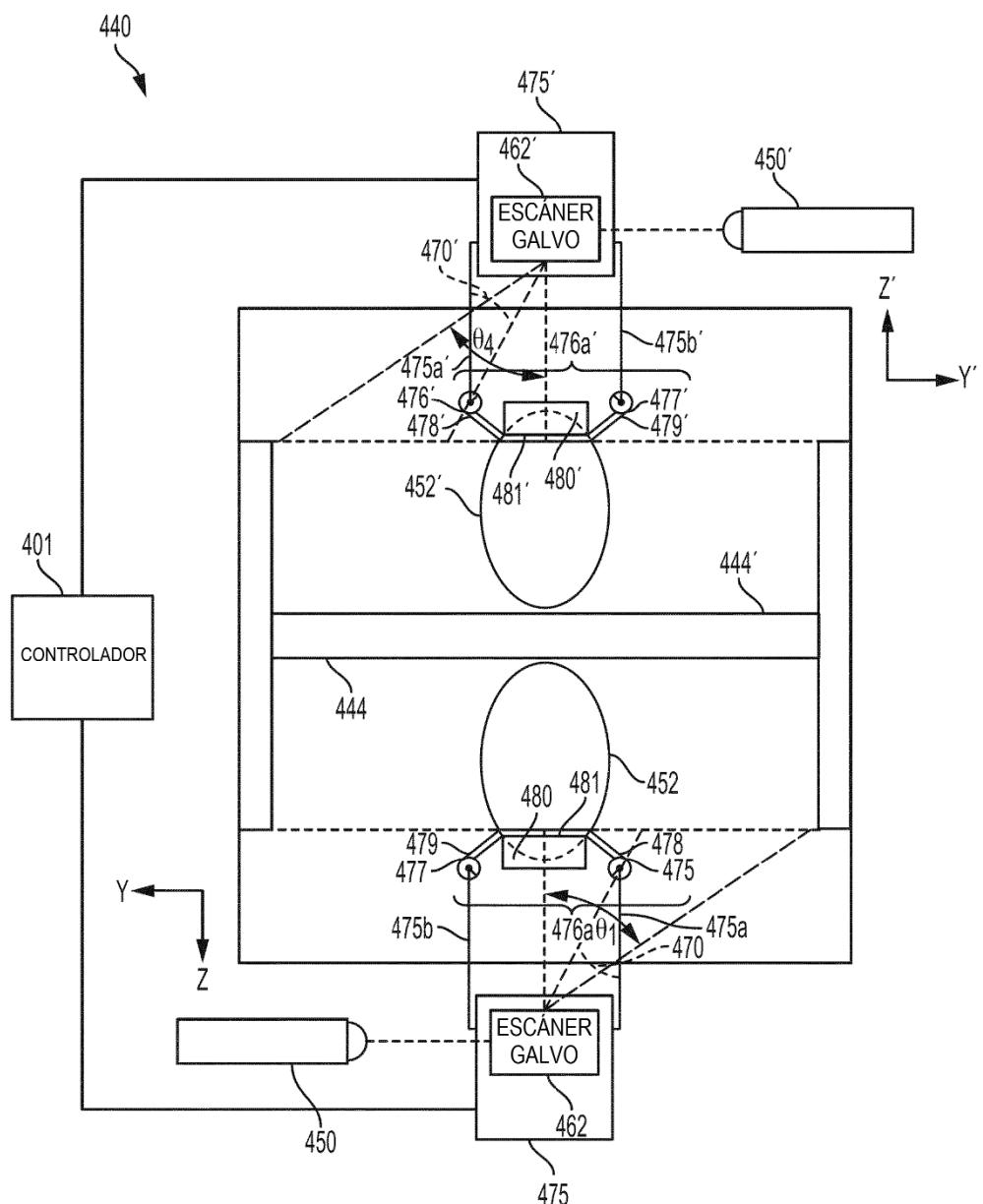


FIG. 4A

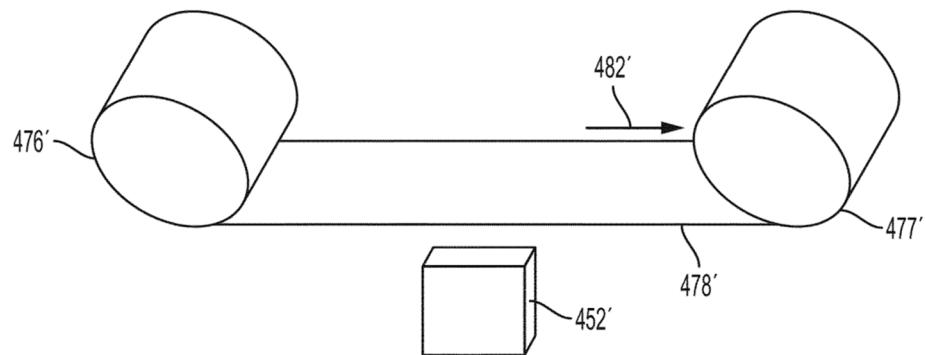


FIG. 4B

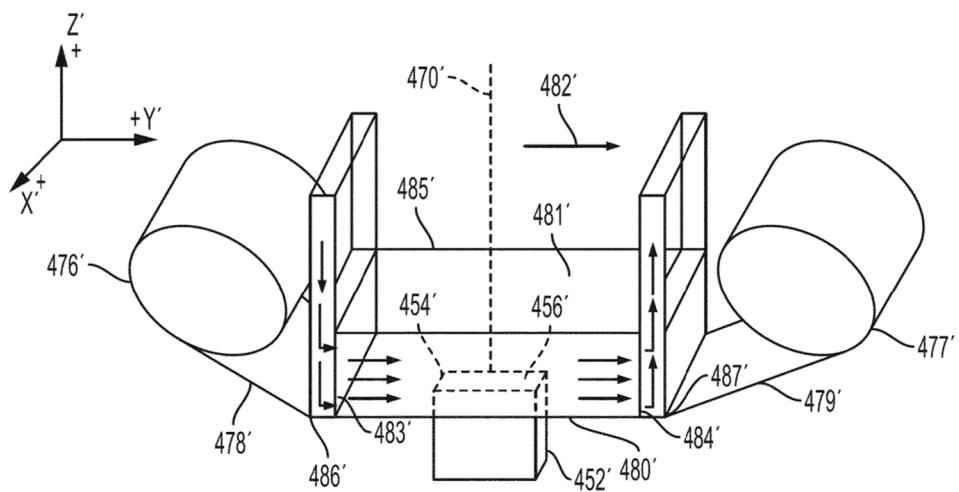


FIG. 4C

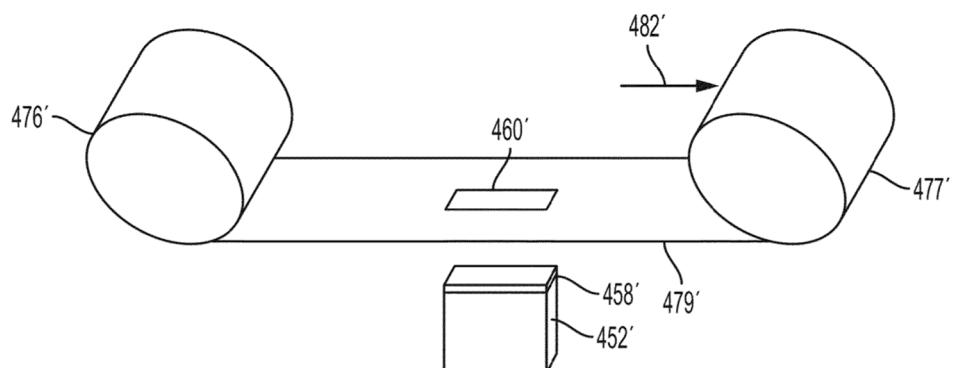


FIG. 4D

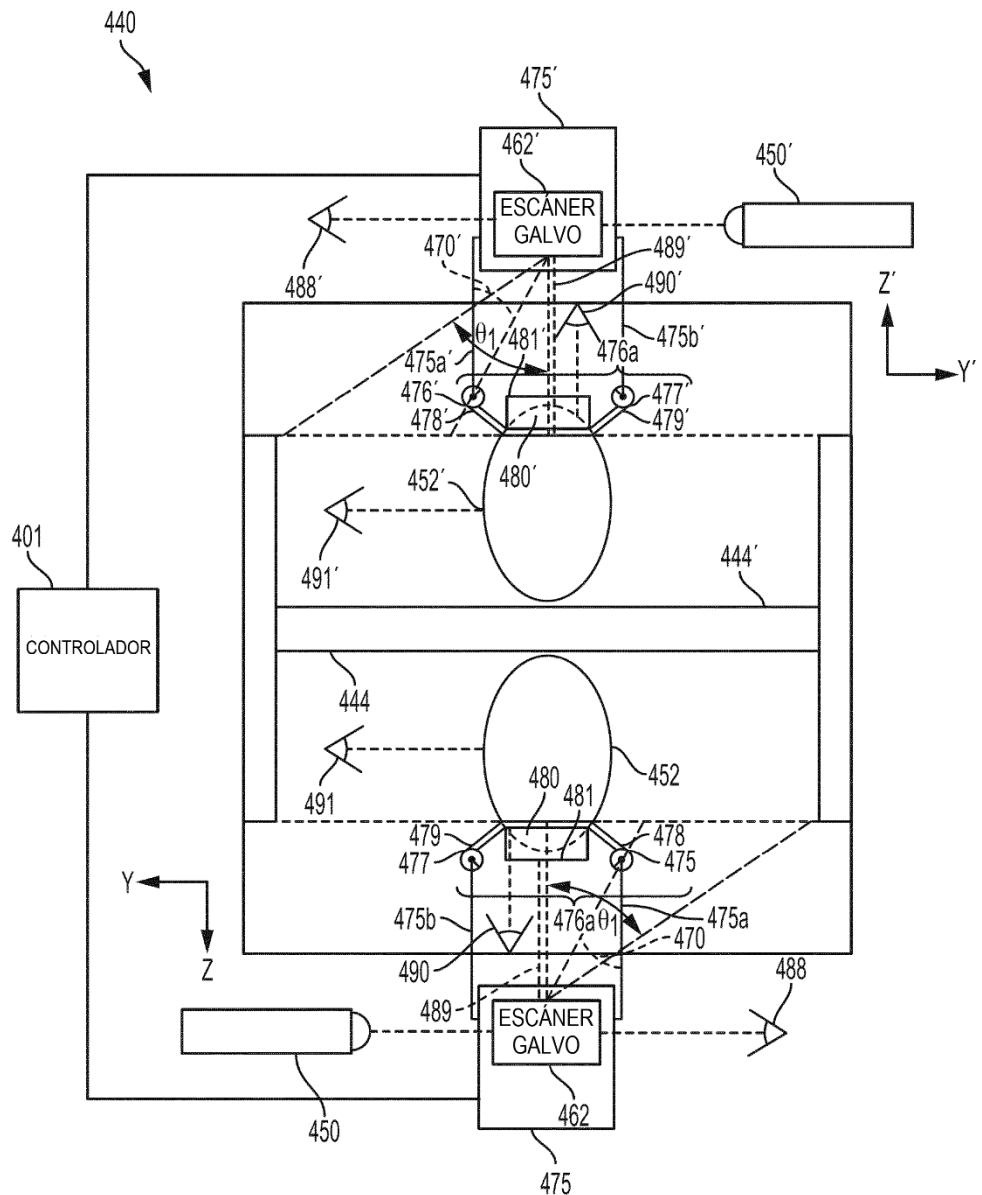


FIG. 4E

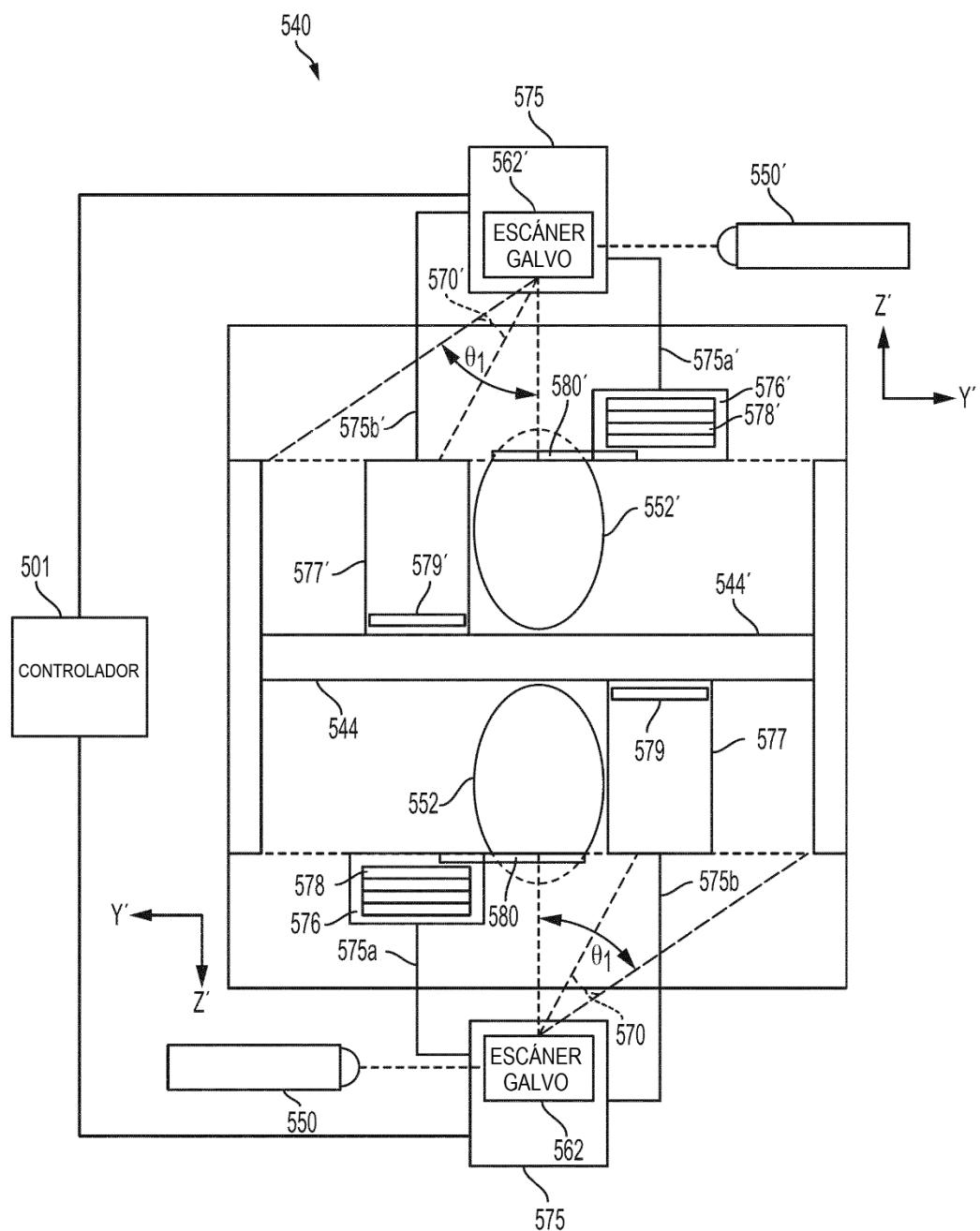


FIG. 5A

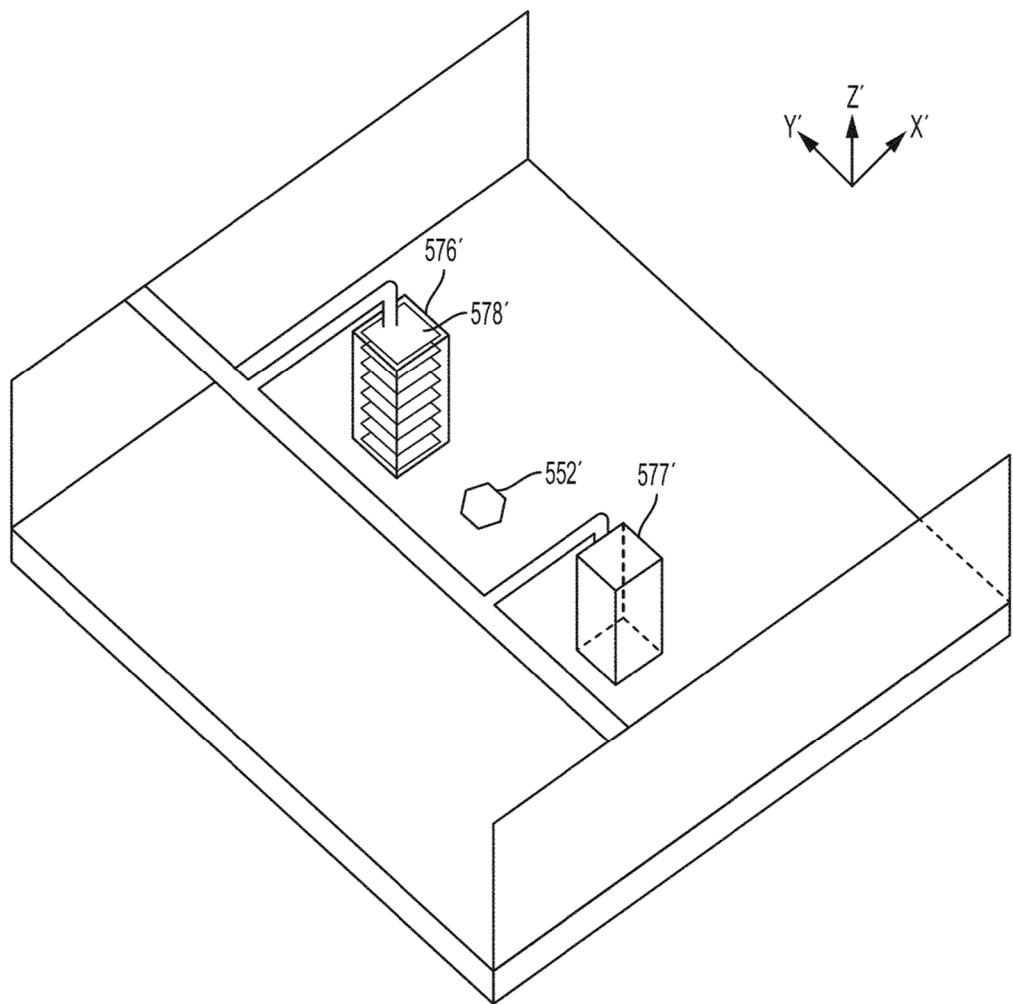


FIG. 5B

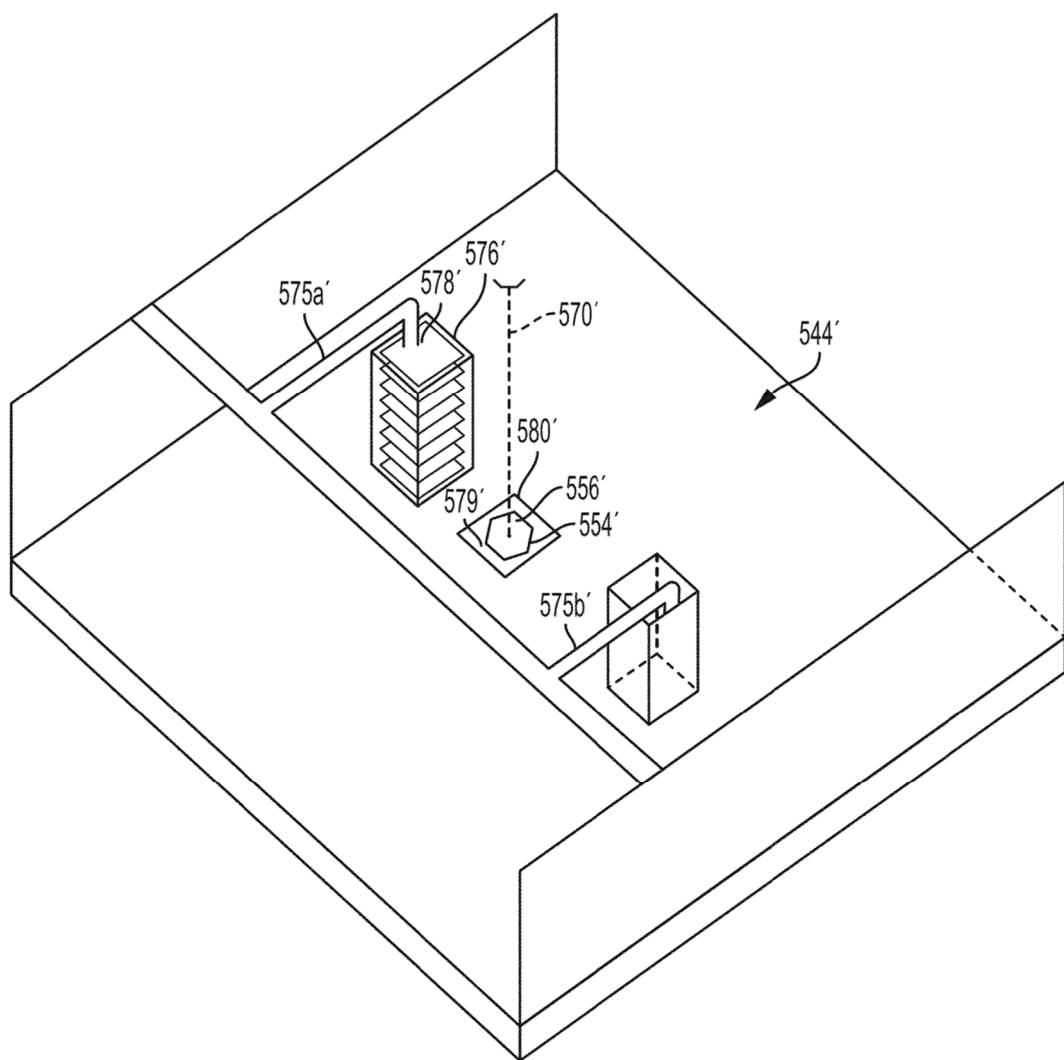


FIG. 5C

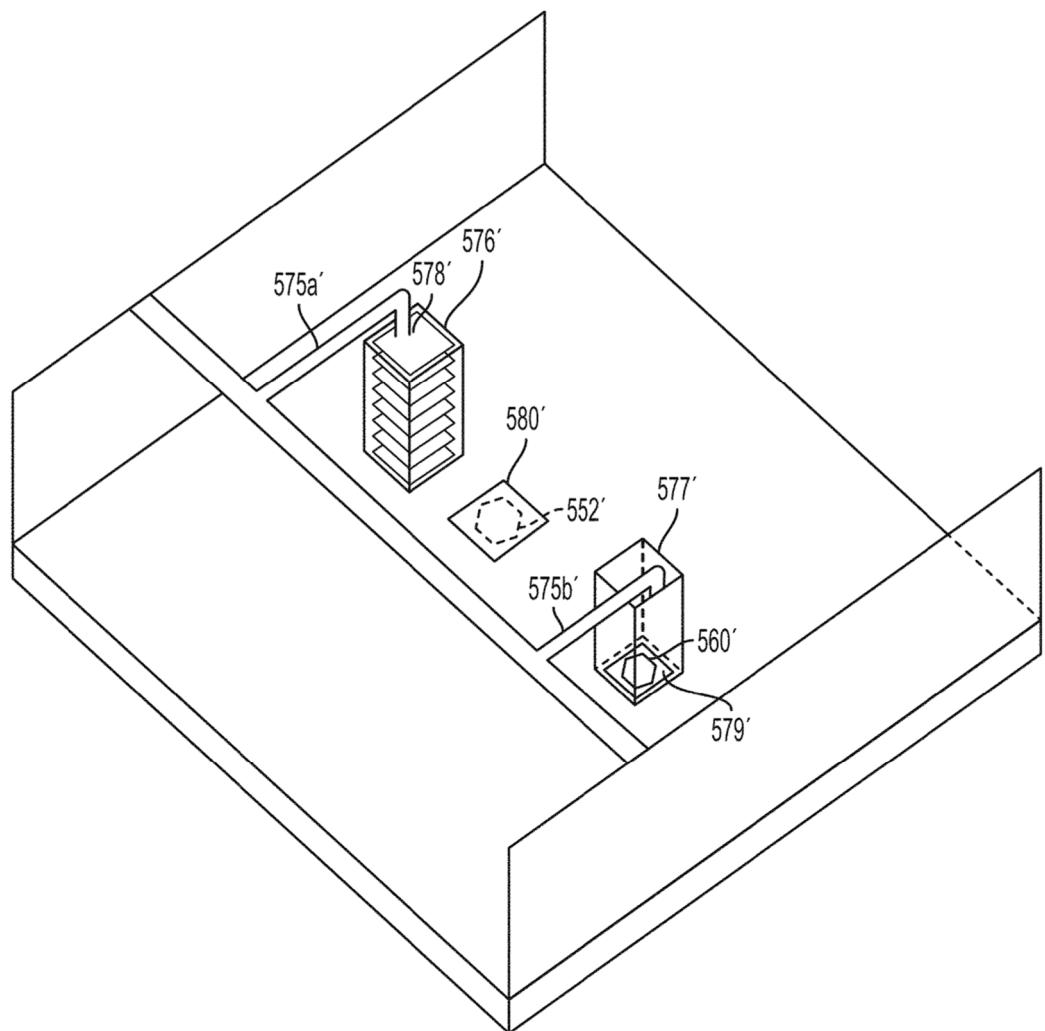


FIG. 5D

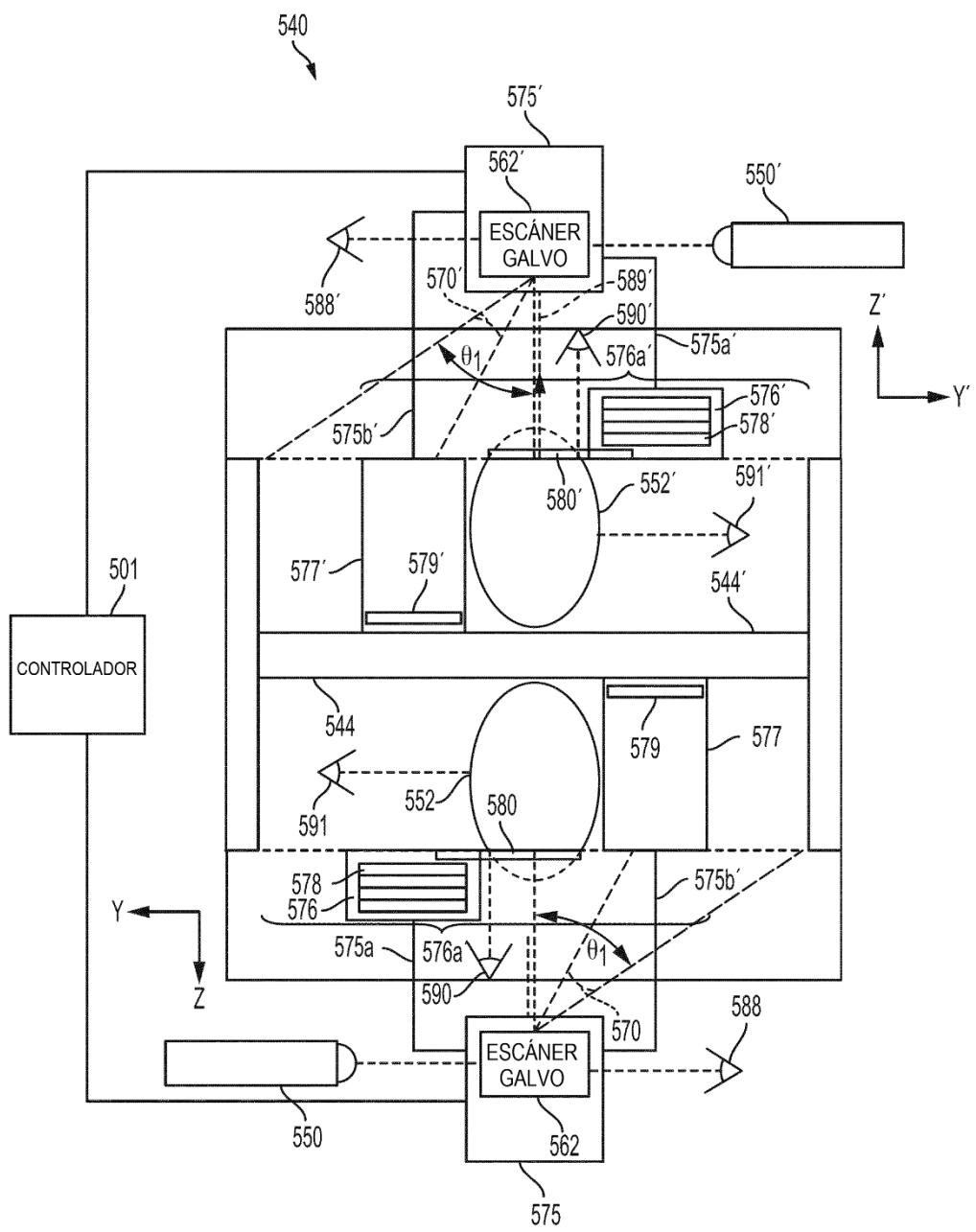


FIG. 5E

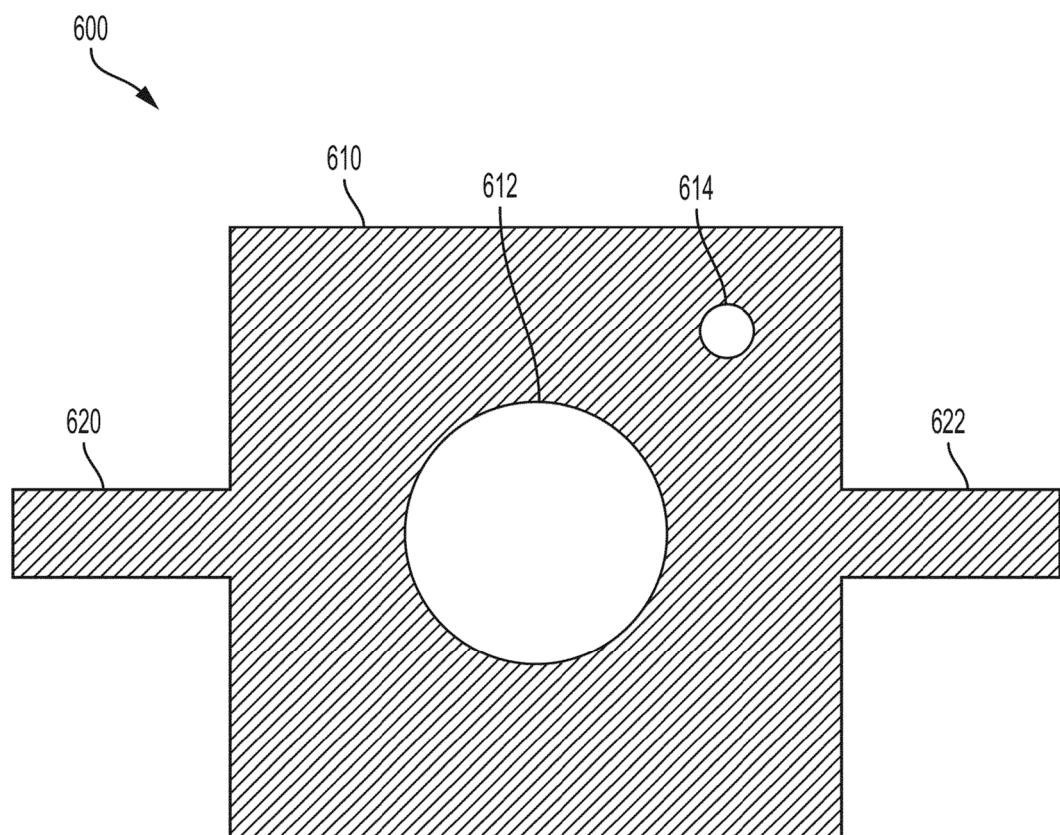


FIG. 6

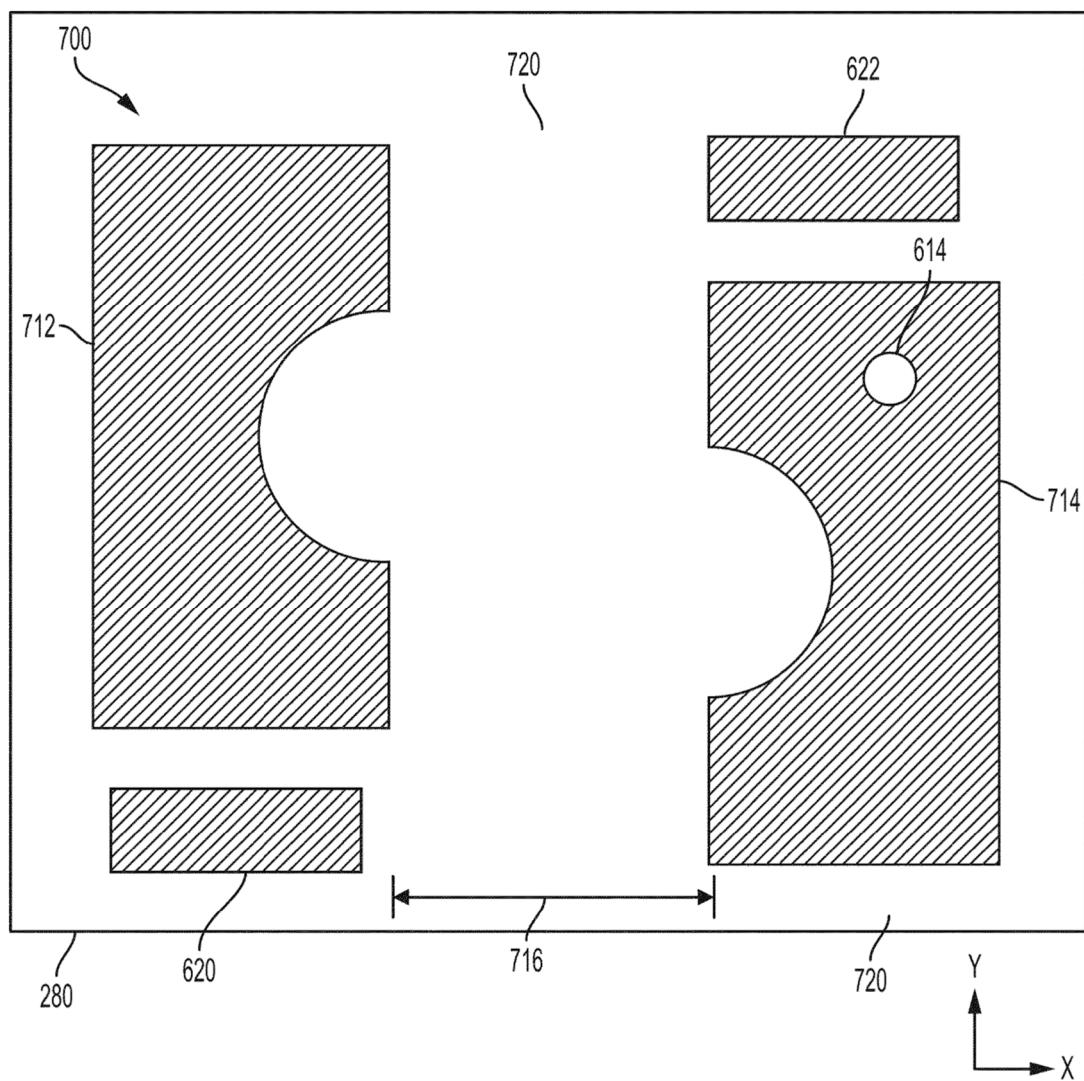


FIG. 7