

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 849**

51 Int. Cl.:

**B29C 64/20** (2007.01)

**B29C 64/393** (2007.01)

**B29C 64/124** (2007.01)

**B33Y 50/02** (2015.01)

**B33Y 10/00** (2015.01)

**B33Y 30/00** (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.06.2015 PCT/US2015/036444**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2015 WO15195924**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2015 E 15745274 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 3157738**

54 Título: **Impresión tridimensional con alimentación recíproca de líquido polimerizable**

30 Prioridad:

**20.06.2014 US 201462015119 P**

**11.08.2014 US 201462035643 P**

**18.02.2015 US 201562117640 P**

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

**07.05.2019**

73 Titular/es:

**CARBON, INC. (100.0%)**

**1089 Mills Way**

**Redwood City, California 94063, US**

72 Inventor/es:

**ERMOSHKIN, ALEXANDER;**

**SHIRVANYANTS, DAVID;**

**PHELPS, NORDSTROM KIRK;**

**ERMOSHKIN, NIKITA;**

**SAMULSKI, EDWARD T. y**

**DESIMONE, JOSEPH M.**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 711 849 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

Impresión tridimensional con alimentación recíproca de líquido polimerizable

## 5 Campo de la Invención

La presente invención se refiere a métodos y un aparato para la fabricación de objetos tridimensionales sólidos a partir de materiales líquidos.

## 10 Antecedentes de la Invención

En técnicas de fabricación aditiva o tridimensional convencionales, la construcción de un objeto tridimensional se lleva a cabo paso a paso o capa por capa. En particular, la formación de capas se lleva a cabo mediante la solidificación de resina fotocurable bajo la acción de irradiación de luz visible o UV. Se conocen dos técnicas: una en la cual se forman nuevas capas en la superficie superior del objeto en crecimiento; la otra en la cual se forman nuevas capas en la superficie inferior del objeto en crecimiento.

Si se forman nuevas capas en la superficie superior del objeto en crecimiento, entonces después de cada etapa de irradiación, el objeto en construcción se sumerge en la "piscina" de resina, se reviste una nueva capa de resina en la parte superior, y se lleva a cabo una nueva etapa de irradiación. Un ejemplo temprano de dicha técnica se da en Hull, patente de Estados Unidos núm. 5,236,637, en la Figura 3. Una desventaja de dichas técnicas "de arriba hacia abajo" es la necesidad de sumergir el objeto en crecimiento en una piscina (potencialmente profunda) de resina líquida y reconstituir una capa precisa de resina líquida.

Si se forman nuevas capas en la parte inferior del objeto en crecimiento, entonces después de cada etapa de irradiación, el objeto en construcción debe separarse de la placa inferior en el pozo de fabricación. Un ejemplo temprano de dicha técnica se da en Hull, patente de Estados Unidos núm. 5,236,637, en la Figura 4. Aunque dichas técnicas "de abajo hacia arriba" tienen el potencial para eliminar la necesidad de un pozo profundo en el cual se sumerge el objeto al elevar en cambio el objeto fuera de un pozo o piscina relativamente poco profunda, un problema con dichas técnicas de fabricación "de abajo hacia arriba", como las implementadas comercialmente, es que debe tenerse mucho cuidado, y emplearse elementos mecánicos adicionales, cuando se separa la capa solidificada de la placa inferior debido a las interacciones físicas y químicas entre ellas. Por ejemplo, en la patente de Estados Unidos núm. 7,438,846, se usa una capa de separación elástica para lograr la separación "no destructiva" de material solidificado en el plano de construcción inferior. Otros enfoques, tal como la impresora tridimensional B9Creator™ comercializada por B9Creations de Deadwood, South Dakota, EE.UU., emplean una placa de construcción deslizante. *Ver, por ejemplo*, M. Joyce, solicitud de patente de Estados Unidos 2013/0292862 y Y. Chen y otros, solicitud de patente de Estados Unidos 2013/0295212 (ambas del 7 de noviembre de 2013); *ver además* Y. Pan y otros, J. Manufacturing Sci. y Eng. 134, 051011-1 (octubre de 2012). Dichos enfoques introducen una etapa mecánica que puede complicar el aparato, ralentizar el método, y/o potencialmente distorsionar el producto final.

Los procesos continuos para producir un objeto tridimensional se sugieren en cierta extensión con respecto a las técnicas "de arriba hacia abajo" en la patente de Estados Unidos núm. 7,892,474, pero esta referencia no explica cómo pueden implementarse en sistemas "de abajo hacia arriba" de una manera no destructiva al artículo que se produce. En consecuencia, existe la necesidad de métodos y un aparato alternos para la fabricación tridimensional que puedan eliminar la necesidad de etapas de separación mecánica en la fabricación "de abajo hacia arriba".

El documento US 2009/018444 describe un aparato de moldeo óptico que moldea un modelo tridimensional al apilar capas curadas. Cada capa curada se forma al emitir luz de acuerdo con datos de forma transversal del modelo tridimensional sobre una superficie de resina fotocurable. El aparato de moldeo óptico incluye un contenedor que contiene la resina fotocurable, una plataforma móvil que se mueve en una dirección ortogonal a la superficie de la resina fotocurable, un sistema óptico que emite la luz sobre la superficie de la resina fotocurable contenida en el contenedor para formar cada capa curada en la plataforma móvil, y un mecanismo de descarga que lleva a cabo una operación de descarga para descargar nueva resina fotocurable sobre una superficie de cada capa curada formada en la plataforma móvil antes de apilar una posterior capa curada.

El documento US 2013/0292862 describe un aparato para facilitar el ensamble de partes tridimensionales en una manera de capas, en donde las fuerzas de separación entre el dispositivo ensamblador y las partes se minimizan en ciertas interfaces. Las partes pueden producirse a partir de polímeros, fotopolímeros, metales, u otros materiales. Las fuerzas de separación se minimizan mediante el uso de una capa inhibidora de curado en una superficie superior de la placa de imagen y mediante el deslizamiento de la parte desde el contacto con una porción de la placa de imagen que tiene una alta elevación hasta por encima de una porción de la placa de imagen con poca elevación.

El documento WO 2013/026087 A1 describe un método y un aparato para hacer un objeto. Una sección del objeto se forma al irradiar una capa de material con una radiación, la capa de material se dispone en una superficie de recepción de material de un elemento flexible conformado por un miembro de conformación que contacta el elemento flexible. La

radiación pasa a través del miembro y del elemento flexible. El miembro se inclina para inducir una separación de pelado del miembro del elemento.

#### Resumen de la invención

5

En la presente descripción se describen métodos, sistemas y aparatos (incluyendo los métodos, sistemas y aparatos de control asociados), para la producción de un objeto tridimensional mediante fabricación aditiva. En modalidades preferidas (pero no necesariamente limitantes), el método se lleva a cabo de manera continua. En modalidades preferidas (pero no necesariamente limitantes), el objeto tridimensional se produce a partir de una interfaz líquida. Por lo tanto, estas son llamadas en ocasiones, por conveniencia y no a efectos de limitación, como producción (o impresión) de interfaz (o interfase) líquida continua, es decir, "CLIP" en la presente descripción (las diversas expresiones se utilizan indistintamente). Una representación esquemática de una modalidad de esta se brinda en la Figura 1 en la presente descripción.

10

15

La presente invención proporciona un método para formar un objeto tridimensional como se establece en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

20

En algunas modalidades, la iluminación se lleva a cabo secuencialmente, y preferentemente a una mayor intensidad (por ejemplo, en modo "estroboscópico"), como se describe más adelante.

En algunas modalidades, la fabricación se lleva a cabo en dos o tres patrones secuenciales, de una zona de la base, a través de una zona de transición opcional, a una zona del cuerpo, como se describe más adelante.

25

El portador es recíproco verticalmente con respecto a la superficie de construcción, para mejorar o acelerar el llenado de la región de construcción con el líquido polimerizable.

30

Las etapas de llenado, irradiación y/o avance se llevan a cabo al mismo tiempo que: (i) se mantiene continuamente una zona muerta de líquido polimerizable en contacto con dicha superficie de construcción, y (ii) se mantiene continuamente un gradiente de la zona de polimerización (que, como se explica más adelante, también puede describirse como una superficie activa en la parte inferior del objeto tridimensional en crecimiento) entre dicha zona muerta y dicho polímero sólido y en contacto con cada uno de ellos, dicho gradiente de la zona de polimerización comprende dicho líquido polimerizable en forma parcialmente curada. Dicho de otra manera, en algunas modalidades preferidas de CLIP, el objeto tridimensional, o al menos alguna porción contigua del mismo, se forma o produce in situ. "In situ" como se usa en la presente descripción tiene su significado en el campo de la ingeniería química, y significa "en su lugar". Por ejemplo, cuando tanto la porción en crecimiento del objeto tridimensional como la superficie de construcción (típicamente con su superficie activa o gradiente de polimerización y zona muerta intermedias) se mantienen en su lugar durante la formación de al menos una porción del objeto 3D, o lo suficientemente en su lugar para evitar la formación de líneas de falla o planos en el objeto 3D. Por ejemplo, en algunas modalidades de acuerdo con la invención, diferentes porciones del objeto 3D, que son contiguas entre sí en el objeto 3D final, pueden formarse secuencialmente desde o dentro de un gradiente de polimerización o superficie activa. Además, una primera porción del objeto 3D puede permanecer en el gradiente de polimerización o entrar en contacto con la superficie activa, mientras que una segunda porción, que es contigua a la primera porción, se forma en el gradiente de polimerización. En consecuencia, el objeto 3D puede fabricarse, hacer crecer o producir continuamente de forma remota a partir del gradiente de polimerización o superficie activa (en lugar de fabricarse en capas discretas). La zona muerta y el gradiente de la zona de polimerización/superficie activa pueden mantenerse a través de parte o de toda la formación del objeto que se está fabricando, por ejemplo (y en algunas modalidades) durante un tiempo de al menos 5, 10, 20 o 30 segundos, y en algunas modalidades durante un tiempo de al menos 1 o 2 minutos.

35

40

45

50

Visto desde otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato como se establece en la reivindicación 16 de las reivindicaciones adjuntas.

55

En la impresora tridimensional B9Creator™, se aplica un recubrimiento de polidimetilsiloxano (PDMS) a la superficie de construcción deslizante. Se dice que el recubrimiento de PDMS absorbe oxígeno y crea una delgada película lubricante de resina no polimerizada a través de su acción como inhibidor de la polimerización. Sin embargo, la superficie de construcción recubierta con PDMS se reabastece directamente con oxígeno al mover (deslizar) mecánicamente la superficie desde debajo del objeto en crecimiento, mientras se limpia la resina no polimerizada con una cuchilla limpiadora y luego se regresa a su posición anterior debajo del objeto en crecimiento. Aunque que en algunas modalidades se proporcionan medios auxiliares para proporcionar un inhibidor tal como oxígeno (*por ejemplo*, un compresor a los canales asociados), el proceso aún emplea un enfoque de capa por capa con deslizamiento y limpieza de la superficie. Debido a que el recubrimiento de PDMS puede estar hinchado por la resina, esta hinchazón, junto con estas etapas mecánicas, puede provocar la rotura o daño del recubrimiento de PDMS.

60

Los ejemplos no limitantes y las modalidades específicas de la presente invención se explican con mayor detalle en los dibujos de la presente descripción y en la descripción que se expone a continuación.

65

## Breve descripción de los dibujos

- La Figura 1 es una ilustración esquemática de una modalidad de un método de la presente invención.
- La Figura 2 es una vista en perspectiva de una modalidad de un aparato de la presente invención.
- 5 Las Figuras 3 a 5 son diagramas de flujo que ilustran métodos y sistemas de control para llevar a cabo la presente invención.
- La Figura 6 es una vista superior de un ensamble de placa (o "ventana") de construcción rectangular de "alto aspecto" de 7,62 cm por 40,64 cm (3 pulgadas por 16 pulgadas) de la presente invención, donde las dimensiones de la película son 8,89 cm por 43,18 cm (3,5 pulgadas por 17 pulgadas).
- 10 La Figura 7 es una vista despiezada de la placa de construcción de la Figura 6, que muestra el anillo de tensión y la placa de resorte del anillo de tensión.
- La Figura 8 es una vista lateral en sección de las placas de construcción de las Figuras 6-9, que muestra cómo el miembro de tensión tensa y fija o rigidiza la película polimérica.
- 15 La Figura 9 es una vista superior de una placa de construcción redonda de 7,32 cm (2,88 pulgadas) de diámetro de la invención, donde la dimensión de la película puede ser de 10,16 cm (4 pulgadas) de diámetro.
- La Figura 10 es una vista despiezada de la placa de construcción de la Figura 8.
- La Figura 11 muestra varias modalidades alternativas de las placas de construcción de las Figuras 7-10.
- La Figura 12 es una vista frontal en perspectiva de un aparato de acuerdo con una modalidad ilustrativa de la invención.
- 20 La Figura 13 es una vista lateral del aparato de la Figura 12.
- La Figura 14 es una vista trasera en perspectiva del aparato de la Figura 12.
- La Figura 15 es una vista en perspectiva de un ensamble de motor de luz usado con el aparato de la Figura 12.
- La Figura 16 es una vista frontal en perspectiva de un aparato de acuerdo con otra modalidad ilustrativa de la invención.
- Las Figuras 17A-17C son diagramas esquemáticos que ilustran imágenes en mosaico.
- 25 La Figura 18 es una vista frontal en perspectiva de un aparato de acuerdo con otra modalidad ilustrativa de la invención.
- La Figura 19 es una vista lateral del aparato de la Figura 18.
- La Figura 20 es una vista en perspectiva de un ensamble de motor de luz usado con el aparato de la Figura 18.
- La Figura 21 es una ilustración gráfica de un proceso de la invención que indica la posición del portador en relación con la superficie o placa de construcción, donde tanto el avance del portador como la irradiación de la región de construcción se llevan a cabo de manera continua. El avance del portador se ilustra en el eje vertical, y el tiempo se ilustra en el eje horizontal.
- 30 La Figura 22 es una ilustración gráfica de otro proceso de la invención que indica la posición del portador en relación con la superficie o placa de construcción, donde tanto el avance del portador como la irradiación de la región de construcción se llevan a cabo paso a paso, y aun así se mantienen la zona muerta y el gradiente de polimerización. El avance del portador se ilustra nuevamente en el eje vertical, y el tiempo se ilustra en el eje horizontal.
- 35 La Figura 23 es una ilustración gráfica de otro proceso más de la invención que indica la posición del portador en relación con la superficie o placa de construcción, donde tanto el avance del portador como la irradiación de la región de construcción se llevan a cabo paso a paso, se mantienen la zona muerta y el gradiente de polimerización, y se introduce una etapa recíproca entre las etapas de irradiación para mejorar el flujo de líquido polimerizable en la región de construcción. El avance del portador se ilustra nuevamente en el eje vertical, y el tiempo se ilustra en el eje horizontal.
- 40 La Figura 24 es una ilustración detallada de una etapa recíproca de la Figura 23, que muestra un período de aceleración que ocurre durante la carrera ascendente (*es decir*, un inicio gradual de la carrera ascendente) y un período de desaceleración que ocurre durante la carrera descendente (*es decir*, un final gradual a la carrera descendente).
- La Figura 25 ilustra esquemáticamente el movimiento del portador (z) a lo largo del tiempo (t) en el curso de la fabricación de un objeto tridimensional mediante procesos de la presente invención a través de una primera zona de la base (o "adhesión"), una segunda zona de transición, y una tercera zona del cuerpo.
- 45 La Figura 26A ilustra esquemáticamente el movimiento del portador (z) a lo largo del tiempo (t) en el curso de la fabricación de un objeto tridimensional por avance continuo y exposición continua.
- La Figura 26B ilustra la fabricación de un objeto tridimensional de manera similar a la Figura 26A, excepto que la iluminación ahora tiene un patrón intermitente (o "estroboscópico").
- 50 La Figura 27A ilustra esquemáticamente el movimiento del portador (z) a lo largo del tiempo (t) en el curso de la fabricación de un objeto tridimensional por avance intermitente (o "escalonado") y exposición intermitente.
- La Figura 27B ilustra la fabricación de un objeto tridimensional de manera similar a la Figura 27A, excepto que la iluminación ahora tiene un patrón intermitente (o "estroboscópico") acertado.
- 55 La Figura 28A ilustra esquemáticamente el movimiento del portador (z) a lo largo del tiempo (t) en el curso de la fabricación de un objeto tridimensional por avance oscilatorio y exposición intermitente.
- La Figura 28B ilustra la fabricación de un objeto tridimensional de manera similar a la Figura 28A, excepto que la iluminación ahora tiene un patrón intermitente (o "estroboscópico") acertado.
- La Figura 29A ilustra esquemáticamente un segmento de un patrón "estroboscópico" de fabricación, en el que la duración de la porción estática del portador se ha acertado hasta cerca de la duración de la exposición del "estroboscópico".
- 60 La Figura 29B es una ilustración esquemática de un segmento de un patrón estroboscópico de fabricación similar a la Figura 29A, excepto que el portador ahora se mueve lentamente hacia arriba durante el período de iluminación estroboscópica.

## Descripción detallada de las modalidades ilustrativas

5 La presente invención se describe ahora en más detalle a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran modalidades de la invención. Sin embargo, esta invención puede realizarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las modalidades expuestas en la presente descripción; más bien, estas modalidades se proporcionan para que esta descripción sea exhaustiva y completa y transmita en su totalidad el alcance de la invención a los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

10 Los números similares se refieren a elementos similares en todo el documento. En las figuras, el grosor de ciertas líneas, capas, componentes, elementos o características puede ser exagerado para mayor claridad. Cuando se usan, las líneas discontinuas ilustran características u operaciones opcionales a menos que se especifique lo contrario.

15 La terminología usada en la presente descripción tiene el propósito de describir solo modalidades particulares y no pretende limitar la invención. Como se usa en la presente descripción, las formas singulares "un", "una", "el" y "la" pretenden incluir formas plurales también, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende" o "que comprende", cuando se usan en esta descripción, especifican la presencia de las características, enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos indicados, pero no excluyen la presencia o adición de una o más características, enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos o combinaciones de los mismos.

20 Como se usa en la presente descripción, el término "y/o" incluye todas y cada una de las posibles combinaciones o uno o más de los elementos enumerados asociados, así como la falta de combinaciones cuando se interpretan en la alternativa ("o").

25 A menos que se defina lo contrario, todos los términos (incluidos los términos técnicos y científicos) usados en la presente descripción tienen el mismo significado que entiende comúnmente un experto en la técnica a la que pertenece esta invención. Se entenderá además que los términos, tales como los definidos en los diccionarios de uso común, deben interpretarse como que tienen un significado que es coherente con su significado en el contexto de la descripción y las reivindicaciones y no deben interpretarse en un sentido idealizado o demasiado formal, a menos que expresamente se defina en la presente descripción. Puede que las características o construcciones bien conocidas no se describan en detalle por razones de brevedad y/o claridad.

35 Debe entenderse que cuando se hace referencia a un elemento como "sobre", "unido" a, "conectado" a, "acoplado" con, "en contacto" con, etc., otro elemento, este puede estar directamente sobre, unido a, conectado a, acoplado con y/o en contacto con el otro elemento o elementos intermedios que también pueden estar presentes. Por el contrario, cuando se hace referencia a un elemento como, por ejemplo, "directamente sobre", "directamente unido" a, "directamente conectado" a, "directamente acoplado" con o "directamente en contacto" con otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Los expertos en la técnica también apreciarán que las referencias a una estructura o característica que se dispone "adyacente" a otra característica pueden tener porciones que se superponen o subyacen a la característica adyacente.

40 Los términos espacialmente relativos, como "debajo", "abajo", "inferior", "encima", "superior" y similares, pueden usarse en la presente descripción para facilitar la descripción para describir la relación de un elemento o característica con otro(s) elemento(s) o característica(s) como se ilustra en las figuras. Debe entenderse que los términos espacialmente relativos pretenden abarcar diferentes orientaciones del dispositivo en uso u operación, además de la orientación representada en las figuras. Por ejemplo, si el dispositivo en las figuras está invertido, los elementos descritos como "abajo" o "debajo" de otros elementos o características se orientarán "sobre" los otros elementos o características. Por lo tanto, el término ilustrativo "debajo" puede abarcar tanto una orientación de por encima y por debajo. Por el contrario, el dispositivo puede orientarse (rotado 90 grados u en otras orientaciones) y los descriptores espacialmente relativos usados en la presente invención deben interpretarse como corresponde. De manera similar, los términos "hacia arriba", "hacia abajo", "vertical", "horizontal" y similares se usan en la presente descripción únicamente con fines de explicación, a menos que se indique específicamente lo contrario.

55 Debe entenderse que, aunque los términos primero, segundo, etc., pueden usarse en la presente descripción para describir diversos elementos, componentes, regiones, capas y/o secciones, estos elementos, componentes, regiones, capas y/o secciones no deben ser limitados por estos términos. Más bien, estos términos solo se usan para distinguir un elemento, componente, región, capa y/o sección, de otro elemento, componente, región, capa y/o sección. Por lo tanto, un primer elemento, componente, región, capa o sección discutida en la presente descripción podría denominarse segundo elemento, componente, región, capa o sección sin apartarse de las enseñanzas de la presente invención. La secuencia de operaciones (o etapas) no se limita al orden presentado en las reivindicaciones o figuras, a menos que se indique específicamente lo contrario.

## 1. Líquidos polimerizables.

65 Puede usarse cualquier líquido polimerizable adecuado para permitir la presente invención. El líquido (a veces también denominado "resina líquida", "tinta" o simplemente "resina" en la presente descripción) puede incluir un monómero, particularmente monómeros polimerizables por fotopolimerización y/o radicales libres, y un iniciador adecuado tal como

un iniciador de radicales libres, y combinaciones de los mismos. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, acrílicos, metacrílicos, acrilamidas, estirénicos, olefinas, olefinas halogenadas, alquenos cíclicos, anhídrido maleico, alquenos, alquinos, monóxido de carbono, oligómeros funcionalizados, monómeros de sitios de curado multifuncionales, PEG funcionalizados, etc., incluyendo combinaciones de los mismos. Ejemplos de resinas líquidas, monómeros e iniciadores incluyen, pero no se limitan a, los descritos en las patentes de EE.UU. núms. 8,232,043; 8,119,214; 7,935,476; 7,767,728; 7,649,029; WO 2012129968 A1; CN 102715751 A; JP 2012210408 A.

*Líquidos polimerizables catalizados por ácido.* Mientras que en algunas modalidades, como se indicó anteriormente, el líquido polimerizable comprende un líquido polimerizable por radicales libres (en cuyo caso un inhibidor puede ser oxígeno como se describe más adelante), en otras modalidades, el líquido polimerizable comprende un líquido polimerizable catalizado por ácido o catiónicamente polimerizado. En tales modalidades, el líquido polimerizable comprende monómeros que contienen grupos adecuados para la catálisis ácida, tales como grupos epóxido, grupos vinil éter, etc. Así, los monómeros adecuados incluyen olefinas tales como metoxieteno, 4-metoxiestireno, estireno, 2-metilprop-1-eno, 1,3-butadieno, etc.; monómeros heterocíclicos (incluidas las lactonas, las lactamas y las aminas cíclicas) como oxirano, tietano, tetrahidrofurano, oxazolona, 1,3, dioxepano, oxetan-2-ona, etc., y combinaciones de los mismos. Se incluye un generador fotoácido (PAG) (generalmente iónico o no iónico) adecuado en el líquido polimerizable catalizado por ácido, cuyos ejemplos incluyen, pero no se limitan a, sales de onio, sales de sulfonio y yodonio, etc., tales como hexafluorofosfato de yoduro de difenilo, hexafluoroarseniato de yoduro de difenilo, hexafluoroantimoniato de yoduro de difenilo, triflato de difenil p-metoxifenilo, triflato de difenil p-toluenilo, triflato de difenil p-isobutilfenilo, triflato de difenil p-terc-butilfenilo, hexafluororfosfato de trifenilsulfonio, hexafluoroarseniato de trifenilsulfonio, hexafluoroantimoniato de trifenilsulfonio, triflato de trifenilsulfonio, triflato de dibutilnaftilsulfonio, etc., incluidas sus mezclas. Ver, por ejemplo, las patentes de Estados Unidos núms. 7,824,839; 7,550,246; 7,534,844; 6,692,891; 5,374,500; y 5,017,461; ver además Guía de selección de generadores fotoácidos para la industria electrónica y recubrimientos curables por energía (BASF 2010).

*Hidrogeles.* En algunas modalidades, las resinas adecuadas incluyen hidrogeles fotocurables como poli(etilenglicoles) (PEG) y gelatinas. Los hidrogeles de PEG se han usado para suministrar una variedad de productos biológicos, incluidos los factores de crecimiento; sin embargo, un gran desafío al enfrentar los hidrogeles de PEG reticulados por polimerizaciones de crecimiento de cadena es el potencial de daño irreversible de proteínas. Las condiciones para maximizar la liberación de los productos biológicos a partir de los hidrogeles de diacrilato de PEG fotopolimerizados pueden mejorarse mediante la inclusión de secuencias de péptidos de unión por afinidad en las soluciones de resina de monómero, antes de la fotopolimerización, lo que permite el suministro sostenido. La gelatina es un biopolímero de uso frecuente en las industrias de alimentos, cosmética, farmacéutica y fotográfica. Se obtiene por desnaturalización térmica o por degradación química y física del colágeno. Existen tres tipos de gelatina, incluidas las que se encuentran en animales, peces y seres humanos. La gelatina de la piel de peces de agua fría se considera segura para usar en aplicaciones farmacéuticas. La luz UV o visible puede usarse para reticular gelatina adecuadamente modificada. Los métodos para reticular la gelatina incluyen derivados de curado de tintes como Rose Bengal.

*Resinas de silicona fotocurable.* Una resina adecuada incluye siliconas fotocurables. El caucho de silicona de curado por UV, como el caucho de silicona de curado por UV Silopren™ puede usarse como selladores adhesivos de silicona de curado LOCTITE™. Las aplicaciones incluyen instrumentos ópticos, equipos médicos y quirúrgicos, iluminación exterior y recintos, conectores/sensores eléctricos, fibra óptica y juntas.

*Resinas biodegradables.* Las resinas biodegradables son particularmente importantes para los dispositivos implantables para suministrar medicamentos o para aplicaciones de función temporal, tal como tornillos y endoprótesis biodegradables (patentes de EE.UU. 7,919,162; 6,932,930). Los copolímeros biodegradables de ácido láctico y ácido glicólico (PLGA) pueden disolverse en dimetacrilato de PEG para producir una resina transparente adecuada para su uso. Los oligómeros de policaprolactona y PLGA pueden funcionalizarse con grupos acrílicos o metacrílicos para permitir que sean resinas efectivas en su uso.

*Poliuretanos fotocurables.* Una resina particularmente útil son los poliuretanos fotocurables. Una composición de poliuretano fotopolimerizable que comprende (1) un poliuretano basado en un diisocianato alifático, poli(isoftalato de hexametilenglicol) y, opcionalmente, 1,4-butanodiol; (2) un éster acrílico polifuncional; (3) un fotoiniciador; y (4) un antioxidante, puede formularse de manera que proporcione un material duro, resistente a la abrasión y resistente a las manchas (patente de Estados Unidos 4,337,130). Los elastómeros de poliuretano termoplásticos fotocurables incorporan dioles de diacetileno fotorreactivos como extensores de cadena.

*Resinas de alto rendimiento.* En algunas modalidades, se usan resinas de alto rendimiento. Dichas resinas de alto rendimiento a veces pueden requerir el uso de calentamiento para ablandar y/o reducir la viscosidad de las mismas, como se indicó anteriormente y se explica más adelante. Ejemplos de dichas resinas incluyen, pero no se limitan a, resinas para aquellos materiales a veces denominados polímeros cristalinos líquidos de ésteres, éster-imidas y oligómeros de éster-amidas, como se describe en las patentes de Estados Unidos núms. 7,507,784; 6,939,940. Dado que dichas resinas se emplean a veces como resinas termoestables de alta temperatura, en la presente invención comprenden además un fotoiniciador adecuado, como benzofenona, antraquinona, e iniciadores de fluoroenona (incluidos sus derivados), para iniciar la reticulación en la irradiación, como se explica más adelante.

65

5 *Ejemplos adicionales de resinas.* Resinas particularmente útiles para aplicaciones dentales incluyen el material Clear Guide de EnvisionTEC, E-Denstone de EnvisionTEC. Las resinas particularmente útiles para las industrias de audífonos incluyen la serie de resinas e-Shell 300 de EnvisionTEC. Las resinas particularmente útiles incluyen el material de molde de alta temperatura HTM140IV de EnvisionTEC para usar directamente con caucho vulcanizado en aplicaciones de moldeo/fundición. Un material particularmente útil para hacer piezas duras y rígidas incluye la resina RC31 de EnvisionTEC. Una resina particularmente útil para aplicaciones de fundición de inversión incluye Easy Cast EC500 de EnvisionTEC.

10 *Ingredientes adicionales de resina.* La resina líquida o el material polimerizable pueden tener partículas sólidas suspendidas o dispersas en su interior. Puede usarse cualquier partícula sólida adecuada, dependiendo del producto final que se fabrica. Las partículas pueden ser metálicas, orgánicas/poliméricas, inorgánicas o compuestos o mezclas de estas. Las partículas pueden ser no conductoras, semiconductoras o conductoras (incluyendo conductores metálicos y no metálicos o de polímero); y las partículas pueden ser magnéticas, ferromagnéticas, paramagnéticas o no magnéticas. Las partículas pueden tener cualquier forma adecuada, incluidas esféricas, elípticas, cilíndricas, etc. Las partículas pueden comprender un agente activo o compuesto detectable como se describe más adelante, aunque también pueden proporcionarse solubilizados disueltos en la resina líquida, como también se discute más adelante. Por ejemplo, pueden emplearse partículas magnéticas o paramagnéticas o nanopartículas. La resina o material polimerizable puede contener un agente dispersante, tal como un tensioactivo iónico, un tensioactivo no iónico, un copolímero de bloque, o similares.

20 La resina líquida puede tener ingredientes adicionales solubilizados en ella, incluidos pigmentos, colorantes, compuestos activos o compuestos farmacéuticos, compuestos detectables (*por ejemplo*, fluorescentes, fosforescentes, radioactivos), etc., nuevamente dependiendo del propósito particular del producto que se fabrica. Ejemplos de dichos ingredientes adicionales incluyen, pero no se limitan a, proteínas, péptidos, ácidos nucleicos (ADN, ARN) tales como ARNip, azúcares, pequeños compuestos orgánicos (fármacos y compuestos similares a fármacos), etc., incluidas combinaciones de los mismos.

30 *Inhibidores de la polimerización.* Los inhibidores o inhibidores de polimerización para su uso en la presente invención pueden estar en forma de un líquido o un gas. En algunas modalidades, se prefieren los inhibidores de gas. El inhibidor específico dependerá de la polimerización del monómero y de la reacción de polimerización. Para los monómeros de polimerización por radicales libres, el inhibidor puede ser convenientemente oxígeno, el cual puede proporcionarse en forma de un gas tal como aire, un gas enriquecido en oxígeno (opcionalmente, pero en algunas modalidades, preferentemente contiene gases inertes adicionales para reducir la capacidad de combustión del mismo), o en algunas modalidades gas de oxígeno puro. En modalidades alternativas, como cuando el monómero está polimerizado por un iniciador generador de fotoácidos, el inhibidor puede ser una base tal como amoníaco, aminas traza (*por ejemplo*, metilamina, etilamina, di y trialkilaminas tales como dimetilamina, dietilamina, trimetilamina, trietilamina, etc.), o dióxido de carbono, incluidas mezclas o combinaciones de las mismas.

40 *Líquidos polimerizables portadores de células vivas.* En algunas modalidades, el líquido polimerizable puede transportar células vivas como "partículas" en su interior. Dichos líquidos polimerizables son generalmente acuosos y pueden estar oxigenados, y pueden considerarse como "emulsiones" donde las células vivas son la fase discreta. Las células vivas adecuadas pueden ser células vegetales (*por ejemplo*, monocotiledóneas, dicotiledóneas), células animales (*por ejemplo*, células de mamíferos, aves, anfibios, reptiles), células microbianas (*por ejemplo*, procariotas, eucariotas, protozoarios, etc.), etc. Las células pueden ser de células diferenciadas o correspondientes a cualquier tipo de tejido (*por ejemplo*, sangre, cartílago, hueso, músculo, glándula endocrina, glándula exocrina, epitelial, endotelial, etc.), o pueden ser células no diferenciadas, tales como las células madre o las células progenitoras. En dichas modalidades, el líquido polimerizable puede ser uno que forme un hidrogel, incluidos, pero sin limitarse a, los descritos en las patentes de EE.UU. núms. 7,651,683; 7,651,682; 7,556,490; 6,602,975; 5,836,313; etc.

## 50 2. Aparato.

En la figura 2 se muestra una modalidad no limitante de un aparato de la invención. Este comprende una fuente de radiación 11, tal como un procesador de luz digital (DLP) que proporciona radiación electromagnética 12 el cual mediante el espejo reflectante 13 ilumina una cámara de construcción definida por la pared 14 y una placa de construcción rígida 15 que forma la parte inferior de la cámara de construcción, dicha la cámara de construcción se llena con resina líquida 16. La parte inferior de la cámara 15 se construye de una placa de construcción que comprende un miembro semipermeable como se explica más adelante. La parte superior del objeto en construcción 17 se une a un portador 18. El portador se mueve en la dirección vertical por la plataforma lineal 19, aunque pueden usarse estructuras alternativas como se explica más adelante.

60 Se pueden incluir un depósito de resina líquida, tubos, bombas y sensores de nivel de líquido y/o válvulas para reabastecer la piscina de resina líquida en la cámara de construcción (no se muestra para mayor claridad), aunque en algunas modalidades puede emplearse una simple alimentación por gravedad. Los accionamientos/actuadores para el portador o plataforma lineal, junto con el cableado asociado, se pueden incluir de acuerdo con técnicas conocidas (de nuevo, no se muestran para mayor claridad). Los accionamientos/actuadores, la fuente de radiación y, en algunas modalidades, las bombas y los sensores de nivel de líquido pueden asociarse operativamente con un controlador adecuado, nuevamente, de acuerdo con técnicas conocidas.

Las placas de construcción 15 usadas para llevar a cabo la presente invención generalmente comprenden o consisten en un miembro (típicamente rígido o sólido, estacionario y/o fijo, pero también puede ser flexible) semipermeable (o permeable a los gases), solo o en combinación con uno o más sustratos de soporte adicionales (por ejemplo, abrazaderas y miembros tensores para rigidizar un material semipermeable, que de cualquier otra manera es flexible). El miembro semipermeable puede hacerse de cualquier material adecuado que sea ópticamente transparente en las longitudes de onda relevantes (o de otra manera transparente para la fuente de radiación, sea o no visualmente transparente como lo percibe el ojo humano, *es decir*, una ventana ópticamente transparente puede ser en algunas modalidades visualmente opaca), incluyendo, pero sin limitarse a, vidrio poroso o microporoso, y los polímeros rígidos permeables a los gases usados para la fabricación de lentes de contacto rígidas permeables a los gases. *Ver, por ejemplo*, Norman G. Gaylord, patente de EE. UU. núm. RE31,406; ver además las patentes de EE. UU. núms. 7,862,176; 7,344,731; 7,097,302; 5,349,394; 5,310,571; 5,162,469; 5,141,665; 5,070,170; 4,923,906; y 4,845,089. Pueden usarse otros materiales adecuados permeables al oxígeno, como el poliéster, por ejemplo, Mylar® de Dupont Teijin Films, Chester, V.A., poliuretano, polietileno, policlorofeno, resinas a base de éster mercapto, por ejemplo, Norland 60, de Norland Optical Products, Inc., New Brunswick, N.J., tubos porosos Tygon® de Saint-Gobain Performance Plastics, Mickleton, N.J. u otros materiales. Otros materiales permeables al oxígeno ilustrativos se describen en la patente de Estados Unidos núm. 7,709,544.

En algunas modalidades, los materiales permeables al oxígeno adecuados se caracterizan como polímeros vítreos y/o amorfos y/o sustancialmente reticulados que son esencialmente no hinchables. Preferentemente, el miembro semipermeable está formado por un material que no se hincha cuando entra en contacto con la resina líquida o el material a polimerizar (*es decir*, es "no hinchable"). Los materiales adecuados para el miembro semipermeable incluyen fluoropolímeros amorfos, tales como los descritos en las patentes de EE. UU. núms. 5,308,685 y 5,051,115. Por ejemplo, dichos fluoropolímeros son particularmente útiles sobre las siliconas que potencialmente se hinchan cuando se usan junto con tintas de resina líquida orgánica a polimerizar. Para algunas tintas de resina líquida, como los sistemas monoméricos de base acuosa y/o algunos sistemas de tinta de resina polimérica que tienen bajas tendencias de hinchamiento, los materiales para ventanas a base de silicona pueden ser adecuados. La solubilidad o permeabilidad de las tintas de resinas líquidas orgánicas puede reducirse drásticamente mediante una serie de parámetros conocidos que incluyen aumentar la densidad de reticulación del material de la ventana o aumentar el peso molecular de la tinta de resina líquida. En algunas modalidades, la placa de construcción puede formarse a partir de una película delgada o lámina de material que es flexible cuando se separa del aparato de la invención, pero que se sujeta y se tensa cuando se instala en el aparato (*por ejemplo*, con un anillo tensor) para que quede fijo o rígido en el aparato. Los materiales particulares incluyen los fluoropolímeros TEFLON AF®, disponibles comercialmente de DuPont. Los materiales adicionales incluyen polímeros de perfluoropoliéster tales como los descritos en las patentes de Estados Unidos núms. 8,268,446; 8,263,129; 8,158,728; y 7,435,495.

Podrá apreciarse que esencialmente todos los materiales sólidos, y la mayoría de los descritos anteriormente, tienen cierta "flexibilidad" inherente a pesar de que pueden considerarse "rígidos", en dependencia de factores tales como la forma y el grosor de los mismos y factores ambientales tales como la presión y la temperatura a la que se someten. Además, se pretende que los términos "estacionarios" o "fijos" con respecto a la placa de construcción signifiquen que no se produce una interrupción mecánica del proceso, o que no se proporciona ningún mecanismo o estructura para la interrupción mecánica del proceso (como en un aparato o método de capa por capa), incluso si se proporciona un mecanismo para el ajuste incremental de la placa de construcción (por ejemplo, un ajuste que no provoque o cause el colapso del gradiente de la zona de polimerización), o si la superficie de construcción contribuye en la reciprocidad para ayudar en la alimentación del líquido polimerizable, como se describe más adelante.

El miembro semipermeable comprende típicamente una porción de la superficie superior, una porción de la superficie inferior y una porción de la superficie del borde. La superficie de construcción está en la porción de la superficie superior; y la superficie de alimentación puede estar en una, dos o las tres de la porción de la superficie superior, de la porción de la superficie inferior y/o de la porción de la superficie del borde. En la modalidad ilustrada en la Figura 2, la superficie de alimentación está en la porción de la superficie inferior, pero se pueden implementar configuraciones alternativas donde la superficie de alimentación se proporciona en un borde y/o en la porción de la superficie superior (cerca de pero separada o alejada de la superficie de construcción) con habilidad rutinaria.

El miembro semipermeable tiene, en algunas modalidades, un grosor de 0,01, 0,1 o 1 milímetro a 10 o 100 milímetros, o más (dependiendo del tamaño del artículo que se fabrica, si está laminado a o en contacto con una placa de soporte adicional como vidrio, etc., como se explica más adelante).

La permeabilidad del miembro semipermeable al inhibidor de la polimerización dependerá de condiciones tales como la presión de la atmósfera y/o el inhibidor, la elección del inhibidor, la tasa o velocidad de fabricación, etc. En general, cuando el inhibidor es oxígeno, la permeabilidad del miembro semipermeable al oxígeno puede ser desde  $75,005 \times 10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$  o  $150,01 \times 10 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$  (10 o 20 Barrers), hasta  $7500,5 \times 10 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$  o  $15001 \times 10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$  (1000 o 2000 Barrers), o más. Por ejemplo, un miembro semipermeable con una permeabilidad de  $75,005 \times 10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$  (10 Barrers) usados con oxígeno puro, u oxígeno altamente enriquecido, la atmósfera bajo una presión de 1,034 MPa (150 PSI) puede funcionar sustancialmente igual que un miembro semipermeable con una permeabilidad de  $3750,25 \times 10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$  (500 Barrers) cuando el oxígeno se suministra desde la atmósfera ambiente en condiciones atmosféricas.

Por lo tanto, el miembro semipermeable puede comprender una película polimérica flexible (que tiene cualquier grosor adecuado, *por ejemplo*, de 0,001, 0,01, 0,05, 0,1 o 1 milímetro a 1, 5, 10, o 100 milímetros, o más), y la placa de construcción puede comprender además un miembro tensor (*por ejemplo*, una abrazadera periférica y un miembro de deformación o miembro de estiramiento asociado operativamente, como en una "cabeza de tambor"; una pluralidad de abrazaderas periféricas, etc., incluyendo combinaciones de las mismas) conectadas a la película polimérica y para fijar y rigidizar la película (*por ejemplo*, al menos lo suficiente como para que la película no se pegue al objeto a medida que el objeto avanza y rebote de manera resiliente o elástica). La película tiene una superficie superior y una superficie inferior, con la superficie de construcción en la superficie superior y la superficie de alimentación preferentemente en la superficie inferior. En otras modalidades, el miembro semipermeable comprende: (i) una capa de película polimérica (que tiene cualquier grosor adecuado, *por ejemplo*, de 0,001, 0,01, 0,1 o 1 milímetro a 5, 10 o 100 milímetros, o más), con una superficie superior posicionada para contactar dicho líquido polimerizable y una superficie inferior, y (ii) un miembro de soporte rígido, permeable al gas, ópticamente transparente (que tiene cualquier grosor adecuado, *por ejemplo*, de 0,01, 0,1 o 1 milímetro a 10, 100 o 200 milímetros, o más), en contacto con dicha superficie inferior de la capa de película. El miembro de soporte tiene una superficie superior en contacto con la superficie inferior de la capa de película, y el miembro de soporte tiene una superficie inferior que puede servir como superficie de alimentación para el inhibidor de polimerización. Puede usarse cualquier material adecuado que permita que el inhibidor de polimerización pase a la superficie de construcción, incluidos los materiales que son semipermeables (es decir, permeables al inhibidor de polimerización). Por ejemplo, la película polimérica o la capa de película polimérica puede ser, por ejemplo, una película de fluoropolímero, tal como un fluoropolímero termoplástico amorfo como TEFLON AF 1600™ o películas de fluoropolímero TEFLON AF 2400™, o perfluoropoliéter (PFPE), particularmente una película de PFPE reticulada, o una película polimérica de silicona reticulada. El miembro de soporte comprende un miembro de silicona o polímero de silicona reticulado tal como un miembro de polidimetilsiloxano, un miembro de polímero rígido permeable a los gases, o un miembro de vidrio, que incluye vidrio poroso o microporoso. Las películas pueden laminarse o sujetarse directamente al miembro de soporte rígido sin adhesivo (*por ejemplo*, usando PFPE y materiales de PDMS), o los agentes de acoplamiento de silano que reaccionan con la superficie superior de una capa de PDMS pueden usarse para adherirse a la primera capa de película polimérica. Las siliconas con función de acrilato curables por UV también se pueden usar como capa de unión entre PFPE curables por UV y capas de soporte rígidas de PDMS.

Cuando se configura para su colocación en el aparato, el portador define una "región de construcción" en la superficie de construcción, dentro del área total de la superficie de construcción. Debido a que "tirar" de manera lateral (*por ejemplo*, en las direcciones X y/o Y) no se requiere en la presente invención para romper la adhesión entre capas sucesivas, como en los dispositivos de Joyce y Chen mencionados anteriormente, el área de la región de construcción dentro de la superficie de construcción puede ser maximizada (o de manera inversa, el área de la superficie de construcción no dedicada a la región de construcción puede minimizarse). Por lo tanto, en algunas modalidades, el área superficial total de la región de construcción puede ocupar al menos cincuenta, sesenta, setenta, ochenta o noventa por ciento del área superficial total de la superficie de construcción.

Como se muestra en la Figura 2, los diversos componentes se montan en un soporte o ensamble de bastidor 20. Aunque el diseño particular del soporte o ensamble de bastidor no es crítico y puede asumir numerosas configuraciones, en la modalidad ilustrada está compuesto por una base 21 a la que la fuente de radiación 11 se une de manera segura o rígida, un miembro vertical 22 al cual la etapa lineal está asociado operativamente, y una mesa horizontal 23 a la cual la pared 14 está unida de manera desmontable o segura (o sobre la cual está colocada la pared), y con la placa de construcción fijada rigidamente, ya sea de manera permanente o desmontable, para formar la cámara de construcción como se describió anteriormente.

Como se indicó anteriormente, la placa de construcción puede consistir en una sola pieza unitaria e integral de un miembro semipermeable rígido, o puede comprender materiales adicionales. Por ejemplo, puede laminarse o fijarse vidrio a un material semipermeable rígido. O bien, un miembro semipermeable como una porción superior puede fijarse a un miembro inferior transparente que tiene canales de purga formados en él para alimentar el gas que lleva el inhibidor de polimerización al miembro semipermeable (a través del cual pasa a la superficie de construcción para facilitar la formación de una capa de liberación de material líquido no polimerizado, como se indica arriba y abajo). Dichos canales de purga pueden extenderse total o parcialmente a través de la placa base: Por ejemplo, los canales de purga pueden extenderse parcialmente en la placa base, pero luego terminan en la región directamente debajo de la superficie de construcción para evitar la introducción de distorsión. Las geometrías específicas dependerán de si la superficie de alimentación del inhibidor en el miembro semipermeable está ubicada en el mismo lado o en el lado opuesto a la superficie de construcción, en una porción del borde del mismo, o en una combinación de varios de ellos.

Puede usarse cualquier fuente de radiación adecuada (o una combinación de fuentes), dependiendo de la resina particular empleada, incluyendo fuentes de haz de electrones y de radiación ionizante. En una modalidad preferida, la fuente de radiación es una fuente de radiación actínica, tal como una o más fuentes de luz, y en particular una o más fuentes de luz ultravioleta. Puede usarse cualquier fuente de luz adecuada, tal como luces incandescentes, luces fluorescentes, luces fosforescentes o luminiscentes, un láser, un diodo emisor de luz, etc., incluyendo matrices de estos. La fuente de luz incluye preferentemente un elemento formador de patrón asociado operativamente con un controlador, como se indicó anteriormente. En algunas modalidades, la fuente de luz o el elemento formador de patrón comprende un dispositivo de microespejos digital (o deformable)(DMD) con procesamiento de luz digital (DLP), un modulador espacial (SLM) o una matriz de espejos del sistema microelectromecánico (MEMS), una máscara (también conocido como retícula), una silueta,

o una combinación de los mismos. Ver la patente de Estados Unidos núm. 7,902,526. Preferentemente, la fuente de luz comprende una matriz de modulación de luz espacial tal como una matriz de válvulas de luz cristalina líquida o una matriz de microespejos o DMD (por ejemplo, con un procesador de luz digital asociado operativamente, típicamente a su vez bajo el control de un controlador adecuado), configurada para llevar a cabo la exposición o irradiación del líquido polimerizable sin una máscara, por ejemplo, mediante fotolitografía sin máscara. Ver, *por ejemplo*, las patentes de EE. UU. núms. 6,312,134; 6,248,509; 6,238,852; y 5,691,541.

En algunas modalidades, como se explica más adelante, puede haber movimiento en las direcciones X y/o Y simultáneamente con el movimiento en la dirección Z, con el movimiento en la dirección X y/o Y, por lo tanto, ocurre durante la polimerización del líquido polimerizable (esto contrasta con el movimiento descrito en Y. Chen y otros, o M. Joyce, *supra*, que es el movimiento entre las etapas de polimerización anteriores y posteriores con el fin de reponer el líquido polimerizable). En la presente invención, dicho movimiento puede llevarse a cabo con fines tales como reducir la "quemadura" o ensuciar en una zona particular de la superficie de construcción.

Debido a que una ventaja de algunas modalidades de la presente invención es que el tamaño de la superficie de construcción en el miembro semipermeable (*es decir*, la placa de construcción o ventana) puede reducirse debido a la ausencia de un requisito para un "tiro" lateral extenso como en los dispositivos Joyce o Chen mencionados anteriormente, en los métodos, sistemas y aparatos de la presente invención, el movimiento lateral (incluido el movimiento en la dirección X y/o Y o la combinación de las mismas) del portador y el objeto (si existe dicho movimiento lateral) es preferentemente no mayor o menor que 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20 o incluso 10 por ciento del ancho (en la dirección de ese movimiento lateral) de la región de construcción.

Aunque en algunas modalidades el portador se monta en un ascensor para avanzar hacia arriba y alejarse de una placa de construcción estacionaria, en otras modalidades puede usarse la disposición inversa: Es decir, el portador puede fijarse y la placa de construcción bajarse para de esta manera hacer avanzar el portador lejos de esta. Numerosas configuraciones mecánicas diferentes serán evidentes para los expertos en la técnica para lograr el mismo resultado.

En dependencia de la elección del material a partir del cual se fabrica el portador y de la elección del polímero o resina del que se fabrica el artículo, la adhesión del artículo al portador a veces puede ser insuficiente para retener el artículo sobre el portador hasta completar el proceso de la "construcción" o artículo terminado. Por ejemplo, un portador de aluminio puede tener menor adherencia que un portador de policloruro de vinilo (o "PVC"). Por lo tanto, una solución es emplear un portador que comprende un PVC sobre la superficie en la que se polimeriza el artículo que se fabrica. Si esto promueve una adhesión demasiado grande para separar convenientemente la parte terminada del portador, entonces puede usarse cualquiera de una variedad de técnicas para asegurar aún más el artículo a un portador menos adhesivo, que incluye, pero no se limita a, la aplicación de cinta adhesiva, como "Cinta adhesiva más ecológica para pintura básica #2025 de alta adherencia" para asegurar aún más el artículo al portador durante la fabricación.

### 3. Controlador y control de procesos.

Los métodos y el aparato de la invención pueden incluir etapas de procesos y características del aparato para implementar el control de procesos, incluidos el control de realimentación y el control de anticipación, por ejemplo, para mejorar la velocidad y/o la confiabilidad del método.

Un controlador para usar en la modalidad de la presente invención puede implementarse como circuitos de hardware, software, o una combinación de los mismos. En una modalidad, el controlador es un ordenador de propósito general que ejecuta software, operativamente asociado con monitores, accionamientos, bombas y otros componentes a través de un hardware y/o software de interfaz adecuados. El software adecuado para el control de un método y aparato de impresión o fabricación tridimensional como se describe en la presente descripción incluye, pero sin limitarse a, el programa de impresión 3D de código abierto ReplicatorG, el software del controlador 3DPrint™ de sistemas 3D, Slic3r, Skeinforge, KISSlicer, Repetier-Host, PrintRun, Cura, etc., incluyendo combinaciones de los mismos.

Los parámetros de proceso para monitorear directa o indirectamente, de forma continua o intermitente, durante el proceso (*por ejemplo*, durante una, algunas o todas las etapas de llenado, irradiación y avance incluyen, pero sin limitarse a, la intensidad de irradiación, la temperatura del portador, el líquido polimerizable en la zona de construcción, la temperatura del producto en crecimiento, la temperatura de la placa de construcción, la presión, la velocidad de avance, la presión, la fuerza (*por ejemplo*, ejercida sobre la placa de construcción a través del portador y del producto que se fabrica), la deformación (*por ejemplo*, ejercida sobre el portador por el producto en crecimiento que se fabrica), el grosor de la capa de liberación, etc.

Los parámetros conocidos que pueden usarse en los sistemas de control de realimentación y/o de anticipación incluyen, pero sin limitarse a, el consumo esperado de líquido polimerizable (*por ejemplo*, a partir de la geometría o volumen conocidos del artículo que se fabrica), la temperatura de degradación del polímero que se forma a partir del líquido polimerizable, etc.

Las condiciones del proceso para controlar directa o indirectamente, de forma continua o por etapas, en respuesta a un parámetro monitoreado, y/o los parámetros conocidos (*por ejemplo*, durante cualquiera o todas las etapas del proceso

señaladas anteriormente), incluyen, pero sin limitarse a, la velocidad de suministro del líquido polimerizable, la temperatura, la presión, la tasa o la velocidad de avance del portador, la intensidad de la irradiación, la duración de la irradiación (*por ejemplo*, para cada "rebanada"), etc.

5 Por ejemplo, la temperatura del líquido polimerizable en la zona de construcción, o la temperatura de la placa de construcción, puede controlarse, directa o indirectamente, con un termopar adecuado, un sensor de temperatura sin contacto (*por ejemplo*, un sensor de temperatura infrarrojo), u otro sensor de temperatura adecuado, para determinar si la temperatura excede la temperatura de degradación del producto polimerizado. Si es así, puede ajustarse un parámetro del proceso a través de un controlador para reducir la temperatura en la zona de construcción y/o de la placa de construcción. Los parámetros del proceso adecuados para tal ajuste pueden incluir: disminuir la temperatura con un enfriador, disminuir la velocidad de avance del portador, disminuir la intensidad de la irradiación, disminuir la duración de la exposición a la radiación, etc.

15 Además, la intensidad de la fuente de irradiación (*por ejemplo*, una fuente de luz ultravioleta, tal como una lámpara de mercurio, puede monitorearse con un fotodetector para detectar una disminución de la intensidad de la fuente de irradiación (*por ejemplo*, a través de su degradación rutinaria durante el uso). Si se detecta, un parámetro del proceso puede ajustarse mediante un controlador para adaptarse a la pérdida de intensidad. Los parámetros del proceso adecuados para dicho ajuste pueden incluir: aumentar la temperatura con un calentador, disminuir la velocidad de avance del portador, aumentar la potencia de la fuente de luz, etc.

20 Como otro ejemplo, el control de la temperatura y/o la presión para mejorar el tiempo de fabricación puede lograrse con calentadores y enfriadores (individualmente o en combinación entre sí y respondiendo por separado a un controlador) y/o con un suministro de presión (*por ejemplo*, bomba, recipiente a presión, válvulas y combinaciones de los mismos) y/o un mecanismo de liberación de presión como una válvula controlable (individualmente, o en combinación entre sí y respondiendo por separado a un controlador).

30 En algunas modalidades, el controlador se configura para mantener el gradiente de la zona de polimerización descrita en la presente descripción (*ver, por ejemplo*, la Figura 1) a lo largo de la fabricación de todo o parte del producto final. La configuración específica (*por ejemplo*, los tiempos, la tasa o velocidad de avance, la intensidad de radiación, la temperatura, etc.) dependerán de factores tales como la naturaleza del líquido polimerizable específico y el producto que se está creando. La configuración para mantener el gradiente de la zona de polimerización puede realizarse empíricamente, ingresando un conjunto de parámetros del proceso o instrucciones previamente determinadas, o determinadas a través de una serie de pruebas o "prueba y error"; la configuración puede proporcionarse a través de instrucciones predeterminadas; la configuración puede lograrse mediante un monitoreo y realimentación adecuados (como se discutió anteriormente), combinaciones de los mismos, o de cualquier otra manera adecuada.

40 En algunas modalidades, un método y un aparato como los descritos anteriormente pueden ser controlados por un programa de software que se ejecuta en un ordenador de propósito general con un hardware de interfaz adecuado entre el ordenador y el aparato descrito anteriormente. Numerosas alternativas están disponibles comercialmente. Los ejemplos no limitantes de una combinación de componentes se muestran en las Figuras 3 a 5, donde el "Microcontrolador" es Parallax Propeller, el controlador del motor de velocidad gradual es Sparkfun EasyDriver, el controlador del LED es un controlador de LED único Luxeon, el USB a puerto serie es un convertidor USB a puerto serie Parallax, y el sistema DLP es un sistema LightCrafter de Texas Instruments.

#### 45 4. Métodos generales.

50 Como se indicó anteriormente, la presente descripción proporciona un método para formar un objeto tridimensional que comprende las etapas de: (a) proporcionar un portador y una placa de construcción, dicha placa de construcción comprende un miembro semipermeable, dicho miembro semipermeable comprende una superficie de construcción y una superficie de alimentación separada de dicha superficie de construcción, con dicha superficie de construcción en contacto continuo con un inhibidor de polimerización; después (simultáneamente y/o secuencialmente) (b) llenar dicha región de construcción con un líquido polimerizable, dicho líquido polimerizable en contacto con dicho segmento de construcción, (c) irradiar dicha región de construcción a través de dicha placa de construcción para producir una región polimerizada sólida en dicha región de construcción, con una capa de liberación de película líquida que comprende dicho líquido polimerizable formado entre dicha región polimerizada sólida y dicha superficie de construcción, cuya polimerización líquida es inhibida por dicho inhibidor de polimerización; y (d) hacer avanzar dicho portador con dicha región polimerizada adherida al mismo lejos de dicha superficie de construcción en dicha placa de construcción estacionaria para crear una región de construcción subsiguiente entre dicha región polimerizada y dicha zona superior. En general, el método incluye (e) continuar y/o repetir las etapas (b) a (d) para producir una región polimerizada subsiguiente adherida a una región polimerizada previa hasta que la deposición continua o repetida de regiones polimerizadas adheridas entre sí forme dicho objeto tridimensional.

65 Dado que no se requiere la liberación mecánica de una capa de liberación, o no se requiere un movimiento mecánico de una superficie de construcción para reabastecer el oxígeno, el método puede llevarse a cabo de manera continua, aunque se apreciará que las etapas individuales mencionadas anteriormente puedan llevarse a cabo de manera secuencial,

simultánea, o una combinación de los mismos. De hecho, la velocidad de las etapas puede variar con el tiempo dependiendo de factores como la densidad y/o la complejidad de la región que se fabrica.

5 Además, dado que la liberación mecánica de una ventana o de una capa de liberación generalmente requiere que el portador avance una mayor distancia de la placa de construcción que la deseada para la siguiente etapa de irradiación, lo que permite que la ventana se vuelva a recubrir y luego regrese el portador más cerca de la placa de construcción (*por ejemplo*, una operación de "dos pasos hacia adelante, un paso atrás") la presente invención en algunas modalidades permite la eliminación de este paso de "marcha atrás" y permite que el portador avance unidireccionalmente, o en una única dirección, sin intervenir el movimiento de la ventana para volver a recubrir, o el "ajuste" de una capa de liberación elástica preformada. Sin embargo, en otras modalidades de la invención, la reciprocidad no se utiliza con el fin de obtener la liberación, sino con el fin de llenar o bombear con más rapidez líquido polimerizable en la región de construcción.

10 En algunas modalidades, la etapa de avance se lleva a cabo secuencialmente en incrementos uniformes (*por ejemplo*, de 0,1 o 1 micras, hasta 10 o 100 micras, o más) para cada paso o incremento. *En algunas modalidades, la etapa de avance se lleva a cabo secuencialmente en incrementos variables* (*por ejemplo*, cada incremento que va de 0,1 o 1 micras, hasta 10 o 100 micras, o más) para cada paso o incremento. El tamaño del incremento, junto con la velocidad de avance, dependerá en parte de factores como la temperatura, la presión y la estructura del artículo que se produce (*por ejemplo*, el tamaño, la densidad, la complejidad, la configuración, etc.)

15 En otras modalidades de la invención, la etapa de avance se lleva a cabo continuamente, a una velocidad uniforme o variable.

20 En algunas modalidades, la velocidad de avance (ya sea de forma secuencial o continua) es de aproximadamente 0,1, 1, o 10 micras por segundo, hasta aproximadamente 100, 1000 o 10000 micras por segundo, dependiendo nuevamente de factores tales como la temperatura, la presión, la estructura del artículo producido, la intensidad de radiación, etc.

25 Como se describe más adelante, en algunas modalidades, la etapa de llenado se lleva a cabo forzando dicho líquido polimerizable en dicha región de construcción bajo presión. En dicho caso, la o las etapas de avance pueden llevarse a cabo a una velocidad o velocidad acumulativa o promedio de al menos 0,1, 1, 10, 50, 100, 500 o 1000 micras por segundo, o más. En general, la presión puede ser cualquiera suficiente para aumentar la velocidad de dichas etapas de avance al menos 2, 4, 6, 8 o 10 veces en comparación con la velocidad máxima de repetición de dichas etapas de avance en ausencia de dicha presión. Cuando se proporciona la presión al encerrar un aparato como el descrito anteriormente en un recipiente a presión y al llevar a cabo el proceso en una atmósfera presurizada (*por ejemplo*, de aire, aire enriquecido con oxígeno, una mezcla de gases, oxígeno puro, etc.), puede usarse una presión de 0,0689, 0,1379, 0,2068 o 0,2757 MPa (10, 20, 30 o 40 PSI) hasta 1,3789, 2,0684, 2,7579 o 3,4474 MPa (200, 300, 400 o 500 PSI) o más. Para la fabricación de grandes objetos irregulares, las presiones más altas pueden ser menos preferidas en comparación con los tiempos de fabricación más lentos debido al costo de un recipiente grande a alta presión. En dicha modalidad, tanto la superficie de alimentación como el líquido polimerizable pueden estar en contacto continuo con el mismo gas comprimido (*por ejemplo*, uno que comprende de 20 a 95 por ciento en volumen de oxígeno, el oxígeno que sirve como inhibidor de la polimerización).

30 Por otro lado, cuando se fabrican artículos más pequeños, o se fabrica una varilla o fibra que puede quitarse o sacarse del recipiente a presión a medida que se produce a través de un puerto u orificio en el mismo, entonces el tamaño del recipiente a presión puede mantenerse más pequeño con relación al tamaño del producto que se fabrica y pueden usarse presiones más altas más fácilmente (si se desea).

35 Como se indicó anteriormente, la etapa de irradiación se lleva a cabo en algunas modalidades con irradiación con patrón. La irradiación con patrón puede ser de un patrón fijo o puede ser de un patrón variable creado por un generador de patrones (*por ejemplo*, un DLP) como se explicó anteriormente, dependiendo del artículo en particular que se está fabricando.

40 Cuando la irradiación con patrón es de un patrón variable en lugar de un patrón que se mantenga constante a lo largo del tiempo, entonces cada etapa de irradiación puede tener cualquier tiempo o duración adecuada, dependiendo de factores tales como la intensidad de la irradiación, la presencia o ausencia de colorantes en el material polimerizable, la velocidad de crecimiento, etc. Por lo tanto, en algunas modalidades, cada etapa de irradiación puede ser de 0,001, 0,01, 0,1, 1 o 10 microsegundos, hasta 1, 10 o 100 minutos, o más, de duración. El intervalo entre cada etapa de irradiación es, en algunas modalidades preferentemente, lo más breve posible, *por ejemplo*, desde 0,001, 0,01, 0,1 o 1 microsegundos hasta 0,1, 1 o 10 segundos.

45 Aunque la zona muerta y el gradiente de la zona de polimerización no tienen un límite estricto entre ellos (en los lugares donde se encuentran los dos), el grosor del gradiente de la zona de polimerización es en algunas modalidades al menos tan grande como el grosor de la zona muerta. Por lo tanto, en algunas modalidades, la zona muerta tiene un grosor de 0,01, 0,1, 1, 2 o 10 micras hasta 100, 200 o 400 micras o más, y/o dicho gradiente de la zona de polimerización y dicha zona muerta juntas tienen un grosor de 1 o 2 micras hasta 400, 600 o 1000 micras, o más. Por lo tanto, el gradiente de la zona de polimerización puede ser grueso o delgado en dependencia de las condiciones particulares del proceso en ese momento. Cuando el gradiente de la zona de polimerización es delgado, también puede describirse como una superficie

activa en la parte inferior del objeto tridimensional en crecimiento, con el que los monómeros pueden reaccionar y seguir formando cadenas poliméricas en crecimiento. En algunas modalidades, el gradiente de la zona de polimerización, o superficie activa, se mantiene (mientras que las etapas de polimerización continúan) durante un tiempo de al menos 5, 10, 15, 20 o 30 segundos, hasta 5, 10, 15 o 20 minutos o más, o hasta terminar el producto tridimensional.

El método puede comprender además la etapa de interrumpir dicho gradiente de la zona de polimerización durante un tiempo suficiente para formar una línea de escisión en dicho objeto tridimensional (*por ejemplo*, en una ubicación predeterminada deseada para la escisión intencional, o en una ubicación en dicho objeto donde la prevención de la escisión o la reducción de la escisión no sea crítica), y luego reinstalar dicho gradiente de la zona de polimerización (*por ejemplo*, haciendo una pausa y reanudando la etapa de avance, aumentando, y luego disminuyendo, la intensidad de la irradiación y combinaciones de los mismos).

En algunas modalidades, la superficie de construcción es plana; en otras, la superficie de construcción es irregular, como una curva convexa o cóncava, o tiene paredes o zanjas formadas en ella. En cualquier caso, la superficie de construcción puede ser lisa o texturizada.

Las placas de construcción o superficies de construcción irregulares y/o curvas pueden usarse en la formación de una fibra o una varilla, para proporcionar diferentes materiales a un solo objeto que se está fabricando (es decir, diferentes líquidos polimerizables a la misma superficie de construcción a través de canales o zanjas formadas en la superficie de construcción, cada uno asociado a un suministro de líquido separado, etc).

*Canales de alimentación del portador para líquidos polimerizables.* Aunque puede proporcionarse líquido polimerizable directamente a la placa de construcción desde un conducto de líquido y un sistema de depósito, en algunas modalidades, el portador incluye uno o más canales de alimentación en el mismo. Los canales de alimentación del portador están en comunicación continua con el suministro de líquido polimerizable, por ejemplo, un depósito y una bomba asociada. Diferentes canales de alimentación del portador pueden estar en comunicación continua con el mismo suministro y operar simultáneamente entre sí, o diferentes canales de alimentación del portador pueden ser controlados por separado entre sí (por ejemplo, mediante la provisión de una bomba y/o una válvula para cada uno). Los canales de alimentación controlables por separado pueden estar en comunicación continua con un depósito que contiene el mismo líquido polimerizable, o pueden estar en comunicación continua con un depósito que contiene diferentes líquidos polimerizables. A través del uso de conjuntos de válvulas, diferentes líquidos polimerizables pueden alimentarse en algunas modalidades de manera alternativa a través del mismo canal de alimentación, si se desea.

#### 5. Alimentación recíproca de líquido polimerizable.

En una modalidad de la presente invención, el portador es verticalmente recíproco con respecto a la superficie de construcción (es decir, los dos son verticalmente recíprocos uno con respecto al otro) para mejorar o acelerar el llenado de la región de construcción con el líquido polimerizable.

En algunas modalidades, la etapa verticalmente recíproca, que comprende una carrera ascendente y una carrera descendente, se lleva a cabo con la distancia de desplazamiento de la carrera ascendente mayor que la distancia de desplazamiento de la carrera descendente, para de esta manera llevar a cabo simultáneamente la etapa de avance (es decir, alejando el portador de la placa de construcción en la dimensión Z) en parte o en su totalidad.

En algunas modalidades, la velocidad de la carrera ascendente se acelera gradualmente (es decir, se proporciona un inicio gradual y/o una aceleración gradual de la carrera ascendente, durante un período de al menos 20, 30, 40 o 50 por ciento del tiempo total de la carrera ascendente, hasta la conclusión de la carrera ascendente, o el cambio de dirección que representa el inicio de la carrera descendente. Dicho de otra manera, la carrera ascendente empieza, o comienza, suave o gradualmente.

En algunas modalidades, la velocidad de la carrera descendente se desacelera gradualmente (es decir, se proporciona una terminación gradual y/o una desaceleración gradual de la carrera descendente, durante un período de al menos 20, 30, 40 o 50 por ciento del tiempo total de la carrera descendente. Dicho de otra manera, la carrera descendente concluye, o termina, suave o gradualmente.

Aunque en algunas modalidades hay un final abrupto, o una desaceleración brusca, de la carrera ascendente, y un abrupto comienzo o desaceleración de la carrera descendente (por ejemplo, un cambio rápido en el vector o la dirección de desplazamiento de la carrera ascendente a la carrera descendente), se apreciará que las transiciones graduales también se pueden introducir aquí (por ejemplo, mediante la introducción de una "meseta" o una pausa en el desplazamiento entre la carrera ascendente y la carrera descendente). También se apreciará que, aunque cada etapa recíproca puede consistir en una sola carrera ascendente y descendente, la etapa recíproca puede comprender una pluralidad de 2, 3, 4 o 5 o más conjuntos vinculados de reciprocaciones, que pueden ser iguales o diferentes en frecuencia y/o amplitud.

En algunas modalidades, la etapa verticalmente recíproca se lleva a cabo durante un tiempo total de 0,01 o 0,1 segundos hasta 1 o 10 segundos (por ejemplo, por ciclo de una carrera ascendente y una carrera descendente).

En algunas modalidades, la distancia de desplazamiento de la carrera ascendente es de 0,02 o 0,2 milímetros (o 20 o 200 micras) a 1 o 10 milímetros (o 1000 a 10000 micras). La distancia de desplazamiento de la carrera descendente puede ser igual o menor que la distancia de desplazamiento de la carrera ascendente, donde una distancia de desplazamiento menor para la carrera descendente sirve para lograr el avance del portador lejos de la superficie de construcción a medida que se forma el objeto tridimensional gradualmente. Cuando una etapa de reciprocidad comprende múltiples reciprocaciones vinculadas, la distancia de desplazamiento de la suma de todas las carreras ascendentes en ese conjunto es preferentemente mayor que la distancia de desplazamiento de la suma de todas las carreras descendentes en ese conjunto, para lograr el avance del portador lejos de la superficie de construcción a medida que se forma el objeto tridimensional gradualmente.

Preferiblemente, la etapa verticalmente recíproca, y particularmente su carrera ascendente, no causa la formación de burbujas de gas o una bolsa de gas en la región de construcción, sino que la región de construcción permanece llena con el líquido polimerizable a lo largo de las etapas de reciprocidad, y el gradiente de la zona o región de polimerización permanece en contacto con la "zona muerta" y con el objeto en crecimiento que se fabrica a lo largo de las etapas de reciprocidad. Como se apreciará, el propósito de la reciprocidad es acelerar o mejorar el llenado de la región de construcción, particularmente cuando las regiones de construcción más grandes se deben llenar con líquido polimerizable, en comparación con la velocidad a la que la región de construcción podría llenarse sin la etapa de reciprocidad.

En algunas modalidades, la etapa de avance se lleva a cabo de manera intermitente a una velocidad de 1, 2, 5 o 10 avances individuales por minuto hasta 300, 600 o 1000 avances individuales por minuto, cada uno seguido de una pausa durante la cual se lleva a cabo una etapa de irradiación. Se apreciará que uno o más etapas de reciprocidad (por ejemplo, la carrera ascendente más la carrera descendente) pueden llevarse a cabo dentro de cada etapa de avance. Dicho de otra manera, las etapas recíprocas pueden incorporarse dentro de las etapas de avance.

En algunas modalidades, los avances individuales se llevan a cabo sobre una distancia promedio de desplazamiento para cada avance de 10 o 50 micras a 100 o 200 micras (incluyendo opcionalmente la distancia total de desplazamiento para cada etapa verticalmente recíproca) *por ejemplo*, la suma de la distancia de la carrera ascendente menos la distancia de la carrera descendente).

Aparato para llevar a cabo la invención en el que las etapas de reciprocidad descritas en la presente descripción se implementan sustancialmente como se describió anteriormente, con el accionamiento asociado con el portador y/o con un accionamiento adicional asociado operativamente con el miembro transparente, y con el controlador asociado operativamente con o ambos de estos y configurados para reciprocarse el portador y el miembro transparente uno con respecto al otro como se describió anteriormente.

En la alternativa, la reciprocidad vertical puede llevarse a cabo al configurar la superficie de construcción (y la placa de construcción correspondiente) de manera que pueda tener un rango limitado de movimiento hacia arriba y hacia abajo en la dimensión "Z" o vertical, mientras el portador avanza (*por ejemplo*, de manera continua o por pasos) lejos de la placa de construcción en la dimensión "Z" o vertical. En algunas modalidades, dicho rango limitado de movimiento puede impartirse de manera pasiva, tal como con un movimiento ascendente logrado mediante la adhesión parcial de la placa de construcción al objeto en crecimiento a través de un líquido polimerizable viscoso, seguido por un movimiento descendente logrado por el peso, la elasticidad, etc. de la placa de construcción (que incluye opcionalmente resortes, amortiguadores o similares, configurados para influir en el movimiento hacia arriba o hacia abajo de la placa de construcción y la superficie de construcción). En otra modalidad, dicho movimiento de la superficie de construcción puede lograrse activamente al asociar operativamente un sistema de accionamiento separado con la placa de construcción, dicho sistema de unidad también está asociado operativamente con el controlador, para lograr por separado la reciprocidad vertical. En aún otra modalidad adicional, la reciprocidad vertical puede llevarse a cabo al configurar la placa de construcción y/o la superficie de construcción, de manera que se flexione hacia arriba y hacia abajo, logrando su movimiento hacia arriba mediante la adhesión parcial de la superficie de construcción al objeto en crecimiento a través de un líquido polimerizable viscoso, seguido por un movimiento hacia abajo logrado por la rigidez inherente de la superficie de construcción que la obliga o hace que regrese a una posición anterior.

Se apreciará que las etapas de iluminación o irradiación, cuando son intermitentes, pueden llevarse a cabo de manera sincronizada con la reciprocidad vertical, o no sincronizada con la reciprocidad vertical, en dependencia de factores tales como si la reciprocidad se logra de manera activa o pasiva.

También se apreciará que la reciprocidad vertical puede llevarse a cabo entre el portador y todas las regiones de la superficie de construcción simultáneamente (*por ejemplo*, donde la superficie de construcción es rígida), o puede llevarse a cabo entre el portador y diferentes regiones de la superficie de construcción en diferentes momentos (*por ejemplo*, donde la superficie de construcción es de un material flexible, como una película polimérica tensada).

6. Aumento de la velocidad de fabricación al aumentar la intensidad de la luz.

En general, se ha observado que la velocidad de fabricación puede aumentar al aumentar la intensidad de la luz. En algunas modalidades, la luz se concentra o "enfoca" en la región de construcción para aumentar la velocidad de fabricación. Esto puede lograrse usando un dispositivo óptico tal como una lente de objetivo.

La velocidad de fabricación puede ser generalmente proporcional a la intensidad de la luz. Por ejemplo, la velocidad de construcción en milímetros por hora puede calcularse al multiplicar la intensidad de la luz en milivatios por centímetro cuadrado y un multiplicador. El multiplicador puede depender de una variedad de factores, incluidos los que se analizan más adelante. Puede emplearse un rango de multiplicadores, de bajo a alto. En el extremo inferior del rango, el multiplicador puede ser aproximadamente 10, 15, 20 o 30. En el extremo superior del rango del multiplicador, el multiplicador puede ser aproximadamente 150, 300, 400 o más.

Las relaciones descritas anteriormente se contemplan, en general, para intensidades de luz de 1, 5 o 10 milivatios por centímetro cuadrado, hasta 20 o 50 milivatios por centímetro cuadrado.

Se pueden seleccionar ciertas características ópticas de la luz para facilitar una mayor velocidad de fabricación. A manera de ejemplo, puede usarse un filtro de paso de banda con una fuente de luz de una bombilla de mercurio para proporcionar  $365 \pm 10$  nm de luz medidos en la anchura de banda a media altura (FWHM). A manera de ejemplo adicional, puede usarse un filtro de paso de banda con una fuente de luz LED para proporcionar  $375 \pm 15$  nm de luz medidos en FWHM.

Como se señaló anteriormente, los líquidos polimerizables usados en dichos procesos son, en general, líquidos polimerizables por radicales libres con oxígeno como inhibidor, o líquidos catalizados por ácido o polimerizables catiónicamente con una base como inhibidor. Por supuesto, algunos líquidos polimerizables específicos se curarán más rápido o eficientemente que otros y, por lo tanto, serán más susceptibles a velocidades más altas, aunque esto puede compensarse, al menos en parte, al aumentar aún más la intensidad de la luz.

A mayores intensidades y velocidades de luz, la "zona muerta" puede volverse más delgada a medida que se consume el inhibidor. Si la zona muerta se pierde, entonces el proceso se interrumpirá. En ese caso, el suministro del inhibidor puede mejorarse mediante cualquier medio adecuado, incluido el suministro de una atmósfera enriquecida y/o presurizada del inhibidor, un miembro semipermeable más poroso, un inhibidor más fuerte o más poderoso (particularmente cuando se emplea una base), etc.

En general, los líquidos polimerizables de menor viscosidad son más susceptibles a velocidades más altas, particularmente para la fabricación de artículos con una sección transversal grande y/o densa (aunque esto puede compensarse al menos en parte al aumentar la intensidad de la luz). Los líquidos polimerizables con viscosidades en el rango de 50 o 100 centipoise, hasta 600, 800 o 1000 centipoise o más (medidos a temperatura ambiente y presión atmosférica con un dispositivo adecuado, como un viscosímetro HYDRAMOTION REACTAVISC™ (disponible de Hydramotion Ltd, 1 York Road Business Park, Malton, York YO17 6YA Inglaterra). En algunas modalidades, cuando sea necesario, la viscosidad del líquido polimerizable puede reducirse ventajosamente calentando el líquido polimerizable, como se describió anteriormente.

En algunas modalidades, tal como la fabricación de artículos con una sección transversal grande y/o densa, la velocidad de la fabricación puede mejorarse al introducir reciprocidad para "bombear" el líquido polimerizable, como se describió anteriormente, y/o al usar la alimentación del líquido polimerizable a través del portador, como también se describió anteriormente, y/o al calentar y/o presurizar el líquido polimerizable, como también se describió anteriormente.

#### 7. Disposición en mosaico.

Puede ser conveniente usar más de un motor de luz para preservar la resolución y la intensidad de la luz para tamaños de construcción más grandes. Cada motor de luz puede configurarse para proyectar una imagen (por ejemplo, una matriz de píxeles) en la región de construcción, de manera que una pluralidad de imágenes "en mosaico" se proyecten en la región de construcción. Como se usa en la presente descripción, el término "motor de luz" puede significar un ensamble que incluye una fuente de luz, un dispositivo DLP, tal como un dispositivo de microespejos digital y un dispositivo óptico, tal como una lente de objetivo. El "motor de luz" también puede incluir componentes electrónicos, tales como un controlador que está asociado operativamente con uno o más de los otros componentes.

Esto se muestra esquemáticamente en las Figuras 17A-17C. Los ensambles de motor de luz 130A, 130B producen las imágenes adyacentes o "en mosaico" 140A, 140B. En la Figura 17A, las imágenes están ligeramente desalineadas; es decir, hay un espacio entre ellas. En la Figura 17B, las imágenes están alineadas; no hay espacio y no se superponen entre ellas. En la Figura 17C, hay una ligera superposición de las imágenes 140A y 140B.

En algunas modalidades, la configuración con las imágenes superpuestas mostradas en la Figura 17C se emplea con alguna forma de "mezcla" o "suavizado" de las regiones superpuestas como se describe de manera general en, por ejemplo, las patentes de EE.UU. núms. 7,292,207, 8,102,332, 8,427,391, 8,446,431 y las publicaciones de solicitudes de patentes de Estados Unidos núms. 2013/0269882, 2013/0278840 y 2013/0321475. Las imágenes en mosaico pueden permitir áreas de construcción más grandes sin sacrificar la intensidad de la luz y, por lo tanto, pueden facilitar velocidades de construcción más rápidas para objetos más grandes. Debe entenderse que pueden emplearse más de dos ensambles de motor de luz (y las imágenes en mosaico correspondientes). Varias modalidades de la invención emplean al menos 4, 8, 16, 32, 64, 128 o más imágenes en mosaico.

## 8. Fabricación en múltiples zonas.

Como se señaló anteriormente, las modalidades de la descripción pueden llevar a cabo la formación del objeto tridimensional a través de múltiples zonas o segmentos de operación. Dicho método generalmente comprende:

- 5 (a) proporcionar un portador y un miembro ópticamente transparente que tiene una superficie de construcción, el portador y la superficie de construcción definen una región de construcción entre ellos, con el portador colocado adyacente y separado de la superficie de construcción en una posición inicial; después
- 10 (b) formar un segmento de adhesión del objeto tridimensional al:  
 (i) llenar la región de construcción con un líquido polimerizable,  
 (ii) irradiar la región de construcción con luz a través del miembro ópticamente transparente (por ejemplo, mediante una sola exposición), y al mismo tiempo  
 (iii) mantener el portador estacionario o hacer avanzar el portador lejos de la superficie de construcción a una primera velocidad de avance acumulativa, para de esta manera formar a partir del líquido polimerizable un segmento de adhesión de polímero sólido del objeto adherido al portador; después
- 15 (c) opcional, pero preferentemente, formar un segmento de transición del objeto tridimensional al  
 (i) llenar la región de construcción con un líquido polimerizable,  
 (ii) irradiar de manera continua o intermitente la región de construcción con luz a través del miembro ópticamente transparente, y  
 (iii) hacer avanzar de manera continua o intermitente (por ejemplo, secuencial o simultáneamente con la etapa de irradiación) el portador lejos de la superficie de construcción a una segunda velocidad de avance acumulativa para de esta manera formar a partir del líquido polimerizable un segmento de transición del objeto entre el segmento de adhesión y la superficie de construcción;  
 en donde la segunda velocidad de avance acumulativa es mayor que la primera velocidad de avance acumulativa; y después
- 20 (d) formar un segmento del cuerpo del objeto tridimensional al:  
 (i) llenar la región de construcción con un líquido polimerizable,  
 (ii) irradiar de manera continua o intermitente la región de construcción con luz a través del miembro ópticamente transparente, y  
 (iii) hacer avanzar de manera continua o intermitente (por ejemplo, secuencial o simultáneamente con la etapa de irradiación) el portador lejos de la superficie de construcción a una tercera velocidad de avance acumulativa para de esta manera formar a partir del líquido polimerizable un segmento del cuerpo del objeto entre el segmento de transición y la superficie de construcción;  
 en donde la tercera velocidad de avance acumulativa es mayor que la primera y/o la segunda velocidad de avance acumulativa.
- 25
- 30
- 35

Nótese que la posición inicial puede ser cualquier posición dentro de un intervalo de posiciones (*por ejemplo*, un intervalo de hasta 5 o 10 milímetros o más), y la etapa de irradiación (b)(ii) se lleva a cabo a una intensidad suficiente para adherir el polímero sólido al portador cuando el portador está en cualquier posición dentro de ese intervalo de posiciones. Esto reduce ventajosamente la posibilidad de fallas de adhesión del objeto tridimensional al portador debido a variaciones en la uniformidad del portador y/o superficies de construcción, variaciones inherentes a los sistemas de accionamiento para posicionar el portador adyacente a la superficie de construcción, etc.

40

## 9. Fabricación con iluminación intermitente (o "estroboscópica").

- 45 Como se indicó anteriormente, en algunas modalidades, la invención puede llevarse a cabo con la iluminación en períodos intermitentes o en ráfaga. En una modalidad, dicho método comprende:  
 proporcionar un portador y un miembro ópticamente transparente que tiene una superficie de construcción, el portador y la superficie de construcción definen una región de construcción entre ellos;  
 llenar la región de construcción con un líquido polimerizable,
- 50 irradiar intermitentemente la región de construcción con luz a través del miembro ópticamente transparente para formar un polímero sólido a partir del líquido polimerizable,  
 hacer avanzar continuamente el portador lejos de la superficie de construcción para formar el objeto tridimensional a partir del polímero sólido.
- 55 Otra modalidad de tal modo de operación comprende:  
 proporcionar un portador y un miembro ópticamente transparente que tiene una superficie de construcción, el portador y la superficie de construcción definen una región de construcción entre ellos;  
 llenar la región de construcción con un líquido polimerizable,  
 irradiar intermitentemente la región de construcción con luz a través del miembro ópticamente transparente para formar un polímero sólido a partir del líquido polimerizable,
- 60 hacer avanzar de manera continua o intermitente (*por ejemplo*, secuencial o simultáneamente con la etapa de irradiación) el portador lejos de la superficie de construcción para formar el objeto tridimensional a partir del polímero sólido.

65 En algunas modalidades, la irradiación intermitente comprende períodos alternos de iluminación activa e inactiva, donde la duración promedio de los períodos de iluminación activa es menor que la duración promedio de los períodos de iluminación inactiva (*por ejemplo*, no es mayor que el 50, 60 o el 80 por ciento de estos).

En otras modalidades, la irradiación intermitente comprende períodos alternos de iluminación activa e inactiva, donde la duración promedio de los períodos de iluminación activa es la misma o mayor que la duración promedio de los períodos de iluminación inactiva (*por ejemplo*, es al menos 100, 120, 160 o 180 por ciento de estos).

A continuación, se dan ejemplos de tales modos de operación. Estas características pueden combinarse con cualquiera de las otras características y etapas operativas o parámetros descritos en la presente descripción.

#### 10. Productos de fabricación.

Los productos tridimensionales producidos por los métodos y procesos de la presente invención pueden ser productos finales, terminados o sustancialmente terminados, o pueden ser productos intermedios sujetos a etapas adicionales de fabricación tales como el tratamiento de superficies, corte por láser, mecanizado por descarga eléctrica, etc. Los productos intermedios incluyen productos para los cuales puede llevarse a cabo una fabricación aditiva adicional, en el mismo o en un aparato diferente). Por ejemplo, una línea de falla o escisión puede introducirse deliberadamente en una "construcción" en curso interrumpiendo, y luego reinstalando, el gradiente de la zona de polimerización, para finalizar una región del producto terminado, o simplemente porque una región particular del producto terminado o "construcción" es menos frágil que otras.

Se pueden fabricar numerosos productos diferentes mediante los métodos y el aparato de la presente invención, que incluyen modelos o prototipos a gran escala, productos personalizados pequeños, productos o dispositivos en miniatura o microminiatura, etc. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, dispositivos médicos y dispositivos médicos implantables tales como endoprótesis, depósitos de administración de fármacos, estructuras funcionales, conjuntos de microagujas, fibras y barras como guías de onda, dispositivos micromecánicos, dispositivos microfluídicos, etc.

Por lo tanto, en algunas modalidades, el producto puede tener una altura de 0,1 o 1 milímetro hasta 10 o 100 milímetros, o más, y/o un ancho máximo de 0,1 o 1 milímetro hasta 10 o 100 milímetros, o más. En otras modalidades, el producto puede tener una altura de 10 o 100 nanómetros hasta 10 o 100 micras, o más, y/o un ancho máximo de 10 o 100 nanómetros hasta 10 o 100 micras, o más. Estos son solo ejemplos: El tamaño y el ancho máximos dependen de la arquitectura del dispositivo en particular y de la resolución de la fuente de luz y se pueden ajustar dependiendo del objetivo particular de la modalidad o del artículo fabricado.

En algunas modalidades, la relación de altura a ancho del producto es al menos 2:1, 10:1, 50:1, o 100:1, o más, o una relación de ancho a altura de 1:1, 10:1, 50:1, o 100:1, o más.

En algunas modalidades, el producto tiene al menos uno, o una pluralidad de poros o canales formados en el mismo, como se describe más adelante.

Los procesos descritos en la presente descripción pueden producir productos con una variedad de propiedades diferentes. Por lo tanto, en algunas modalidades, los productos son rígidos; en otras modalidades, los productos son flexibles o resilientes. En algunas modalidades, los productos son sólidos; en otras modalidades, los productos son un gel tal como un hidrogel. En algunas modalidades, los productos tienen una memoria de forma (es decir, vuelven sustancialmente a una forma previa después de ser deformados, siempre que no se deformen hasta el punto de falla estructural). En algunas modalidades, los productos son unitarios (es decir, formados por un único líquido polimerizable); en algunas modalidades, los productos son compuestos (es decir, formados por dos o más líquidos polimerizables diferentes). Las propiedades particulares se determinarán por factores tales como la elección de los líquidos polimerizables empleados.

En algunas modalidades, el producto o artículo fabricado tiene al menos una característica sobresaliente (o "voladiza"), tal como un elemento de enlace entre dos cuerpos de soporte, o un elemento en voladizo que se proyecta desde un cuerpo de soporte sustancialmente vertical. Debido a la naturaleza unidireccional y continua de algunas modalidades de los presentes procesos, se reduce sustancialmente el problema de fallas o líneas de escisión que se forman entre las capas cuando cada capa se polimeriza hasta su terminación sustancial y se produce un intervalo de tiempo sustancial antes de que se exponga el siguiente patrón. Por lo tanto, en algunas modalidades, los métodos son particularmente ventajosos para reducir, o eliminar, el número de estructuras de soporte para dichos voladizos que se fabrican simultáneamente con el artículo.

#### 11. Métodos y aparatos alternativos.

Aunque la presente invención se lleva a cabo preferentemente mediante la polimerización de interfase líquida continua, como se describió con más detalle anteriormente y como se describe con más detalle más adelante, en algunas modalidades pueden usarse métodos y aparatos alternativos para la fabricación de tres dimensiones de abajo hacia arriba, incluyendo la fabricación capa por capa. Ejemplos de dichos métodos y aparatos incluyen, pero no se limitan a, los descritos en la patente de Estados Unidos núm. 5,236,637 de Hull, la patente de Estados Unidos núm. 7,438,846 de John y la patente de Estados Unidos núm. 8,110,135 de El-Siblani, y en las publicaciones de solicitudes de patente de EE. UU. núms. 2013/0292862 de Joyce y 2013/0295212 de Chen y otros.

Ejemplo 1

Ensamble de placa de construcción de tensión ajustable de alta relación de aspecto

5 La Figura 6 es una vista superior y la Figura 7 es una vista despiezada de un ensamble de placa (o "ventana") de construcción rectangular de "alto aspecto" de 3 pulgadas por 16 pulgadas de la presente invención, donde las dimensiones de la película son 8,89 cm por 43,18 cm (3,5 pulgadas por 17 pulgadas). El gran tamaño de la película en sí mismo en comparación con el diámetro interno del anillo del tanque y la base de la película, proporciona una porción de pestaña periférica o circunferencial en la película que se sujeta entre el anillo del tanque y la base de la película, como se muestra en la vista en sección lateral en la Figura 8. Se pueden proporcionar uno o más orificios de registro (no mostrados) en la película polimérica en la porción de pestaña periférica o circunferencial para ayudar a alinear la película polimérica entre el anillo del tanque y la base de la película, que se sujetan entre sí con una pluralidad de tornillos (no mostrados) que se extienden de uno a otro (algunos o todos pasan a través de orificios en el borde periférico de la película polimérica) de una manera que sujetan de manera rígida y segura la película polimérica entre ellos, mientras que opcionalmente permiten cierta flexibilidad para contribuir a las modalidades que emplean reciprocidad vertical, como se indicó anteriormente.

20 Como se muestra en las Figuras 7-8, se proporciona un anillo de tensión que colinda con la película polimérica y estira la película para fijar o rigidizar la película. El anillo de tensión puede proporcionarse como un miembro preestablecido, o puede ser un miembro ajustable. El ajuste puede lograrse al proporcionar una placa de resorte orientada hacia el anillo de tensión, con uno o más elementos compresibles, como cojines de polímero o resortes (*por ejemplo*, resortes planos, resortes helicoidales, resortes de onda, etc.) entre ellos, y con sujetadores ajustables como tornillos o elementos similares que pasan de la placa del resorte a través del anillo de tensión (o alrededor de él) a la base de la película.

25 Las películas poliméricas son preferentemente películas de fluoropolímero, como un fluoropolímero termoplástico amorfo, con un grosor de 0,01 o 0,05 milímetros a 0,1 o 1 milímetros, o más. En algunas modalidades, usamos la película polimérica Biogeneral Teflon AF 2400, que tiene un grosor de 0,0035 pulgadas (0,09 milímetros), y una película polimérica de Random Technologies Teflon AF 2400, que tiene un grosor de 0,004 pulgadas (0,1 milímetros).

30 La tensión en la película se ajusta preferentemente con el anillo de tensión a aproximadamente 10 a 100 libras, en dependencia de las condiciones de operación tales como la velocidad de fabricación.

35 El anillo del tanque, la base de la película, el anillo de tensión y la placa del resorte del anillo de tensión pueden fabricarse de cualquier material adecuado, preferentemente rígido, incluidos los metales (*por ejemplo*, acero inoxidable, aluminio y aleaciones de aluminio), fibra de carbono, polímeros y compuestos de los mismos.

Los postes de registro y los enchufes correspondientes pueden proporcionarse en cualquiera de los anillos del tanque, la base de la película, el anillo de tensión y/o la placa de resorte, según se desee.

Ejemplo 2

Ensamble redondo de placa de construcción redonda de tensión ajustable

45 La Figura 9 es una vista superior y la Figura 10 es una vista despiezada de una placa de construcción redonda de 7,32 cm (2,88 pulgadas) de diámetro de la invención, donde la dimensión de la película puede ser de 10,16 cm (4 pulgadas) de diámetro. La construcción es similar a la dada en el Ejemplo 1 anterior, con un ensamble de resorte de onda circunferencial mostrado en su lugar. La tensión en la película se ajusta preferentemente a una tensión similar a la dada en el Ejemplo 1 anterior (nuevamente, en dependencia de otras condiciones operativas, como la velocidad de fabricación).

50 La Figura 10 es una vista despiezada de la placa de construcción de la Figura 8.

Ejemplo 3

Modalidades adicionales de placas de construcción ajustables

55 La Figura 11 muestra varias modalidades alternativas de las placas de construcción de las Figuras 7-10. Los materiales y las tensiones pueden ser de la misma manera que se describió anteriormente.

Ejemplo 4

Modalidad ilustrativa de un aparato

60 La Figura 12 es una vista frontal en perspectiva, la Figura 13 es una vista lateral y la Figura 14 es una vista trasera en perspectiva de un aparato 100 de acuerdo con una modalidad ilustrativa de la invención. El aparato 100 incluye un bastidor 102 y un recinto 104. Gran parte del recinto 104 se retira o se muestra transparente en las Figuras 12-14.

65

5 El aparato 100 incluye varios componentes y características iguales o similares al aparato descrito anteriormente en referencia a la Figura 2. Con referencia a la Figura 12, se proporciona una cámara de construcción 106 en una placa base 108 que está conectada al bastidor 102. La cámara de construcción 106 está definida por una pared o un anillo del tanque 110 y una placa o "ventana" de construcción como una de las ventanas descritas anteriormente en referencia a las Figuras 2 y 6-11.

10 Volviendo a la Figura 13, un portador 112 es conducido en una dirección vertical a lo largo de un carril 114 por un motor 116. El motor puede ser cualquier tipo de motor adecuado, como un servomotor. Un motor adecuado ilustrativo es el motor NXM45A disponible de Oriental Motor de Tokio, Japón.

15 Un depósito de líquido 118 está en comunicación continua con la cámara de construcción 106 para llenar la cámara de construcción 106 con resina líquida. Por ejemplo, la tubería puede ir desde el depósito de líquido 118 hasta la cámara de construcción 106. Una válvula 120 controla el flujo de resina líquida del depósito de líquido 118 a la cámara de construcción 106. Una válvula adecuada ilustrativa es una válvula solenoide de aluminio de tipo pinza para tuberías disponible de McMaster-Carr de Atlanta, Georgia.

20 El bastidor 102 incluye los rieles 122 u otra característica de montaje en la que se sostiene o monta un ensamble de motor de luz 130 (Figura 15). Una fuente de luz 124 está acoplada al ensamble de motor de luz 130 usando un cable de entrada de guía de luz 126. La fuente de luz 124 puede ser cualquier fuente de luz adecuada, tal como un sistema BlueWave® 200 disponible de Dymax Corporation de Torrington, Connecticut.

25 Volviendo a la Figura 15, el motor de luz o el ensamble de motor de luz 130 incluye un ensamble de lente condensadora 132 y un sistema de procesamiento de luz digital (DLP) que incluye un dispositivo de microespejos digital (DMD) 134 y un ensamble de lente óptica o de proyección 136 (que puede incluir una lente de objetivo). Un sistema DLP adecuado es el sistema DLP Discovery™ 4100 disponible de Texas Instruments, Inc. de Dallas, Texas. La luz del sistema DLP se refleja en un espejo 138 e ilumina la cámara de construcción 106. Específicamente, se proyecta una "imagen" 140 en la superficie o ventana de construcción.

30 Con referencia a la Figura 14, una placa de componentes electrónicos o placa de pruebas 150 está conectada al bastidor 102. Una pluralidad de componentes eléctricos o electrónicos se montan en la placa de pruebas 150. Un controlador o procesador 152 está asociado operativamente con diversos componentes tales como el motor 116, la válvula 120, la fuente de luz 124 y el ensamble de motor de luz 130 descritos anteriormente. Un controlador adecuado es el Propeller Proto Board disponible de Parallax, Inc. de Rocklin, California.

35 Otros componentes eléctricos o electrónicos asociados operativamente con el controlador 152 incluyen una fuente de energía 154 y un controlador de motor 158 para controlar el motor 116. En algunas modalidades, se usa una fuente de luz LED controlada por el controlador 156 de modulación por ancho de pulsos (PWM) en lugar de una lámpara de mercurio (por ejemplo, la fuente de luz Dymax descrita anteriormente).

40 Una fuente de energía adecuada es una fuente de energía de conmutación de 24 vatios, 2.5 A, 60W (por ejemplo, número de pieza PS1-60W-24 (HF60W-SL-24) disponible de Marlin P. Jones & Assoc, Inc. de Lake Park, Florida). Si se usa una fuente de luz LED, un controlador de LED adecuado es un controlador de LED de 1.4 A y 24 vatios (por ejemplo, número de pieza 788-1041-ND disponible de Digi-Key de Thief River Falls, Minnesota). Un controlador de motor adecuado es el controlador de motor NXD20-A disponible de Oriental Motor de Tokio, Japón.

45 El aparato de las Figuras 12-15 se ha usado para producir un "tamaño de imagen" de aproximadamente 75 mm por 100 mm con una intensidad de la luz de aproximadamente 5 mW/cm<sup>2</sup>. El aparato de las Figuras 12-15 se ha usado para construir objetos a velocidades de aproximadamente 100 a 500 mm/h. La velocidad de construcción depende de la intensidad de la luz y la geometría del objeto.

50 Ejemplo 5

Otra modalidad ilustrativa de un aparato

55 La Figura 16 es una vista frontal en perspectiva de un aparato 200 de acuerdo con otra modalidad ilustrativa de la invención. El aparato 200 incluye los mismos componentes y características del aparato 100 con las siguientes diferencias.

60 El aparato 200 incluye un bastidor 202 que incluye los rieles 222 u otra característica de montaje en la que dos de los ensambles del motor de luz 130 mostrados en la Figura 15 pueden montarse en una relación de lado a lado. Los ensambles del motor de luz 130 se configuran para proporcionar un par de imágenes "en mosaico" en la estación de construcción 206. El uso de múltiples motores de luz para proporcionar imágenes en mosaico se describió con más detalle anteriormente.

65 El aparato de la Figura 16 se ha usado para proporcionar un "tamaño de imagen" en mosaico de aproximadamente 150 mm por 200 mm con una intensidad de la luz de aproximadamente 1 mW/cm<sup>2</sup>. El aparato de la Figuras 16 se ha usado

para construir objetos a velocidades de aproximadamente 50 a 100 mm/h. La velocidad de construcción depende de la intensidad de la luz y la geometría del objeto.

#### Ejemplo 6

5

Otra modalidad ilustrativa de un aparato

10

La Figura 18 es una vista frontal en perspectiva y la Figura 19 es una vista lateral de un aparato 300 de acuerdo con otra modalidad ilustrativa de la invención. El aparato 300 incluye los mismos componentes y características del aparato 100 con las siguientes diferencias.

15

20

El aparato 300 incluye un bastidor 302 que incluye los rieles 322 u otra característica de montaje en la que un ensamble del motor de luz 330 mostrado en la Figura 20 puede montarse en una orientación diferente que el ensamble de luz 130 del aparato 100. Con referencia a las Figuras 19 y 20, el motor de luz o el ensamble de motor de luz 330 incluye un ensamble de lente condensadora 332 y un sistema de procesamiento de luz digital (DLP) que incluye un dispositivo de microespejos digital (DMD) 334 y un ensamble de lente óptica o de proyección 336 (que puede incluir una lente de objetivo). Un sistema DLP adecuado es el sistema DLP Discovery™ 4100 disponible de Texas Instruments, Inc. de Dallas, Texas. La luz del sistema DLP ilumina la cámara de construcción 306. Específicamente, se proyecta una "imagen" 340 en la superficie o ventana de construcción. En contraste con el aparato 100, no se usa un espejo reflectante con el aparato 300.

25

El aparato de las Figuras 18-20 se ha usado para proporcionar "tamaños de imagen" de aproximadamente 10,5 mm por 14 mm y aproximadamente 24 mm por 32 mm con una intensidad de luz de aproximadamente 200 mW/cm<sup>2</sup> y 40 mW/cm<sup>2</sup>. El aparato de las Figuras 18-20 se ha usado para construir objetos a velocidades de unos 10000 y 4000 mm/h. La velocidad de construcción depende de la intensidad de la luz y la geometría del objeto.

#### Ejemplo 7

30

Programa de control con secuencias de comandos Lua

35

La tecnología actual de las impresoras requiere un control de bajo nivel para garantizar una fabricación de piezas de calidad. Los parámetros físicos, como la intensidad de la luz, el tiempo de exposición y el movimiento del portador, deben optimizarse para garantizar la calidad de una pieza. El uso de una interfaz de secuencias de comandos para un controlador como el microcontrolador Parallax PROPELLER™ que usa el lenguaje de programación "Lua" proporciona al usuario el control sobre todos los aspectos de la impresora en un nivel bajo. *Ver en general* R. Ierusalimsky, Programming in Lua (2013) (ISBN-10: 859037985X; ISBN-13: 978-8590379850).

40

Este Ejemplo ilustra el control de un método y un aparato de la invención con un programa de ejemplo escrito usando secuencias de comandos Lua. El código de programa correspondiente a dichas instrucciones, o las variaciones de las mismas que serán evidentes para los expertos en la técnica, se escriben de acuerdo con técnicas conocidas basadas en el microcontrolador particular utilizado.

45

*Conceptos.* Una parte consiste en rebanadas de polímero que se imprimen continuamente. La forma de cada rebanada está definida por el cuadro que se muestra por el motor de luz.

50

*Cuadro.* El cuadro representa la salida final para una rebanada. El cuadro es lo que se manifiesta como la geometría física de la parte. Los datos en el cuadro son lo que proyecta la impresora para curar el polímero.

*Rebanada.* Toda la geometría 2D que se enviará a un cuadro debe combinarse en una rebanada. Las rebanadas pueden consistir en geometría de procedimientos, rebanadas de un modelo 3D o cualquier combinación de los dos. El proceso de generación de rebanadas permite al usuario tener control directo sobre la composición de cualquier cuadro.

55

*Rebanada de un modelo 3D.* Una rebanada es un tipo especial de geometría 2D derivada de un modelo 3D de una parte. Esta representa la geometría que interseca un plano que es paralelo a la ventana. Las partes generalmente se construyen tomando modelos 3D y rebanándolos en intervalos muy pequeños. Cada rebanada es interpretada sucesivamente por la impresora y se usa para curar el polímero a la altura adecuada.

60

*Geometría de procedimiento.* La geometría generada de manera procedimental también puede agregarse a una rebanada. Esto se logra invocando funciones de generación de formas, como "addcircle", "addrectangle", y otros. Cada función permite la proyección de la forma correspondiente en la ventana de impresión. Una parte producida aparece como una forma extruida verticalmente o una combinación de formas.

65

*Espacios de coordenadas: Plataforma.* El sistema de coordenadas que utiliza la plataforma generalmente se calibra de manera que el origen se encuentra entre 1 y 20 micras por encima de la ventana.

*Espacios de coordenadas: Rebanada.* El sistema de coordenadas de la rebanada proyectada es tal que el origen se encuentra en el centro de la ventana de impresión.

Inicio rápido.

5

El siguiente es el método más básico para imprimir una parte desde un modelo 3D rebanado. La impresión de un modelo rebanado consta de 4 partes principales: Cargar los datos, preparar la impresora, imprimir, y apagar.

10

*Cargar datos.* En esta sección del código, los datos del modelo rebanado se cargan en la memoria. La ruta del archivo al modelo se define en la sección de las Constantes del código. Vea el código completo a continuación para más detalles.

15

```
--Cargar el modelo
modelFilePath = "Chess King.svg"
numSlices = loadslices(modelFilePath)
```

20

Para preparar la impresora, es importante hacer dos cosas antes de imprimir. Primero debe encenderse el motor de luz con la función de relé y, si corresponde, debe establecerse la altura de fluido deseada.

25

```
--Preparar la impresora
relay(true)-encender la luz
showframe(-1) --asegurar que no se expone nada durante la configuración
setlevels(.55, .6) --si está disponible, la impresora configura la bomba de fluido para mantener
aproximadamente el 55% de llenado
```

30

*Impresión.* El primer paso del proceso de impresión es calibrar el sistema y establecer la plataforma en su posición inicial llamando a gotostart. A continuación, comenzamos un bucle for, en el que imprimimos cada rebanada. La primera línea del bucle for utiliza el comando infoline para mostrar el índice de la rebanada actual en la barra lateral. A continuación, determinamos la altura a la que se debe curar la siguiente rebanada. Ese valor se almacena en nextHeight. Después de esto, movemos la plataforma a la altura a la que se debe curar la siguiente rebanada. Para garantizar una impresión limpia, a veces puede ser necesario esperar a que el oxígeno se difunda en la resina. Por lo tanto, llamamos suspensión durante medio segundo (el tiempo exacto para preExposureTime también se define en la sección de constantes). Después de esto, es el momento de curar realmente la resina, por lo que llamamos showframe y le pasamos el índice de la rebanada que queremos imprimir, que es almacenado en sliceIndex por el bucle for. Después de esto, suspendemos nuevamente por los segundos de exposureTime para permitir que la resina se cure. Antes de pasar al siguiente cuadro, llamamos a showframe(-1) para evitar que el motor de luz cure cualquier resina mientras la plataforma avanza a la siguiente altura.

40

45

50

55

60

65

---

```

--Ejecutar impresión
gotostart()--mover plataforma a posición inicial
for sliceIndex =0,numSlices-1 do
5
    infoline(5, string.format("Current Slice: %d", sliceIndex))

    nextHeight = sliceheight(sliceIndex) --calcular la altura a la que la plataforma debería
10
    estar para exponer este cuadro

    moveto(nextHeight, stageSpeed)--mover a nextHeight

    sleep(preExposureTime)--esperar una cantidad de tiempo a que el oxígeno se difunda
15
    difunda en la resina, prepExposureTime se predefine en la sección de Constantes

    showframe(sliceIndex)--mostrar cuadro a exponer

    sleep(exposureTime) --esperar mientras el cuadro se expone, exposureTime se
20
    predefine en la sección de Constantes

    showframe(-1)--no mostrar nada para garantizar que no hay exposición mientras se
25
    mueve la plataforma a la próxima posición

fin

```

---

30 *Apagado.* El último paso en el proceso de impresión es apagar la impresora. Llame relay(false) para apagar el motor de luz. Si está usando el control de fluido, llame setlevels(0,0) para asegurarse de que la válvula está cerrada. Finalmente, es una buena idea subir la plataforma un poco después de la impresión para permitir la extracción fácil de la pieza.

35	--Apagado.
	relay(false)
	setlevels(0,0)
40	--Levantar la plataforma para retirar la pieza.
	moveby(25, 16000)

Las instrucciones de implementación de código completas basadas en lo anterior se detallan a continuación.

---

```

--Constantes
exposureTime = 1.5 --en segundos
preExposureTime = 0.5 --en segundos
stageSpeed = 300 --en mm/hora

--Cargar Modelo
modelFilePath = "Chess King.svg"
numSlices = loadslices(modelFilePath)

--calcular parámetros
maxPrintHeight = sliceheight(numSlices-1)--encontrar el punto más alto de la impresión, este es
el mismo que la altura de la última rebanada. Las rebanadas tienen índice 0, por lo tanto el -1.
infoLine(1, "Current Print Info:")
infoLine(2, string.format("Calculated Max Print Height: %dmm", maxPrintHeight))
infoLine(3, string.format("Calculated Est. Time: %dmin", (maxPrintHeight/stageSpeed)*60
+ (preExposureTime+exposureTime)*numSlices/60))
infoLine(4, string.format("Number of Slices: %d", numSlices))

--Preparar impresora
relay(true) --encender la luz
showframe(-1) --garantizar que no se expone nada durante la configuración
setlevels(.55, .6) --si está disponible la impresora, establecer bomba de fluidos para mantener el
llenado al 55 %
--Ejecutar impresión
gotostart() --mover plataforma a posición inicial
for sliceIndex =0,numSlices-1 do

infoLine(5, string.format("Current Slice: %d", sliceIndex))

nextHeight = sliceheight(sliceIndex) --calcular la altura a la que la plataforma debería
estar para exponer este cuadro

moveto(nextHeight, stageSpeed)--mover a nextHeight

sleep(preExposureTime)--esperar una cantidad de tiempo a que el oxígeno se difunda
difunda en la resina, prepExposureTime se predefine en la sección de Constantes

showframe(sliceIndex)--mostrar cuadro a exponer

sleep(exposureTime) --esperar mientras el cuadro se expone, exposureTime se
predefine en la sección de Constantes

showframe(-1)--no mostrar nada para garantizar que no hay exposición mientras se
mueve la plataforma a la próxima posición

fin
--Apagado
relay(false)
setlevels(0,0)

--Levantar plataforma para retirar la parte
moveby(25, 16000)

```

---

*Gotostart.* El objetivo principal de *gotostart* es calibrar la plataforma. Esta función restablece el sistema de coordenadas para que tenga el origen en el punto más bajo, donde se activa el interruptor de límite. Al llamar a este comando se moverá la plataforma hacia abajo hasta que se active el interruptor de límite en la impresora; esto debería ocurrir cuando la plataforma está en la altura mínima absoluta.

*gotostart ()* mueve la plataforma al inicio a la velocidad máxima que varía de una impresora a otra.

65

gotostart ()--mueve al origen a la velocidad predeterminada
gotostart(number speed) mueve la plataforma al inicio a la velocidad dada en milímetros/hora.
gotostart(15000)--mueve la plataforma al origen a 15000 mm/hr

5  
-speed: velocidad, en mm/hora, a la que la plataforma se moverá a la posición inicial.

10 Moveto

moveto permite al usuario dirigir la plataforma a una altura deseada a una velocidad determinada. Los límites superiores e inferiores seguros de velocidad y aceleración se aseguran internamente. moveto(number *targetHeight*, number *speed*)

15  
moveto(25, 15000)--se mueve a 25 mm a 15000 mm/h moveto(number *targetHeight*, number *speed*, number *acceleration*)

20 Esta versión de la función permite definir la aceleración y la velocidad. La plataforma comienza a moverse a la velocidad inicial y luego aumenta por la aceleración.

moveto(25, 20000, 1e7)--mover la plataforma a 25 mm a 20000 mm/h mientras acelera a 1 millón de mm/h <sup>2</sup>
moveto(number <i>targetHeight</i> , number <i>speed</i> , table <i>controlPoints</i> ,function <i>callback</i> )

25 Esta función se comporta de manera similar a la versión básica de la función. Comienza con su velocidad y posición iniciales y se mueve al punto más alto en la tabla de puntos de control. *callback* se llama cuando la plataforma pasa cada punto de control.

30

---

```
function myCallbackFunction(index) --definir la función callback
print("hello")
fin
```

35

```
moveto(25, 20000, slicecontrolpoints(), myCallbackFunction)--
mover la plataforma a 25 mm a 20000 mm/h mientras se llama a
myCallbackFunction en los puntos de control generados por slicecontrolpoints()
```

40

---

45 moveto(number *targetHeight*, number *speed*, number *acceleration*,table *controlPoints*, function *callback*) Esta función es la misma que la anterior, excepto que el usuario puede pasar una aceleración. La plataforma acelera desde su posición inicial continuamente hasta que alcanza el último punto de control.

50

---

```
function myCallbackFunction(index) --definir la función callback
print("hello")
fin

moveto(25, 20000, 0.5e7, slicecontrolpoints(), myCallbackFunction)--
mover la plataforma a 25 mm a 20000 mm/h mientras se acelera a 0.5 millones de
mm/h2 y se llama además a myCallbackFunction en los puntos de control
generados por slicecontrolpoints()
```

- *targetHeight*: altura, en mm desde el origen, al que se moverá la plataforma.
- *initialSpeed*: velocidad inicial, en mm/hora, a la que comenzará a moverse la plataforma.
- *acceleration*: velocidad, en mm/hora<sup>2</sup>, a la que la velocidad de la plataforma aumentará desde la velocidad inicial.
- *controlPoints*: una tabla de alturas objetivo en milímetros. Después de que la plataforma alcanza una altura objetivo, llama a la función *callback*.
- *callback*: puntero a una función que se llamará cuando la plataforma alcance un punto de control. La función *callback* debe tomar un argumento que es el índice del punto de control que ha alcanzado la plataforma.

65

moveby

moveby permite al usuario cambiar la altura de la plataforma en una cantidad deseada a una velocidad determinada. Los límites superiores e inferiores seguros de velocidad y aceleración se aseguran internamente. `moveby(number dHeight, number initialSpeed)`

```
1 moveby(-2, 15000)--se mueve hacia abajo 2 mm a 15000 mm/h
```

`moveby(number dHeight, number initialSpeed, number acceleration)` Esta versión de la función permite que se defina una aceleración y una velocidad. La plataforma comienza a moverse a la velocidad inicial y luego aumenta por la *aceleración* hasta que llega a su destino.

```
1 moveby(25, 15000, 1e7)--se mueve hacia arriba 25 mm a 15000 mm/h mientras acelera 1e7 mm/h^2
```

`moveby(number dHeight, number initialSpeed, table controlPoints, function callback)` El uso de esta función permite al usuario pasar la función a una tabla de coordenadas de altura absolutas. Después de que la plataforma alcanza una de estas alturas objetivo, llama a la función 'callback.' Callback debe tomar un argumento que es el índice del punto de control que ha alcanzado.

---

```
function myCallbackFunction(index) --definir la función callback
    print("hello")
```

```
fin
```

```
moveby(25, 20000, slicecontrolpoints(), myCallbackFunction)--moving the
mover la plataforma hacia arriba 25 mm a 20000 mm/h mientras se llama a
myCallbackFunction en los puntos de control generados por slicecontrolpoints()
```

---

`moveby(number dHeight, number initialSpeed, number acceleration, table controlPoints, function callback)` Esta función es la misma que la anterior, excepto que el usuario puede pasar una aceleración. La plataforma acelera desde su posición inicial continuamente hasta que alcanza el último punto de control.

---

```
function myCallbackFunction(index) --definir la función callback
    print("hello")
```

```
fin
```

```
moveby(25, 20000, 1e7, slicecontrolpoints(), myCallbackFunction)--
mover la plataforma hacia arriba 25 mm a 20000 mm/h mientras se llama a myCallbackFunction
en los puntos de control generados por slicecontrolpoints() y se acelera a 1e7 mm/h^2
```

---

- *dHeight*: cambio deseado en altura, en milímetros, de la plataforma.
- *initialSpeed*: velocidad inicial, en mm/hora, a la que se mueve la plataforma.
- *acceleration*: velocidad, en mm/hora<sup>2</sup>, a la que la velocidad de la plataforma aumentará desde la velocidad inicial.
- *controlPoints*: una tabla de alturas objetivo en milímetros. Después de que la plataforma alcanza una altura objetivo, llama a la función *callback*.
- *callback*: puntero a una función que se llamará cuando la plataforma alcance un punto de control. La función callback debe tomar un argumento que es el índice del punto de control que ha alcanzado la plataforma.

Control del motor de luz

luz

El relé se usa para encender o apagar el motor de luz en la impresora. El motor de luz debe estar encendido para poder imprimir. Asegúrese de que el relé esté desactivado al final de la secuencia de comandos.

`relay(boolean lightOn)`

```
relay(true)--encender la luz
```

- *lightOn*: falso apaga el motor de luz, verdadero enciende el motor de luz.

Añadiendo geometría de procedimiento.

5 Las funciones en esta sección existen para proyectar formas sin usar un archivo de parte rebanada. Cada función en esta sección tiene un valor de número opcional llamado *figureIndex*. Cada figura en una rebanada tiene su propio índice. Las figuras residen una encima de otra. Las figuras se dibujan de manera que la figura con el índice más alto se encuentre "arriba" y, por lo tanto, no quedará ocluida por nada debajo de ella. Por defecto, los índices se asignan en el orden en que se crean, de manera que la última figura creada se representará en la parte superior. Sin embargo, puede cambiarse el índice al pasar el índice deseado a *figureIndex*.

Cada función en esta sección requiere un argumento *sliceIndex*. Este valor es el índice de la rebanada a la que se agregará la figura.

15 Nótese que la generación de esta geometría de procedimiento no garantiza que sea visible o imprimible. Se debe usar una de las funciones, tal como fillmask o linemask que se describe más adelante.

addcircle

20 addcircle(number x, number y, number *radius*, number *sliceIndex*) addcircle dibuja un círculo en la rebanada especificada.

addCircle(0,0, 5, 0)--crear un círculo en el origen de la primera rebanada con un radio de 5 mm

- *x*: es la distancia horizontal, en milímetros, desde el centro del círculo hasta el origen.
- *y*: es la distancia vertical, en milímetros, desde el centro del círculo hasta el origen.
- *radius*: es el radio del círculo medido en milímetros.
- *sliceIndex*: índice de la rebanada a la que se añadirá la figura.

Devuelve: índice de figura de la figura.

30

addrectangle

addrectangle(number x, number y, number *width*, number *height* number *sliceIndex*) addrectangle dibuja un rectángulo en la rebanada especificado.

35

addrectangle(0,0, 5,5, 0)--crear un cuadrado de 5 mm x 5 mm con su esquina superior izquierda en el origen.

- *x*: coordenada horizontal, en milímetros, de la esquina superior izquierda del rectángulo.
- *y*: coordenada vertical, en milímetros, de la esquina superior izquierda del rectángulo.
- *width*: ancho del rectángulo en milímetros.
- *height*: altura del rectángulo en milímetros.
- *sliceIndex*: índice de la rebanada a la que se añadirá la figura.

45 Devuelve: índice de figura de la figura.

addline

addline(number *x0*, number *y0*, number *x1*, number *y1*, number *sliceIndex*) addline dibuja un segmento de línea.

50

addLine(0,0, 20,20, 0)--crear una línea desde el origen hasta 20 mm a lo largo de los ejes x y y en la primera rebanada.

- *x0*: coordenada horizontal del primer punto en el segmento, medida en milímetros.
- *y0*: coordenada vertical del primer punto en el segmento, medida en milímetros.
- *x1*: coordenada horizontal del segundo punto en el segmento, medida en milímetros.
- *y1*: coordenada vertical del segundo punto en el segmento, medida en milímetros.
- *sliceIndex*: índice de la rebanada a la que se añadirá la figura. Devuelve: índice de figura de la figura.

60

addtext

text(number x, number y, number *scale*, string *text*, number *sliceIndex*) addtext dibuja texto en el sector especificado que comienza en la posición 'x, y' con letras de tamaño 'escala'.

```
addtext(0,0, 20, "Hello world", 0)--escribe Hello World en el origen de la primera rebanada
```

- 5 • *x*: coordenada horizontal, medida en milímetros, de la esquina superior izquierda del cuadro delimitador alrededor del texto.
- *y*: coordenada vertical, medida en milímetros, de la esquina superior izquierda del cuadro delimitador alrededor del texto.
- *scale*: tamaño de letra en milímetros, la interpretación puede variar en dependencia del sistema operativo subyacente (Windows, OSX, Linux, etc.).
- 10 • *text*: el texto real que se dibujará en la rebanada.
- *sliceIndex*: índice de la rebanada a la que se añadirá la figura. Devuelve: índice de figura de la figura.

## 15 2.4 Control de llenado y línea

### 2.4.1 fillmask

20 *fillmask*(number *color*, number *sliceIndex*, number *figureIndex*) *fillmask* se utiliza para controlar cómo se dibuja la geometría de procedimiento. *fillmask* le dice a la figura en cuestión que rellene la totalidad de su interior con color.

- *color*: puede ser cualquier número en el intervalo de 0 a 255. Donde 0 es negro y 255 es blanco, cualquier valor intermedio es un tono de gris interpolado linealmente entre negro y blanco basado en el valor del color. Cualquier valor inferior a 0 producirá un color transparente.

```
25 myCircle = addCircle(0,0,5,0)--crea el círculo para rellenar
fillmask(255, 0, myCircle)--Crea un círculo relleno de color blanco
```

30 - *sliceIndex*: el índice de la rebanada que debe ser modificado.  
 - *figureIndex*: se usa para determinar qué figura en la rebanada debe rellenarse. Cada figura tiene su propio índice único. Si no se pasa un *figureIndex*, el relleno se aplica a todas las figuras en la rebanada.

### 35 2.4.2 linemask

linemask(number *color*, number *sliceIndex*, number *figureIndex*) *linemask* se usa para controlar cómo se dibuja la geometría de procedimiento. *linemask* le dice a una figura que dibuje su contorno en un color específico. El ancho del contorno está definido por la función *linewidth*.

```
40 myCircle = addCircle(0,0,20,0)--crea el círculo a rellenar
linemask(255, 0, myCircle)--establece el contorno del círculo para que sea blanco
fillmask(150,0, myCircle)--establece el relleno del círculo para que sea gris
```

- 45 • *color*: puede ser cualquier número en el intervalo de 0 a 255. Donde 0 es negro y 255 es blanco, cualquier valor intermedio es un tono de gris interpolado linealmente entre negro y blanco basado en el valor del color. Cualquier valor inferior a 0 producirá un color transparente.
- *sliceIndex*: el índice de la rebanada que debe ser modificado.
- 50 • *figureIndex*: se usa para determinar qué figura en la rebanada debe rellenarse. Cada figura tiene su propio índice único. Si no se pasa un *figureIndex*, el relleno se aplica a todas las figuras en la rebanada.

### 2.4.3 linewidth

55 *linewidth*(number *width*, number *sliceIndex*, number *figureIndex*) *linewidth* se usa para establecer el ancho de la línea que usará *linemask* para delinear la figura.

```
linewidth(2,0)--establece el ancho de línea para cada figura en la primera rebanada a 2 mm
```

- 60 • *sliceIndex*: el índice de la rebanada que debe ser modificado.
- *figureIndex*: se usa para determinar a qué figura en la rebanada se le debe cambiar su contorno. Cada figura tiene su propio índice único, véase la sección 2.3 (pág. 10) para más detalles. Si no se pasa un *figureIndex*, el relleno se aplica a todas las figuras en la rebanada.

loadmask

loadmask(string *filepath*) loadmask permite un control de llenado avanzado. Permite al usuario cargar una textura desde un archivo de mapa de bits y usarla para rellenar la totalidad de una figura con la textura.

```
5 texture = loadmask("voronoi_noise.png")--cargar textura. voronoi_noise.png está en el mismo
   directorio que la secuencia de comandos.
   myCircle = addCircle(0,0,20,0)--crea el círculo a rellenar
10 fillmask(texture, 0, myCircle)--rellena el círculo con ruido de voronoi
```

- *filepath*: ruta del archivo al archivo de imagen

Devuelve: un tipo de dato especial que puede pasarse a una función fillmaskor linemask como argumento del color.

15 Cuadros

showframe

20 showframe(number *sliceIndex*) showframe es esencial en el proceso de impresión. Esta función envía los datos de una rebanada a la impresora. Llame a showframe en un cuadro que no exista para renderizar un cuadro negro, por ejemplo, showframe(-1).

```
25 showframe(2)--muestra la 3ra rebanada
```

- *sliceIndex*: el índice de la rebanada a enviar a la impresora.

30 framegradient

framegradient(number *slope*) framegradient está diseñado para compensar las diferencias en la intensidad de la luz. [calcframe](#)

35 calcframe()

calcframe está diseñado para analizar la construcción de una rebanada y calcula el último cuadro mostrado.

```
40 showframe(0)
   calcframe()
```

Devuelve: la distancia máxima posible entre cualquier punto de la figura y el borde.

45 2.5.4 loadframe

loadframe(string *filepath*)

loadframe se usa para cargar una sola rebanada desde un archivo de mapa de bits compatible.

```
50 loadframe("slice.png")--slice.png está en el mismo directorio que la secuencia de comandos
```

- *filepath*: ruta del archivo a la imagen de la rebanada

55 Rebanadas

addslice

addslice(number *sliceHeight*) addslice crea una nueva rebanada a una altura determinada al final de la pila de división.

```
60 addslice(.05)--agrega una rebanada a .05mm
   addslice(number sliceHeight, number sliceIndex)
   addslice(.05, 2): agrega una rebanada a .05 mm y al índice 2. esto empuja un índice arriba
65 todas las capas 2 y superiores.
```

addslice crea una nueva rebanada a una altura y a un índice de rebanada determinados.

- *sliceHeight*: altura, en milímetros, de la rebanada.
- *sliceIndex*: índice al cual la rebanada debería añadirse. Devuelve: rebanada índice.

loadslices

loadslices(string *filepath*) loadslices se usa para cargar todos los segmentos de un archivo de rebanada 2D.

```
loadslices("Chess King.svg")--carga todas las rebanadas del archivo Chess King.svg
```

- *filepath*: ruta del archivo al modelo rebanado. Los formatos aceptables son .cli y .svg. Devuelve: número de rebanadas.

sliceheight

sliceheight(number *sliceIndex*) sliceheight se usa para encontrar la altura de una rebanada en mm fuera de la base.

```
addslice(.05,0)-configura la primera rebanada a .05mm
```

```
sliceheight(0)--verifica la altura de la rebanada 0, en este ejemplo debería devolver .05
```

- *sliceIndex*: índice de la rebanada a verificar. Devuelve: altura de la rebanada en mm. 2.6.4 slicecontrolpoints

slicecontrolpoints() slicecontrolpoints es una función auxiliar que crea un punto de control para cada rebanada de un modelo. Estos puntos de control pueden pasarse a la función moveto o moveby para configurarla en callback cuando la plataforma alcance la altura de cada rebanada. Asegúrese de que loadslices se haya llamado antes de llamar a esta función.

```
loadslices("Chess King.svg")
```

```
controlPoints = slicecontrolpoints()
```

Devuelve: Tabla Lua de puntos de control.

Sincronización

Suspensión

sleep(number *seconds*) sleep permite al usuario pausar la ejecución del programa durante un número determinado de segundos.

```
sleep(.5)--suspende por medio segundo
```

- *seconds*: número de segundos para pausar la ejecución de la secuencia de comandos.

Reloj

clock() clock devuelve la hora actual en segundos. Es precisa al menos hasta el milisegundo y, por lo tanto, debe usarse en lugar de la funcionalidad de reloj incorporada de Lua. clock debe usarse como un medio para medir las diferencias en el tiempo, ya que la hora de inicio del segundo conteo varía de un sistema a otro.

```
t1 = clock()
```

```
loadslices("Chess King.svg")
```

```
deltaTime = clock()-t1
```

Devuelve: tiempo del sistema en segundos.

Control de fluidos

Este conjunto de funciones puede usarse con modelos de impresoras que admiten el control de fluidos. Antes de que la secuencia de comandos termine de ejecutarse, debe llamarse a `setlevels (0,0)` para asegurarse de que la bomba deja de bombear fluido hacia el tanque.

5 `getcurrentlevel`

`getcurrentlevel()` `getcurrentlevel`

devuelve el porcentaje del tanque que está lleno.

10

```
print(string.format("Vat is %d percent full.", getcurrentlevel()*100))
```

Devuelve: un número de punto flotante en el intervalo de 0 a 1 que representa el porcentaje del tanque que está lleno.

15 `setlevels`

`setlevels(number min, number max)` `setlevels` permite al usuario definir la cantidad de fluido que debe haber en el tanque. La altura del fluido será regulada automáticamente por una bomba. La diferencia entre *min* y *max* debe ser mayor que 0,05 para garantizar que la válvula no se abra y cierre constantemente.

20

```
setlevels(.7, .75)--mantiene el tanque alrededor del 75 por ciento lleno
```

- *min*: el porcentaje mínimo del tanque que debe estar lleno. Se ingresa como un número de punto flotante de 0 a 1.
- *max*: el porcentaje máximo del tanque que debe estar lleno. Se ingresa como un número de punto flotante de 0 a 1.

25

Realimentación del usuario

2.9.1 infoline

30

`infoline(int lineIndex, string text)` `infoline` permite al usuario mostrar hasta 5 líneas de texto en una posición constante en la barra lateral de la Plataforma de Impresoras Programables. Esta función se usa a menudo para permitir al usuario monitorear a la vez diversas variables que cambian.

35

```
infoline(1, string.format("Vat is %d percent full.", getcurrentlevel()*100))
```

- *lineIndex*: el índice de la línea. Los índices deben estar en el intervalo de 1 a 5, siendo 1 la línea más alta. *-text*: texto que se mostrará en el índice de línea.

40

Tabla de configuración global.

Antes de que se ejecute una secuencia de comandos de impresión, todas las variables globales se cargan en una tabla de configuración llamada `cfg`. La mayoría de los datos en esta tabla ya han sido leídos por la Plataforma de Impresoras Programables en el momento en que se ejecuta la secuencia de comandos de los usuarios, por lo tanto, cambiarlos no tendrá ningún efecto. Sin embargo, escribir en los campos *xscale*, *yscale*, *zscale*, *xorig* y *yorig* de la `cfg`, afectará a todas las llamadas a `loadslices` y `addlayer` que se realicen posteriormente. Si la secuencia de comandos de los usuarios se diseña para ejecutarse en una escala y/o posición específica, es una buena práctica anular la `cfg` con la configuración correcta para garantizar que la Plataforma de Impresoras Programables no pueda cambiar accidentalmente la escala y la posición.

50

<code>cfg.xscale = 3</code> --anula la configuración global para establecer la escala en el eje x en 3
<code>cfg.yscale = 2</code> --anula la configuración global para establecer la escala en el eje y en 2
<code>cfg.zscale = 1</code> --anula la configuración global para establecer la escala en el eje z en 1
<code>cfg.xorig = -2.0</code> --anula la configuración global para establecer el origen en el eje x 2 mm a la izquierda
<code>cfg.yorig = 0.25</code> --anula la configuración global para establecer el origen en el eje y .25 mm en la dirección positiva

55

60

Campos en `cfg`:

- *serial port*: nombre del puerto serie (cambiar esta variable no afectará el código)
- *xscale*: escala x -*yscale*: escala y

65

- *zscale*: escala z
- *xorig*: origen en x -*yorig*: origen en y
- *hw xscale*: resolución de píxeles en la dirección x (cambiar esta variable no afectará al código)
- *hw yscale*: resolución de píxeles en la dirección y (cambiar esta variable no afectará al código)

5

Bibliotecas estándar útiles de Lua.

La biblioteca estándar de matemáticas contiene diversas funciones diferentes útiles para calcular la geometría. El objeto de cadena es más útil en la impresión para manipular cadenas de información. Para más detalles, comuníquese con LabLua en el Departamento de Informática, PUC-Rio, Rua Marquês de São Vicente, 225; 22451-900 Río de Janeiro, RJ, Brasil.

10

Ejemplo 8

15

Programa de secuencia de comandos Lua para impresión continua

Este ejemplo muestra un programa de secuencia de comandos Lua correspondiente al Ejemplo 7 anterior para la impresión continua en tres dimensiones.

20

---

```
--Constantes
sliceDepth = .05 --en milímetros
exposureTime = .225 --en segundos
```

25

```
--Cargar Modelo
modelFilePath = "Chess King.svg"
numSlices = loadslices(modelFilePath)
controlPoints = slicecontrolpoints()--Generar Puntos de Control
```

30

```
--calcular parámetros
exposureTime = exposureTime/(60*60)--convertido a horas
stageSpeed = sliceDepth/exposureTime--distancia requerida/tiempo requerido
maxPrintHeight = sliceheight(numSlices-1)--encontrar el punto más alto en la impresión. este
es el mismo que la altura de la última rebanada. Las rebanadas tienen índice 0, por lo tanto el -1.
infoLine(1, "Current Print Info:")
infoLine(2, string.format("Calculated Stage Speed: %dmm/hr\n", stageSpeed))
infoLine(3, string.format("Calculated Max Print Height: %dmm", maxPrintHeight))
infoLine(4, string.format("Calculated Est. Time: %dmin",
(maxPrintHeight/stageSpeed)*60))
```

35

40

```
--Crear función callback para usar con moveto
function movetoCallback(controlPointIndex)
  showframe(controlPointIndex)
fin
```

45

```
--Preparar impresora
relay(true)--encender la luz
setlevels(.55, .6)--si está disponible la impresora, establecer bomba de fluidos para
mantener el llenado al 55 %
```

50

```
--Ejecutar impresión
gotostart()--mover plataforma a posición inicial
```

55

```
moveto(maxPrintHeight, stageSpeed, controlPoints, movetoCallback)
```

60

```
--Apagado
relay(false)
setlevels(0,0)
```

65

```
--Levantar plataforma para retirar la parte
moveby(25, 160000)
```

---

65

## Ejemplo 9

Programa de secuencia de comandos Lua para cilindro y broche

5 Este ejemplo muestra un programa de secuencia de comandos Lua para dos partes ajustadas que usan geometría de procedimiento.

**Cilindro**

---

```

10  --Constantes
    exposureTime = 1.5 --en segundos
    preExposureTime = 1 --en segundos
15  stageSpeed = 300 --en mm/hora
    sliceDepth = .05
    numSlices = 700

    --Generar Modelo
20  radius = 11
    thickness = 4
    smallCircleRad = 1.4

25  for sliceIndex = 0,numSlices-1 do
        addlayer(sliceDepth*(sliceIndex+1), sliceIndex) --la profundidad de una rebanada*su indice=
            altura de la rebanada

30      largeCircle = addcircle(0,0,radius, sliceIndex)
        linewidth(thickness, sliceIndex, largeCircle)
        linemask(255, sliceIndex, largeCircle)

35      for i=0,2*math.pi, 2*math.pi/8 do
            addcircle(math.cos(i)*radius, math.sin(i)*radius, smallCircleRad,
                sliceIndex)
        fin

40      fillmask(0,sliceIndex)

```

45

50

55

60

65

```

fin
--calcular parámetros
5 maxPrintHeight = sliceheight(numSlices-1) --encontrar el punto más alto de la impresión, este
es el mismo que la altura de la última rebanada. Las rebanadas tienen índice 0, por lo tanto el -1.
infoLine(1, "Current Print Info:")
infoLine(2, string.format("Calculated Max Print Height: %dmm", maxPrintHeight))
10 infoLine(3, string.format("Calculated Est. Time: %dmin",
(maxPrintHeight/stageSpeed)*60 +
(preExposureTime+exposureTime)*numSlices/60))
infoLine(4, string.format("Number of Slices: %d", numSlices))
15
--Preparar impresora
relay(true)--encender la luz
showframe(-1)--garantizar que no se expone nada durante la configuración
20 setlevels(.55, .6)--si está disponible la impresora, establecer bomba de fluidos para
mantener el llenado al 55 %
--Ejecutar impresión
gotostart()--mover plataforma a posición inicial
25 for sliceIndex =0,numSlices-1 do
infoLine(5, string.format("Current Slice: %d", sliceIndex))
30 nextHeight = sliceheight(sliceIndex) --calcular la altura a la que la plataforma debería
estar para exponer este cuadro
moveto(nextHeight, stageSpeed)--mover a nextHeight
35 sleep(preExposureTime)--esperar una cantidad de tiempo a que el oxígeno se difunda
difunda en la resina, prepExposureTime se predefine en la sección de Constantes
40 showframe(sliceIndex)--mostrar cuadro a exponer
sleep(1.5) --esperar mientras el cuadro se expone, exposureTime se
predefine en la sección de Constantes
45 showframe(-1)--no mostrar nada para garantizar que no hay exposición mientras se
mueve la plataforma a la próxima posición
50 fin
55
60
65

```

```

--Apagado
relay(false)
setlevels(0,0)

--Levantando plataforma para retirar la parte
moveby(25, 160000)



---


Broche

--Constantes
exposureTime = 1.5 --en segundos
preExposureTime = 0.5 --en segundos
stageSpeed = 300 --en mm/hora
sliceDepth = .05
numSlices = 900

--Generar Modelo
baseRadius = 11
thickness = 3
innerCircleRad = 7.5

for sliceIndex = 0,numSlices-1 do
  addlayer(sliceDepth*(sliceIndex+1)) --la profundidad de una rebanada*su índice=
  altura de la rebanada
    if(sliceIndex < 100) then --base
      addcircle(0,0, baseRadius, sliceIndex)
      fillmask(255, sliceIndex)
    else -- círculo interior
      innerCircle = addcircle(0,0, innerCircleRad, sliceIndex)
      linewidth(thickness, sliceIndex, innerCircle)
      linemask(255, sliceIndex, innerCircle)

      for i = 0,4*2*math.pi/8, 2*math.pi/8 do
        x = math.cos(i)*(innerCircleRad+thickness)
        y = math.sin(i)*(innerCircleRad+thickness)
        cutLine = addline(x,y, -x,-y, sliceIndex)
        linewidth(3, sliceIndex, cutLine)
        linemask(0, sliceIndex, cutLine)
      fin

      if (sliceIndex > 800) then--puntas
        r0 = innerCircleRad +2
        if(sliceIndex < 850) then
r0 = innerCircleRad + (sliceIndex-800)*(2/50)
        fin

```

```

                    for i = 0,4*2*math.pi/8, 2*math.pi/8 do
5      ang = i + (2*math.pi/8)/2
      x = math.cos(ang)*(r0)
      y = math.sin(ang)*(r0)
      nubLine = addline(x,y, -x,-y, sliceIndex)
10     linewidth(2, sliceIndex, nubLine)
      linemask(255, sliceIndex, nubLine)
                    fin
                    fillmask(0,sliceIndex, addcircle(0,0, innerCircleRad-(thickness/2),
15     sliceIndex))
      fin
      fin

20     showframe(sliceIndex)
      sleep(.02)

      fin

25     --calcular parámetros
      maxPrintHeight = sliceheight(numSlices-1) --encontrar el punto más alto de la impresión, este es
      el mismo que la altura de la última rebanada. Las rebanadas tienen índice 0, por lo tanto el -1.
30     infoline(1, "Current Print Info:")
      infoline(2, string.format("Calculated Max Print Height: %dmm", maxPrintHeight))
      infoline(3, string.format("Calculated Est. Time: %dmin", (maxPrintHeight/stageSpeed)*60
      + (preExposureTime+exposureTime)*numSlices/60))
35     infoline(4, string.format("Number of Slices: %d", numSlices))

      --Preparar impresora
      relay(true)--encender la luz
40     showframe(-1)--garantizar que no se expone nada durante la configuración
      setlevels(.55, .6)--si está disponible la impresora, establecer bomba de fluidos para mantener el
      llenado al 55 %

45     --Ejecutar impresión
      gotostart()--mover plataforma a posición inicial
      for sliceIndex =0,numSlices-1 do

50         infoline(5, string.format("Current Slice: %d", sliceIndex))

         nextHeight = sliceheight(sliceIndex) --calcular la altura a la que la plataforma debería
         estar para exponer este cuadro

55         moveto(nextHeight, stageSpeed)--mover a nextHeight

```

60

65

**sleep(preExposureTime)**--esperar una cantidad de tiempo a que el oxígeno se difunda difunda en la resina, prepExposureTime se predefine en la sección de Constantes

5

**showframe(sliceIndex)**--mostrar cuadro a exponer

**sleep(1.5)** --esperar mientras el cuadro se expone, exposureTime se predefine en la sección de Constantes

10

**showframe(-1)**--no mostrar nada para garantizar que no hay exposición mientras se mueve la plataforma a la próxima posición

15

**fin**

--Apagado

**relay(false)**

**setlevels(0,0)**

20

--Levantar plataforma para retirar la parte

**moveby(25, 160000)**

25

#### Ejemplo 10

Fabricación continua con irradiación intermitente y avance

30

Un proceso de la presente invención se ilustra en la Figura 21, donde el eje vertical ilustra el movimiento del portador lejos de la superficie de construcción. En esta modalidad, el movimiento vertical o la etapa de avance (que puede lograrse impulsando el portador o la superficie de construcción, preferentemente el portador), es continuo y unidireccional, y la etapa de irradiación se lleva a cabo de manera continua. La polimerización del artículo que se fabrica se produce a partir de un gradiente de polimerización o superficie activa y, por lo tanto, se minimiza la creación de líneas de falla "capa por capa" dentro del artículo.

35

Una modalidad alternativa de la presente invención se ilustra en la Figura 22. En esta modalidad, la etapa de avance se lleva a cabo paso a paso, con pausas introducidas entre el avance activo del portador y la superficie de construcción alejadas entre sí. Además, la etapa de irradiación se lleva a cabo de manera intermitente, en este caso durante las pausas en la etapa de avance. Encontramos que, siempre que el inhibidor de la polimerización se suministre a la zona muerta en una cantidad suficiente para mantener la zona muerta y el gradiente adyacente de polimerización o superficie activa durante las pausas en la irradiación y/o avance, el gradiente de polimerización se mantiene, y la formación de capas dentro del artículo de fabricación se minimiza o se evita. Dicho de otra manera, la polimerización es continua, aunque las etapas de irradiación y avance no lo son. Puede suministrarse suficiente inhibidor mediante cualquiera de una variedad de técnicas, que incluyen, pero no se limitan a, las siguientes: utilizar un miembro transparente que sea lo suficientemente permeable al inhibidor, enriquecer el inhibidor (*por ejemplo*, alimentar el inhibidor desde una atmósfera presurizada y/o enriquecida con inhibidores), etc. En general, cuanto más rápida sea la fabricación del objeto tridimensional (es decir, cuanto más rápida sea la velocidad acumulativa de avance), más inhibidor será necesario para mantener la zona muerta y el gradiente adyacente de polimerización.

50

#### Ejemplo 11

Fabricación continua con reciprocidad durante el avance para mejorar el llenado de la región de construcción con líquido polimerizable

55

Otra modalidad adicional de la presente invención se ilustra en la Figura 23. Como en el Ejemplo 10 anterior, en esta modalidad, la etapa de avance se lleva a cabo paso a paso, con pausas introducidas entre el avance activo del portador y la superficie de construcción alejadas entre sí. Además, como en el Ejemplo 10 anterior, la etapa de irradiación se lleva a cabo de manera intermitente, nuevamente durante las pausas en la etapa de avance. En este ejemplo, sin embargo, la capacidad de mantener la zona muerta y el gradiente de polimerización durante las pausas en el avance y la irradiación se aprovecha introduciendo una reciprocidad vertical durante las pausas en la irradiación.

60

Encontramos que la reciprocidad vertical (alejando el portador y la superficie de construcción entre sí y luego acercándolos), particularmente durante las pausas en la irradiación, sirve para mejorar el llenado de la región de construcción con el líquido polimerizable, aparentemente al tirar líquido polimerizable en la región de construcción. Esto

65

es ventajoso cuando se irradian áreas más grandes o se fabrican partes más grandes, y el llenado de la porción central de la región de construcción puede limitar la velocidad de una fabricación de otra manera rápida.

La reciprocidad en el eje vertical o Z puede llevarse a cabo a cualquier velocidad adecuada en ambas direcciones (y la velocidad no tiene por qué ser la misma en ambas direcciones), aunque se prefiere que la velocidad cuando se hace el movimiento alternativo sea insuficiente para causar la formación de burbujas de gas en la región de construcción.

Aunque se muestra un solo ciclo de reciprocidad durante cada pausa en la irradiación en la Figura 23, se apreciará que se pueden introducir múltiples ciclos (que pueden ser iguales o diferentes entre sí) durante cada pausa.

Como en el Ejemplo 10 anterior, mientras se suministre el inhibidor de polimerización a la zona muerta en una cantidad suficiente para mantener la zona muerta y el gradiente adyacente de polimerización durante la reciprocidad, se mantiene el gradiente de polimerización, la formación de capas dentro del artículo de fabricación se minimiza o evita, y la polimerización/fabricación sigue siendo continua, aunque las etapas de irradiación y avance no lo sean.

#### Ejemplo 12

Aceleración durante la carrera ascendente de la reciprocidad y desaceleración durante la carrera descendente de la reciprocidad para mejorar la calidad de la pieza

Observamos que hay una velocidad limitante de la carrera ascendente, y de la carrera descendente correspondiente, que si se excede, causa un deterioro de la calidad de la pieza u objeto que se está fabricando (posiblemente debido a la degradación de las regiones blandas dentro del gradiente de polimerización causado por fuerzas de cizallamiento lateral en un flujo de resina). Para reducir estas fuerzas de cizallamiento y/o mejorar la calidad de la pieza que se está fabricando, introducimos velocidades variables dentro de la carrera ascendente y descendente, con una aceleración gradual que ocurre durante la carrera ascendente y una desaceleración gradual que ocurre durante la carrera descendente, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 24.

#### Ejemplo 13

Fabricación en múltiples zonas.

La Figura 25 ilustra esquemáticamente el movimiento del portador (z) a lo largo del tiempo (t) en el curso de la fabricación de un objeto tridimensional mediante los métodos descritos anteriormente, a través de una primera zona de la base (o "adhesión"), una segunda zona de transición opcional, y una tercera zona del cuerpo. El proceso en general de formación del objeto tridimensional se divide por lo tanto en tres (o dos) segmentos o zonas inmediatamente secuenciales. Las zonas se llevan a cabo preferentemente en una secuencia continua sin pausar la demora sustancial (*por ejemplo*, más de 5 o 10 segundos) entre las tres zonas, preferentemente de manera que el gradiente de polimerización no se interrumpa entre las zonas.

La primera zona de la base (o "adhesión") incluye una exposición inicial a la luz o la radiación a una dosis más alta (mayor duración y/o mayor intensidad) que la usada en la transición posterior y/o zonas del cuerpo. Esto es para evitar el problema de que el portador no esté perfectamente alineado con la superficie de construcción, y/o el problema de la variación en el posicionamiento del portador de la superficie de construcción, al inicio del proceso, asegurando que la resina esté polimerizada de manera segura al portador. Nótese que se muestra una etapa de reciprocidad opcional (para la distribución inicial o el bombeo del líquido polimerizable hacia o en la región de construcción) antes de que el portador se coloque en su posición inicial. Nótese que una capa de liberación (no mostrada), tal como una capa de liberación soluble, aún puede incluirse entre el portador y el material polimerizado inicial, si se desea. En general, una porción pequeña o menor del objeto tridimensional se produce durante esta zona de la base (*por ejemplo*, menos de 1, 2 o 5 por ciento por volumen). De manera similar, la duración de esta zona de la base es, en general, una porción pequeña o menor de la suma de las duraciones de la zona de la base, la zona de transición opcional y la zona del cuerpo (*por ejemplo*, menos del 1, 2 o 5 por ciento).

Inmediatamente después de la primera zona de la base del proceso, hay opcionalmente (pero preferentemente) una zona de transición. En esta modalidad, la duración y/o la intensidad de la iluminación es menor, y el desplazamiento de la etapa de oscilación menor, en comparación con el empleado en la zona de la base como se describió anteriormente. La zona de transición puede (en la modalidad ilustrada) proceder a través de 2 o 5, hasta 50 o más etapas de oscilación y sus correspondientes iluminaciones. En general, una porción intermedia (mayor que la formada durante la zona de la base, pero menor que la formada durante la zona del cuerpo), del objeto tridimensional se produce durante la zona de transición (*por ejemplo*, de 1, 2 o 5 por ciento a 10, 20 o 40 por ciento por volumen). De manera similar, la duración de esta zona de transición es, en general, mayor que la de la zona de la base, pero menor que la de la zona del cuerpo (*por ejemplo*, una duración de 1, 2 o 5 por ciento a 10, 20 o 40 por ciento de la suma de las duraciones de la zona de la base, la zona de transición y la zona del cuerpo (*por ejemplo*, menos del 1, 2 o 5 por ciento).

Inmediatamente después de la zona de transición del proceso (o, si no se incluye una zona de transición, inmediatamente después de la zona de la base del proceso), hay una zona del cuerpo, durante la cual se forma el resto del objeto

tridimensional. En la modalidad ilustrada, la zona del cuerpo se lleva a cabo con iluminación a una dosis más baja que la zona de la base (y, si está presente, preferentemente a una dosis más baja que la de la zona de transición), y las etapas de reciprocidad son (opcionalmente pero en algunas modalidades preferentemente) llevadas a cabo en un desplazamiento más pequeño que el de la zona de la base (y, si está presente, opcionalmente, pero preferentemente en un desplazamiento más bajo que en la zona de transición). En general, una porción grande, típicamente mayor que 60, 80 o 90 por ciento en volumen del objeto tridimensional se produce durante la zona de transición. De manera similar, la duración de esta zona del cuerpo es, en general, mayor que la de la zona de la base y/o la zona de transición (*por ejemplo*, una duración de al menos 60, 80 o 90 por ciento de la suma de las duraciones de la zona de la base, la zona de transición y la zona del cuerpo).

Nótese que, en este ejemplo, las múltiples zonas se ilustran en relación con un modo de fabricación oscilante, pero la técnica de fabricación de múltiples zonas descrita en la presente descripción también puede implementarse con otros modos de fabricación como se ilustra más adelante en los ejemplos a continuación (con la zona de transición ilustrada como incluida, pero de nuevo siendo opcional).

#### Ejemplo 14

Fabricación con iluminación intermitente (o "estroboscópica").

El propósito de un modo de operación "estroboscópico" es reducir la cantidad de tiempo que la fuente de luz o radiación está encendida o activa (por ejemplo, a no más de 80, 70, 60, 50, 40 o 30 por ciento del total del tiempo requerido para completar la fabricación del objeto tridimensional), y aumentar la intensidad del mismo (en comparación con la intensidad requerida cuando el avance se lleva a cabo a la misma velocidad acumulativa sin ese tiempo reducido de iluminación activa o radiación), por lo que la dosis total de luz o radiación de otra manera permanece sustancialmente igual. Esto permite más tiempo para que la resina fluya hacia la región de construcción sin intentar curarla al mismo tiempo. La técnica del modo estroboscópico puede aplicarse a cualquiera de los modos de operación generales existentes descritos en la presente descripción anteriormente, incluidos los modos continuo, escalonado y oscilatorio, como se explica más adelante.

La Figura 26A ilustra esquemáticamente una modalidad del modo continuo. En el modo continuo convencional, se proyecta una imagen y el portador comienza a moverse hacia arriba. La imagen se cambia a intervalos para representar la sección transversal del objeto tridimensional que se produce correspondiente a la altura de la plataforma de construcción. La velocidad del movimiento de la plataforma de construcción puede variar por varias razones. Como se ilustra, a menudo hay una zona de la base donde el objetivo principal es adherir el objeto a la plataforma de construcción, una zona del cuerpo que tiene una velocidad que es adecuada para todo el objeto que se produce, y una zona de transición que es una transición gradual de la velocidad y/o dosis de la zona de la base a las velocidades y/o dosis de la zona del cuerpo. Nótese que el curado aún se lleva a cabo de manera que se retiene preferentemente un gradiente de polimerización, que previene la formación de líneas de falla capa por capa, en el líquido polimerizable en la región de construcción, y con el portador (u objeto en crecimiento) restante en contacto líquido con el líquido polimerizable, como se discutió anteriormente.

La Figura 26B ilustra esquemáticamente una modalidad del modo continuo de luz estroboscópica. En el modo continuo estroboscópico, la intensidad de la luz aumenta, pero la imagen se proyecta en destellos cortos o segmentos intermitentes. El aumento de la intensidad permite que la resina se cure más rápidamente, por lo que la cantidad de flujo durante el curado es mínima. El tiempo entre destellos permite que la resina fluya sin curarse al mismo tiempo. Esto puede reducir los problemas ocasionados por tratar de curar la resina en movimiento, tales como los agujeros.

Además, el ciclo de trabajo reducido en la fuente de luz que se logra en el modo estroboscópico puede permitir el uso de un aumento de la energía intermitente. Por ejemplo: Si la intensidad para el modo continuo convencional era 5 mW/cm<sup>2</sup>, la intensidad podría doblarse a 10 mW/cm<sup>2</sup> y el tiempo que se proyecta la imagen podría reducirse a la mitad del tiempo, o la intensidad podría incrementarse 5 veces a 25 mW/cm<sup>2</sup> y el tiempo podría reducirse a 1/5 de la luz anterior en el tiempo.

La Figura 27A ilustra esquemáticamente una modalidad del modo escalonado: En el modo escalonado convencional, una imagen se proyecta mientras la plataforma de construcción está estacionaria (o se mueve lentamente en comparación con un movimiento más rápido entre la iluminación). Cuando un incremento de altura está suficientemente expuesto, la imagen se desactiva y la plataforma de construcción se mueve hacia arriba un cierto incremento. Este movimiento puede realizarse a una velocidad o la velocidad puede variar, por ejemplo, acelerando desde una velocidad lenta cuando el grosor de la resina no curada es delgado a más rápido a medida que el grosor de la resina no curada es más grueso. Una vez que la plataforma de construcción está en la nueva posición, la imagen de la siguiente sección transversal se proyecta para exponer suficientemente el siguiente incremento de altura.

La Figura 27B ilustra esquemáticamente una modalidad del modo escalonado de luz estroboscópica: En el modo escalonado estroboscópico, la intensidad de la luz aumenta y se reduce la cantidad de tiempo que se proyecta la imagen. Esto da más tiempo al flujo de resina, por lo que la velocidad total de la impresión puede reducirse o la velocidad del movimiento puede reducirse. Por ejemplo: Si la intensidad para el modo escalonado convencional era de 5 mW/cm<sup>2</sup> y la

5 plataforma de construcción se mueve en incrementos de 100  $\mu\text{m}$  en 1 segundo y la imagen se proyecta durante 1 segundo, la intensidad podría duplicarse a 10  $\text{mW}/\text{cm}^2$ , el tiempo que se proyecta la imagen podría reducirse a 0,5 segundos, y la velocidad de movimiento podría reducirse a 50  $\mu\text{m}/\text{segundo}$ , o el tiempo que la plataforma se mueve podría reducirse a 0,5 segundos. El aumento de intensidad podría ser de hasta 5 veces o más, lo que permite que el tiempo asignado para la proyección de la imagen se reduzca a 1/5 o menos.

10 La Figura 28A ilustra esquemáticamente una modalidad del modo oscilatorio: En el modo oscilatorio, una imagen se proyecta nuevamente mientras la plataforma de construcción está estacionaria (o se mueve lentamente en comparación con un movimiento más rápido entre las iluminaciones). Cuando se cura un incremento de altura, la imagen se desactiva y la plataforma de construcción se mueve hacia arriba para tirar resina adicional a la zona de construcción y luego se baja de nuevo al siguiente incremento de altura por encima de la última altura curada. Este movimiento puede realizarse a una velocidad o la velocidad puede variar, por ejemplo, acelerando desde una velocidad lenta cuando el grosor de la resina no curada es delgado a más rápido a medida que el grosor de la resina no curada es más grueso. Una vez que la plataforma de construcción está en la nueva posición, la imagen de la siguiente sección transversal se proyecta para curar el siguiente incremento de altura.

20 La Figura 28B ilustra una modalidad del modo oscilatorio estroboscópico. En el modo oscilatorio estroboscópico, la intensidad de la luz aumenta y se reduce la cantidad de tiempo que se proyecta la imagen. Esto da más tiempo al flujo de resina, por lo que la velocidad total de la impresión puede reducirse o la velocidad del movimiento puede reducirse. Por ejemplo: Si la intensidad para el modo oscilatorio convencional era 5  $\text{mW}/\text{cm}^2$  y la plataforma de construcción sube 1 mm y retrocede hasta un incremento de 100  $\mu\text{m}$  por encima de la altura anterior en 1 segundo y la imagen se proyecta durante 1 segundo, la intensidad podría duplicarse a 10  $\text{mW}/\text{cm}^2$ , el tiempo que se proyecta la imagen podría reducirse a 0,5 segundos, y la velocidad de movimiento podría reducirse a la mitad o el tiempo que la plataforma se mueve podría reducirse a 0,5 segundos. El aumento de intensidad podría ser de hasta 5 veces o más, lo que permite que el tiempo asignado para la proyección de la imagen se reduzca a 1/5 o menos. El segmento "A" de la Figura 29 se discute más adelante.

30 La Figura 29A ilustra un segmento de un método de fabricación operado en otra modalidad del modo oscilatorio estroboscópico. En esta modalidad, la duración del segmento durante el cual el portador es estático se acorta para cerrar el de la duración de la iluminación estroboscópica, de manera que la duración del segmento oscilatorio puede alargarse, si se desea, sin cambiar la velocidad de avance acumulativa y la velocidad de fabricación.

35 La Figura 29B ilustra un segmento de otra modalidad del modo oscilatorio estroboscópico, similar al de la Figura 29, excepto que el portador avanza ahora durante el segmento de iluminación (relativamente lento, en comparación con la carrera ascendente del segmento oscilatorio).

#### Ejemplo 15

##### Variación de los parámetros del proceso durante la fabricación

40 En los métodos del Ejemplo 13-14, las condiciones operativas durante la zona del cuerpo se muestran constantes en toda la zona. Sin embargo, varios parámetros pueden alterarse o modificarse en el curso de la zona del cuerpo, como se explica más adelante.

45 Una razón principal para alterar un parámetro durante la producción serían las variaciones en la geometría de la sección transversal del objeto tridimensional; es decir, segmentos o porciones más pequeñas (más fáciles de llenar) y más grandes (más difíciles de llenar) del mismo objeto tridimensional. Para segmentos más fáciles de llenar (*por ejemplo*, equivalentes de 1 a 5 mm de diámetro), la velocidad de movimiento hacia arriba podría ser rápida (hasta 50-1000  $\text{m}/\text{h}$ ) y/o la altura de la bomba podría ser mínima (*por ejemplo*, tan poco como 100 a 300  $\mu\text{m}$ ). Para segmentos de sección transversal más grande (*por ejemplo*, equivalentes a 5-500 mm de diámetro) la velocidad de movimiento ascendente puede ser más lenta (*por ejemplo*, 1-50  $\text{mm}/\text{h}$ ) y/o la altura de la bomba puede ser mayor (*por ejemplo*, 500 a 5000  $\mu\text{m}$ ). Los parámetros particulares variarán, por supuesto, en dependencia de factores tales como la intensidad de la iluminación, el líquido polimerizable particular (incluidos los constituyentes del mismo, tales como las concentraciones de colorante y relleno), la superficie de construcción particular empleada, etc.

55 En algunas modalidades, la dosis de luz total (determinada por el tiempo y la intensidad) puede reducirse a medida que aumenta el volumen de la sección transversal que se ilumina. Dicho de otra manera, los puntos pequeños de luz pueden necesitar una dosis más alta por unidad que las áreas más grandes de luz. Sin desear estar asociado a ninguna teoría específica, esto puede relacionarse con la cinemática química del líquido polimerizable. Este efecto podría hacer que se *incremente* la dosis de luz total para equivalentes de diámetros de sección transversal *más pequeña*.

60 En algunas modalidades, puede variarse el grosor de cada incremento de altura entre etapas o bombas. Esto podría ser aumentar la velocidad con requisitos de resolución disminuidos (es decir, fabricar una porción que requiere menos precisión o permite una mayor variabilidad, en comparación con una parte del objeto que requiere una mayor precisión o requiere tolerancias más precisas o estrechas). Por ejemplo, uno podría cambiar de incrementos de 100  $\mu\text{m}$  a incrementos

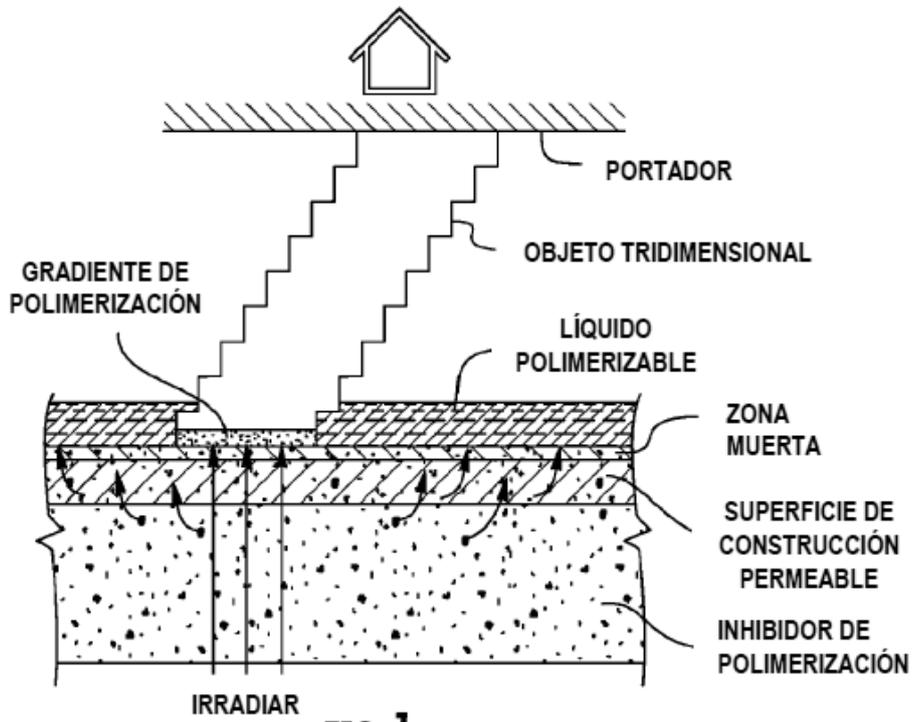
de 200 um o 400 um y agrupar todo el curado para el grosor incrementado en un período de tiempo. Este período de tiempo puede ser más corto, igual o más largo que el tiempo combinado para los incrementos equivalentes más pequeños.

- 5 En algunas modalidades, la dosis de luz (tiempo y/o intensidad) suministrada podría variarse en secciones transversales particulares (regiones verticales del objeto) o incluso en áreas diferentes dentro de la misma sección transversal o región vertical. Esto podría ser variar la rigidez o densidad de geometrías particulares. Esto puede lograrse, por ejemplo, cambiando la dosis en diferentes incrementos de altura o cambiando el porcentaje en escala de grises de diferentes zonas de cada iluminación de incremento de altura.
- 10 Lo anterior es ilustrativo de la presente invención, y no debe interpretarse como limitante de la misma. La invención se define por las siguientes reivindicaciones, con equivalentes de las reivindicaciones a incluir en las mismas.

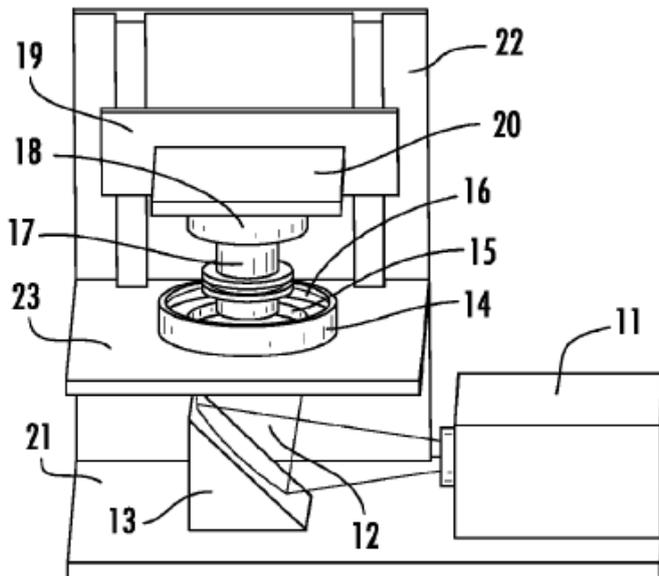
## Reivindicaciones

1. Un método para formar un objeto tridimensional (17) comprende:  
 proporcionar un portador (18) y un miembro ópticamente transparente que tiene una superficie de construcción (15), dicho portador (18) y dicha superficie de construcción (15) definen una región de construcción entre ellos; llenar dicha región de construcción con un líquido polimerizable (16), irradiar de forma continua o intermitente dicha región de construcción con luz a través de dicho miembro ópticamente transparente para formar un polímero sólido a partir de dicho líquido polimerizable (16), hacer avanzar de forma continua o intermitente dicho portador (18) lejos de dicha superficie de construcción (15) para formar dicho objeto tridimensional (17) a partir de dicho polímero sólido, dicha etapa de llenado comprende además reciprocarse verticalmente dicho portador (18) con respecto a dicha superficie de construcción (15) para mejorar o acelerar el llenado de dicha región de construcción con dicho líquido polimerizable (16), caracterizado porque  
 dichas etapas de llenado, irradiación y/o avance se llevan a cabo al mismo tiempo que:  
 (i) se mantiene continuamente una zona muerta de líquido polimerizable (16) en contacto con dicha superficie de construcción (15), y  
 (ii) se mantiene continuamente un gradiente de la zona de polimerización entre dicha zona muerta y dicho polímero sólido y en contacto con cada uno de ellos, dicho gradiente de la zona de polimerización comprende dicho líquido polimerizable (16) en forma parcialmente curada.
2. El método de la reivindicación 1, en donde dicho miembro ópticamente transparente comprende un miembro semipermeable, y dicho mantenimiento continuo de una zona muerta se lleva a cabo al alimentar un inhibidor de polimerización a través de dicho miembro ópticamente transparente en una cantidad suficiente para mantener dicha zona muerta y dicho gradiente de la zona de polimerización.
3. El método de la reivindicación 2, en donde dicho miembro ópticamente transparente está compuesto por un fluoropolímero.
4. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde dicha etapa verticalmente recíproca se lleva a cabo mediante el movimiento de dicho portador (18) solo.
5. El método de la reivindicación 1 a 3, en donde dicha etapa verticalmente recíproca se lleva a cabo mediante el movimiento combinado de dicho portador (18) y dicha superficie de construcción (15).
6. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde dicha irradiación es irradiación intermitente, y dicha irradiación intermitente es (a) sincronizada con dicha reciprocidad vertical, o (b) no sincronizada con dicha reciprocidad vertical.
7. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde dicha etapa verticalmente recíproca comprende una carrera ascendente y una carrera descendente, con la distancia de dicha carrera ascendente mayor que la distancia de dicha carrera descendente, para llevar a cabo simultáneamente dicha etapa de avance en parte o en su totalidad.
8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde dicha etapa verticalmente recíproca comprende una carrera ascendente, y en donde la velocidad de dicha carrera ascendente acelera durante un período de tiempo durante dicha carrera ascendente.
9. El método de la reivindicación 8, en donde dicha carrera ascendente comienza gradualmente.
10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde dicha etapa verticalmente recíproca comprende una carrera descendente, y en donde la velocidad de dicha carrera descendente desacelera durante un período de tiempo durante dicha carrera descendente.
11. El método de la reivindicación 10, en donde dicha carrera descendente termina gradualmente.
12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde dicha etapa verticalmente recíproca se lleva a cabo durante un tiempo total de 0,01 a 10 segundos, y/o sobre una distancia de desplazamiento hacia arriba de 0,02 milímetros a 10 milímetros.
13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde dicha etapa de avance se lleva a cabo intermitentemente a una velocidad de 1 avance individual por minuto hasta 1000 avances individuales por minuto, cada uno seguido por una pausa durante la cual se lleva a cabo una irradiación.
14. El método de la reivindicación 13, en donde cada uno de dichos avances individuales se lleva a cabo sobre una distancia promedio de desplazamiento para cada avance de 10 micras a 200 micras.

15. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde dicha superficie de construcción (15) es fija y estacionaria en las dimensiones laterales (X e Y).
- 5 16. Un aparato para formar un objeto tridimensional (17) a partir de un líquido polimerizable (16) comprende:
- (a) un soporte (20);
- (b) un portador (18) asociado operativamente con dicho soporte (20), sobre dicho portador (18) se forma dicho objeto tridimensional (17);
- 10 (c) un miembro ópticamente transparente que tiene una superficie de construcción (15), con dicha superficie de construcción (15) y dicho portador (18) que definen una región de construcción entre ellos;
- (d) un suministro de polímero líquido asociado operativamente con dicha superficie de construcción (15) y configurado para suministrar polímero líquido (16) en dicha región de construcción para la solidificación o polimerización;
- 15 (e) una fuente de radiación (11) configurada para irradiar dicha región de construcción a través de dicho miembro ópticamente transparente para formar un polímero sólido a partir de dicho líquido polimerizable (16);
- (f) opcionalmente al menos un accionamiento (19) asociado operativamente con dicho miembro transparente o dicho portador (18);
- 20 (g) un controlador asociado operativamente con dicho portador (18), y opcionalmente dicho al menos un accionamiento (19), y dicha fuente de radiación (11) para hacer avanzar dicho portador (18) lejos de dicha superficie de construcción (15) para formar dicho objeto tridimensional (17) a partir de dicho polímero sólido, dicho controlador se configura además para reciprocar dicho portador (18) verticalmente con respecto a dicha superficie de construcción (15) para mejorar o acelerar el llenado de dicha región de construcción con dicho líquido polimerizable (16),
- 25 caracterizado porque dicho controlador se configura además para formar dicho objeto tridimensional (17) a partir de dicho polímero sólido mientras que también simultáneamente con el suministro de polímero líquido (16), el avance del portador (18) y/o la irradiación de la región de construcción: (i) mantiene continuamente una zona muerta de líquido polimerizable en contacto con dicha superficie de construcción (15), y (ii) mantiene continuamente un gradiente de la zona de polimerización entre dicha zona muerta y dicho polímero sólido y en contacto con cada una de ellas, dicho gradiente de la zona de polimerización comprende dicho líquido polimerizable (16) en forma parcialmente curada.
- 30
17. El aparato de la reivindicación 16, en donde dicho miembro ópticamente transparente comprende un miembro semipermeable.
- 35 18. El aparato de la reivindicación 17, en donde dicho miembro semipermeable está compuesto de un fluoropolímero.



**FIG. 1**



**FIG. 2**

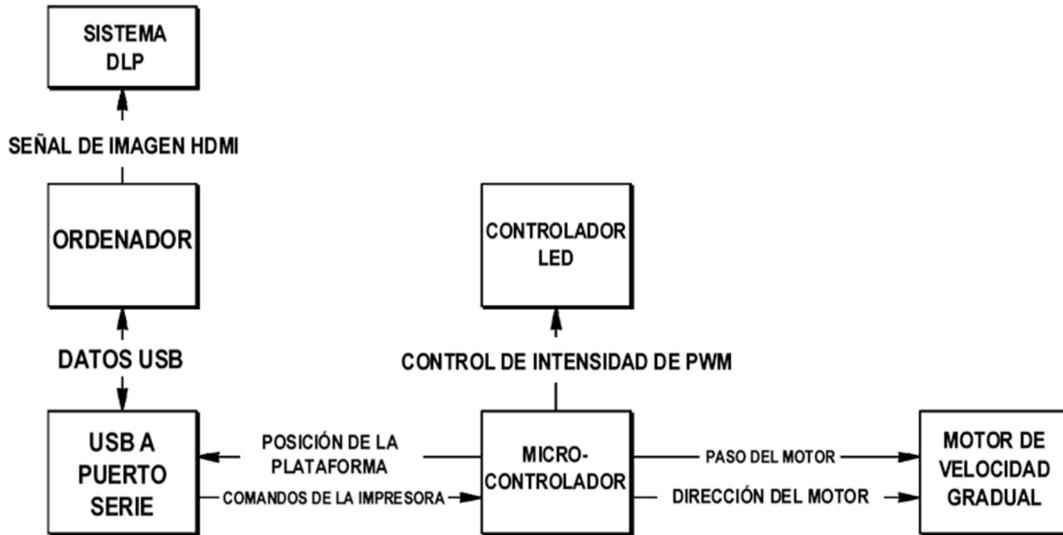


FIG. 3

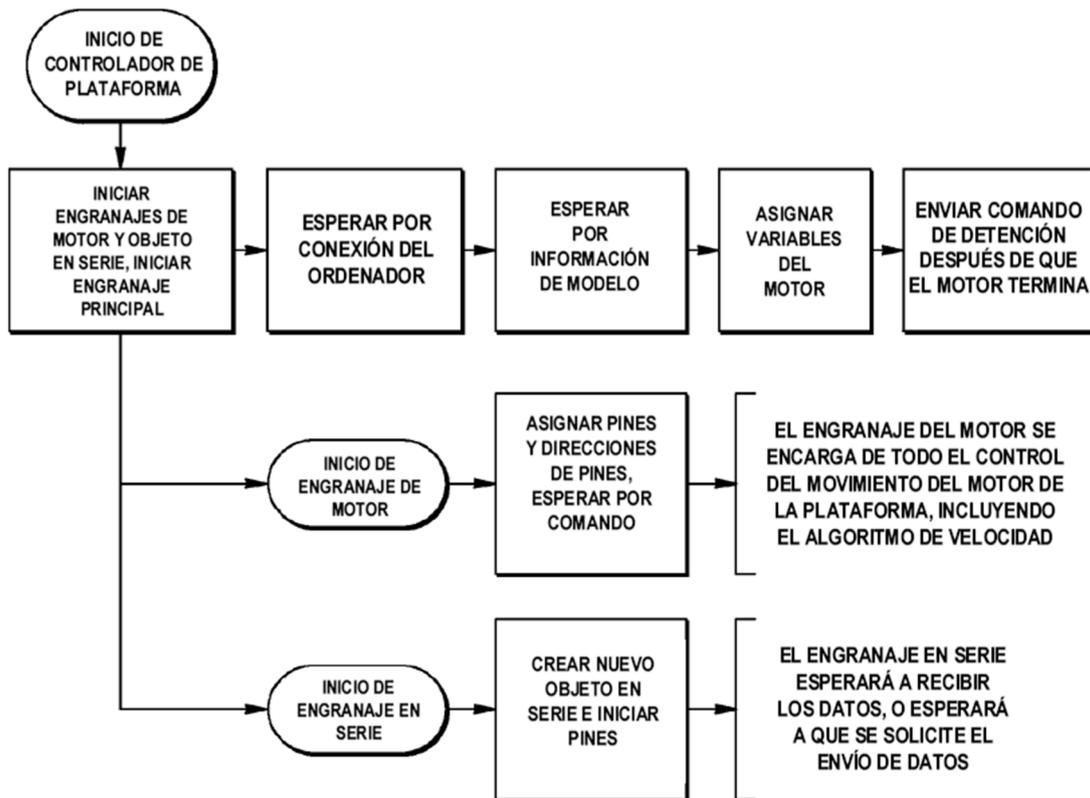


FIG. 4

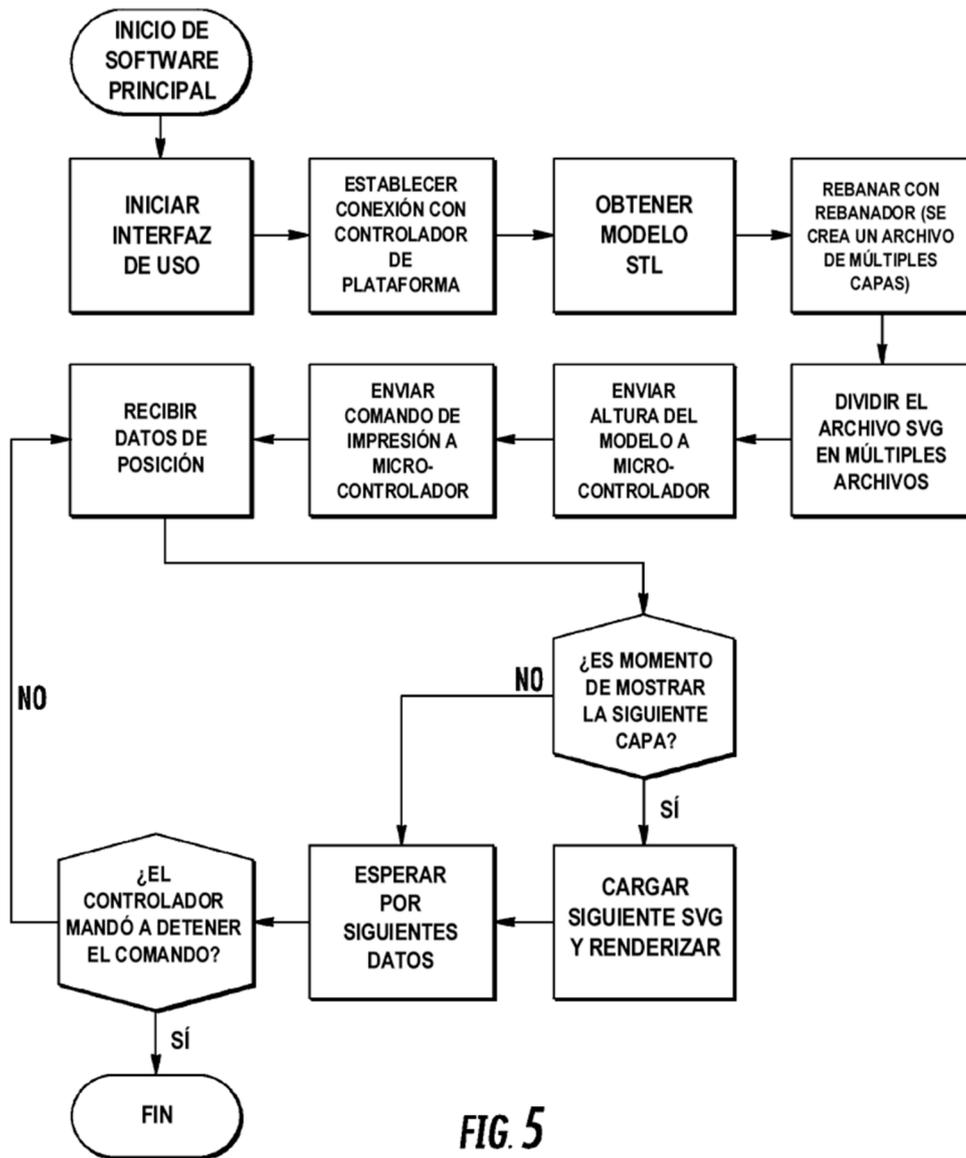
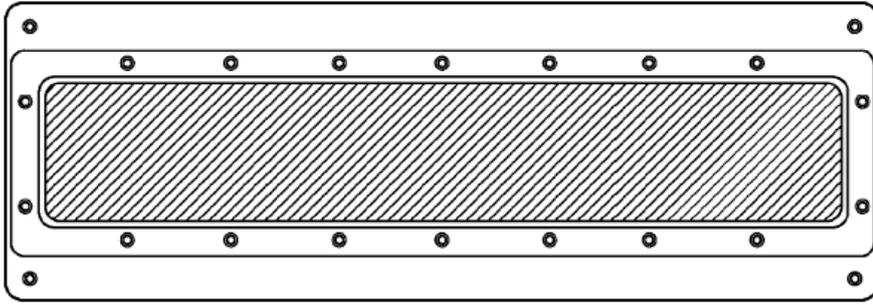
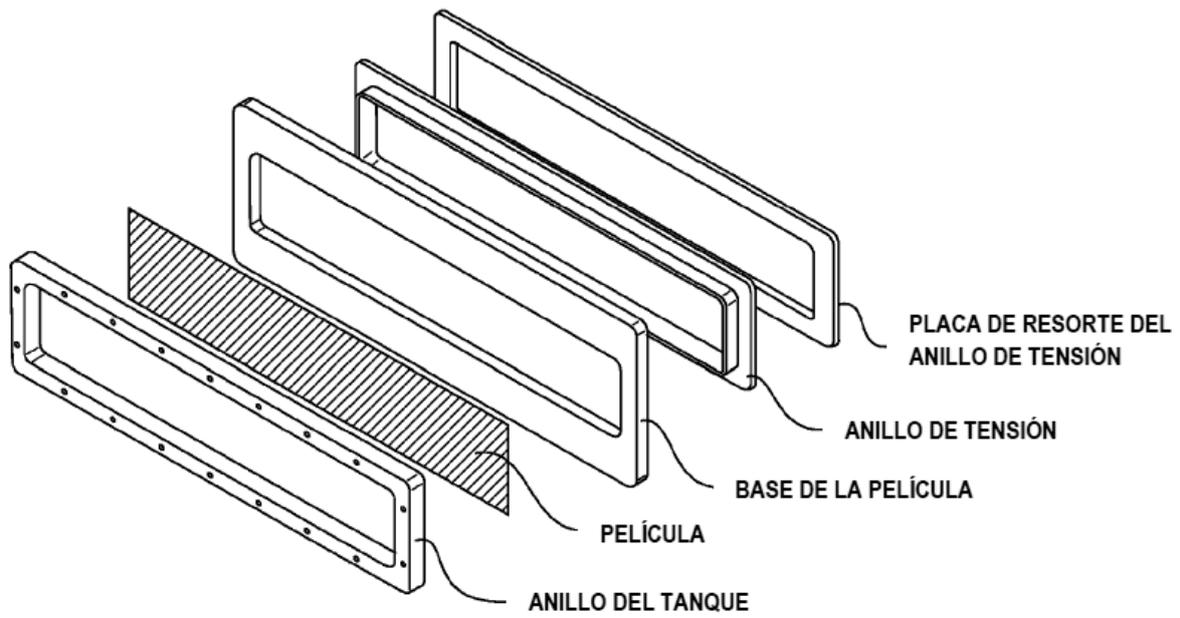


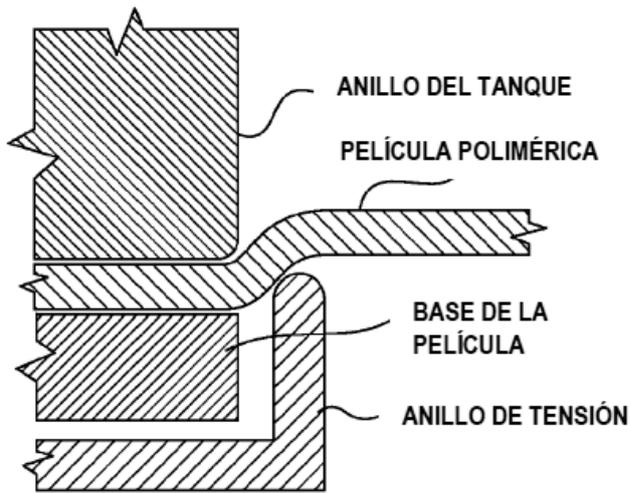
FIG. 5



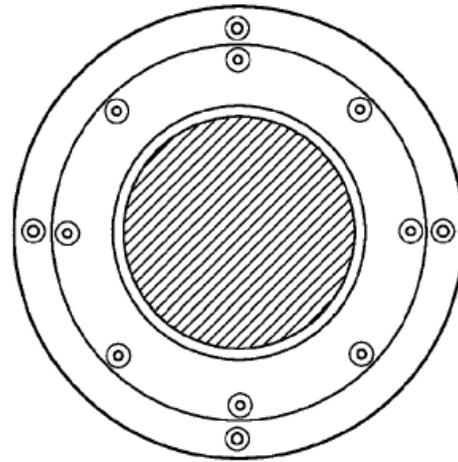
**FIG. 6**



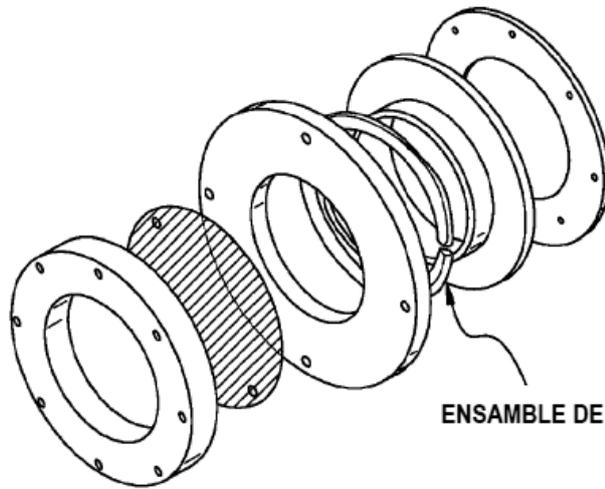
**FIG. 7**



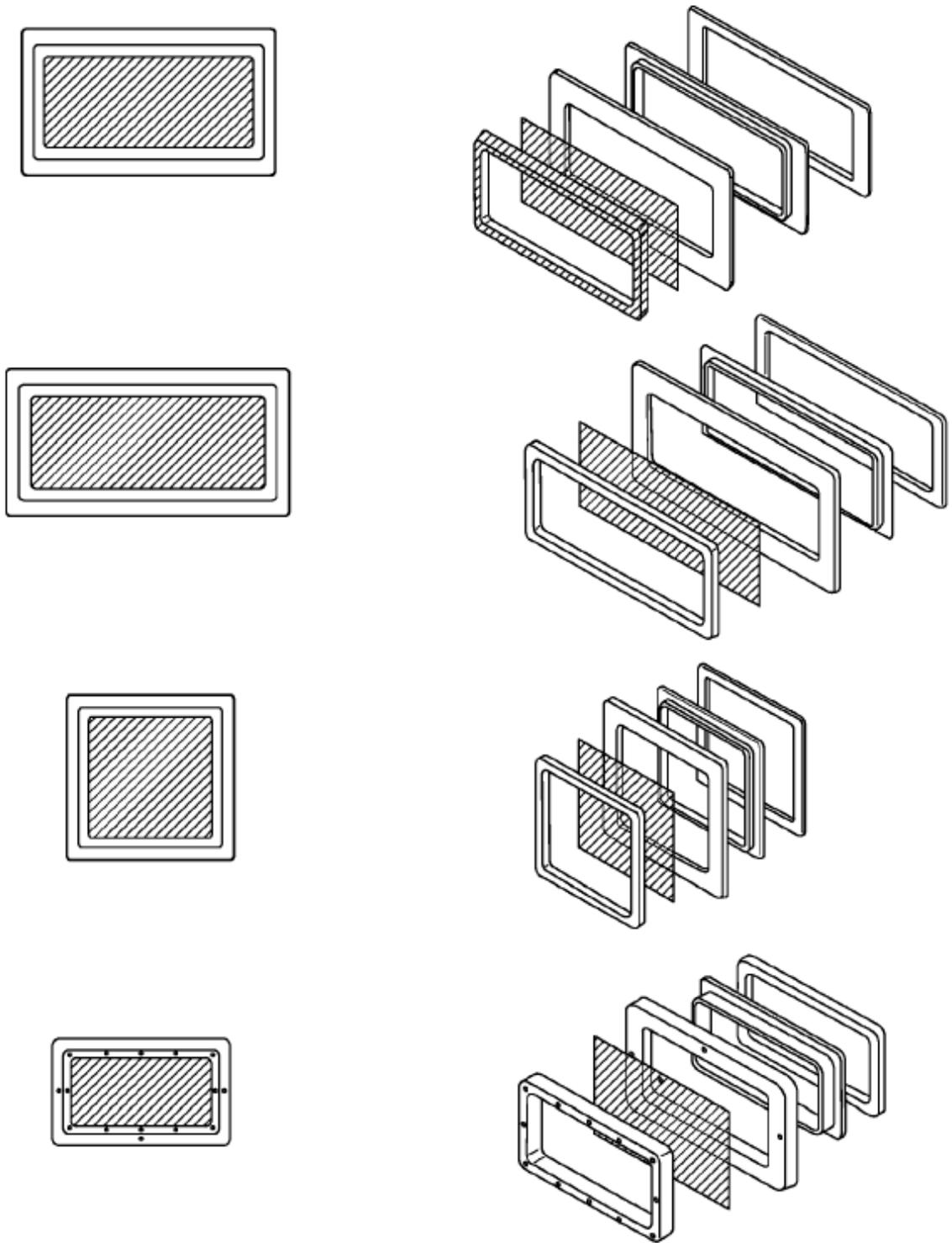
**FIG. 8**



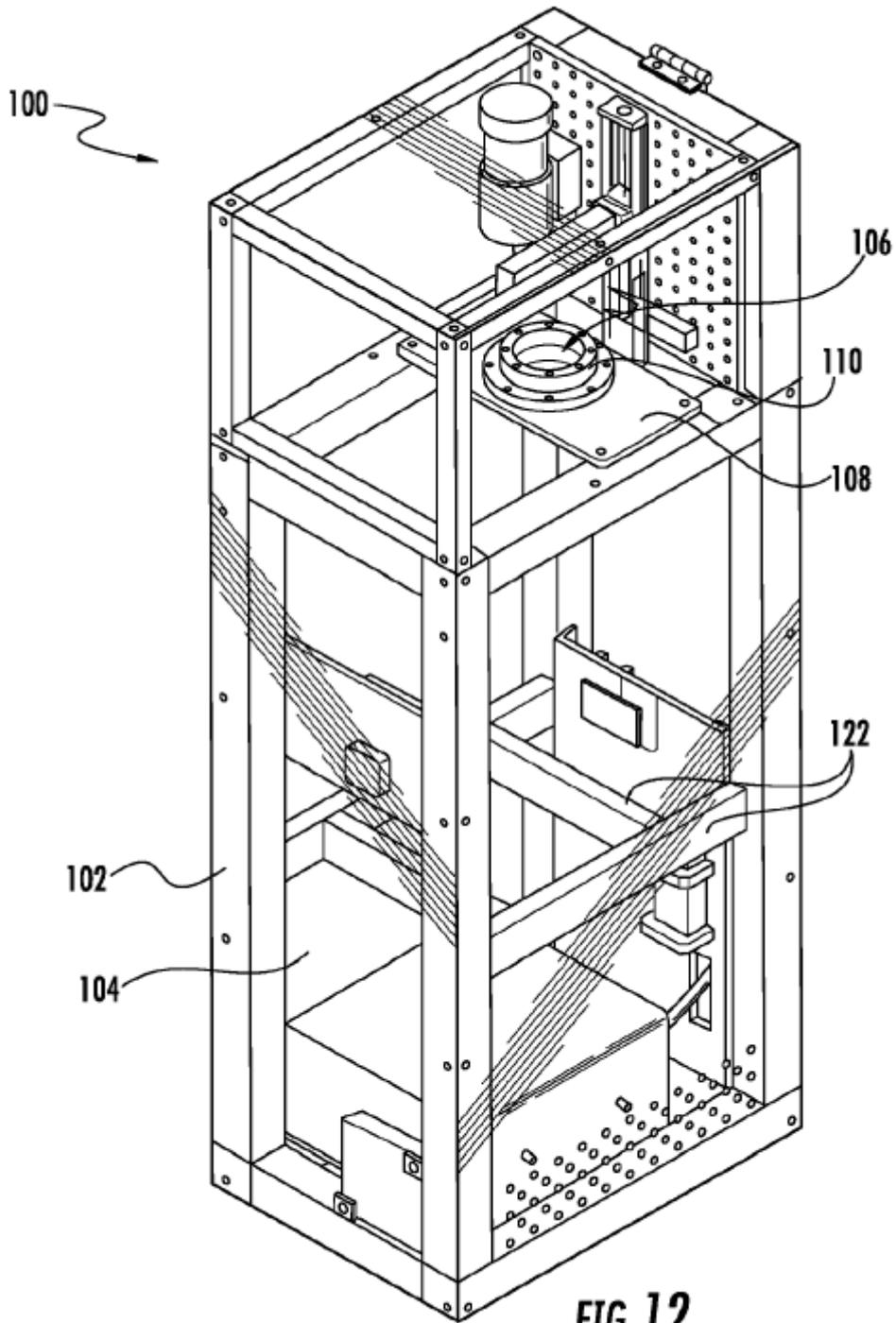
**FIG. 9**

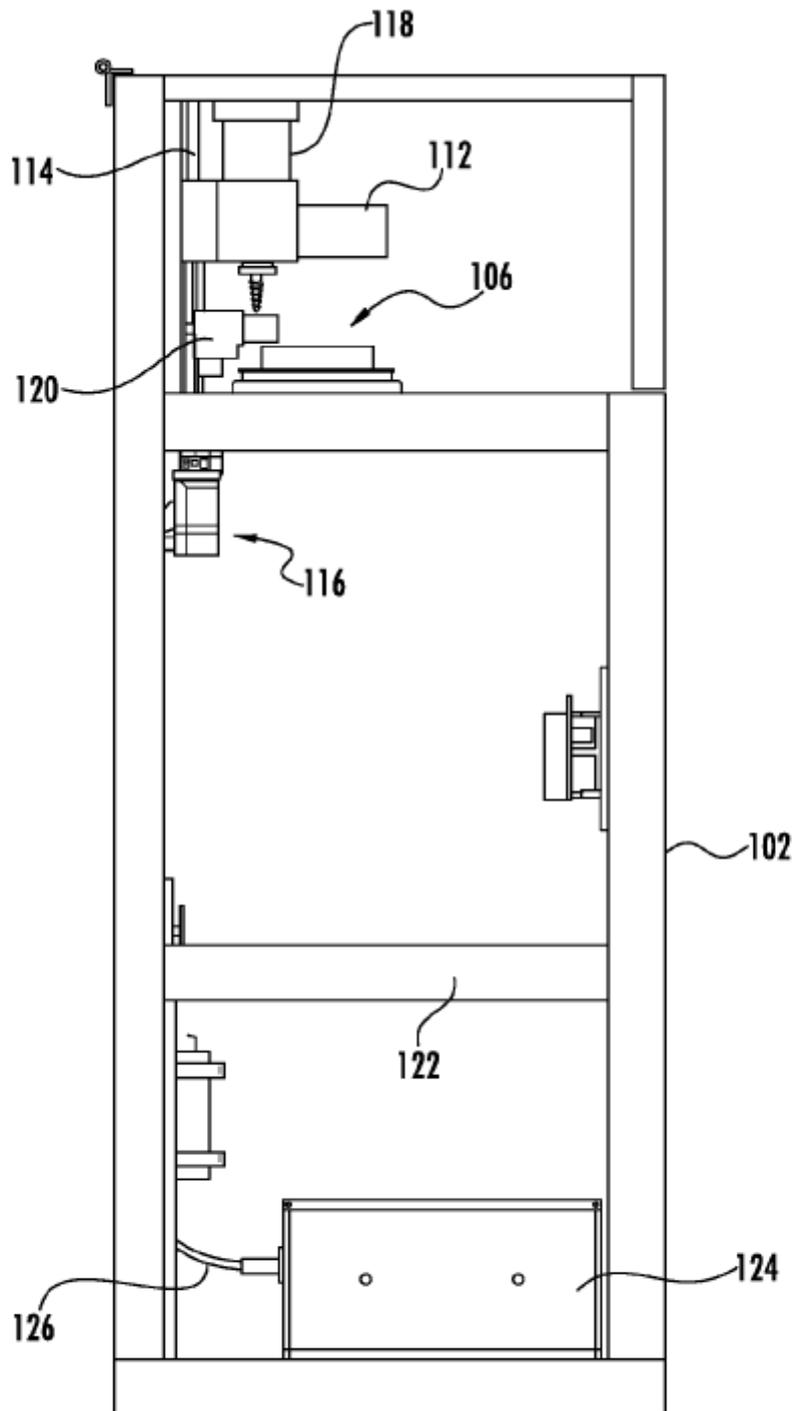


**FIG. 10**

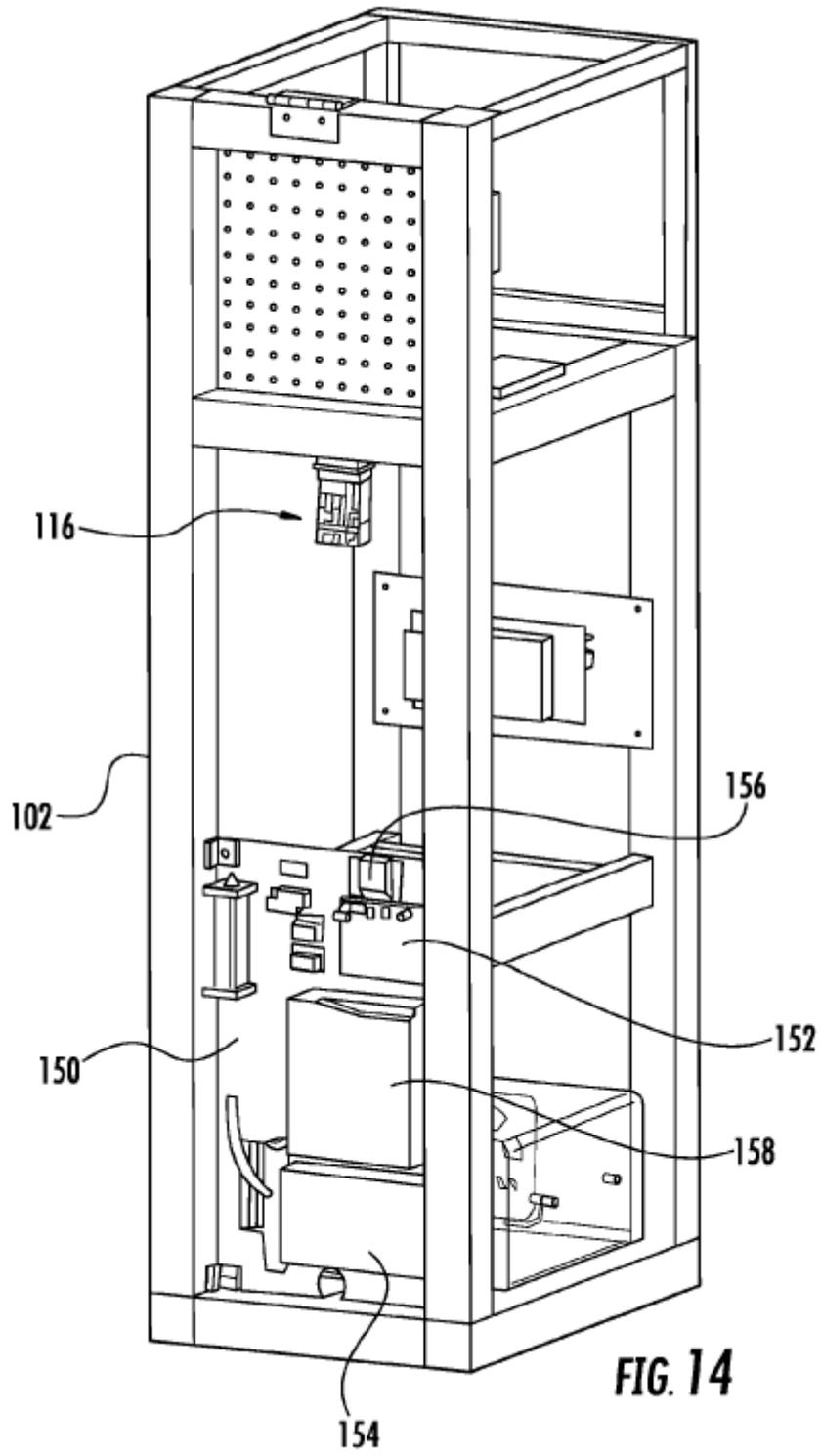


**FIG. 11**





**FIG. 13**



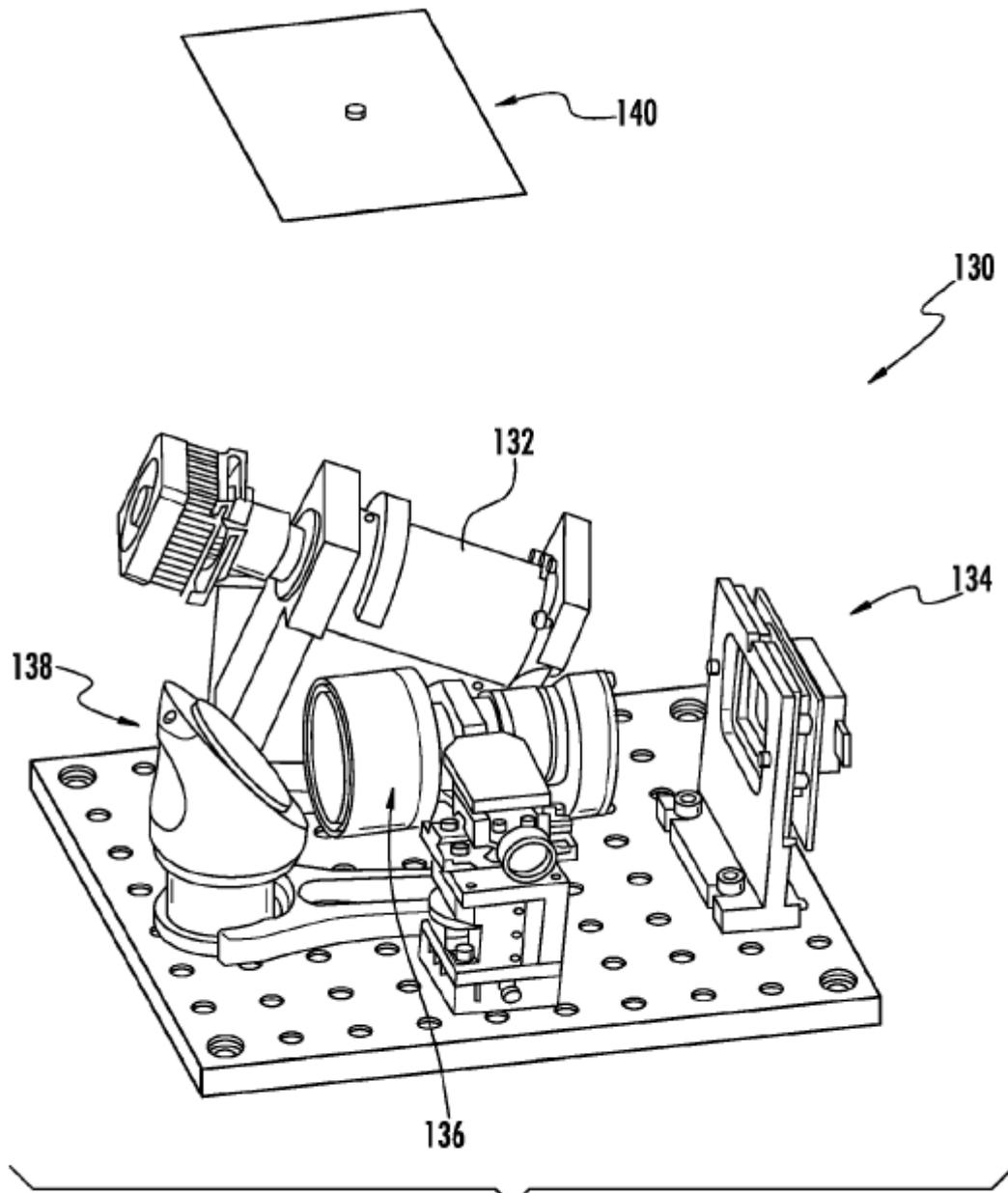
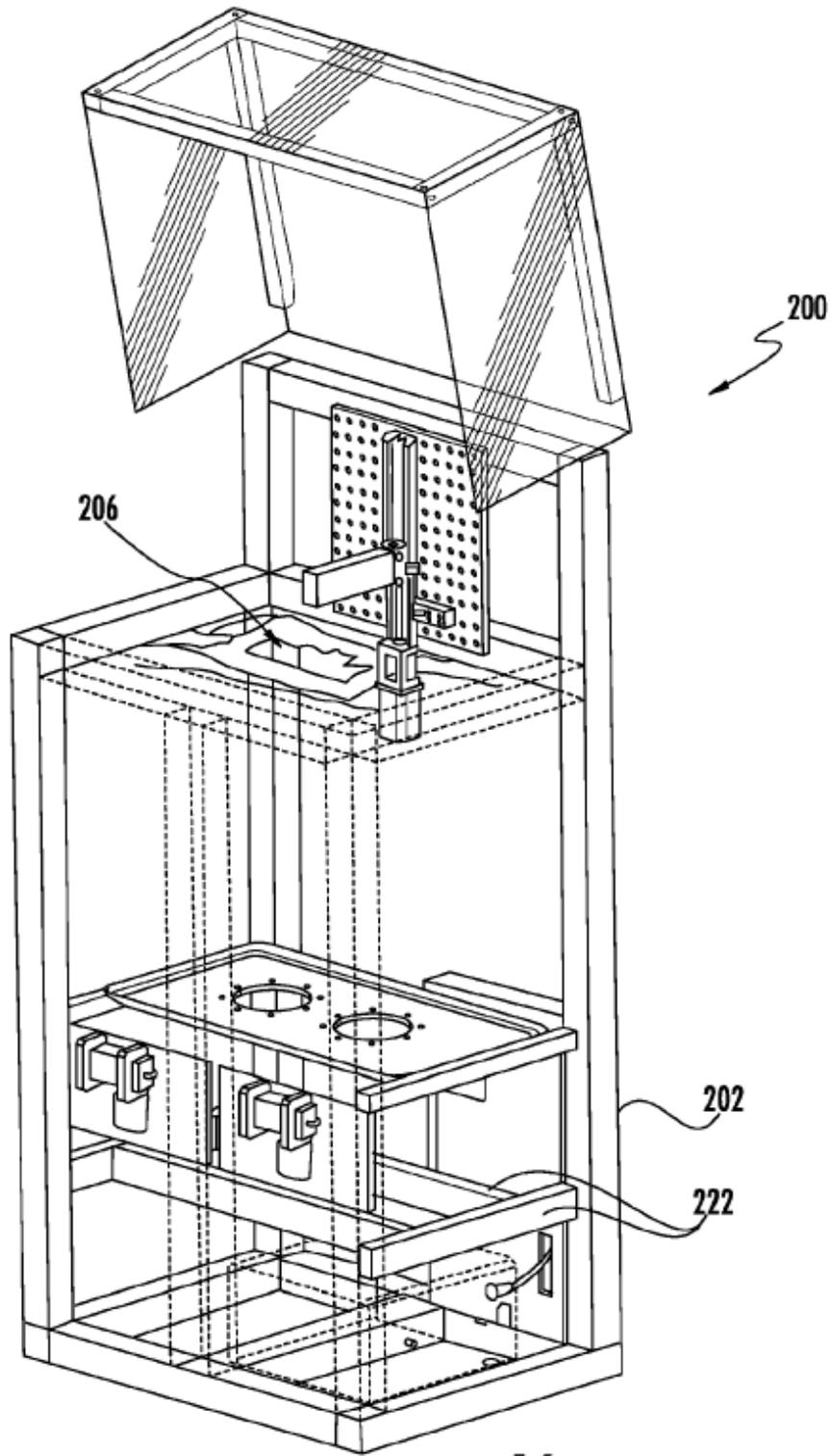
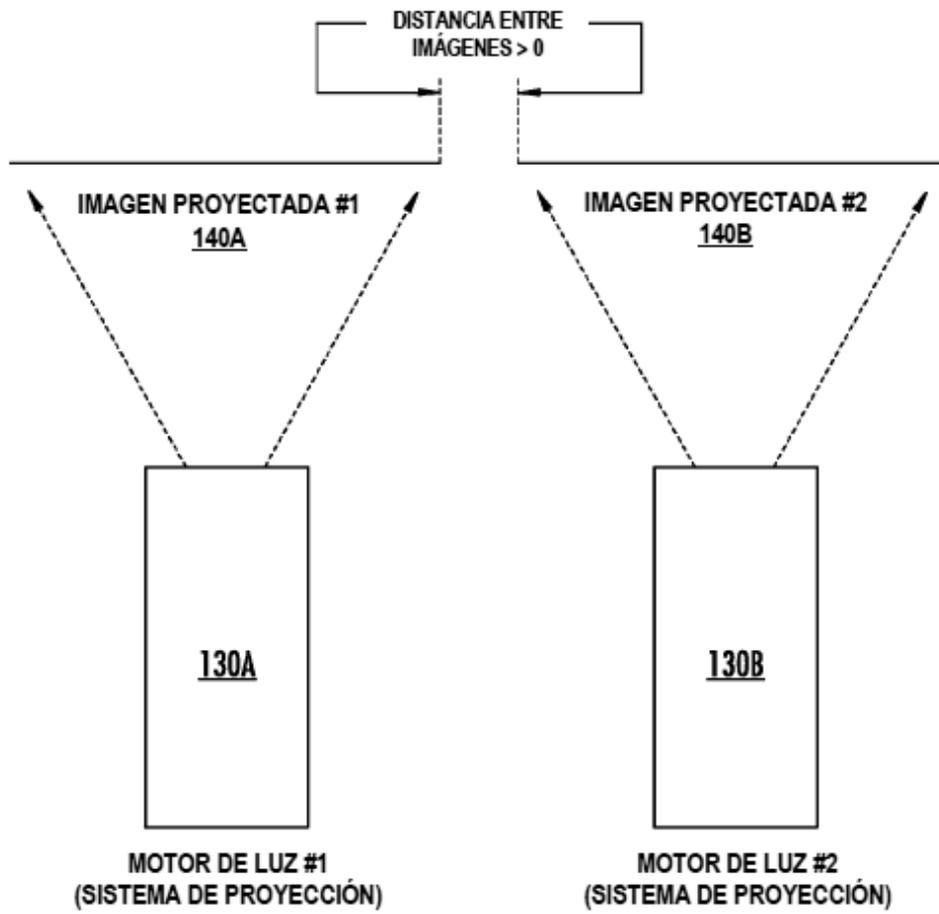


FIG. 15



**FIG. 16**

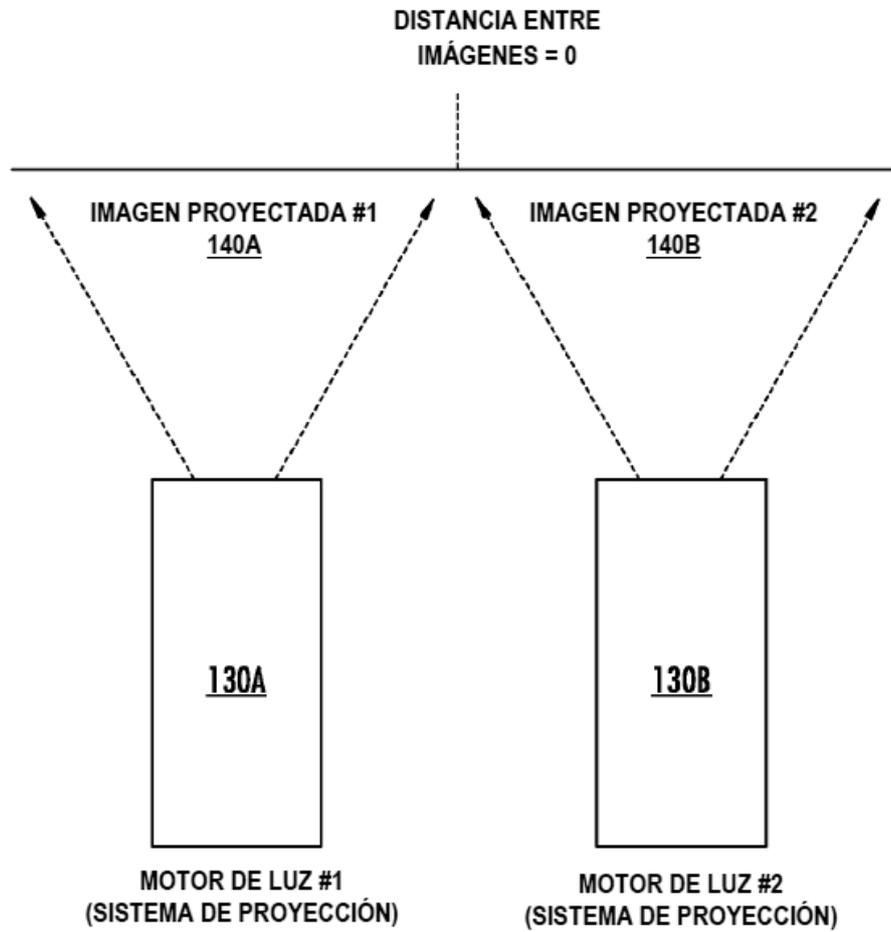
ESCENARIO DE DISPOSICIÓN EN MOSAICO #1: ESPACIO ENTRE IMÁGENES



VISTA LATERAL DE DOS MOTORES DE LUZ

**FIG. 17A**

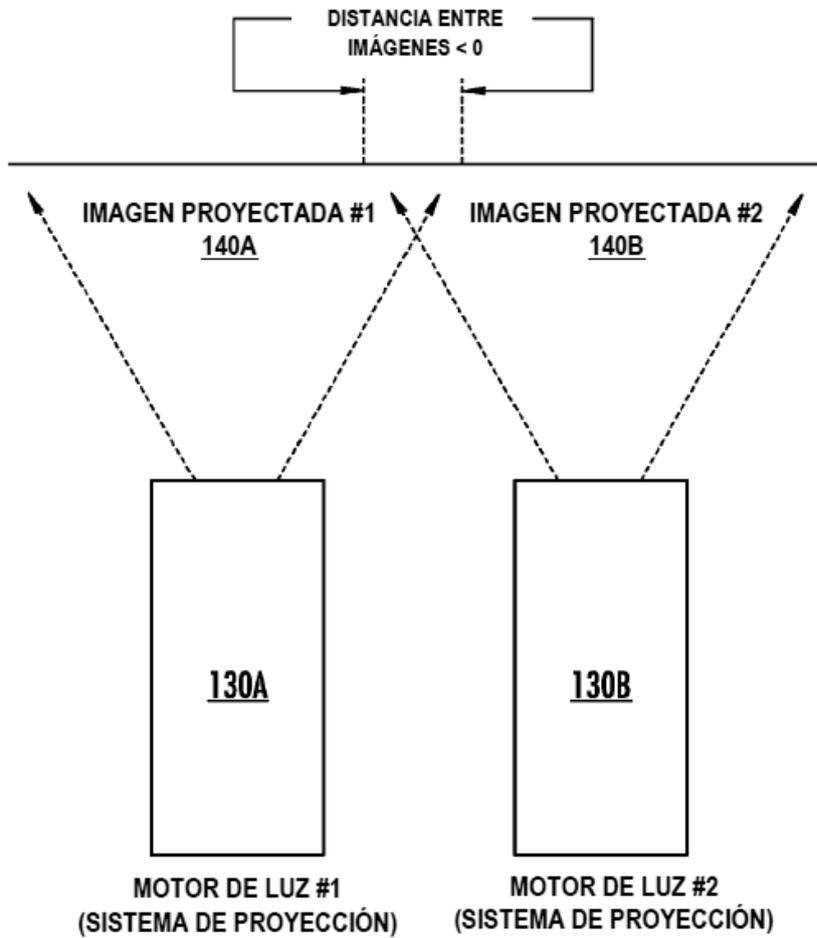
ESCENARIO DE DISPOSICIÓN EN MOSAICO #2: SIN ESPACIO ENTRE IMÁGENES



VISTA LATERAL DE DOS MOTORES DE LUZ

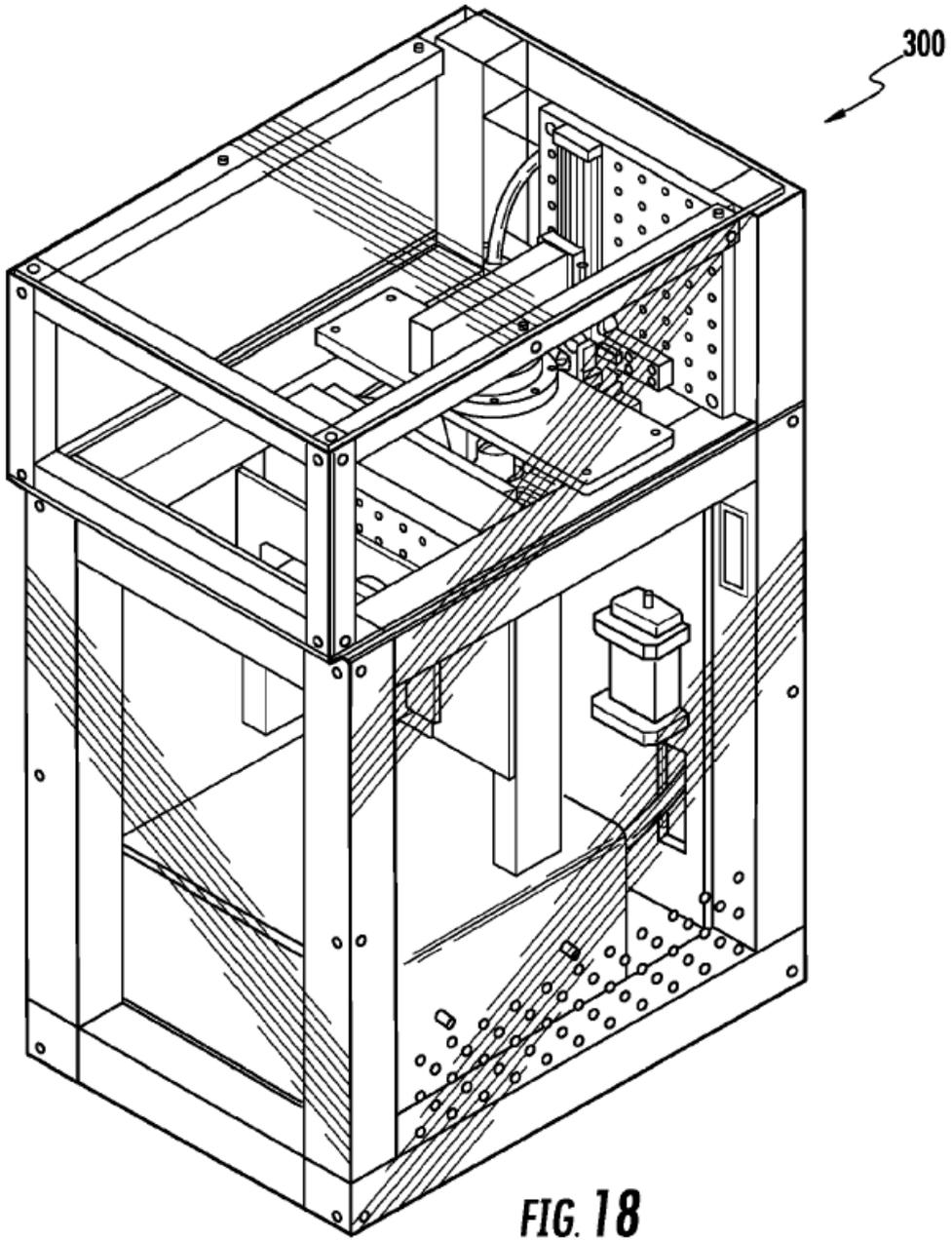
**FIG. 17B**

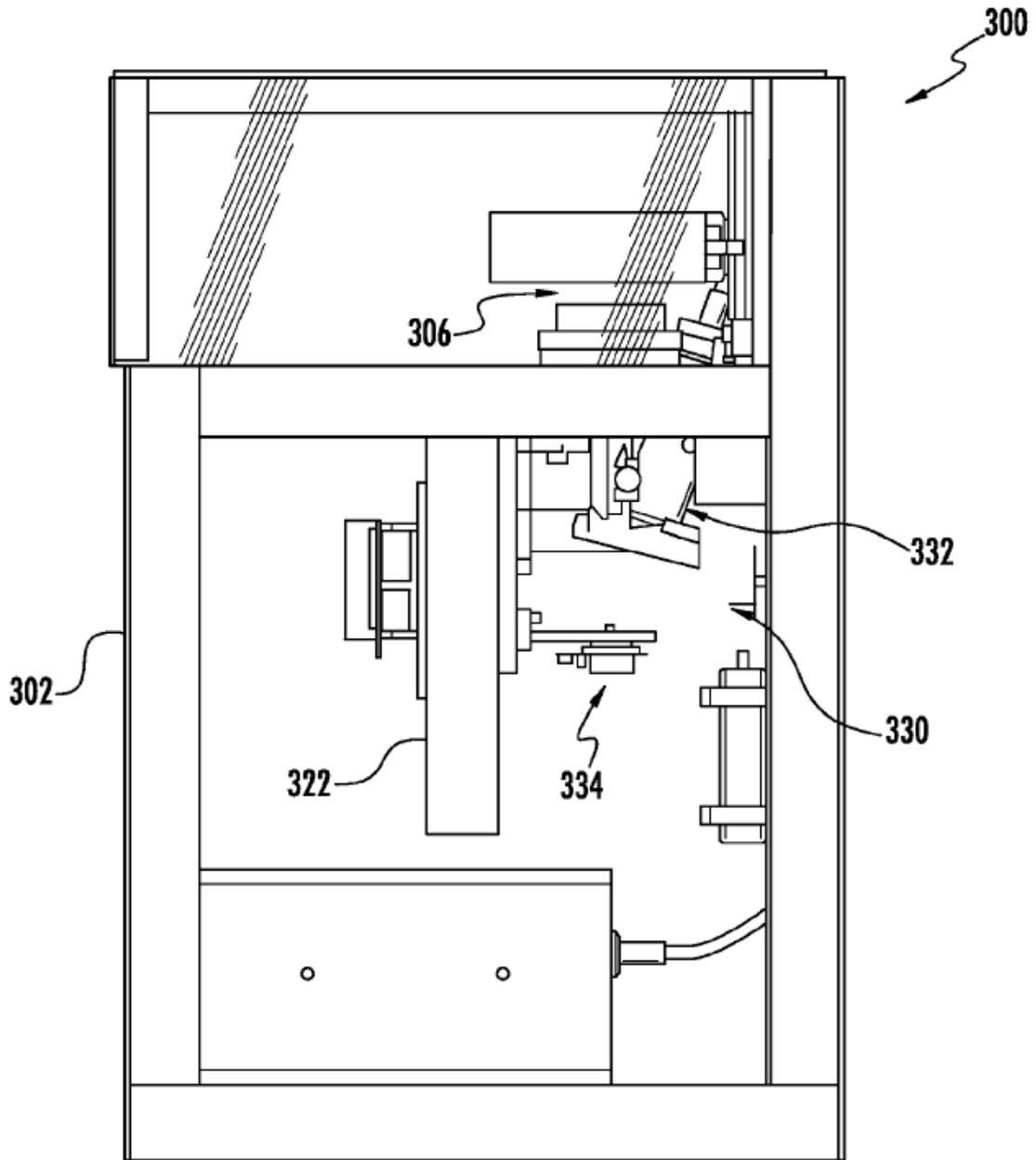
ESCENARIO DE DISPOSICIÓN EN MOSAICO #3: ESPACIO ENTRE IMÁGENES



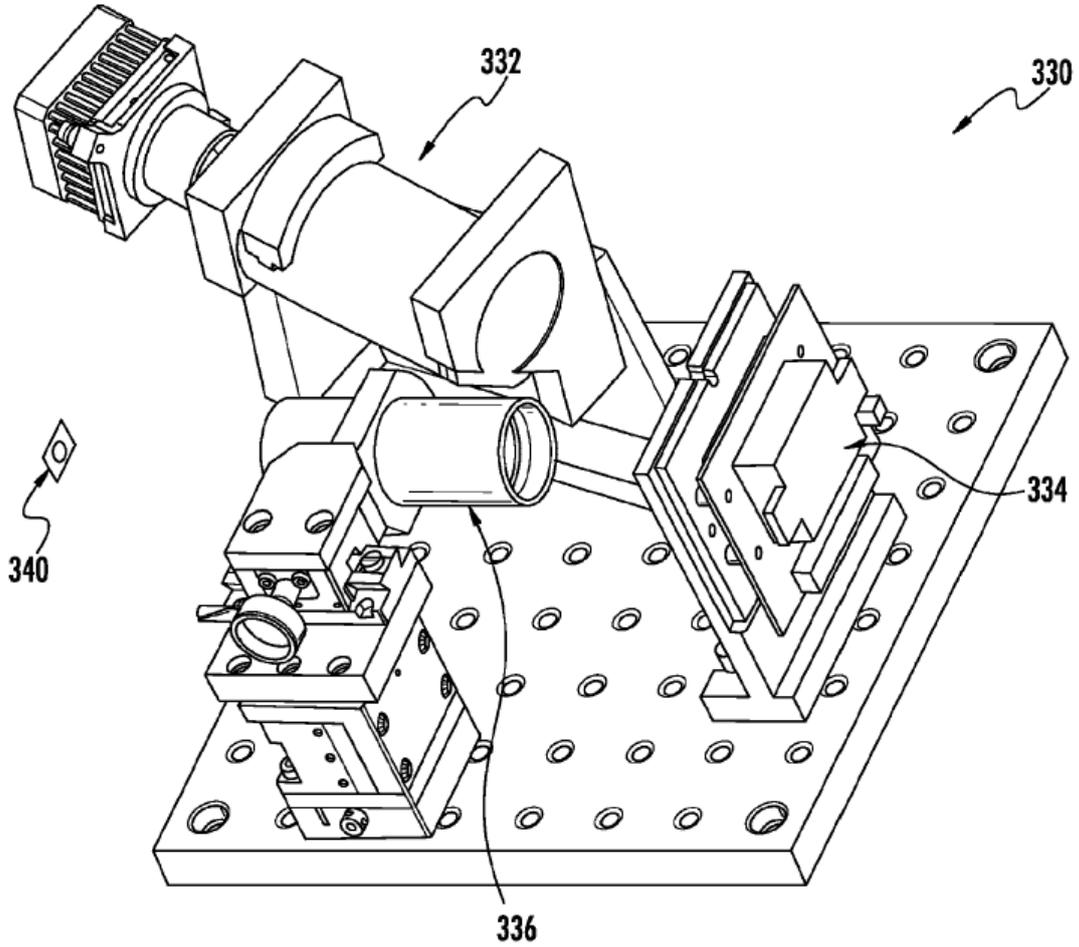
VISTA LATERAL DE DOS MOTORES DE LUZ

**FIG. 17C**

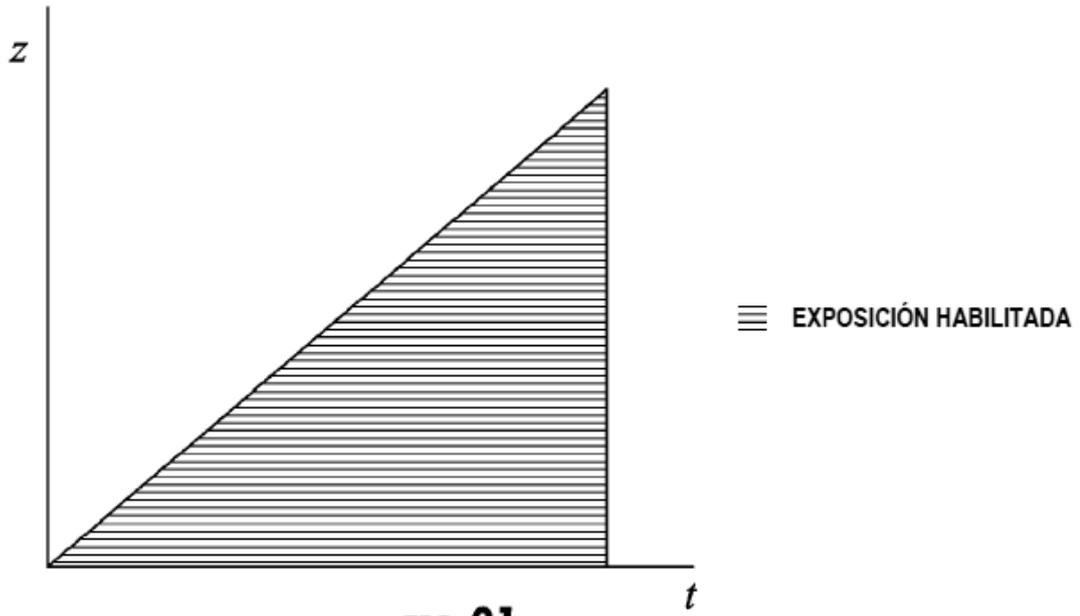




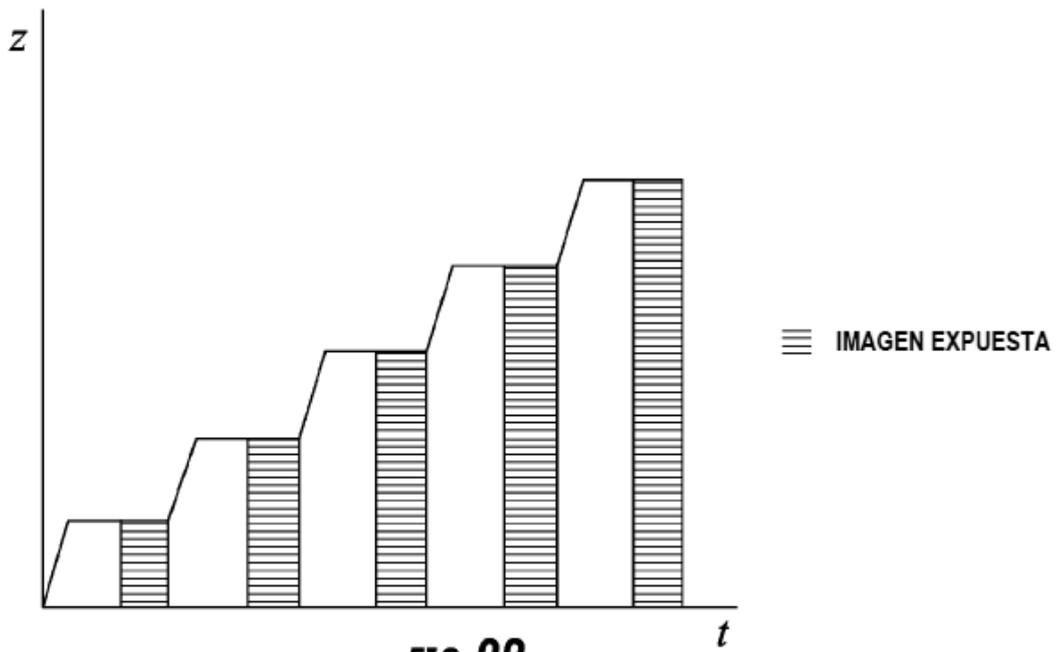
**FIG. 19**



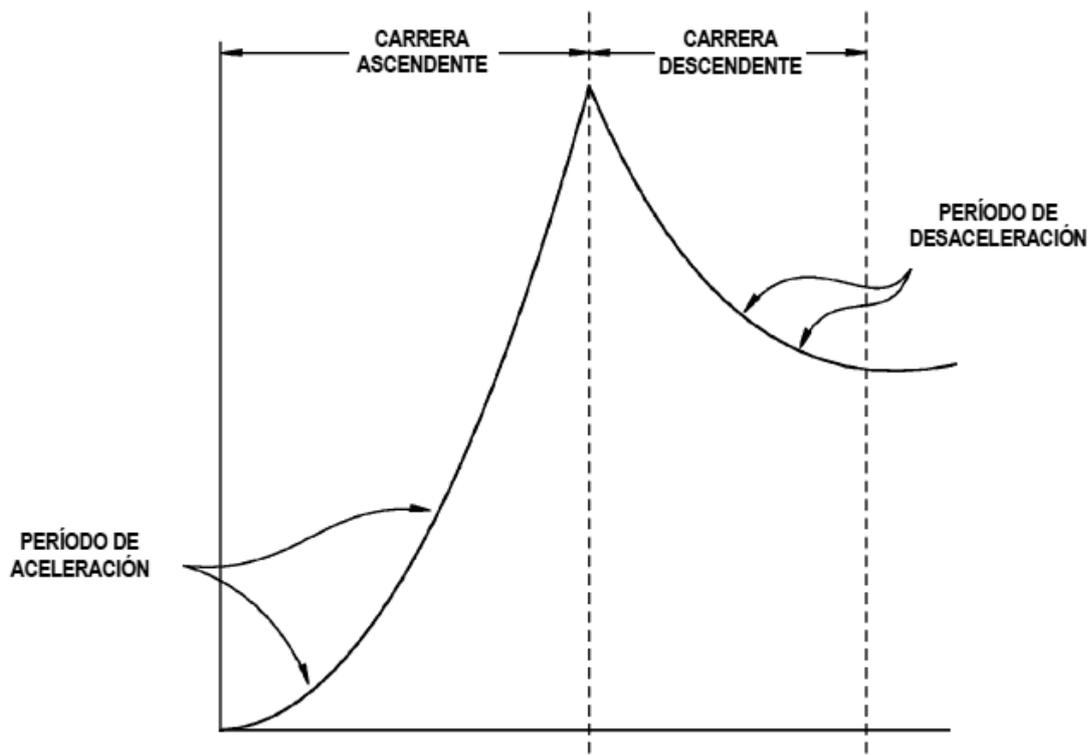
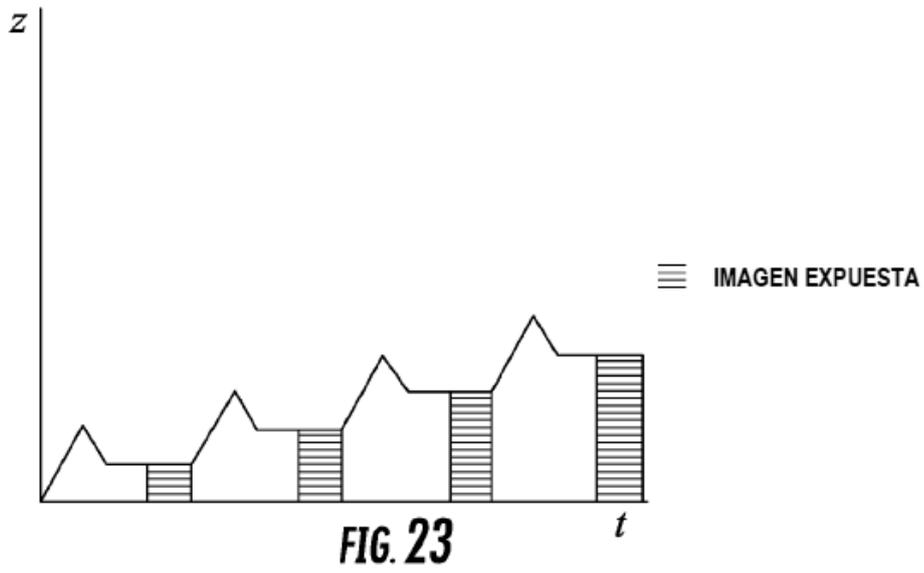
**FIG. 20**



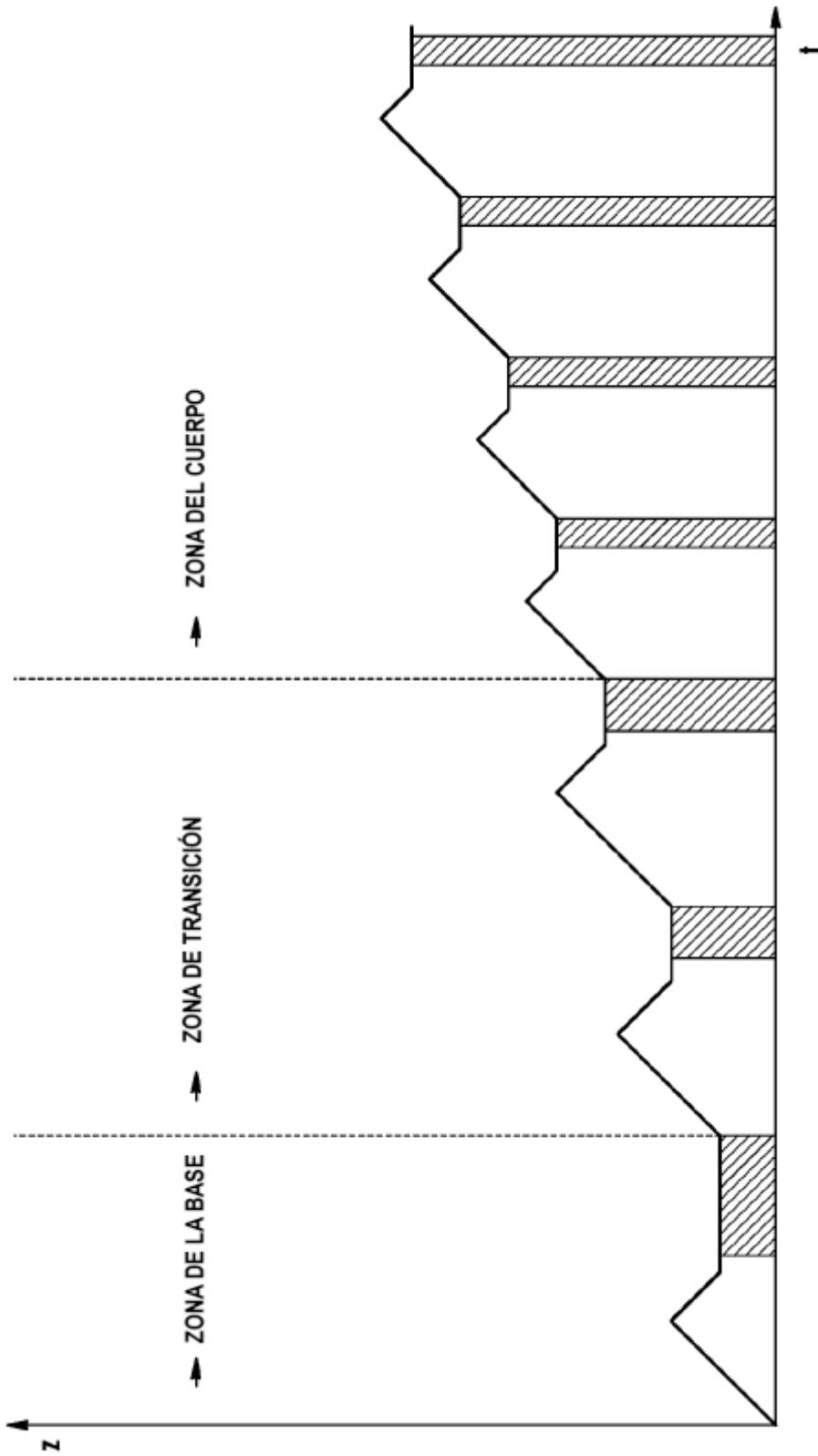
**FIG. 21**



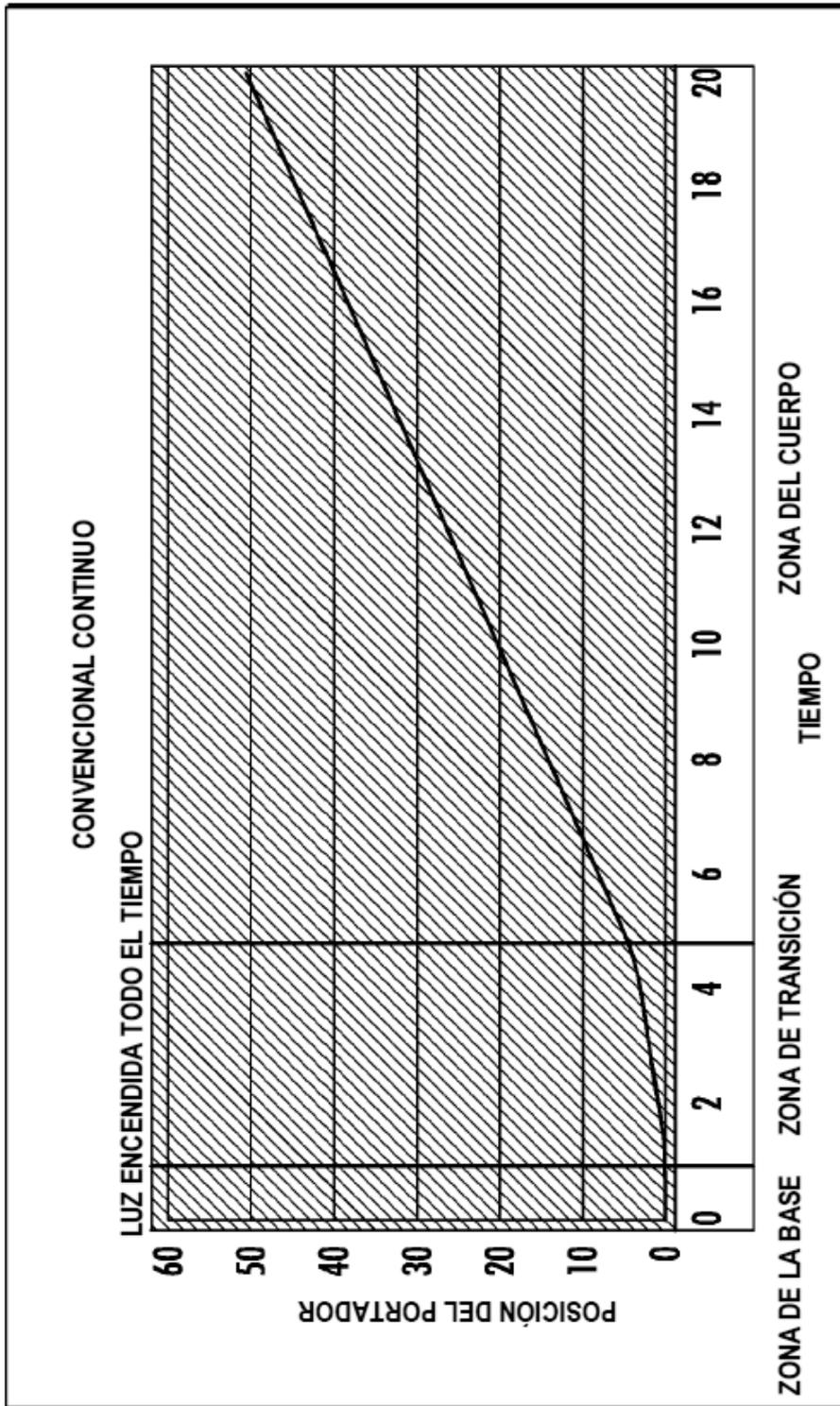
**FIG. 22**



**FIG. 24**



**FIG. 25**



**FIG. 26A**

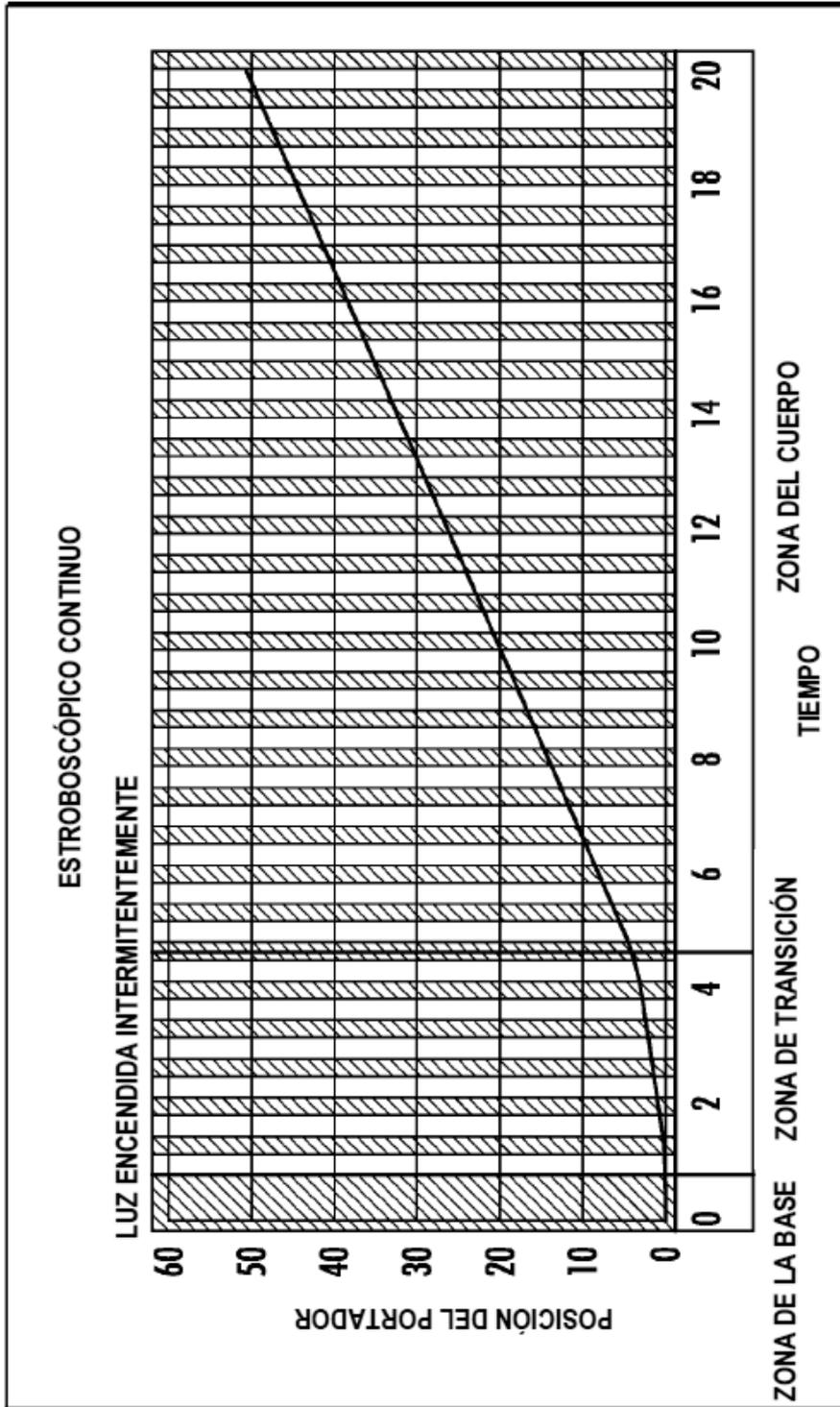
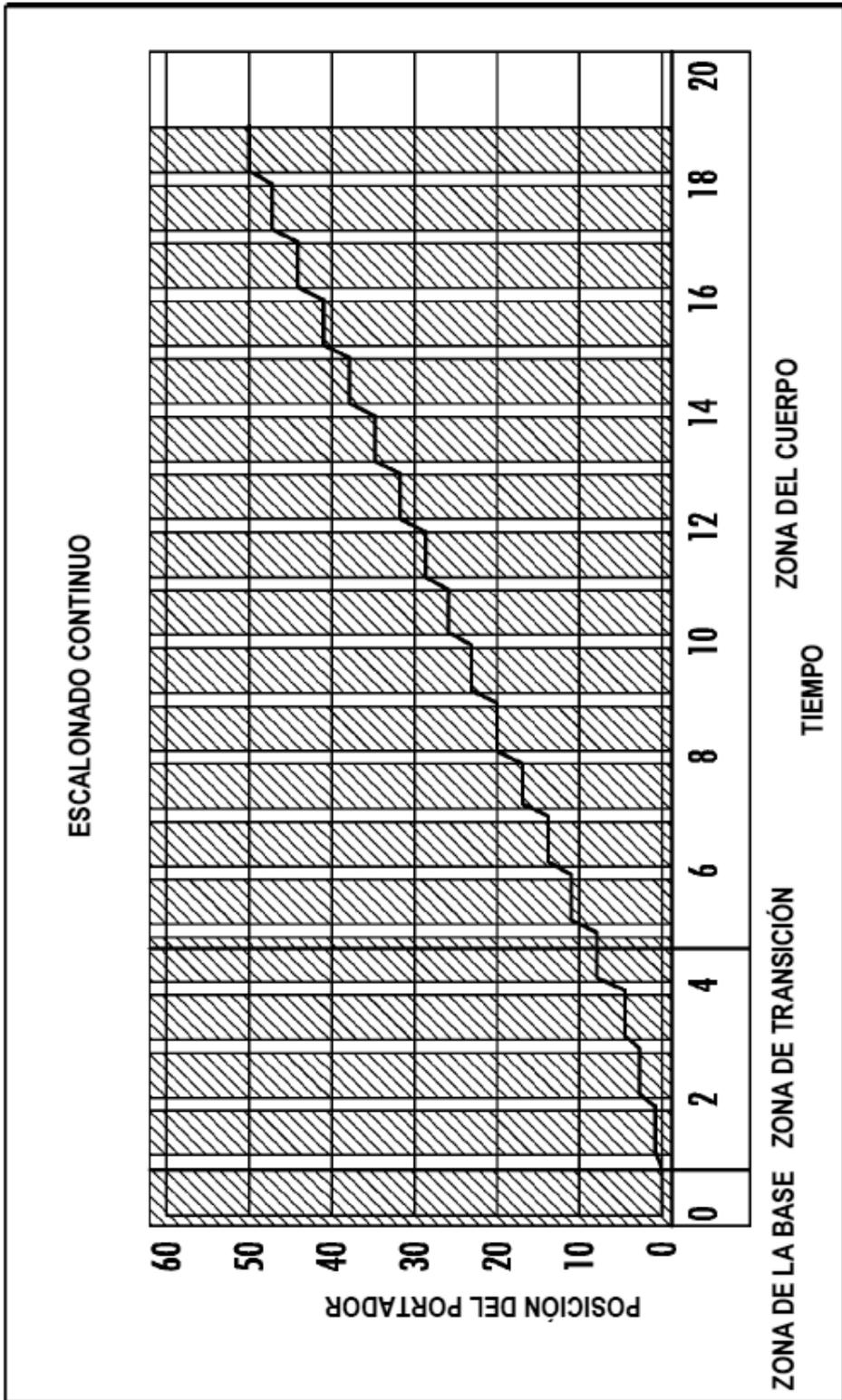
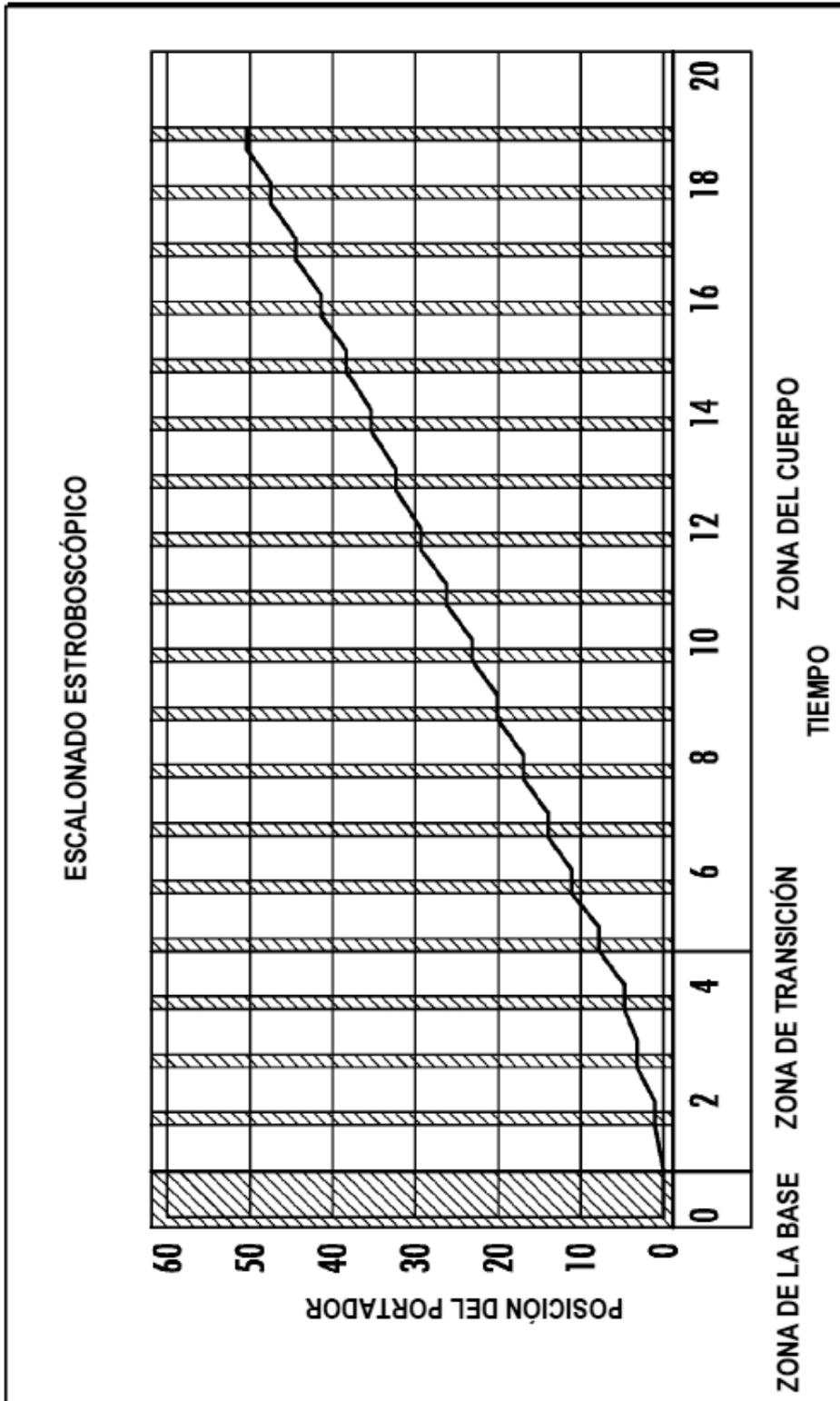


FIG. 26B



**FIG. 27A**



**FIG. 27B**

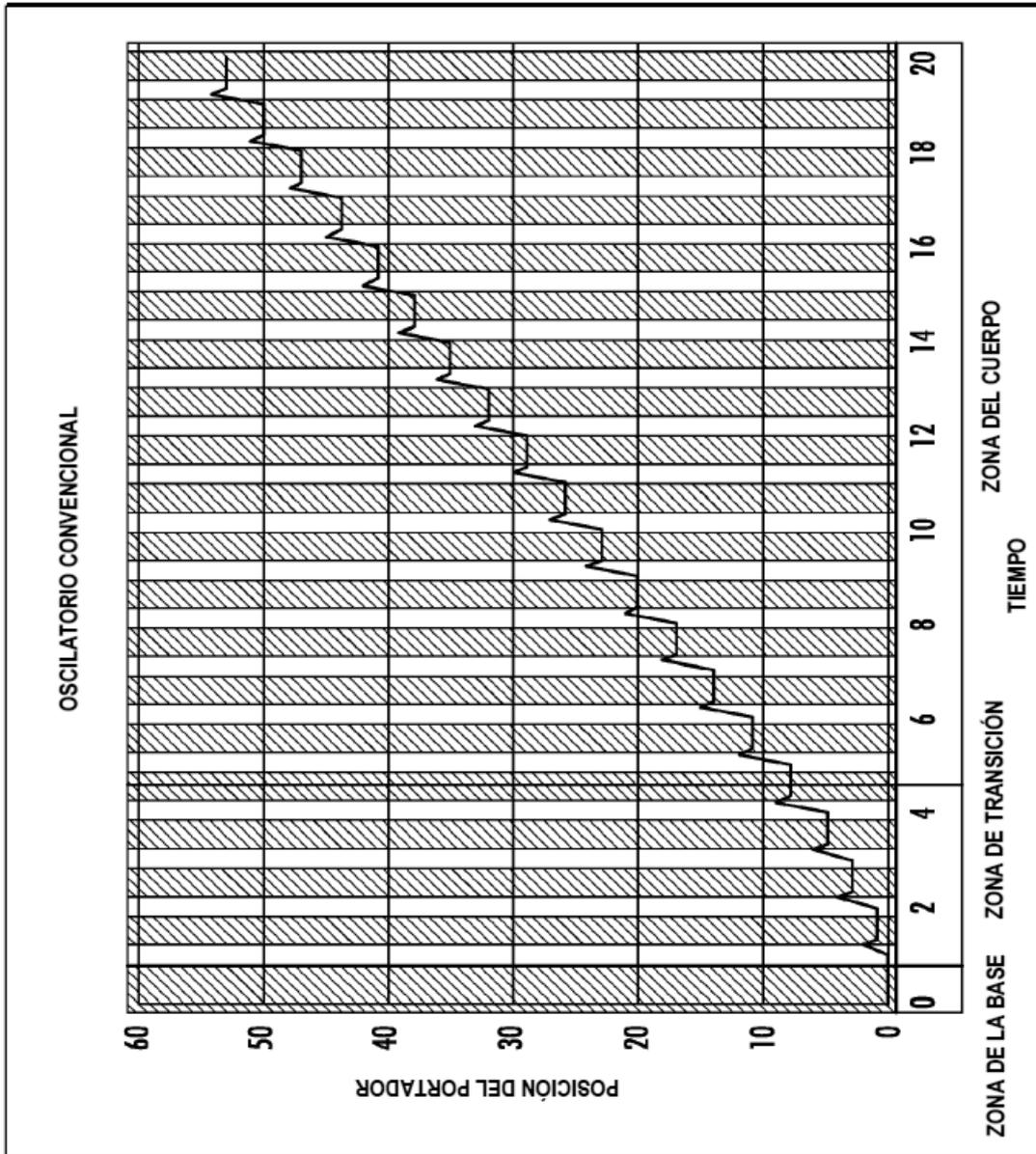


FIG. 28A

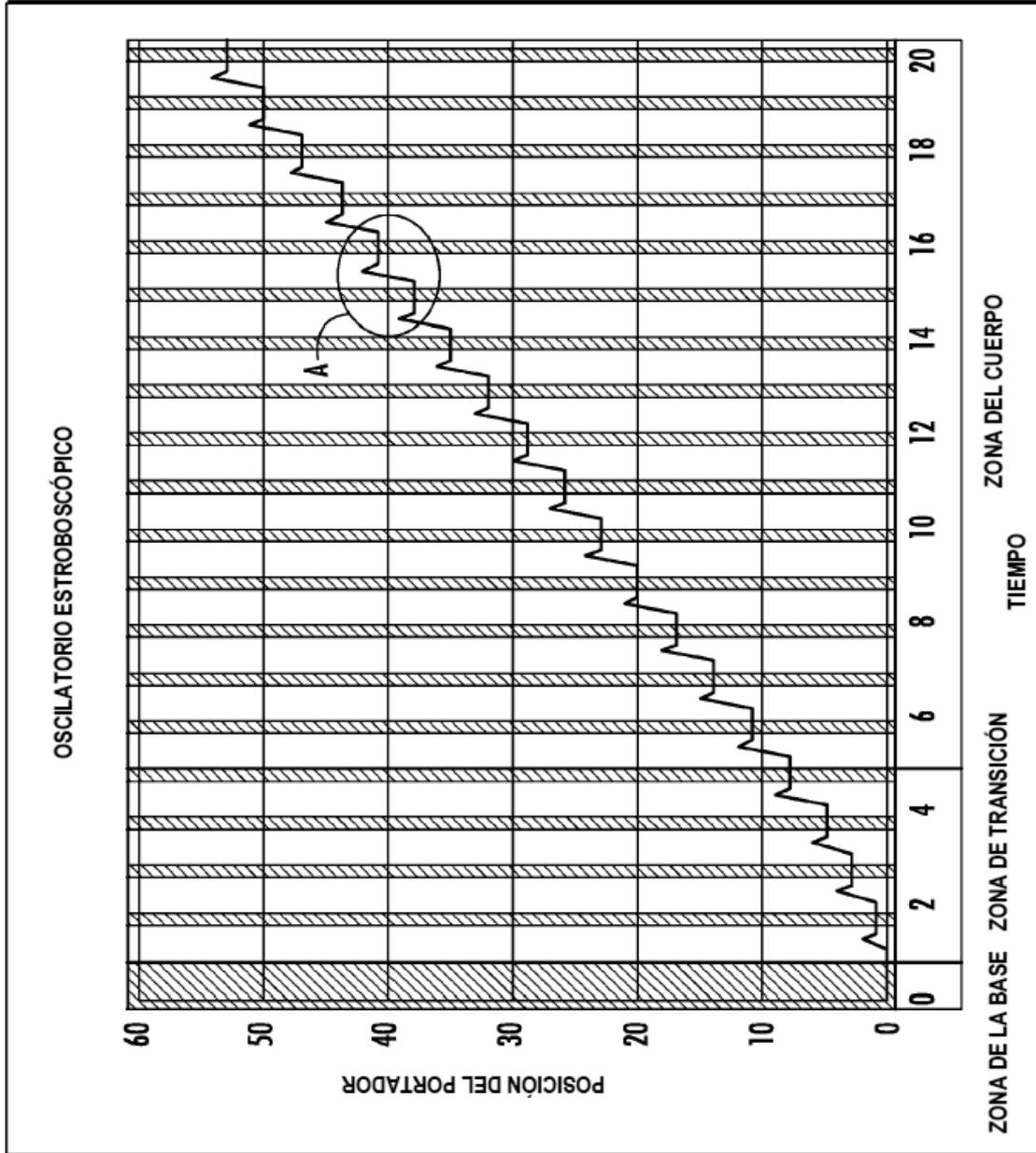
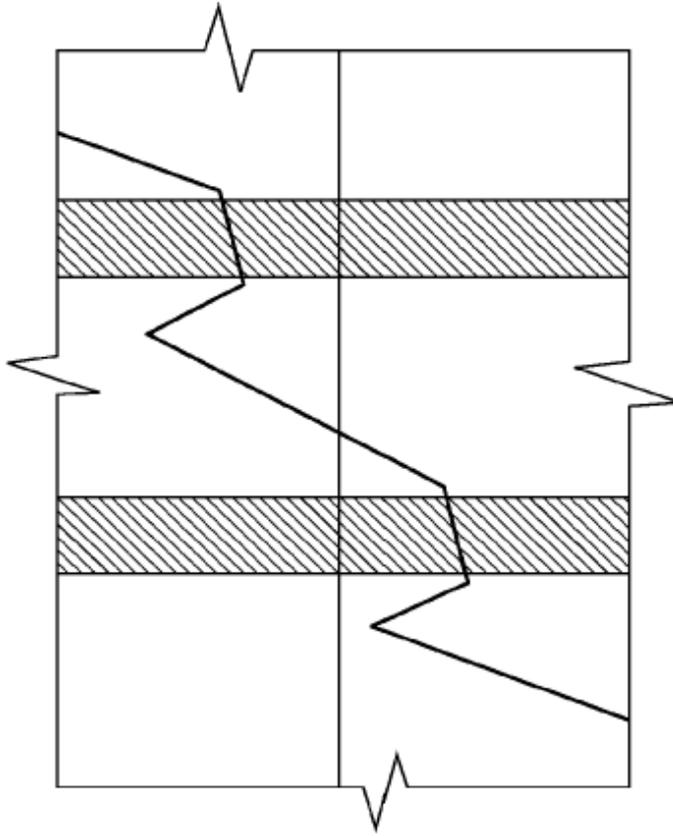
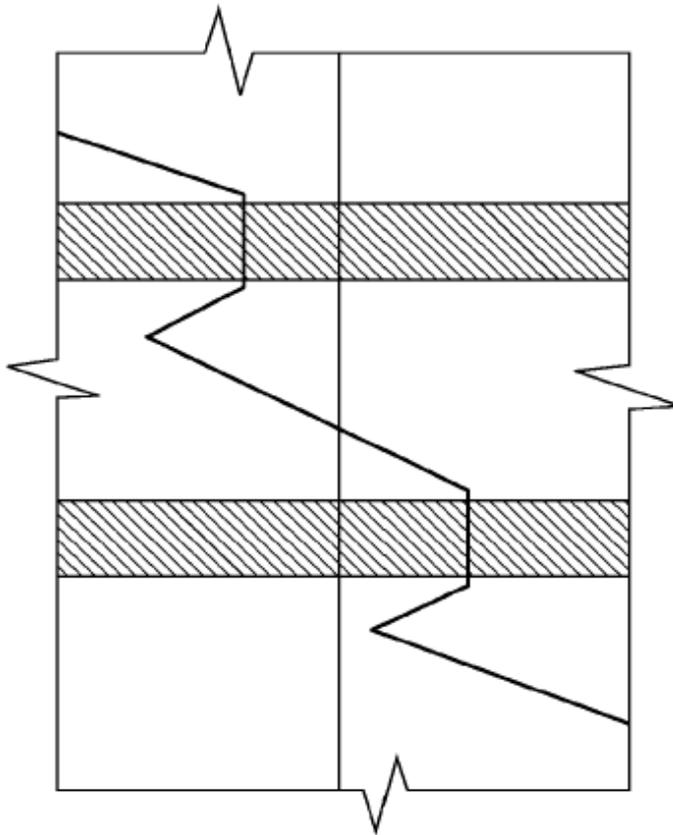


FIG. 28B



**FIG. 29A**



**FIG. 29B**