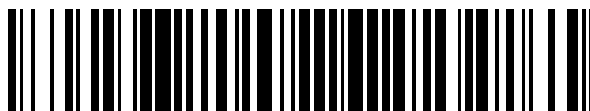


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 588 485**

51 Int. Cl.:

G03F 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.02.2014 PCT/US2014/015506**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.08.2014 WO14126837**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.02.2014 E 14706224 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **03.07.2019 EP 2956823**

54 Título: **Impresión de interfaz líquida continua**

30 Prioridad:

12.02.2013 US 201361763746 P

14.08.2013 US 201361865841 P

23.12.2013 US 201361919903 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente modificada:
27.02.2020

73 Titular/es:

CARBON, INC. (100.0%)

1089 Mills Way

Redwood City, CA 94063, US

72 Inventor/es:

DESIMONE, JOSEPH M.;

ERMOSHKIN, ALEXANDER;

ERMOSHKIN, NIKITA y

SAMULSKI, EDWARD T.

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

DESCRIPCIÓN

Impresión de interfaz líquida continua

Solicitudes relacionadas

- 5 Esta solicitud reivindica el beneficio de las solicitudes de patentes de propiedad común con números de serie 61/919,903, presentada el 23 de diciembre de 2013 (expediente núm. 1151-3PR2); 61/865,841, presentada el 14 de agosto de 2013 (expediente núm. 1151-3PR) y 61/763,746, presentada el 12 de febrero de 2013 (expediente núm. 1151-2PR), de las cuales se incorporan las descripciones en su totalidad como referencias en la presente descripción.

Campo de la invención

- 10 La presente invención se refiere a métodos y aparatos para la fabricación de objetos tridimensionales sólidos a partir de materiales líquidos polimerizables.

Antecedentes de la invención

- 15 En aditivos convencionales o técnicas de fabricación tridimensional, la construcción de un objeto tridimensional se lleva a cabo en un modo escalonado o capa por capa. En particular, la formación de capas se lleva a cabo a través de la solidificación de resina fotocurable bajo la acción de irradiación de luz UV o visible. Se conocen dos técnicas: una en la que se forman nuevas capas en la superficie superior del objeto en desarrollo; la otra en la que se forman nuevas capas en la superficie inferior del objeto en desarrollo.

- 20 Si las nuevas capas se forman en la superficie superior del objeto en desarrollo, entonces después de cada paso de irradiación el objeto bajo construcción se sumerge en el depósito de resina, se recubre una nueva capa de resina sobre la parte superior, y se lleva a cabo un nuevo paso de irradiación. Un ejemplo anterior de tal técnica se ofrece en la patente de Estados Unidos núm. 5,236,637 de Hull, en la Figura 3. Una desventaja de tales técnicas "descendentes" es la necesidad para sumergir el objeto en desarrollo en un (potencialmente profundo) depósito de resina líquida y reconstituir un recubrimiento preciso de resina líquida.

- 25 Si las nuevas capas se forman en la parte inferior del objeto en desarrollo, entonces después de cada paso de irradiación el objeto bajo construcción debe separarse a partir de la placa inferior en el pozo de fabricación. Un ejemplo anterior de tal técnica se ofrece en la patente de Estados Unidos núm. 5,236,637 de Hull, en la Figura 4. Mientras tales técnicas "ascendentes" mantienen el potencial para eliminar la necesidad de un pozo profundo en la que el objeto se sumerge en lugar de levantar el objeto fuera de un depósito o pozo relativamente poco profundo, un problema con tales técnicas de fabricación "ascendentes", tal como se aplica en el comercio, es que deben tomarse extremos cuidados, y emplearse elementos mecánicos adicionales, cuando se separa la capa solidificada de la placa inferior debido a las interacciones físicas y químicas entre las mismas. 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, tales como la impresora tridimensional B9Creator™ comercializada por B9Creations de Deadwood, South Dakota, USA, emplea una placa de construcción deslizante. Ver, por ejemplo, la solicitud de patente de Estados Unidos 2013/0292862 de M. Joyce y la solicitud de patente de Estados Unidos 2013/0295212 de Y. Chen y otros (ambas del 7 de noviembre de 2013); ver también J. Manufacturing Sci. y Eng. 134, 051011 -1 de Y. Pan y otros (octubre de 2012). Tales enfoques introducen una etapa mecánica que puede complicar el aparato, retardar el método, y/o deformar potencialmente el producto final.

- 40 Los procesos continuos para producir un objeto tridimensional se sugieren con detenimiento con respecto a las técnicas "descendentes" en la patente de Estados Unidos núm. 7,892,474, pero esta referencia no explica de qué forma pueden implementarse en sistemas "ascendentes" de manera no destructiva para el artículo que se produce. En consecuencia, existe una necesidad de métodos y aparatos alternativos para la fabricación tridimensional que puede obviar la necesidad de etapas de separación mecánica en la fabricación "ascendente".

Resumen de la invención

- 45 En la presente descripción se describen los métodos, sistemas y aparatos (se incluyen los métodos, sistemas y aparatos de control asociados), para la producción generalmente continua de un objeto tridimensional. En estos métodos, sistemas y aparatos, el objeto tridimensional se produce a partir de una interfaz líquida. De ahí que a veces se refiera, por conveniencia y no con el fin de limitación, como "impresión de interfaz líquida continua". Una representación esquemática se muestra en la Figura 1 en la presente descripción.

- 50 Como se analiza más adelante, la interfaz se ubica entre las primera y segunda capas o zonas del mismo líquido polimerizable. La primera capa o zona (también referida a veces como una "zona muerta") contiene un inhibidor de la polimerización (al menos en una cantidad de inhibición de polimerización); en la segunda capa o zona el inhibidor se ha consumido (o de lo contrario no se ha incorporado o penetrado en el mismo) hasta el punto donde la polimerización ya no se inhibe sustancialmente. Las primera y segunda zonas no forman una interfaz estricta entre sí sino que existe un gradiente de composición que también puede describirse como que forma una interfaz entre ellas en lugar de una interfaz bien definida, como las fases son miscible entre sí, y además crean un (solapamiento parcial o completo)

gradiente de polimerización entre ellas (y también entre el objeto tridimensional que se fabrica, y la superficie construida a través de la cual se irradia el líquido polimerizable). El objeto tridimensional puede fabricarse, desarrollarse o producirse continuamente a partir del gradiente de polimerización (en lugar de fabricarse capa por capa). Como resultado, la creación de líneas de fallas o grietas en el objeto que se produce, lo cual puede suceder en técnicas de capa por capa tal como se describió en Y. Pan y otros o J. Joyce y otros (señalado anteriormente), pueden reducirse u obviarse. Por supuesto, tales líneas de falla o grietas pueden introducirse intencionalmente cuando se desee como se analiza más adelante.

En algunas realizaciones de impresión de interfaz líquida continua, la primera capa o zona se proporciona inmediatamente sobre la parte superior de, o en contacto con, una placa de construcción. La placa de construcción es transparente a la irradiación que inicia la polimerización (*por ejemplo*, radiación estampada), pero la placa de construcción es semipermeable preferentemente al inhibidor de polimerización y permite al inhibidor de polimerización (*por ejemplo*, oxígeno) pasar parcial o completamente a través de la misma (*por ejemplo*, suministrar continuamente inhibidor a la "zona muerta"). La placa de construcción es preferentemente "fija" o "estacionaria" en el sentido de que no necesita deslizarse, retraerse, rebotar o similares para crear etapas separadas o secuenciales (como en un proceso capa por capa). Por supuesto, el movimiento menor de la placa de construcción en las direcciones x y/o y que no interrumpe exageradamente el gradiente de polimerización, pero aún permite la polimerización continua de la interfaz líquida, puede aún ajustarse en algunas realizaciones, como también se analiza más adelante.

Por lo tanto, la presente invención proporciona un método de formación de un objeto tridimensional, que comprende: proporcionar un portador y un miembro ópticamente transparente que tiene una superficie de construcción, dicho portador y dicha superficie de construcción definen una región de construcción entre ellos; rellenar dicha región de construcción con un líquido polimerizable; irradiar dicha región de construcción a través de dicho miembro ópticamente transparente para formar un polímero sólido a partir de dicho líquido polimerizable mientras, simultáneamente, se hace avanzar dicho portador lejos de dicha superficie de construcción para formar dicho objeto tridimensional a partir de dicho polímero sólido, mientras que también simultáneamente (i) mantener continuamente una zona muerta de líquido polimerizable en contacto con dicha superficie de construcción, y (ii) mantener continuamente un gradiente de la zona de polimerización entre dicha zona muerta y dicho polímero sólido y en contacto con cada uno de los mismos, dicho gradiente de la zona de polimerización comprende dicho líquido polimerizable en forma parcialmente curada (*por ejemplo*, de manera que se reduce en dicho objeto tridimensional la formación de líneas de fallas o grietas entre capas de polímero sólido). El miembro ópticamente transparente comprende un miembro semipermeable, y mantener continuamente una zona muerta se lleva a cabo mediante el suministro de un inhibidor de polimerización a través de dicho miembro ópticamente transparente, de esta manera se crea un gradiente de inhibidor en dicha zona muerta y opcionalmente en al menos una porción de dicho gradiente de zona de polimerización.

En algunas realizaciones, el miembro ópticamente transparente se comprende de un fluoropolímero semipermeable, un polímero rígido permeable al gas, vidrio poroso, o una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el paso de irradiación se lleva a cabo con un patrón de radiación bidimensional proyectado en dicha región de construcción, en donde dicho patrón varía con el tiempo mientras simultáneamente dicha etapa de avance continúa por un tiempo suficiente para formar dicho objeto tridimensional (es decir, tiempo durante el cual se mantiene dicho gradiente de la zona de polimerización).

Aunque la zona muerta y el gradiente de la zona de polimerización no tienen un límite estricto entre ellos (en esas localizaciones donde las dos se encuentran), en algunas realizaciones el grosor del gradiente de la zona de polimerización es al menos tan grande como el grosor de la zona muerta. Por lo tanto, en algunas realizaciones, 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 entre si tienen un grosor de 1 o 2 micras hasta 400, 600, o 1000 micras, o más. En algunas realizaciones, el gradiente de la zona de polimerización se mantiene (mientras las etapas de polimerización continúan) por un tiempo de al menos 5, 10, 15, 20 o 30 segundos, hasta 5, 10, 15 o 20 minutos o más, o hasta la terminación del producto tridimensional.

El método además puede comprender la etapa de interrumpir dicho gradiente de la zona de polimerización por un tiempo suficiente para formar una línea de falla en dicho objeto tridimensional (*por ejemplo*, en una localización deseada predeterminada para una grieta intencional, o en una localización en dicho objeto donde la prevención de grietas o reducción de grietas no es crítica), y luego el restablecimiento de dicho gradiente de la zona de polimerización (*por ejemplo* mediante la pausa, y reanudación, la etapa de avance, aumento, luego disminución, la intensidad de irradiación, y combinaciones de las mismas).

El método además puede comprender calentar dicho líquido polimerizable cuando se suministra a la región de construcción y/o dentro de la región de construcción (*por ejemplo*, mediante una cantidad como se muestra en los ejemplos más adelante) para reducir la viscosidad de los mismos en la región de construcción (*por ejemplo*, mediante una cantidad como se muestra en los ejemplos más adelante).

El método puede llevarse a cabo y el aparato implementarse en donde dicho portador tiene al menos un canal formado en el mismo, y dicha etapa de relleno se lleva a cabo mediante el paso o al forzar dicho líquido polimerizable en dicha región de construcción a través de dicho al menos un canal (*por ejemplo*, en donde dicho portador tiene una pluralidad de canales formados en el mismo, y en donde líquidos polimerizables diferentes se fuerzan a través de uno diferente

de dicha pluralidad de canales; *por ejemplo*, que comprende además simultáneamente, la formación de al menos uno, o una pluralidad de, conductos de suministro externos separados de dicho objeto, cada uno de dichos al menos conductos de suministro en comunicación fluida con un canal en dicho portador, para suministrar al menos una, o una pluralidad de líquidos polimerizables diferentes desde dicho portador a dicha zona de construcción). En algunas realizaciones, el miembro semipermeable tiene un grosor de 0.1 o 1 milímetros a 10 o 100 milímetros; y/o dicho miembro semipermeable tiene una permeabilidad al oxígeno de al menos 10 barreras,

En consecuencia, un aspecto particular de la presente invención es un método de formación de un objeto tridimensional, que 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; rellenar la región de construcción con un líquido polimerizable; irradiar la región de construcción a través del miembro ópticamente transparente para formar un polímero sólido a partir del líquido polimerizable, mientras simultáneamente se hace avanzar el portador lejos de la superficie de construcción para formar el objeto tridimensional a partir del polímero sólido, mientras que también simultáneamente: (i) mantener continuamente una zona muerta de líquido polimerizable en contacto con la superficie de construcción, y (ii) mantener continuamente un gradiente de la zona de polimerización entre la zona muerta y el polímero sólido y en contacto con cada uno de los mismos, el gradiente de la zona de polimerización comprende el líquido polimerizable en forma parcialmente curada.

El miembro ópticamente transparente comprende un miembro semipermeable, y el mantenimiento continuamente de una zona muerta se lleva a cabo mediante el suministro de un inhibidor de polimerización a través del miembro ópticamente transparente, de esta manera se crea un gradiente de inhibidor en la zona muerta y opcionalmente en al menos una porción del gradiente de la zona de polimerización.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el miembro ópticamente transparente se comprende de un fluoropolímero semipermeable, un polímero rígido permeable al gas, vidrio poroso, o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, la etapa de irradiación se lleva a cabo mediante fotolitografía sin máscara.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, la etapa de irradiación se lleva a cabo con un patrón de radiación bidimensional proyectado en la región de construcción, en donde el patrón varía con el tiempo mientras simultáneamente la etapa de avance continúa por un tiempo suficiente para formar el objeto tridimensional.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el gradiente de la zona de polimerización y la zona muerta entre si tienen un grosor de 1 a 1000 micras.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el gradiente de la zona de polimerización se mantiene por un tiempo de al menos 5 segundos.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el método además comprende la etapa de interrumpir el gradiente de la zona de polimerización por un tiempo suficiente para formar una línea de falla en el objeto tridimensional.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el método además comprende calentar el líquido polimerizable para reducir la viscosidad del mismo en la región de construcción.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el portador tiene al menos un canal formado en el mismo, y la etapa de rellenar se lleva a cabo mediante el paso o al forzar el líquido polimerizable en la región de construcción a través de el al menos un canal.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el miembro semipermeable tiene un grosor de 0.1 a 100 milímetros; y/o en donde el miembro semipermeable tiene una permeabilidad al oxígeno de al menos $7.5 \times 10^{-17} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ (10 barreras); y/o en donde el miembro semipermeable se forma de un fluoropolímero semipermeable, un polímero rígido permeable al gas, vidrio poroso, o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, la etapa de irradiación se lleva a cabo con radiación actínica.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, se lleva a cabo el avance simultáneamente a una tasa acumulada de al menos 0.1, 1, 10, 100 o 1000 micras por segundo.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el portador tiene una capa de sacrificio soluble en el mismo, y el objeto tridimensional se forma sobre la capa de sacrificio soluble.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el área de la superficie total de la región de construcción ocupa al menos el setenta por ciento del área de la superficie total de la superficie de construcción; y/o en donde el movimiento lateral del portador y el objeto en cualquier dirección no es más del treinta por ciento del ancho de la región de construcción en la dirección correspondiente.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el líquido polimerizable comprende un líquido polimerizable por radicales libres y el inhibidor comprende oxígeno.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el líquido polimerizable comprende un líquido polimerizable catalizado por ácido o catiónicamente, y el inhibidor comprende una base.

- 5 En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, la superficie de construcción es sustancialmente fija o estacionaria.

Un aspecto particular adicional de la invención es un aparato para formar un objeto tridimensional a partir de un líquido polimerizable, que comprende: (a) un soporte; (b) un portador asociado operativamente con el soporte sobre el portador en el que se forma el objeto tridimensional; (c) un miembro ópticamente transparente que tiene una superficie de construcción, con la superficie de construcción y el portador que definen una región de construcción entre ellos; (d) un suministro de polímero líquido asociado operativamente con la superficie de construcción y configurado para suministrar polímero líquido en la región de construcción para la polimerización por solidificación; (e) una fuente de radiación configurada para irradiar la región de construcción a través del miembro ópticamente transparente para formar un polímero sólido a partir del líquido polimerizable; (f) un controlador asociado operativamente con el portador y la fuente de radiación para hacer avanzar el portador lejos de la superficie de construcción para formar el objeto tridimensional a partir del polímero sólido, mientras que también simultáneamente: (i) mantener continuamente una zona muerta de líquido polimerizable en contacto con la superficie de construcción, y (ii) mantener continuamente un gradiente de la zona de polimerización entre la zona muerta y el polímero sólido y en contacto con cada uno de los mismos, el gradiente de la zona de polimerización comprende el líquido polimerizable en forma parcialmente curada; en donde el miembro ópticamente transparente comprende un miembro semipermeable configurado para permitir que el mantenimiento continuo de una zona muerta se lleve a cabo alimentando un inhibidor de polimerización a través del miembro ópticamente transparente, creando así un gradiente de inhibidor en la zona muerta y opcionalmente en al menos una porción de dicho gradiente de la zona de polimerización.

- 25 En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el portador tiene al menos un canal formado en el mismo, configurado para el suministro del líquido polimerizable en la región de construcción a través de el al menos un canal.

En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, el portador tiene una pluralidad de canales formados en el mismo, configurados para el suministro de líquidos polimerizables diferentes a través de los diferentes de la pluralidad de canales.

- 30 En algunas realizaciones de las mencionadas anteriormente, se proporcionan al menos uno, o una pluralidad de, conductos de suministro externos separados del objeto (*por ejemplo*, fabricados en el curso de los mismos o simultáneamente con los mismos), cada uno del al menos un conducto de suministro en comunicación fluida con un canal en el portador, configurado para el suministro de al menos un, o una pluralidad de líquidos polimerizables diferentes a partir del portador a la zona de construcción.

En algunas realizaciones, la placa de construcción es sustancialmente fija o estacionaria.

- 35 En algunas realizaciones, la fuente de inhibidor de polimerización es un depósito de inhibidor de polimerización dentro del miembro semipermeable.

En algunas realizaciones, el miembro semipermeable además comprende una superficie de suministro separada de la superficie de construcción.

- 40 En algunas realizaciones, la superficie de suministro es en contacto continuo con un inhibidor de polimerización con el objetivo de proporcionar la fuente de inhibidor de la polimerización.

En algunas realizaciones, el aparato además comprende un calentador asociado operativamente con la placa de construcción y/o el suministro de polímero líquido, el calentador configurado para calentar el líquido polimerizable en, o suministrado a, la región de construcción.

- 45 En algunas realizaciones, el aparato además comprende un enfriador asociado operativamente con la placa de construcción y configurado para enfriar el líquido polimerizable en la región de construcción.

En algunas realizaciones, el miembro semipermeable comprende una porción de la superficie superior, una porción de la superficie inferior, y una porción de la superficie de borde; la superficie de construcción se encuentra sobre la porción de la superficie superior; y la superficie de suministro se encuentra sobre al menos una de, la porción de la superficie superior, la porción de la superficie inferior, y la porción de la superficie de borde.

- 50 En algunas realizaciones, el aparato además comprende una fuente de presión asociada operativamente con el suministro de polímero líquido.

En algunas realizaciones, la fuente de radiación comprende una fuente de luz.

En algunas realizaciones, el aparato comprende una disposición para la modulación espacial de luz asociada operativamente con la fuente de radiación y el controlador, y configurada para llevar a cabo la irradiación del líquido polimerizable mediante fotolitografía sin máscara.

5 En algunas realizaciones, el portador comprende una placa, columna, banda, película, carrete, o combinación de los mismos asociado operativamente con al menos un actuador.

En algunas realizaciones, el portador comprende un accionador, el accionador y el controlador configurados para hacer avanzar el portador unidireccionalmente lejos de la superficie de construcción.

En algunas realizaciones, el portador tiene una capa de sacrificio soluble sobre el mismo, y el objeto tridimensional se forma sobre la capa de sacrificio soluble.

- 10 En la impresora tridimensional B9Creator™, un recubrimiento de polidimetilsiloxano (PDMS) se aplica a la superficie de construcción deslizante. El recubrimiento de PDMS se considera para absorber oxígeno y crear una película de lubricante delgada de resina no polimerizada a través de su acción como un inhibidor de la polimerización. Sin embargo, la superficie de construcción recubierta de PDMS se repone directamente con oxígeno mediante el movimiento mecánico (deslizamiento) de la superficie debajo del objeto en desarrollo, mientras se limpia la resina no polimerizada de la misma con una escobilla, y luego retorna a su posición previa debajo del objeto en desarrollo.
- 15 Mientras que en algunas realizaciones se proporcionan medios auxiliares de proporcionar un inhibidor tal como oxígeno (*por ejemplo*, un compresor para canales asociados), el proceso aún emplea un enfoque de capa por capa con deslizamiento y limpieza de la superficie. Ya que el recubrimiento de PDMS puede hincharse por la resina, este hinchamiento, junto con estas etapas mecánicas, puede resultar en el desgarre del, o daño al, recubrimiento de PDMS.
- 20 Los ejemplos no limitativos y realizaciones específicas de la presente invención se explican en mayor detalle en los dibujos en la presente descripción y la descripción que se presenta más adelante. La descripción de todas las referencias a patentes de Estados Unidos citadas en la presente descripción son para incorporarse en la presente descripción como referencia en su totalidad.

Breve descripción de los dibujos

- 25 La Figura 1 es una ilustración esquemática de una realización de un método de la presente invención.
- La Figura 2 es una vista en perspectiva de una realización de un aparato de la presente invención.
- La Figura 3 proporciona vistas laterales en sección transversal de realizaciones alternativas de placas de construcción rígidas para su uso en la presente invención.
- La Figura 4 ilustra diversos portadores alternativos para su uso en la presente invención.
- 30 La Figura 5 ilustra un inhibidor de la polimerización en una placa de construcción rígida que apoya para establecer una película no polimerizada sobre la superficie de construcción de la misma.
- La Figura 6 ilustra la migración de un inhibidor (en este caso oxígeno) a través de una placa de construcción a partir de una superficie de suministro en la parte posterior de la placa a una superficie de construcción en la parte frontal de una placa para apoyar en el establecimiento de una película no polimerizada sobre la superficie de construcción.
- 35 La Figura 7 ilustra esquemáticamente un objeto tridimensional en crecimiento que avanza desde una superficie de construcción, y el espacio que debe llenarse entre ellas antes de que pueda llevarse a cabo la polimerización subsecuente.
- La Figura 8 ilustra esquemáticamente una realización de la invención que proporciona la aceleración del llenado del espacio mostrado en la Figura 8 para la aplicación de presión.
- 40 La Figura 9 ilustra una varilla o fibra que puede producirse por los métodos y aparatos de la presente invención.
- La Figura 10 es una fotografía de una disposición de microagujas fabricada con los métodos y aparatos de la presente invención. El diámetro del portador sobre el que se mantiene la disposición es aproximadamente el mismo que el de una moneda de veinticinco centavos de Estados Unidos (o "cuarteto"), esencialmente se usa el mismo portador en los ejemplos adicionales ilustrados más adelante.
- 45 La Figura 11 es una fotografía de una segunda disposición de microagujas fabricada con los métodos y aparatos de la presente invención.
- La Figura 12 es una fotografía de una estructura anular que se fabrica con los métodos y aparatos de la presente invención. Note el extenso "saliente" durante la fabricación.
- La Figura 13 es una fotografía del anillo terminado de la Figura 12.

La Figura 14 es una fotografía de una estructura de cuatro piezas de ajedrez fabricadas con los métodos y aparatos de la presente invención.

La Figura 15 es una fotografía de una estructura de prisma rectangular fabricada con los métodos y aparatos de la presente invención.

- 5 La Figura 16 es una fotografía de una estructura de bobina fabricada por los métodos y aparatos de la presente invención. Note el extenso "saliente" durante la fabricación a través de la estructura terminada.

La Figura 17 ilustra los efectos de coloración y fotoiniciador en el tiempo de curado.

La Figura 18 es una fotografía de una pieza de ajedrez similar a las mostradas en la Figura 14 anterior, pero hecha con una resina teñida por los métodos de la presente invención.

- 10 La Figura 19 ilustra esquemáticamente la fabricación de una pluralidad de artículos sobre el portador, el portador que tiene una capa de liberación sobre el mismo.

La Figura 20 ilustra esquemáticamente la liberación de una pluralidad de artículos del portador con una capa de liberación.

- 15 La Figura 21 es una fotografía de una disposición de prismas fabricados por métodos y aparatos de la presente invención, sobre una capa de liberación.

La Figura 22 es una fotografía de los prismas mostrados en la Figura 21 después de la liberación.

La Figura 23 es una fotografía de una estructura de jaula cilíndrica producida por los métodos y aparatos de la presente invención.

- 20 La Figura 24 es una fotografía de una disposición similar a la de la Figura 21, y producida esencialmente por los mismos métodos, excepto que comprende un polímero de polietilenglicol.

La Figura 25 es una fotografía de una estructura de jaula cilíndrica similar a la de la Figura 23, y producida sustancialmente por los mismos métodos, excepto que comprende un polímero de polietilenglicol. Se notó que la pieza era flexible.

- 25 La Figura 26 ilustra esquemáticamente una realización de un aparato de la presente invención en el que uno o más calentadores se incluyen para reducir la viscosidad del líquido polimerizable.

La Figura 27 ilustra esquemáticamente una realización de un aparato de la presente invención en la que la región de construcción se llena con líquido polimerizable suministrado a través del portador.

La Figura 28 ilustra esquemáticamente una realización de la invención en la que se forman conductos externos para facilitar el suministro de uno o múltiples líquidos polimerizables del portador a la región de construcción.

- 30 Las Figuras 29-31 son diagramas de flujo que ilustran los métodos y sistemas de control para llevar a cabo la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones ilustrativas

- 35 La presente invención se describe ahora con más detalle de aquí en adelante con referencia a los dibujos acompañantes, en los que se muestran las realizaciones de la invención. Sin embargo, esta invención puede llevarse a la técnica de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones descritas en la presente descripción; más bien estas realizaciones se proporcionan de manera que esta descripción sea rigurosa y completa y exprese completamente el alcance de la invención a los expertos en la técnica.

- 40 Números similares se refieren a elementos similares. En las figuras, el grosor de ciertas líneas, capas, componentes, elementos o características pueden exagerarse para mayor claridad. Cuando se usan, las líneas discontinuas ilustran operaciones o características opcionales a menos que se especifique lo contrario.

- 45 La terminología usada en la presente descripción es para el propósito de describir las realizaciones particulares solamente y no está destinada para ser limitante de la invención. Como se usa en la presente descripción, las formas singulares "un", "una/uno" y "el/la/las" pretenden incluir las formas plurales igualmente, 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 características establecidas, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos o combinaciones de los mismos pero no excluyen la presencia o adición de una o más de otras características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos o combinaciones de los mismos.

Como se usa en la presente descripción, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las posibles combinaciones o uno o más de los elementos enumerados asociados, así como también la ausencia de combinaciones cuando se interpreta como alternativa ("o").

A menos que se defina lo contrario, todos los términos (que incluyen términos técnicos y científicos) usados en la presente descripción tienen el mismo significado que se entiende comúnmente por un experto ordinario en la técnica a la que pertenece esta invención. Se entenderá además que los términos, tales como los definidos en los diccionarios usados comúnmente, deben interpretarse como que tienen un significado que es consistente 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 se defina expresamente en la presente descripción. Las construcciones o funciones bien conocidas no pueden describirse en detalle por razones de brevedad y/o claridad.

Se debe entender que cuando un elemento se refiere a que se encuentra "sobre", "acoplado" a, "conectado" a, "acoplado" con, "en contacto", etcétera, otro elemento, puede ser directamente sobre, acoplado a, conectado a, acoplado con, y/o en contacto con el otro elemento o elementos intermedios también pueden estar presente. Por el contrario, cuando un elemento se refiere a que es, por ejemplo, "directamente sobre," "directamente acoplado" a, "directamente conectado" a, "directamente acoplado" con o "directamente en contacto con" otro elemento, no existen elementos intermedios presentes. También se debe apreciar por los expertos en la técnica que la referencia a una estructura o característica que se dispone "adyacente" a otra característica puede tener porciones que solapen o sustenten la característica adyacente.

Los términos espacialmente relativos, tales como "bajo", "abajo", "inferior", "sobre", "superior", y similares, pueden usarse en la presente descripción para facilitar la descripción para describir la relación de un elemento o característica con otros elemento(s) o característica(s) como se ilustra en las figuras. Se debe entender que los términos espacialmente relativos se destinan para abarcar diferentes orientaciones del dispositivo en uso u operación en adición a la orientación representada en las figuras. Por ejemplo, si se invierte el dispositivo en las Figuras, los elementos descritos como "bajo" o "debajo de" otros elementos o características entonces serían orientados "sobre" los otros elementos o características. Por lo tanto, el término ilustrativo "bajo" puede abarcar ambas orientaciones de sobre y bajo. El dispositivo puede orientarse de otra manera (rotarse 90 grados o en otras orientaciones) y los descriptores relativos espacialmente usados en la presente descripción interpretarse en consecuencia. De manera similar, los términos "hacia arriba", "hacia abajo", "vertical", "horizontal" y similares se usan en la presente descripción con el fin de explicación solamente, a menos que se indique lo contrario específicamente.

Se debe entender que, aunque los términos primero, segundo, etcétera, 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 limitarse por estos términos. Más bien, estos términos se usan solamente 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 analizado en la presente descripción podría denominarse un 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 lo contrario específicamente.

1. Líquidos polimerizables.

Cualquier líquido polimerizable adecuado puede usarse para permitir la presente invención. El líquido (a veces también referido como "resina líquida" "tinta", o simplemente "resina" en la presente descripción) puede incluir un monómero, particularmente fotopolimerizable y/o monómeros polimerizables por radicales libres, y un iniciador adecuado tal como un iniciador por radicales libres, y combinaciones de los mismos. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, acrílicos, metacrílico, acrilamidas, estirénicos, olefinas, olefinas halogenadas, alquenos cíclicos, anhídrido maleico, alquenos, alquinos, monóxido de carbono, oligómeros funcionalizados, monómeros de sitio multifuncionales, PEG funcionalizados, etcétera, que incluyen combinaciones de los mismos. Ejemplos de resinas líquidas, los monómeros e iniciadores incluyen pero no se limitan a los que se exponen en las patentes de Estados Unidos 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 en algunas realizaciones, como se señaló 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 realizaciones el líquido polimerizable comprende un líquido polimerizable catalizado por ácido, o polimerizado catiónicamente. En tales realizaciones el líquido polimerizable comprende monómeros que contienen grupos adecuados para catálisis de ácido, tales como grupos epóxidos, grupos de vinil éter, etcétera. Por lo tanto, los monómeros adecuados incluyen olefinas tales como metoxietano, 4-metoxiestireno, estireno, 2-metilprop-1-eno, 1,3-butadieno, etcétera; monómeros heterocíclicos (que incluye lactonas, lactamas, y aminas cíclicas) tales como oxirano, tietano, tetrahidrofurano, oxazolina, 1,3, dioxepano, oxetan-2-ona, etcétera, y combinaciones de los mismos. Un generador fotoácido adecuado (PAG) (generalmente iónico o no iónico) se incluye en el líquido polimerizable catalizado por ácido, ejemplos de los cuales incluyen, pero no se limitan a sales de onio, sulfonio y sales de iodonio, etcétera, tales como difenil yoduro hexafluorofosfato, difenil yoduro hexafluoroarseniato, difenil yoduro hexafluoroantimoniato, difenil p-metoxifenil triflato, difenil p-toluenil triflato, difenil p-isobutilfenil triflato, difenil p-tert-butilfenil triflato, trifenilsulfonio hexafluororfosfato, trifenilsulfonio hexafluoroarseniato,

trifenilsulfonio hexafluoroantimoniato, trifenilsulfonio triflato, dibutilnaftilsulfonio triflato, etcétera, que incluye 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 también *Photoacid Generator Selection Guide for the electronics industry and energy curable coatings* (BASF 2010).

- 5 **Hidrogeles.** En algunas realizaciones, las resinas adecuadas incluyen hidrogeles fotocurables como poli(etilenglicoles) (PEG) y gelatinas. Los hidrogeles PEG se han usado para suministrar una variedad de sustancias biológicas, que incluye factores de crecimiento; sin embargo, un gran desafío al que se enfrentan los hidrogeles PEG reticulados por polimerizaciones de crecimiento de cadenas es el potencial para el daño irreversible de proteínas. Las condiciones para maximizar la liberación de sustancias biológicas a partir de hidrogeles diacrilatos PEG fotopolimerizados, pueden mejorarse mediante la inclusión de secuencias de péptidos que se unen por afinidad en las soluciones de resinas monoméricas, previo a la fotopolimerización que permite el suministro sostenido. La gelatina es un biopolímero usado frecuentemente en la industria de los alimentos, cosméticos, farmacéutica y fotográfica. Se obtiene mediante la desnaturalización térmica o degradación química y física de colágeno. Existen tres tipos de gelatina, que incluye las que se encuentran en los animales, peces y 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 apropiadamente la gelatina modificada. Los métodos para la reticulación de gelatina incluye derivados curados de colorantes tales como Rosa de Bengala.

- 20 **Resinas de silicona fotocurables.** Una resina adecuada incluye siliconas fotocurables. El caucho curado de silicona UV, tal como el caucho curado de silicona UV Siliopren™ puede usarse tal como pueden usarse los selladores adhesivos curados de silicona LOCTITE™. Las aplicaciones incluyen instrumentos ópticos, equipos médicos y quirúrgicos, iluminación y recintos exteriores, conectores eléctricos/sensores, fibra óptica y juntas.

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

- 30 **Poliuretanos fotocurables.** Una resina particularmente útil es el poliuretano fotocurable. Una composición de poliuretano fotopolimerizable comprende (1) un poliuretano basado en un disocianato alifático, poli(hexametileno isoftalato glicol) y, opcionalmente, 1,4-butanodiol; (2) un éster acrílico polifuncional; (3) un fotoiniciador; y (4) un antioxidante, puede formularse de manera que proporciona 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.

- 35 **Resinas de alto rendimiento.** En algunas realizaciones, se usan resinas de alto rendimiento. Tales resinas de alto rendimiento pueden a veces requerir el uso de calefacción para desvanecer y/o reducir la viscosidad de las mismas, como se señaló anteriormente y se analiza más adelante. Los ejemplos de tales resinas incluyen, pero no se limitan a, resinas para esos materiales referidos, a veces, como polímeros cristalinos líquidos de ésteres, éster imida, y oligómeros de éster amida, como se describe en las patentes de Estados Unidos núms. 7,507,784; 6,939,940. Adicionalmente, en la presente invención, ya que tales resinas se emplean a veces como resinas termoendurecibles de alta temperatura, comprenden un fotoiniciador adecuado, tales como los iniciadores benzofenona, antraquinona, y fluoroenona (que incluye derivados de los mismos), para iniciar la reticulación en la irradiación, como se analiza más adelante.

- 45 **Resina de ejemplo adicional.** Particularmente, las resinas útiles para aplicaciones dentales incluyen EnvisionTEC's Clear Guide, EnvisionTEC's E-Denstone Material. Particularmente, las resinas útiles para las industrias de aparatos de corrección auditiva incluyen Series de resinas EnvisionTEC's e-Shell 300. Particularmente, las resinas útiles incluyen EnvisionTEC's HTM140IV High Temperature Mold Material para su uso directamente con caucho vulcanizado en aplicaciones de moldeo/fundición. Un material particularmente útil para la fabricación de partes resistentes y rígidas incluye resina EnvisionTEC's RC31. Una resina particularmente útil para aplicaciones de fundición de precisión incluye EnvisionTEC's Easy Cast EC500.

- 50 **Ingredientes de resina adicional.** La resina líquida o material polimerizable puede tener partículas sólidas suspendidas o dispersas en el mismo. Puede usarse cualquier partícula sólida adecuada, en dependencia del producto final que se fabrique. Las partículas pueden ser metálicas, orgánicas/poliméricas, inorgánicas, o compuestos o sus mezclas. Las partículas pueden ser no conductoras, semiconductoras, o conductoras (que incluye conductores metálicos y no metálicos o polímeros); y las partículas pueden ser magnéticas, ferromagnéticas, paramagnéticas, o no magnéticas. Las partículas pueden ser de cualquier forma adecuada, que incluye la forma esférica, elíptica, cilíndrica, etcétera. Las partículas pueden comprender un agente activo o compuesto detectable como se describió anteriormente, aunque estos también pueden proporcionarse solubilizados disueltos en la resina líquida como también se analiza más adelante. Por ejemplo, pueden emplearse partículas magnéticas o paramagnéticas o nanopartículas.

La resina líquida puede tener ingredientes adicionales solubilizados en la misma, que incluye pigmentos, colorantes, compuestos activos o compuestos farmacéuticos, compuestos detectables (*por ejemplo*, fluorescente, fosforescente, radioactivo), etcétera, nuevamente en dependencia del propósito particular del producto que se fabrique. Ejemplos de tales ingredientes adicionales incluyen, pero no se limitan a, proteínas, péptidos, ácidos nucleicos (DNA, RNA) tales como siRNA, azúcares, pequeños compuestos orgánicos (fármacos y compuestos fármaco similares), etcétera, que incluye combinaciones de los mismos.

Inhibidores de polimerización. Inhibidores o inhibidores de polimerización para su uso en la presente invención pueden ser en forma de un líquido o un gas. En algunas realizaciones, se prefieren los inhibidores de gas. El inhibidor específico dependerá del monómero que se polimerice y la reacción de polimerización. Para los monómeros de polimerización por radicales libres, el inhibidor puede convenientemente, ser oxígeno, que se puede proporcionar en forma de un gas tal como aire, un gas enriquecido en oxígeno (opcionalmente pero en algunas realizaciones contienen preferentemente gases inertes adicionales para reducir la combustibilidad de los mismos), o en algunas realizaciones gas de oxígeno puro. En realizaciones alternativas, tales como donde el monómero se polimeriza mediante el iniciador generador de fotoácido, el inhibidor puede ser una base tales como amoniaco, aminas traça (*por ejemplo* metilamina, etilamina, di y triálquil aminas tales como dimetilamina, dietilamina, trimetilamina, trietilamina, etcétera), o dióxido de carbono, que incluye mezclas o combinaciones de los mismos.

Líquidos polimerizables que transportan células vivas. En algunas realizaciones, el líquido polimerizable puede transportar células vivas como "partículas" en el mismo. Tales líquidos polimerizables generalmente son acuosos, y pueden oxigenarse, y pueden considerarse como "emulsiones" donde las células vivas son la fase discreta. Células vivas adecuadas pueden ser células de plantas (*por ejemplo*, monocotiledóneas, dicotiledóneas), células animales (*por ejemplo*, células de mamíferos, aviares, anfibios, reptiles), células microbianas (*por ejemplo*, procariotas, eucariotas, protozoarias, etcétera), etcétera. Las células pueden ser de células diferenciadas a partir de o correspondientes a cualquier tipo de tejido (*por ejemplo*, sangre, cartílago, hueso, músculo, glándula endocrina, glándula exocrina, epiteliales, endoteliales, etcétera), o pueden ser células no diferenciadas tales como células madre o células progenitoras. En tales realizaciones el líquido polimerizable puede ser uno que forma un hidrogel, que incluye pero no se limita a los descritos en las patentes de Estados Unidos núms. 7,651,683; 7,651,682; 7,556,490; 6,602,975; 5,836,313; etcétera.

2. Aparato.

Una realización no limitativa de un aparato de la invención se muestra en la Figura 2. Esta comprende una fuente de radiación 11 tal como un procesador digital de luz (DLP) que proporciona radiación electromagnética 12 a través de la cual el espejo de reflexión 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, cámara de construcción que se rellena con resina líquida 16. La parte inferior de la cámara 15 se construye de la placa de construcción rígida que comprende un miembro semipermeable rígido como se analiza más adelante. La parte superior del objeto en construcción 17 se acopla a un portador 18. El portador se impulsa en la dirección vertical mediante la etapa lineal 19, aunque pueden usarse estructuras alternativas como se analiza más adelante.

Un depósito de resina líquida, tuberías, sensores de nivel de líquido de las bombas y/o válvulas pueden incluirse para reponer el depósito de resina líquida en la cámara de construcción (no se muestra por claridad), aunque en algunas realizaciones se emplea un simple suministro por gravedad. Los accionadores/actuadores para el portador o etapa lineal, junto con el cableado asociado, pueden incluirse de acuerdo con técnicas conocidas (nuevamente no se muestra por claridad). Los accionadores/actuadores, fuente de radiación, y en algunas realizaciones bombas y sensores del nivel de líquido pueden, todos, asociarse operativamente con un controlador adecuado, nuevamente de acuerdo con las técnicas conocidas.

Las placas de construcción 15 usadas para llevar a cabo la presente invención generalmente comprenden o consisten de un miembro semipermeable (o permeable al gas) (típicamente rígido o sólido, estacionario y/o fijo), solo o en combinación con uno o más sustratos de soporte adicional (*por ejemplo*, abrazaderas y miembros de tensión para dar rigidez a materiales semipermeables flexibles diferentes). El miembro semipermeable rígido puede fabricarse de cualquier material adecuado que sea ópticamente transparente a las longitudes de onda pertinentes (o de lo contrario transparente a la fuente de radiación, sea o no visualmente transparente como se percibe por el ojo humano-es *decir*, una ventana ópticamente transparente puede en algunas realizaciones ser opaca visualmente), que incluyen pero no se limitan a vidrio poroso o microporoso, y los polímeros rígidos permeables al gas usados para la fabricación de lentes de contactos rígidos permeables al gas. Ver, *por ejemplo*, la patente de Estado Unidos núm. RE31,406, de Norman G. Gaylord; ver también las patentes de Estados Unidos 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. En algunas realizaciones tales materiales se caracterizan como polímeros cristalinos y/o amorfos y/o sustancialmente reticulados que son esencialmente no hinchables. Preferentemente el miembro semipermeable rígido se forma de un material que no se hincha cuando entra en contacto con la resina líquida o material a polimerizar (es *decir*, es "no hinchable"). Los materiales adecuados para el miembro semipermeable rígido incluyen fluoropolímeros amorfos rígidos, tales como los descritos en las patentes de Estados Unidos núms. 5,308,685 y 5,051,115. Por ejemplo, tales fluoropolímeros son particularmente útiles por encima de las siliconas, que podrían potencialmente hincharse cuando se usan en relación con tintas de resina líquida orgánica para polimerizarse. Para algunas tintas de resina líquida, tales como sistemas monoméricos de base más

acuosa y/o algunos sistemas de tintas de resina polimérica que tienen baja tendencia a hincharse, pueden ser adecuados los materiales de ventana a base de silicona. La solubilidad o permeabilidad de tintas de resina líquida orgánica pueden disminuir dramáticamente por 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 realizaciones 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 fija y se tensiona cuando se instala en el aparato (*por ejemplo*, con un anillo tensor) de manera que queda rígida en el aparato. Los materiales particulares incluyen fluoropolímeros TEFLON AF® de DuPont, comercialmente disponibles. Materiales adicionales incluyen polímeros de perfluoropoliéter tal como se describe en las patentes de Estados Unidos núms. 8,268,446; 8,263,129; 8,158,728; y 7,435,495.

Se apreciará que esencialmente todos los materiales sólidos, y la mayoría de los descritos anteriormente, tienen algún inherente "flex" incluso aunque puedan considerarse "rígido", 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. Adicionalmente, los términos "estacionaria" o "fijo" con respecto a la placa de construcción se destinan para significar que no ocurre interrupción mecánica del proceso, o no se proporciona mecanismo o estructura para interrupción mecánica del proceso (como en un método o aparato capa por capa), incluso si se proporciona un mecanismo para el ajuste incremental de la placa de construcción (*por ejemplo*, el ajuste que no conduce a, o causa colapso del gradiente de la zona de polimerización).

El miembro semipermeable, típicamente comprende, una porción de la superficie superior, una porción de la superficie inferior, y una porción de la superficie de borde. La superficie de construcción se encuentra sobre la porción de la superficie superior; y la superficie de suministro puede encontrarse en una, dos, o en las tres de la porción de la superficie superior, la porción de la superficie inferior, y/o la porción de la superficie de borde. En la realización ilustrada en la Figura 2, la superficie de suministro se encuentra sobre la porción de la superficie inferior, pero configuraciones alternativas donde la superficie de suministro se proporciona sobre un borde, y/o sobre la porción de la superficie superior (cerca pero separada o alejada de la superficie de construcción) pueden implementarse con habilidades rutinarias.

El miembro semipermeable tiene, en algunas realizaciones, un grosor de 0.01, 0.1 o 1 milímetros a 10 o 100 milímetros, o más (en dependencia del tamaño del elemento que se fabrica, si se lamina o no a, o en contacto con una placa de soporte adicional tal como vidrio, etcétera, como se analiza más adelante).

La permeabilidad del miembro semipermeable al inhibidor de la polimerización dependerá de las condiciones tales como la presión de la atmósfera y/o el inhibidor, la elección del inhibidor, la tasa o velocidad de fabricación, etcétera. En general, cuando el inhibidor es oxígeno, la permeabilidad del miembro semipermeable al oxígeno puede ser desde 10 o 20 barreras, hasta 1000 o 2000 barreras, o más. *Por ejemplo*, un miembro semipermeable con una permeabilidad de 10 barreras usada con un oxígeno puro, u oxígeno altamente enriquecido, donde la atmósfera bajo una presión de 150 PSI, puede actuar sustancialmente igual que un miembro semipermeable con una permeabilidad de 500 barreras cuando el oxígeno se suministra desde la atmósfera ambiente bajo condiciones atmosféricas.

Por lo tanto, el miembro semipermeable puede comprender una película de polímero flexible (que tiene cualquier grosor adecuado, *por ejemplo*, de 0.001, 0.01, 0.1 o 1 milímetros a 5, 10, o 100 milímetros, o más), y la placa de construcción puede comprender además un miembro de tensión (*por ejemplo*, una abrazadera periférica y un miembro de deformación o miembro de estiramiento asociado operativamente, como en un "tambor portacabezas"; una pluralidad de abrazaderas periféricas, etcétera, que incluye combinaciones de los mismos) conectado a la película de polímero y para fijar y dar rigidez a la película (*por ejemplo*, al menos suficientemente de manera que la película no se pegue al objeto en la medida que el objeto avanza y rebote elásticamente del mismo). La película tiene una superficie superior y una superficie inferior, con la superficie de construcción sobre la superficie superior y la superficie de suministro preferentemente sobre la superficie inferior. En otras realizaciones, el miembro semipermeable comprende: (i) una capa de película de polímero (que tiene cualquier grosor adecuado, *por ejemplo*, de 0.001, 0.01, 0.1 o 1 milímetros a 5, 10 o 100 milímetros, o más), que tiene una superficie superior posicionada para poner en contacto dicho líquido polimerizable y una superficie inferior, y (ii) un miembro de soporte ópticamente transparente, rígido, permeable al gas, (que tiene cualquier grosor adecuado, *por ejemplo*, desde 0.01, 0.1 o 1 milímetros a 10, 100, o 200 milímetros, o más), en contacto con dicha superficie inferior de 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 funcionar como la superficie de suministro para el inhibidor de polimerización. Puede usarse cualquier material adecuado que sea semipermeable (esto es, permeable al inhibidor de polimerización). *Por ejemplo*, la película de polímero o capa de película de polímero puede, *por ejemplo*, ser una película de fluoropolímero, tales como un fluoropolímero termoplástico amorfo como TEFLON AF 1600™ o películas de fluoropolímeros de TEFLON AF 2400™, o perfluoropoliéter (PFPE), particularmente una película de PFPE reticulada, o una película de polímero de silicona reticulada. El miembro de soporte comprende un miembro de polímero de silicona reticulada o silicona tales como un miembro de polidimetilsiloxano, un miembro de polímero rígido permeable al gas, o un miembro de vidrio poroso o microporoso. Las películas pueden laminarse o fijarse directamente al miembro de soporte rígido sin adhesivo (*por ejemplo*, mediante el uso de materiales de PFPE y de PDMS), o agentes de acoplamiento de silano que reaccionan con la superficie superior de una capa de PDMS pueden usarse para adherir a la primera capa de película

de polímero. Las siliconas de acrilatos funcionales, curable por UV, también pueden usarse como una capa de unión entre capas de soporte de PFPE curable por UV y de PDMS rígidas.

Cuando se configura para su colocación en el aparato, el portador define una "región de construcción" sobre la superficie de construcción, dentro del área total de la superficie de construcción. Debido a que el "estiramiento" lateral (por ejemplo, en las direcciones X y/o Y) no se requiere en la presente invención para romper la adhesión entre las capas sucesivas, como en los dispositivos Joyce y Chen señalados anteriormente, el área de la región de construcción dentro de la superficie de construcción puede aumentarse al máximo (o al contrario, el área de la superficie de construcción no dedicada a la región de construcción puede disminuirse al máximo). De ahí que, en algunas realizaciones, el área de la superficie total de la región de construcción puede ocupar al menos cincuenta, sesenta, setenta, ochenta, o noventa por ciento del área de la superficie total de la superficie de construcción.

Como se muestra en la Figura 2, los diversos componentes se montan sobre un soporte o conjunto de marcos 20. Aunque el diseño particular del soporte o conjunto de marcos no es crítica y puede asumir numerosas configuraciones, en la realización ilustrada se comprende de una base 21 a la que la fuente de radiación 11 se acopla de manera segura y rígida, un miembro vertical 22 al que la etapa lineal se asocia operativamente, y una mesa horizontal 23 a cuya pared 14 se acopla de manera removible y segura (o sobre el cual se ubica la pared), y con la placa de construcción fija rigidamente, ya sea de manera permanente o de manera removible, para formar la cámara de construcción como se describió anteriormente.

Como se indicó anteriormente, la placa de construcción puede consistir de una única pieza unitaria e integral de un miembro semipermeable rígido, o puede comprender materiales adicionales. Por ejemplo, como se muestra en 3ra 2A, un vidrio poroso o microporoso puede laminarse o fijarse a un material semipermeable rígido. O, como se muestra en la Figura 3B, un miembro semipermeable como una porción superior, puede fijarse a un miembro inferior transparente que tiene canales de purga formados en el mismo para suministrar el gas que transporta el inhibidor de la 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 indicó anteriormente y más adelante). Tales canales de purga pueden extenderse completamente o parcialmente a través de la placa base: Por ejemplo, los canales de purga pueden extenderse parcialmente en la placa base, pero luego terminar en la región directamente subyacente a la superficie de construcción para evitar la introducción de distorsión. Las geometrías específicas dependerán de si la superficie de suministro para el inhibidor en el miembro semipermeable se localiza sobre el mismo lado o el lado opuesto de la superficie de construcción, sobre una porción de borde de la misma, o una combinación de varios de los mismos.

Puede usarse cualquier fuente de radiación adecuada (o combinación de las mismas), en dependencia de la resina particular empleada, que incluye fuentes de haz de electrones y radiación ionizante. En una realización 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, tales como luces incandescentes, luces fluorescentes, luces fosforescentes o luminescentes, un láser, diodo emisor de luz, etcétera, que incluye disposiciones de los mismos. La fuente de luz preferentemente incluye un elemento de formación de patrón asociado operativamente con un controlador, como se indicó anteriormente. En algunas realizaciones, la fuente de luz o elemento de formación del patrón comprende un sistema digital (o deformable) de microespejos (DMD) con tratamiento digital de la luz (DLP), un modulador espacial (SLM), o una disposición de espejos de un sistema microelectromecánico (MEMS), una máscara (también conocida como un retículo), 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 disposición para la modulación espacial de luz tal como una disposición de válvulas de luz de cristal líquido o disposición de microespejos o DMD (por ejemplo, con un procesador digital de luz asociado operativamente, típicamente a su vez bajo el control de un controlador adecuado), configurado para llevar a cabo la exposición o la irradiación del líquido polimerizable sin una máscara, por ejemplo, mediante fotolitografía sin máscara. Ver, por ejemplo, las patentes de Estados Unidos núms. 6,312,134; 6,248,509; 6,238,852; y 5,691,541.

Los portadores alternativos y arreglos de actuador/accionador se muestran en la Figura 4. Pueden emplearse numerosas variaciones, que incluye un carrete receptor, una unidad de accionamiento XYZ (por ejemplo, como se usa comúnmente en una etapa de microscopio automático), etcétera. En la realización ilustrada en la Figura 2 la unidad de accionamiento generalmente comprenderá un motor y engranaje de tornillos sin fin, un bastidor y piñón y motor, un accionador hidráulico, neumático, o piezoeléctrico, o similares, adaptados para mover o hacer avanzar el portador lejos de la superficie de construcción solamente en la dirección vertical o "Z". En la realización alternativa mostrada en la Figura 4 pueden usarse un carrete o carrete receptor, con guías y accionadores o actuadores asociados (no mostrados), particularmente cuando el producto que se fabrica es una varilla o fibra alargada (analizado más adelante). En una realización alternativa, un par de carretes receptores con guías asociadas, y accionadores o actuadores asociados (no mostrados), pueden montarse en la etapa lineal para proporcionar movimiento ya sea en la dirección X y/o Y adicional a, o en combinación con, el movimiento en la dirección Z proporcionado por la etapa lineal 19. En aún otras realizaciones, una unidad de accionamiento XYZ como el usado en un microscopio automático puede usarse en lugar de la etapa lineal 19 para mover o hacer avanzar el portador lejos de la superficie de construcción en las direcciones X, Y, y/o Z, por ejemplo, en un ángulo, o en ángulos cambiantes, o combinaciones de direcciones en diversas etapas. Por lo tanto el avance lejos de la placa de construcción puede llevarse a cabo únicamente en la dirección Z (o vertical), o en al menos la dirección Z, mediante la combinación de movimiento en la dirección Z con

movimiento en las direcciones X y/o Y. En algunas realizaciones, puede haber movimiento en las direcciones X y/o Y simultáneamente con movimiento en la dirección Z, con el movimiento en las direcciones X y/o Y, de ahí que ocurra durante la polimerización del líquido polimerizable (esto es por el contrario, el movimiento descrito en Y. Chen y otros, o M. Joyce, *supra*, que es el movimiento entre etapas de polimerización anteriores y subsecuentes con el fin de reponer el líquido polimerizable). En la presente invención tal movimiento puede llevarse a cabo con fines tales como reducir el "quemado" o suciedad en una zona particular de la superficie de construcción.

Debido a que una ventaja de algunas realizaciones de la presente invención es que el tamaño de la superficie de construcción sobre el miembro semipermeable (es decir, la placa de construcción o ventana) puede reducirse debido a la ausencia de un requisito para "estiramiento" lateral importante como en los dispositivos Joyce o Chen indicados anteriormente, en los métodos, sistemas y aparato de la presente invención el movimiento lateral (que incluye el movimiento en la dirección X y/o Y o la combinación de los mismos) del portador y objeto (si tal movimiento lateral está presente) es preferentemente no más de, o menos de, 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 realizaciones el portador se monta sobre un elevador para avanzar hacia arriba y lejos de una placa de construcción estacionaria, en otras realizaciones puede usarse la disposición contraria: Es decir, el portador puede fijarse y la placa de construcción bajar para de esta manera hacer avanzar el portador lejos de la misma. Numerosas configuraciones mecánicas diferentes serán aparentes para los expertos en la técnica para lograr el mismo resultado, en todas las cuales la placa de construcción es "estacionaria" en el sentido que no se requiere movimiento lateral (X o Y) para reponer el inhibidor en el mismo, o necesita emplearse la placa de construcción no elástica que debe estrecharse y luego rebotar (con asociado sobre avance, y en reversa del portador).

En dependencia de la selección de material a partir del cual el portador se fabrica, y la selección de polímero o resina a partir del cual el artículo se fabrica, la adhesión del artículo al portador a veces puede ser insuficiente para retener el artículo sobre el portador a través de la terminación del artículo o "construcción" terminada. Por ejemplo, un portador de aluminio puede tener menor adhesión que un portador de poli(vinil cloruro) (o "PVC"). De ahí que una solución es emplear un portador que comprende un PVC sobre la superficie sobre la que se polimeriza el artículo que se fabrica. Si esto promueve una adhesión demasiado grande para separar convenientemente la pieza terminada del portador, entonces pueden usarse cualquiera de una variedad de técnicas para asegurar aún más el artículo a un portador de menor adhesivo, que incluye pero no se limita a la aplicación de cinta adhesiva tal como "Greener Masking Tape for Basic Painting #2025 High adhesion" para asegurar aún más el artículo al portador durante la fabricación.

Capas de sacrificio soluble. En algunas realizaciones, una capa de sacrificio soluble o capa de liberación puede establecerse entre el portador y el objeto tridimensional, de manera que esa capa de sacrificio puede subsecuentemente solubilizarse para liberar convenientemente el objeto tridimensional del portador una vez que se completa la fabricación. Puede emplearse cualquier capa de sacrificio adecuada, tal como un adhesivo, que puede recubrirse o de otra manera proporcionarse en el portador, y cualquier disolvente adecuado (*por ejemplo*, pueden emplearse disolventes orgánicos polares y no polares, disolventes acuosos, etcétera, para solubilizar la capa de liberación de sacrificio, a través de la capa de sacrificio y su disolvente correspondiente debe seleccionarse de manera que el material particular a partir del cual el objeto tridimensional se forma no es en sí exageradamente atacado o solubilizado por ese disolvente. La capa de sacrificio puede aplicarse al portador mediante cualquier técnica adecuada, tal como atomización, revestimiento por inmersión, pintura, etcétera. Los ejemplos de materiales adecuados para la capa de liberación de sacrificio soluble (y ejemplos de disolventes correspondiente no limitativo) incluyen pero no se limitan a: adhesivo de cianoacrilato (disolvente de acetona); poli(vinilpirrolidona) (disolvente de agua y/o alcohol de isopropilo); lacas (disolvente de acetona); alcohol de polivinilo, ácido poliacrílico, poli(ácido metacrílico), poliacrilamida, óxidos de polialquileno tales como poli(óxido de etileno), azúcares y sacáridos tales como sacarosa y dextrano (todas las aguas o disolventes acuosos); etcétera. Los disolventes de menor energía superficial se prefieren particularmente en algunas realizaciones.

En algunas realizaciones de la invención, el accionador/accionador y/o el controlador asociado se configuran para avanzar solamente el portador lejos de la placa de construcción (*por ejemplo*, es unidireccional), como se analiza más adelante.

En algunas realizaciones de la invención, el accionador/accionador y/o controlador asociado se configuran como un accionador continuo (en lugar de un accionador escalonado), como también se analiza más adelante.

3. Métodos.

Como se señaló anteriormente, la presente invención 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 suministro separada de dicha superficie de construcción, donde dicha superficie de construcción y dicho portador definen una región de construcción entre ellos, y con dicha superficie de suministro en contacto fluido con un inhibidor de la polimerización; después (simultáneamente y/o secuencialmente) (b) rellenar dicha región de construcción con un líquido polimerizable, dicho líquido polimerizable entra 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 un capa de liberación de película líquida compuesta de dicho líquido polimerizable formado entre dicha región polimerizada sólida y dicha superficie de construcción, la polimerización de dicha película líquida se inhibe por dicho inhibidor de la polimerización; y (d) hacer avanzar dicho portador con dicha región polimerizada adherida a él lejos de dicha superficie de construcción sobre dicha placa de construcción estacionaria para crear una región de construcción posterior entre dicha región polimerizada y dicha zona superior. En general el método incluye (e) continuar y/o repetir las etapas (b) a la (d) para producir una región polimerizada posterior adherida a la región polimerizada anterior hasta que la deposición continuada o repetida de las regiones polimerizadas adheridas entre sí forme dicho objeto tridimensional.

Dado que no se requiere la liberación mecánica de una capa de liberación, o no se requiere el movimiento mecánico de una superficie de construcción para reponer el oxígeno, el método puede llevarse a cabo de una manera continua, aunque se apreciará que las etapas individuales mencionadas anteriormente pueden llevarse a cabo secuencialmente, simultáneamente, o una combinación de estas. De hecho, la velocidad de las etapas puede variar con el tiempo en dependencia de factores tales como la densidad y/o la complejidad de la región en fabricación.

Además, dado que la liberación mecánica desde una ventana o desde una capa de liberación generalmente requiere que el portador avance una distancia mayor de la placa de construcción que lo deseado para la siguiente etapa de irradiación, lo que permite que la ventana se recubra, y después el regreso del portador a una posición más cercana de la placa de construcción (*por ejemplo*, una operación de "dos pasos hacia adelante un paso atrás"), la presente invención en algunas realizaciones permite la eliminación de esta etapa "en reversa" y permite que el portador avance unidireccionalmente, o en una sola dirección, sin intervenir el movimiento de la ventana para el recubrimiento, o "chasquido" de una capa de liberación elástica preformada.

En algunas realizaciones, la etapa de avanzar 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 etapa o incremento. En algunas realizaciones, la etapa de avanzar se lleva a cabo secuencialmente en incrementos variables (*por ejemplo*, cada incremento está en el intervalo de 0.1 o 1 micras, hasta 10 o 100 micras, o más) para cada etapa o incremento. El tamaño del incremento, junto con la velocidad de avance, dependerá en parte de factores tales como la temperatura, la presión, la estructura del artículo que se produce (*por ejemplo*, tamaño, densidad, complejidad, configuración, etcétera).

En otras realizaciones de la invención, la etapa de avanzar se lleva a cabo continuamente, a una velocidad uniforme o variable.

En algunas realizaciones, la velocidad de avance (llevado a cabo secuencialmente o continuamente) es de aproximadamente 0.1, 1, o 10 micras por segundo, hasta aproximadamente 100, 1,000, o 10,000 micras por segundo, de nuevo en dependencia de factores tales como temperatura, presión, estructura del artículo que se produce, intensidad de la radiación, etcétera.

Como se describe más adelante, en algunas realizaciones la etapa de rellenar se lleva a cabo al forzar dicho líquido polimerizable hacia dicha región de construcción bajo presión. En tal caso, la etapa o etapas de avanzado pueden llevarse a cabo a una velocidad o velocidad acumulativa o promedio de al menos 0.1, 1, 10, 50, 100, 500 o 1,000 micras por segundo, o más. En general, la presión puede ser cualquiera que sea suficiente para aumentar la velocidad de dicha(s) etapa(s) 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 la presión se proporciona al encerrar un aparato tal como se describió anteriormente en un recipiente a presión y realizar el proceso en una atmósfera presurizada (*por ejemplo*, de aire, aire enriquecido con oxígeno, una mezcla de gases, oxígeno puro, etcétera) puede usarse una presión de 10, 20, 30 o 40 libras por pulgada cuadrada (PSI) hasta, 200, 300, 400 o 500 PSI o más. Para la fabricación de objetos irregulares grandes las presiones más altas pueden preferirse menos en comparación con tiempos de fabricación más lentos debido al costo de un recipiente a alta presión de gran tamaño. En tal realización, la superficie de suministro y el líquido polimerizable puede estar en contacto fluido con el mismo gas comprimido (*por ejemplo*, uno que comprende de 20 a 95 por ciento en volumen de oxígeno, el oxígeno sirve como el inhibidor de la polimerización).

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

Como se señaló anteriormente, en algunas realizaciones la etapa de irradiación se lleva a cabo con irradiación con diseño. La irradiación con diseño puede ser un patrón fijo o puede ser un patrón variable creado por un generador de patrones (*por ejemplo*, un DLP) como se analizó anteriormente, en dependencia del artículo particular que se fabrica.

Cuando la irradiación con diseños es un patrón variable en lugar de un patrón que se mantiene constante en el tiempo, entonces cada etapa de irradiación puede ser de cualquier tiempo o duración adecuados en dependencia de factores tales como la intensidad de la irradiación, la presencia o ausencia de colorantes en el material polimerizable, la velocidad de crecimiento, etcétera. Por lo tanto en algunas realizaciones 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, en duración. En algunas realizaciones el intervalo

entre cada etapa de irradiación es, preferentemente, lo más breve posible, *por ejemplo*, de 0.001, 0.01, 0.1, o 1 microsegundos hasta 0.1, 1, o 10 segundos.

En algunas realizaciones la superficie de construcción es plana; en otras la superficie de construcción es irregular tal como curvada de manera convexa o cóncava, o tiene paredes o zanjas formadas en ella. En cualquier caso la superficie de construcción puede ser lisa o con textura.

Las placas de construcción curvadas y/o irregulares o superficies de construcción pueden usarse en la formación de fibras o varillas, para proporcionar diferentes materiales a un único objeto en fabricación (es decir, diferentes líquidos polimerizables a la misma superficie de construcción a través de canales o zanjas formados en la superficie de construcción, cada uno asociado con un suministro de líquido separado, etcétera.

Canales de suministro del portador para el líquido polimerizable. Aunque el líquido polimerizable puede proporcionarse directamente a la placa de construcción a partir de un sistema de conductos y depósitos de líquidos, en algunas realizaciones el portador incluye uno o más canales de suministro en él. Los canales de suministro de portador están en comunicación fluida con el suministro del líquido polimerizable, por ejemplo un depósito y una bomba asociada. Diferentes canales de suministro al portador pueden estar en comunicación fluida con el mismo suministro y operar simultáneamente entre sí, o diferentes canales de suministro al portador pueden controlarse por separado el uno del otro (por ejemplo, mediante la provisión de una bomba y/o válvula para cada uno). Los canales de suministro controlables por separado pueden estar en comunicación fluida con un depósito que contiene el mismo líquido polimerizable, o pueden estar en comunicación fluida con un depósito que contiene líquidos polimerizables diferentes. Mediante el uso de unidades de válvulas, diferentes líquidos polimerizables, en algunas realizaciones, pueden suministrarse alternativamente a través del mismo canal de suministro, si se desea.

4. Controlador y control del proceso.

Los métodos y el aparato de la invención pueden incluir etapas del proceso y características del aparato para implementar el control de los procesos, que incluye control de retroalimentación y alimentación hacia adelante, para, por ejemplo, mejorar la velocidad y/o fiabilidad del método.

Un controlador para su uso en realizar la presente invención puede implementarse como circuitos de hardware, programas informáticos, o sus combinaciones. En una realización, el controlador es un ordenador de propósito general que ejecuta programas informáticos, asociada operativamente con monitores, unidades, bombas, y otros componentes a través de hardware y/o programa informático con interfaz adecuada. Los programas informáticos adecuados para el control de una impresión tridimensional o método de fabricación y un aparato como se describe en la presente descripción incluyen, pero no se limitan a, el programa de impresión en 3D de código abierto ReplicatorG, el programa informático controlador 3DPrint™ de 3D Systems, Slic3r, Skeinforge, KISSlicer, Repetier-Host, PrintRun, Cura, etcétera, que incluyen sus combinaciones.

Los parámetros del proceso para controlar directa o indirectamente, de manera continua o intermitente, durante el proceso (*por ejemplo*, durante una, algunas o todas de dichas etapas de llenado, irradiación y avance) incluyen, pero no se limitan a, la intensidad de la 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 en fabricación), la tensión (*por ejemplo*, ejercida sobre el portador mediante el producto en crecimiento que se fabrica), el grosor de la capa de liberación, etcétera.

Los parámetros conocidos que pueden usarse en los sistemas de control con retroalimentación y/o con alimentación hacia adelante incluyen, pero no se limitan a, el consumo esperado de líquido polimerizable (por ejemplo, a partir de la geometría o el volumen conocidos del artículo en fabricación), la temperatura de degradación del polímero en formación a partir del líquido polimerizable, etcétera.

Las condiciones del proceso para controlar directa o indirectamente, de manera continua o por etapas, en respuesta a un parámetro controlado, y/o parámetros conocidos (*por ejemplo*, durante cualquiera o todas las etapas del proceso mencionadas anteriormente), incluyen, pero no se limitan a, la velocidad de suministro del líquido polimerizable, la temperatura, la presión, la tasa o velocidad de avance del portador, la intensidad de la irradiación, la duración de la irradiación (*por ejemplo* para cada "sector"), etcétera.

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

Además, la intensidad de la fuente de irradiación (*por ejemplo*, una fuente de luz ultravioleta tal como una lámpara de mercurio) puede controlarse con un fotodetector para detectar una disminución de la intensidad de la fuente de irradiación (*por ejemplo*, a través de la degradación de rutina de esta durante el uso). Si se detecta, un parámetro del proceso puede ajustarse a través de un controlador para acomodar la pérdida de intensidad. Los parámetros adecuados del proceso para dicho ajuste pueden incluir: aumento de la temperatura con un calentador, disminución de la velocidad de avance del portador, aumento de la potencia de la fuente de luz, etcétera.

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 uno con el otro y por separado en respuesta a un controlador), y/o con un suministro de presión (*por ejemplo*, bomba, recipiente a presión, válvulas y sus combinaciones) y/o un mecanismo de liberación de presión tal como una válvula controlable (individualmente, o en combinación uno con el otro y por separado en respuesta a un controlador).

En algunas realizaciones 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 parte o de la totalidad del producto final. La configuración específica (*por ejemplo*, las veces, la tasa o velocidad de avance, la intensidad de la radiación, la temperatura, etcétera) dependerá de factores tales como la naturaleza del líquido polimerizable específico y el producto en creación. La configuración para mantener el gradiente de la zona de polimerización puede llevarse a cabo empíricamente, mediante la introducción de un conjunto de parámetros del proceso o mediante instrucciones determinadas previamente, o determinadas a través de una serie de ejecuciones de pruebas o de "ensayo y error"; la configuración puede proporcionarse a través de instrucciones predeterminadas; la configuración puede lograrse mediante el control y la retroalimentación adecuados (como se analizó anteriormente), sus combinaciones, o de cualquier otra manera adecuada.

5. Productos de fabricación.

Los productos tridimensionales producidos mediante los métodos y procesos de la presente invención pueden ser productos finales, terminados o sustancialmente terminados, o pueden ser productos intermedios sometidos a otras etapas de fabricación, tales como tratamiento de superficies, corte por láser, mecanizado por descarga eléctrica, etcétera. Los productos intermedios incluyen productos para los cuales pueden llevarse a cabo otros procesos de fabricación, en el mismo aparato o en uno diferente). Por ejemplo, una línea de falla o escisión puede introducirse deliberadamente en una "construcción" en curso mediante la interrupción, y después el restablecimiento, 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 las demás.

Numerosos productos diferentes pueden prepararse mediante los métodos y aparatos de la presente invención, que incluyen modelos a gran escala o prototipos, productos personalizados pequeños, productos o dispositivos en miniatura o microminiatura, etcétera. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, dispositivos médicos y dispositivos médicos implantables tales como endoprótesis, depósitos para el suministro de fármacos, estructuras funcionales, disposiciones de microagujas, fibras y varillas, tales como guías de onda, dispositivos micromecánicos, dispositivos de microfluidos, etcétera.

Por lo tanto en algunas realizaciones el producto puede tener una altura de 0.1 o 1 milímetros hasta 10 o 100 milímetros, o más, y/o un ancho máximo de 0.1 o 1 milímetros hasta 10 o 100 milímetros, o más. En otras realizaciones, 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 solo son ejemplos: El tamaño y ancho máximos depende de la arquitectura del dispositivo en particular y la resolución de la fuente de luz y puede ajustarse en dependencia del objetivo particular de la realización o artículo en fabricación.

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

En algunas realizaciones, el producto tiene al menos uno, o una pluralidad de, poros o canales formados en él, como se analiza más adelante.

Los procesos descritos en la presente descripción pueden producir productos con una variedad de propiedades diferentes. De ahí que en algunas realizaciones los productos son rígidos; en otras realizaciones los productos son flexibles o elásticos. En algunas realizaciones, los productos son un sólido; en otras realizaciones, los productos son un gel tal como un hidrogel. En algunas realizaciones, los productos tienen una memoria de forma (es decir, regresan sustancialmente a una forma anterior después de haberse deformado, siempre y cuando no se deformen hasta el punto de fallo estructural). En algunas realizaciones, los productos son unitarios (es decir, se forman de un único líquido polimerizable); en algunas realizaciones, los productos son compuestos (es decir, se forman por dos o más líquidos polimerizables diferentes). Las propiedades particulares se determinarán por factores tales como la elección del (de los) líquido(s) polimerizable(s) empleados.

En algunas realizaciones, el producto o artículo fabricado tiene al menos una característica sobresaliente (o "saliente"), tal como un elemento de puente entre dos cuerpos de soporte, o un elemento en voladizo que sobresale de un cuerpo de soporte sustancialmente vertical. Debido a la naturaleza unidireccional, continua de algunas realizaciones de los

presentes procesos, se reduce sustancialmente el problema de que las líneas de falla o escisión, que se forman entre las capas cuando cada capa se polimeriza hasta una terminación sustancial y un intervalo de tiempo sustancial, se producen antes de la exposición del siguiente patrón. De ahí que, en algunas realizaciones los métodos son particularmente ventajosos en la reducción o la eliminación del número de estructuras de soporte para tales salientes que se fabrican simultáneamente con el artículo.

La presente invención se explica con mayor detalle en los siguientes ejemplos no limitantes.

Ejemplo 1

Transferencia del inhibidor a la superficie de construcción a partir de una superficie de alimentación separada

Una gota de adhesivo curable ultravioleta (UV) se colocó sobre una placa de metal y se cubrió con una placa de 10 mm de grosor de fluoropolímero AF TEFLON® (un polímero amorfo, vítreo) como se muestra en la Figura 5a, la radiación UV se suministró al adhesivo desde el lado del Teflon AF, como se muestra en la Figura 5b. Después de la exposición UV las dos placas se separaron. Se encontró que no se requirió fuerza para separar las dos placas. Tras un examen de las muestras se descubrió que el adhesivo se curó solamente al lado de la placa de metal, y que una película delgada de adhesivo no curado estaba presente en la placa de fluoropolímero AF Teflon y además en la porción curada del adhesivo como se muestra en la Figura 5c.

Se realizaron además dos experimentos controlados donde se usó vidrio limpio (Figuras 5d-5f) y además vidrio tratado con la capa de liberación (Figuras 5g-5i). Se confirmó que se necesitó una fuerza considerable para separar el vidrio limpio del metal y se encontró que el adhesivo permaneció en el vidrio. Se necesitó menos fuerza para separar el vidrio tratado, mientras que el adhesivo se mantuvo en la placa de metal.

El fenómeno químico que describe el comportamiento observado es la inhibición del oxígeno de la reacción de polimerización por radicales. En particular, AF Teflon tiene un coeficiente de permeabilidad al oxígeno muy elevado. El suministro constante de oxígeno a través de Teflon AF de 10 mm de grosor es suficiente para prevenir la polimerización de una fina capa de un adhesivo de acrilato. El grosor de la capa de adhesivo sin curar en el experimento anterior fue del orden de 10 micras y puede aumentar o disminuir mediante la variación de la cantidad del fotoiniciador presente en el adhesivo.

Ejemplo 2

Transferencia del inhibidor a través de la placa de construcción hasta la superficie de construcción

Las muestras 1 y 2 se prepararon de una manera similar en donde una gota del adhesivo curable por UV se colocó sobre una placa de metal y se cubrió con una placa de 10 mm de grosor de fluoropolímero AF TEFLON® tal como se muestra en la Figura 6a. Ambas muestras se expusieron a un ambiente de nitrógeno para eliminar cualquier presencia de oxígeno, como se muestra en la Figura 6b. Después ambas muestras se pusieron en un ambiente de atmósfera estándar y la Muestra 1 se expuso inmediatamente a la radiación UV mientras que la Muestra 2 se expuso a la radiación UV 10 minutos después de estar en el ambiente atmosférico. Ambas muestras se expusieron a la misma cantidad de radiación UV como se muestra en la Figura 6C y la Figura 6E. Tras un examen de las muestras después de la exposición a UV se descubrió que el adhesivo se curó completamente en la Muestra 1 como se muestra en la Figura 6D y sólo al lado de la placa de metal en la Muestra 2 como se muestra en la Figura 6F. Una película delgada de adhesivo no curado estaba presente en la placa de fluoropolímero AF Teflon y además en la porción curada del adhesivo para la Muestra 2. Este experimento muestra que el inhibidor, el oxígeno, se transfirió a través de la placa de Teflon AF al adhesivo durante el período de 10 minutos de estar expuesto al ambiente atmosférico.

Ejemplo 3

Aumento de la velocidad de fabricación: Presión

Un material transparente al UV, altamente permeable al oxígeno, y se usa como la parte inferior de una cámara llena de resina fotocurable en un dispositivo de la invención. Durante la construcción, la parte superior de un objeto se une a una placa de soporte que se mueve a una velocidad sustancialmente constante mientras que la parte inferior del objeto está en formación constante justo por encima de la parte inferior de la cámara. El espacio entre la parte inferior del objeto y la parte inferior de la cámara siempre está lleno de resina. A medida que el objeto y avanza, la resina en el espacio se repone constantemente con la resina de suministro contenida en la cámara.

La velocidad de formación del objeto depende de la viscosidad de la resina η , la presión atmosférica P , atmosférica, la altura del espacio entre el objeto y la parte inferior de la cámara h , y la dimensión lineal L de la superficie inferior del objeto. Se realizan cálculos sencillos para estimar esta velocidad mediante el uso de la teoría de flujo viscoso entre dos placas paralelas. El tiempo τ que se requiere para llenar el espacio mostrado en la Figura 7 se determina por la ecuación:

$$\tau \sim \left(\frac{L}{h}\right)^2 \frac{\eta}{P}$$

Asumiendo que:

$$L \sim 100 \text{ mm}$$

$$h \sim 100 \text{ micras}$$

$$\eta \sim 100 \text{ cPoise}$$

$$P \sim 1 \text{ atm}$$

En esta realización ilustrativa, se estima que el tiempo τ es del orden de 1 segundo, lo que resulta en velocidades de fabricación de 100 micras por segundo o 5 minutos por pulgada. Estos cálculos suponen que el grosor de la resina no curada se mantiene en aproximadamente 100 micras. En dependencia de las propiedades químicas de la resina y la permeabilidad de la placa base, este parámetro puede variar. Si, por ejemplo, el espacio es de 25 micras, entonces las velocidades de fabricación a presión atmosférica disminuirán de acuerdo con la Ecuación 1 por un factor de 16. Sin embargo, el aumento de la presión ambiental a una presión mayor que la atmosférica, *por ejemplo*, mediante la aplicación de presión externa en el orden de 150 PSI como se muestra en la Figura 8, en algunas realizaciones puede aumentar la velocidad de fabricación por un factor de 10.

Cuando el oxígeno es el inhibidor de la polimerización, el espacio de la resina no curada puede controlarse mediante la alteración del ambiente físico en la cámara cerrada que hace contacto con la superficie de suministro. Por ejemplo, pueden proporcionarse una atmósfera de oxígeno puro, o enriquecida en oxígeno (*por ejemplo*, 95 % de oxígeno y 5 % de dióxido de carbono) en lugar de aire comprimido, con el fin de aumentar el espacio que resulta en aumento del tiempo de fabricación.

Ejemplo 4

Fabricación de varillas y fibras

Los métodos de la presente invención pueden usarse para fabricar una varilla o fibra alargadas, como se muestra en la Figura 9, la varilla o la fibra tienen (por ejemplo) un ancho o diámetro de 0.01 o 0.1 a 10 o 100 milímetros. Aunque se muestra una sección transversal circular, puede utilizarse cualquier sección transversal adecuada, que incluye elíptica, poligonal (triangular, cuadrada, pentagonal, hexagonal, etcétera) irregular, y combinaciones de estas. La varilla o fibra pueden tener una pluralidad de poros o canales alargados formados en ellas (*por ejemplo*, 1, 10, 100, 1,000, 10,000 o 100,000 o más) de cualquier diámetro adecuado (por ejemplo, 0.1 o 1 micras, hasta 10 o 100 micras o más) y cualquier sección transversal adecuada como se describió anteriormente. El líquido no polimerizado en los poros o canales puede retirarse (si se desea) mediante cualquier técnica adecuada, tal como soplado, presión, vacío, calentamiento, secado y combinaciones de estas. La longitud de la varilla o la fibra puede aumentarse mediante la utilización de un carrete de recogida como se describió anteriormente, y la velocidad de fabricación de la varilla o la fibra puede incrementarse al llevar a cabo la polimerización bajo presión como se describió anteriormente. Una pluralidad de tales varillas o fibras puede construirse simultáneamente a partir de una sola placa de construcción, al proporcionar una pluralidad de portadores independientes o carretes de recogida. Tales varillas o fibras pueden usarse para cualquier propósito, tal como utilizar cada poro o canal en ellas como un canal independiente en un sistema microfluído.

Ejemplo 5

Aparato ilustrativo

Un aparato que puede usarse para llevar a cabo la presente invención se ensambló como se describió anteriormente, con un Sistema de Vara con Curado por UV LOCTITE™ como la fuente de luz ultravioleta, una placa de construcción compuesta de una película de Teflon AF 2400 de 0.0025 pulgadas de grosor de Biogeneral sujeta en una ventana y tensada a una rigidez sustancial con un anillo de tensión, componentes ópticos: de Newport Corporation, Edmund Optics, y Thorlabs, un Kit de Desarrollo LightCrafter DLP de Texas Instruments como el proyector digital, una etapa lineal con tornillo de bolas THK Co, LTD que actúa como un ascensor para el portador, un servo continuo de Parallax Inc. como el ascensor y accionamiento del portador o motor, un controlador de movimiento basado en un microcontrolador Propeller de Parallax Inc., un controlador de posición basado en un codificador magnético de Austria Microsystems, un programa informático para el control de movimiento escrito en lenguaje SPIN creado por Parallax, programa informático de corte Slic3r 3D de código abierto, y programa informático para el control de imágenes escrito con el uso del marco Qt y Visual C ++.

Diversos artículos de ejemplos diferentes fabricados con este dispositivo mediante los métodos descritos en la presente descripción se describen más adelante.

Ejemplo 6

Fabricación de una disposición de microagujas de 700 micras

Con el uso de un aparato como se describió en el ejemplo anterior, con triacrilato de trimetilolpropano como el líquido polimerizable, y óxido de difenil(2,4,6-trimetilbenzoil)fosfina como un fotoiniciador, se fabricó una disposición de

microagujas mostrada en la Figura 10. El portador se avanzó unidireccionalmente por el tornillo de bola a una velocidad continua de 10 micras por segundos y se llevaron a cabo exposiciones sucesivas cada 2 micras a lo largo de la altura de la construcción con una duración de 0.2 segundos por exposición. El número total de exposiciones sucesivas fue de 350 y el tiempo total de fabricación fue de 70 segundos.

5 Ejemplo 7

Fabricación de una disposición de microagujas de 2,000 micras

La disposición de microagujas de 2,000 micras mostrada en la Figura 11 se fabricó de manera similar a la descrita en el ejemplo 6 anterior, con 1,000 exposiciones sucesivas durante un tiempo total de fabricación de 200 segundos.

10 Será evidente que otras disposiciones, por ejemplo, con microagujas que tienen anchos de 5 a 500 micrómetros y alturas de 5 a 2,000 micrómetros o más, pueden fabricarse de la misma manera. Aunque se muestra una sección transversal cuadrada, puede utilizarse cualquier sección transversal adecuada, que incluye circular, elíptica, poligonal (triangular, rectangular, pentagonal, hexagonal, etcétera) irregular, y combinaciones de estas. La separación entre las microagujas puede variarse como se desee, por ejemplo de 5 a 100 micrómetros, y las microagujas u otras microestructuras puede disponerse con respecto a las otras en cualquier patrón adecuado, por ejemplo, cuadrado, 15 rectangular, hexagonal, etcétera.

Ejemplo 8

Fabricación de una estructura de anillo

20 Un anillo se fabricó mediante el uso del aparato descrito en el Ejemplo 5 anterior, con triacrilato de trimetilolpropano como el líquido polimerizable, y óxido de difenil(2, A-6-trimetilbenzoil)fosfina como el fotoiniciador. El portador se avanzó unidireccionalmente por el tornillo de bola a una velocidad continua de 20 micras por segundo y se realizaron exposiciones sucesivas cada 10 micras a lo largo de la altura de la construcción con una duración de 0.5 segundos por exposición. El número total de exposiciones sucesivas fue de 1040 y el tiempo total de fabricación fue de 520 segundos. La Figura 12 muestra el anillo durante la fabricación, y la Figura 13 muestra el anillo después de la fabricación. Note la ausencia de soportes para elementos muy salientes durante la fabricación.

25 Ejemplo 9

Fabricación de una pieza de ajedrez

30 La pieza de ajedrez mostrada en la Figura 14 se fabricó mediante el uso del aparato descrito en los ejemplos anteriores, con triacrilato de trimetilolpropano como el líquido polimerizable, y óxido de difenil(2,4,6-trimetilbenzoil)fosfina como el fotoiniciador. El portador se avanzó unidireccionalmente mediante el engranaje de tornillo sin fin a una velocidad continua de 20 micras por segundo y se realizaron exposiciones sucesivas cada 10 micras a lo largo de la altura de la construcción con una duración de 0.5 segundos por exposición. El número total de exposiciones sucesivas fue de 1070 y el tiempo total de fabricación fue de 535 segundos.

Ejemplo 10

Fabricación de un prisma rectangular acanalado

35 El prisma rectangular acanalado mostrado en la Figura 15 se fabricó mediante el uso del aparato descrito en los ejemplos anteriores, con triacrilato de trimetilolpropano como el líquido polimerizable, y óxido de difenil(2,4,6-trimetilbenzoil)fosfina como el fotoiniciador. El portador se avanzó unidireccionalmente mediante el engranaje de tornillo sin fin a una velocidad continua de 20 micras por segundo y las exposiciones sucesivas se realizaron cada 10 micras a lo largo de la altura de construcción a una duración de 0.5 segundo por exposición. El número total de exposiciones sucesivas fue de 800 y el tiempo total de fabricación fue de 400 segundos. 40

Ejemplo 11

Fabricación de una estructura de bobina o en espiral

45 La bobina o espiral mostrada en la Figura 16 se fabricó mediante el uso del aparato descrito en los ejemplos anteriores, con triacrilato de trimetilolpropano como el líquido polimerizable, y óxido de difenil(2,4,6-trimetilbenzoil)fosfina como el fotoiniciador. El portador se avanzó unidireccionalmente por el tornillo de bola a una velocidad continua de 20 micras por segundo y las exposiciones sucesivas se realizaron cada 10 micras a lo largo de la altura de construcción a una duración de 0.5 segundos por exposición. El número total de exposiciones sucesivas fue de 970 y el tiempo total de fabricación fue de 485 segundos.

Note que esta estructura ampliamente en voladizo se fabricó libre de cualquier estructura de soporte.

50 Ejemplo 12

Profundidad de curado vs. tiempo de exposición

Se realizó un experimento con diversas concentraciones del colorante ámbar vela y el fotoiniciador (PI) en triacrilato de trimetilolpropano como el líquido polimerizable y óxido de difenil(2,4,6-trimetilbenzoil)fosfina como el fotoiniciador. Los resultados se muestran en la Figura 17. La imagen usada fue un círculo de 6 mm, lo que produjo una parte en forma de disco en el baño de resina, cuando se curó. El grosor del disco varió en base al tiempo de exposición y la concentración del fotoiniciador y el colorante en la resina. Todas las mezclas de resina comenzarían a curar rápidamente y acercarse a un valor límite. La resina óptima debe curar en un período de tiempo corto y el valor límite debe ser tan pequeño como sea posible. Las dos resinas que mejor se ajustan a esos criterios son el fotoiniciador al 3 % con el colorante al 0.05 % (puntos finos) y el fotoiniciador al 5 % sin colorante (sólido). Estas resinas producen, además, las mejores piezas impresas en términos de contraste y claridad de las características.

Una pieza de ajedrez fabricada con una resina de este tipo que contiene colorante se muestra en la Figura 18.

Ejemplo 13

Capas solubles de sacrificio o de liberación del portador

Una deficiencia de las técnicas anteriores es que el requisito de "romper" la adhesión a partir de la placa de construcción, *por ejemplo*, mediante el deslizamiento de la placa de construcción, o mediante el uso de una placa de construcción elástica, lo hizo problemático para emplear una capa de liberación o capa de adhesivo soluble sobre el portador que puede fallar prematuramente durante el proceso de fabricación. La presente invención facilita el empleo de una capa de liberación sobre el portador durante la fabricación.

La superficie del portador puede recubrirse con una capa de liberación, *es decir*, una capa de sacrificio soluble (*por ejemplo*, adhesivo de cianoacrilato), y la disposición de los objetos puede imprimirse como se muestra en la Figura 19. Puede usarse cualquier grosor adecuado de la capa de liberación, por ejemplo de 100 nanómetros a 1 milímetro. Al sumergir el portador con los objetos fabricados en un disolvente apropiado (*por ejemplo*, acetona para el adhesivo de cianoacrilato) que disuelve o solubiliza selectivamente la capa de liberación después libera los objetos del portador, como se muestra en la Figura 20.

Ejemplo 14

Fabricación de un prisma rectangular sobre una capa de liberación

La disposición de prismas rectangulares con dimensiones de 200 x 200 x 1000 micrómetros mostrados en la Figura 21 se fabricó mediante el uso del aparato descrito anteriormente, con triacrilato de trimetilolpropano como el líquido polimerizable, óxido de difenil(2,4,6-trimetilbenzoil)fosfina como el fotoiniciador, y el adhesivo de cianoacrilato como la capa de liberación. El portador se avanzó por el tornillo de bola a una velocidad continua de 10 micras por segundo y las exposiciones sucesivas se realizaron cada 10 micras a lo largo de la altura de construcción a una duración de 1 segundo por exposición. El número total de exposiciones sucesivas fue de 100 y el tiempo total de fabricación fue de 100 segundos. La capa de liberación de cianoacrilato se disolvió después con acetona para producir prismas flotantes libres como se muestra en la Figura 22.

Ejemplo 15

Fabricación de estructuras de cajas cilíndricas

La estructura de jaula cilíndrica de la Figura 23 se fabricó mediante el uso del aparato descrito en el Ejemplo anterior, con triacrilato de trimetilolpropano como líquido polimerizable, y óxido de difenil(2,4,6-trimetilbenzoil)fosfina como fotoiniciador. El portador se avanzó por el tornillo de bola a una velocidad continua de 20 micras por segundo y se llevaron a cabo exposiciones sucesivas cada 10 micras a lo largo de la altura de construcción a una duración de 0.5 segundos por exposición. El número total de exposiciones sucesivas fue de 1400 y el tiempo total de fabricación fue de 700 segundos. No se usaron estructuras de soporte desmontables para las características en voladizo o "salientes".

Ejemplo 16

Fabricación de estructuras a partir de un hidrogel

La Figura 24 y la Figura 25 son fotografías de estructuras de disposiciones y de estructuras de jaulas, respectivamente, producidas de la misma manera que los descritos anteriormente, excepto que se fabricaron mediante el uso de PEG (diacrilato de poli(etilenglicol), Mn promedio 700) como el líquido polimerizable y óxido de difenil(2,4,6-trimetilbenzoil)fosfina al 5 % como el fotoiniciador. Las condiciones de procesamiento fueron las mismas que para las partes de triacrilato fabricadas previamente.

Ejemplo 17

Flexibilidad de las piezas basadas en hidrogel

La estructura de jaula cilíndrica producida en el Ejemplo 23 anterior y que se muestra en la Figura 25 se coloca manualmente entre dos portaobjetos de vidrio de microscopio y se aplica presión manualmente hasta que la estructura de jaula cilíndrica se deforma y se vuelve sustancialmente plana. Después se liberó la presión manual, y la estructura de jaula regresó a su forma anterior sustancialmente cilíndrica. Las propiedades de flexibilidad, resistencia y de memoria de forma de los artículos los hacen atractivos para una variedad de usos, que incluyen pero no se limitan a las endoprótesis para diversas aplicaciones biomédicas.

Ejemplo 18

Fabricación de endoprótesis intraluminales para uso terapéutico

Las endoprótesis se usan típicamente como adjuntos para los procedimientos de angioplastia transluminal percutánea con balón, en el tratamiento de arterias ocluidas o parcialmente ocluidas y otros vasos sanguíneos. Como un ejemplo de un procedimiento de angioplastia con balón, un catéter o vaina de guía se introduce por vía percutánea en el sistema cardiovascular de un paciente a través de una arteria femoral y se avanza a través de la vasculatura hasta que el extremo distal del catéter guía se coloca en un punto proximal al sitio de la lesión. Un alambre guía y un catéter de dilatación que tiene un balón en el extremo distal se introducen a través del catéter guía para deslizar el alambre guía dentro del catéter de dilatación. El alambre guía se hace avanzar primero hacia fuera del catéter guía en la vasculatura del paciente y se dirige a través de la lesión vascular. El catéter de dilatación se hace avanzar posteriormente sobre el alambre guía avanzado previamente hasta que el balón de dilatación se coloca correctamente en la lesión vascular. Una vez en posición en la lesión, el globo expansible se infla hasta un tamaño predeterminado con un líquido radiopaco a presión relativamente alta para comprimir radialmente la placa aterosclerótica de la lesión contra el interior de la pared de la arteria y de esa manera dilatar el lumen de la arteria. Después el balón se desinfla a un perfil pequeño de manera que el catéter de dilatación pueda retirarse de la vasculatura del paciente y restaurar el flujo sanguíneo a través de la arteria dilatada.

La angioplastia con balón a veces resulta en fracaso a corto o largo plazo. Es decir, los vasos pueden cerrarse bruscamente poco después del procedimiento o puede ocurrir una restenosis gradualmente durante un período de meses después de eso. Para contrarrestar la restenosis después de una angioplastia, las prótesis intraluminales implantables, denominadas comúnmente como endoprótesis, se usan para lograr la permeabilidad del vaso a largo plazo. Una endoprótesis funciona como un andamio para apoyar estructuralmente la pared del vaso y por lo tanto mantener la permeabilidad luminal, y se transportan a un sitio de la lesión por medio de un catéter de suministro.

Los tipos de endoprótesis pueden incluir endoprótesis expansibles de balón, endoprótesis autoexpansibles, similares a resortes, y endoprótesis expansibles térmicamente. Las endoprótesis expansibles por balón se suministran mediante un catéter de dilatación y se deforman plásticamente por un miembro expansible, tal como un balón de inflación, desde un diámetro inicial pequeño a un diámetro expandido más grande. Las endoprótesis autoexpansibles se forman como elementos de resorte que pueden comprimirse radialmente sobre un catéter de suministro. Una endoprótesis autoexpansible comprimido típicamente se mantiene en el estado comprimido por una vaina de suministro. Tras el suministro a un sitio lesionado, la vaina de suministro se retrae lo que permite que la endoprótesis se expanda. Las endoprótesis expandibles térmicamente se forman a partir de aleaciones con memoria de forma que tienen la capacidad para expandirse desde un diámetro inicial pequeño hasta un segundo diámetro más grande tras la aplicación de calor a la aleación.

Puede desearse proporcionar un tratamiento farmacológico localizado en un vaso en el sitio soportado por una endoprótesis. Por lo tanto, a veces puede desearse utilizar una endoprótesis tanto como un soporte para una pared luminal, así como un vehículo de suministro para uno o más agentes farmacológicos. Desafortunadamente, los materiales metálicos desnudos empleados típicamente en las endoprótesis convencionales generalmente no son capaces de portar y liberar agentes farmacológicos. Soluciones creadas anteriormente para este dilema han sido la unión de polímeros portadores de fármacos a las endoprótesis metálicas. Además, se han descrito métodos en donde la estructura metálica de una endoprótesis se ha formado o tratado a fin de crear una superficie porosa que mejora la capacidad de retener agentes farmacológicos aplicados. Sin embargo, estos métodos generalmente no han logrado proporcionar una manera rápida, fácil y barata de cargar fármacos sobre las prótesis intraluminales, tales como las endoprótesis. Además, sólo pueden cargarse pequeñas cantidades de fármacos en los recubrimientos poliméricos delgados.

Las prótesis intraluminales, tales como las endoprótesis se han desarrollado mediante el uso de diversos materiales poliméricos y/o recubrimientos de materiales poliméricos para superar las limitaciones de las prótesis metálicas convencionales. Sin embargo, sería deseable poder ajustar diversas propiedades mecánicas (por ejemplo, módulo, resistencia tangencial, flexibilidad, etcétera) de las prótesis intraluminales poliméricas. Por ejemplo, para las prótesis intraluminales usadas para suministrar agentes farmacológicos, sería deseable poder ajustar la velocidad de elución de un agente farmacológico desde este. Como otro ejemplo, sería deseable poder ajustar la velocidad de degradación y/o la naturaleza de la degradación del material polimérico.

De acuerdo con realizaciones del presente ejemplo, los métodos de fabricación de prótesis intraluminales poliméricas (por ejemplo, formadas a partir de material polimérico para incluir PEG, PLGA, policaprolactona, gelatina, etcétera, adecuadamente funcionalizados) incluyen recocer el material polimérico para modificar selectivamente la cristalinidad

o estructura cristalina de este, que se lleva a cabo por los métodos descritos en la presente descripción, que incluyen pero no se limitan a los expuestos en relación con estructuras de jaula cilíndrica como se describió anteriormente.

Los agentes farmacológicos dispuestos sobre, o dentro del material polimérico pueden incluir, pero no se limitan a, agentes seleccionados de las siguientes categorías: antineoplásicos, antimetabólicos, antiinflamatorios, antiplaquetarios, anticoagulantes, antifibrinas, antitrombinas, antiproliferativos, antibióticos, antioxidantes, inmunosupresores, sustancias antialérgicas, y sus combinaciones.

De acuerdo con otras realizaciones de la presente invención, el grado de reticulación molecular del material polimérico de una prótesis intraluminal puede modificarse al someter el material polimérico a tratamiento químico y/o irradiación. El material polimérico puede someterse a tratamiento químico y/o irradiación antes, durante y/o después del recocido. Tales tratamientos pueden actuar además como una etapa de esterilización.

Ejemplo 19

Fabricación de disposiciones de microagujas terapéuticas

Muchos de los nuevos agentes terapéuticos prometedores son biomoléculas grandes, tales como péptidos, proteínas, anticuerpos y ácidos nucleicos. Estas moléculas pueden ser demasiado grandes, frágiles, o insolubles para su suministro mediante las vías tradicionales de introducción. La inyección hipodérmica (que incluye intravascular, intramuscular, etcétera) permite el suministro de productos terapéuticos sensibles, pero induce dolor, proporcionan oportunidades de pinchazos accidentales, y produce residuos con riesgo biológico, agudos. Además, en el caso de la administración de vacunas, las agujas hipodérmicas no suministran las dosis en la ubicación óptima para provocar una respuesta inmunitaria; penetran en el músculo, una región conocida por tener una menor densidad de células inmunológicamente sensibles que la piel. Los parches transdérmicos son eficaces para ciertos fármacos de liberación prolongada (como la nicotina y medicamentos del mareo por movimiento), pero la epidermis (específicamente el estrato córneo) limita la difusión de la mayoría de los fármacos (> 500 Da) a través de la piel. Claramente, la capacidad de transportar agentes terapéuticos con eficacia en el cuerpo se mantiene como un reto importante.

Aunque existen limitaciones para el suministro transdérmico tradicional de fármacos, que típicamente se basa en la difusión pasiva de los agentes terapéuticos a través de la piel, esta vía de administración sigue siendo muy prometedora.

Con el uso del aparato descrito en los Ejemplos anteriores y las resinas fotopolimerizables, biocompatibles y biodegradables (PEG, PLGA, policaprolactona, gelatina, adecuadamente funcionalizados, etcétera) se usan en combinación con agentes terapéuticos y elementos de vacunas (antígenos, adyuvantes, etcétera), para producir disposiciones de microagujas terapéuticas esencialmente con la misma estructura o apariencia que las mostradas anteriormente. Los expertos en la técnica apreciarán numerosas estructuras y arquitecturas diferentes para tales disposiciones de microagujas terapéuticas que pueden producirse por los métodos y aparatos descritos en esta descripción.

Ejemplo 20

Dependencia de la resolución vertical con la velocidad de fabricación

Durante el proceso de construcción de piezas la unidad de procesamiento de imágenes del controlador (IPU) en algunas realizaciones actualiza constantemente las imágenes de capas de la sección transversal de la pieza. La velocidad máxima de actualización de la imagen f en algunas realizaciones puede variar de 1 cuadro por segundo hasta 1,000 cuadros por segundo, en dependencia del hardware.

Si la resolución vertical deseada es delta entonces durante el proceso de construcción el avance dz del portador de la pieza durante un cuadro de imagen debe ser menor que delta. Si la velocidad de fabricación es v entonces dz está dada por

$$dz = \frac{v}{f}$$

Con el fin de lograr una resolución delta, la velocidad de fabricación v debe ser menor que la velocidad de fabricación máxima v_{\max} dada por

$$v_{\max} = \Delta f$$

Dos partes de una pieza de ajedrez similares a las ilustradas anteriormente se fabricaron con una velocidad de avance del portador de 250 mm/hora y 500 mm/hora. La velocidad de imagen máxima de la IPU particular usada para fabricar las partes fue de aproximadamente 1 cuadro por segundo. La resolución estimada de estas partes fue de 50 micrómetros a 250 mm/hora, y 100 micrómetros a 500 mm/hora.

Ejemplo 21

Aumento de la velocidad de fabricación: Temperatura

El aumento de la velocidad de fabricación mediante la presión se describió anteriormente. Además, en los métodos y el aparato expuesto en general y de manera específica anteriormente y más adelante, la velocidad de fabricación puede aumentarse mediante el calentamiento del líquido polimerizable, o la resina, para reducir la viscosidad de estos, para facilitar el llenado de la zona de construcción con el líquido polimerizable o la migración del líquido polimerizable a la zona de construcción (con o sin el aumento de la presión). Algunas resinas, tales como las resinas de alto rendimiento tales como las mencionadas anteriormente, pueden ser sólidas a temperatura y presión ambientales, y el calentamiento puede ser una manera conveniente para licuar las mismas.

El calentamiento puede llevarse a cabo mediante cualquier técnica adecuada, tal como con calentadores con infrarrojos en hornos cerrados asociados operativamente con un sensor y controlador de la temperatura, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 26. Numerosos tipos y configuraciones de calentadores adicionales pueden usarse, solos o en combinación con lo anterior y entre sí. Los calentadores resistivos pueden usarse, por ejemplo sumergidos en el líquido polimerizable sobre la placa de construcción. Los dispositivos termoeléctricos o calentadores de Peltier pueden usarse, por ejemplo al poner en contacto la placa de construcción y/o el líquido polimerizable. El líquido polimerizable puede precalentarse, en un depósito de almacenamiento y/o a través de diversas líneas de suministro. Uno o más sensores de temperatura pueden emplearse para detectar la temperatura ambiental (en la cámara), la temperatura de la placa de construcción, la temperatura del portador, la temperatura del líquido polimerizable (*por ejemplo*, en cualquier punto, tal como en la placa de construcción), etcétera.

En algunas realizaciones, el líquido polimerizable se calienta en al menos 5, 10, 20, 40, 60, 80, o 100 grados centígrados o más por encima de la temperatura ambiente.

En algunas realizaciones, el líquido polimerizable tiene una viscosidad de al menos 100, 1,000, o 10,000 centipoises, hasta 1,000,000 centipoises o más a 25 grados centígrados y presión atmosférica (nota 1 centipoise = 1 segundo miliPascal). En algunas realizaciones, tales líquidos polimerizables pueden tener una viscosidad cuando se calientan (*por ejemplo*, por la cantidad descrita anteriormente) de no más de 1,000, 100, 10 o 1 centipoises. La viscosidad final específica que se desea lograr dependerá de factores tales como la velocidad de fabricación deseada, el tamaño y la forma del artículo en fabricación, la presencia o ausencia de un aumento de la presión, etcétera.

La viscosidad puede medirse mediante cualquier técnica adecuada, por ejemplo mediante un viscosímetro Brookfield que tiene una geometría de cono y placa, con un ángulo del cono de 1 grado, un diámetro de 40 milímetros, que funciona a 60 revoluciones por minuto.

Opcionalmente pueden incluirse los enfriadores si se desea corregir la temperatura más rápidamente (con calentadores, o sin calentadores, *por ejemplo*, para ayudar en la disipación de calor generado exotérmicamente por la fotopolimerización rápida. De nuevo, cualquier configuración de enfriador adecuado puede usarse, por lo general asociado operativamente con un controlador y un sensor de temperatura como se indicó anteriormente. Pueden emplearse intercambiadores de calor, disipadores de calor, refrigerantes, dispositivos termoeléctricos como enfriadores Peltier (que además pueden servir como calentadores de Peltier), etcétera.

Ejemplo 22

Suministro de resina a través del portador y de los canales de suministro internos

Como se analizó en el Ejemplo 3 la velocidad de la formación del objeto depende de la dimensión lineal L de la superficie inferior del objeto, la viscosidad de la resina η , la presión atmosférica P , y la altura del espacio entre el objeto y la parte inferior de la cámara h . El tiempo τ que se requiere para llenar el espacio entre el objeto y la parte inferior de la cámara es:

$$\tau \sim \left(\frac{L}{h}\right)^2 \frac{\eta}{P}$$

Como puede observarse un aumento de 10 veces en el tamaño de la pieza resulta en una disminución de 100 veces en la velocidad de fabricación. Para eliminar dicha fuerte dependencia de la velocidad de fabricación con el tamaño de la pieza, el líquido polimerizable (o la resina) pueden suministrarse a través del portador de la pieza y a través de la pieza, como se muestra en la Figura 27.

La bomba puede comprender cualquier dispositivo de bombeo adecuado, que incluye pero no se limita a bombas de jeringa, bombas de engranajes, bombas peristálticas, etcétera. La velocidad a la que opera la bomba se controla por un controlador y depende de la geometría de la pieza y la velocidad de fabricación. La presión del líquido polimerizable puede ser

En este enfoque la dependencia de la velocidad de fabricación de la pieza con la dimensión lineal L de la superficie inferior del objeto, la viscosidad de la resina η , la presión atmosférica P , y la altura del espacio entre el objeto y la parte inferior de la cámara h ya no se limita por la ecuación anterior sino que se controla por la velocidad a la que funciona la bomba de resina, la velocidad de la reacción de curado y la capacidad para mitigar la eliminación del calor de la reacción de curado. En este ejemplo la bomba podría comprender una bomba de jeringa, una bomba de engranaje, o

una bomba peristáltica. El funcionamiento de la bomba podría incluirse en el lazo de realimentación controlado por la unidad central de procesamiento, donde las velocidades de bombeo dependen de la geometría de la pieza y la velocidad de fabricación deseada.

Ejemplo 23

5 Control del suministro de resina Control de suministro hacia adelante

Durante el proceso de construcción de la pieza la velocidad de consumo de la resina cambia en base al área de la sección transversal de la pieza. Un proceso para controlar la velocidad del suministro de la resina se describe más adelante. Si la velocidad de la construcción es v y la sección transversal de la pieza A varía con el tiempo t como $A(t)$ entonces la velocidad de suministro de la resina puede ajustarse para corresponder, en su totalidad o en parte, a:

$$10 \quad R(t) = vA(t)$$

Por ejemplo, durante el proceso de construcción una unidad de procesamiento central (CPU) que sirve como un controlador puede calcular en tiempo real la sección transversal actual de la pieza, después calcular la velocidad de suministro basado en una norma tal como la ecuación anterior y comunicar la velocidad calculada a un controlador de la bomba de suministro de la resina (RDPC). Después el RDPC puede ajustar la velocidad de la bomba de suministro de la resina basado en los datos recibidos de la CPU.

Tal sistema de control de suministro directo puede usarse solo o en combinación con otros sistemas de control del suministro hacia adelante y de retroalimentación (*por ejemplo*, control de la temperatura y/o presión) como se describió anteriormente.

Ejemplo 24

20 Suministro de líquido polimerizable a través de conductos de suministros externos

En algunas realizaciones donde el líquido polimerizable se suministra a través de uno o más canales formados en el portador, puede ser deseable que parte, o la totalidad, del artículo que se fabrica sea sólido totalmente. En tales casos, los conductos de suministro separados o externos en comunicación fluida con un canal (o cada uno de ellos) que suministran el líquido polimerizable pueden fabricarse simultáneamente adyacente al artículo en fabricación (en contraste con uno o más canales de suministro interno formados dentro del artículo en producción).

El líquido polimerizable puede proporcionarse a través de conducto(s) de suministro externo(s) a la placa de construcción y la zona de fabricación. En algunas realizaciones múltiples de tales conductos de suministro pueden construirse, *por ejemplo*, 2, 10, 100, o 1000 o más, en dependencia del tamaño del artículo que se fabrica. Tales conductos de suministro externos pueden usarse en combinación, simultáneamente o secuencialmente (*por ejemplo*, alternativamente), con los canales de suministro internos (*es decir*, canales formados dentro del artículo que se fabrica).

Ejemplo 25

Fabricación con múltiples resinas distintas con conductos de suministro múltiples

Los artículos pueden fabricarse con el uso de múltiples resinas mediante el suministro de las diferentes resinas través de la plataforma de construcción, y con el uso de estas para crear tubos o canales para suministrar la resina a la zona correcta de la pieza que se fabrica.

La Figura 28 ilustra el método que puede usarse para suministrar la resina a través de la plataforma de construcción, lo utilizan para fabricar los canales de suministro de la resina en la forma necesaria, y cuando sea necesario, suministrar resina adicional para fabricar la pieza misma. Cuando se ha terminado la fabricación de la sección, el canal se cura de cierre y otro canal puede comenzar a suministrar la siguiente resina para continuar la fabricación de la pieza.

Ejemplo 26

Control del método y el aparato

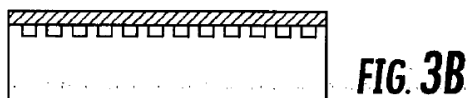
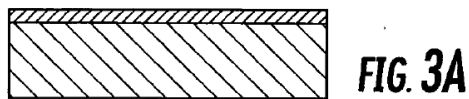
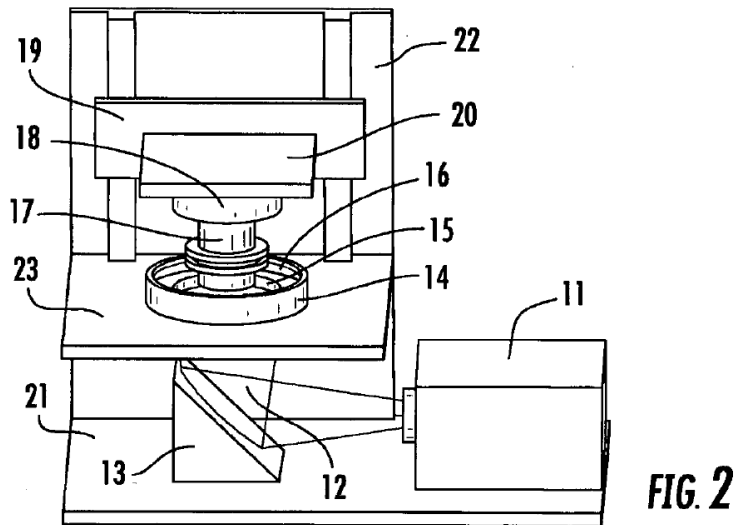
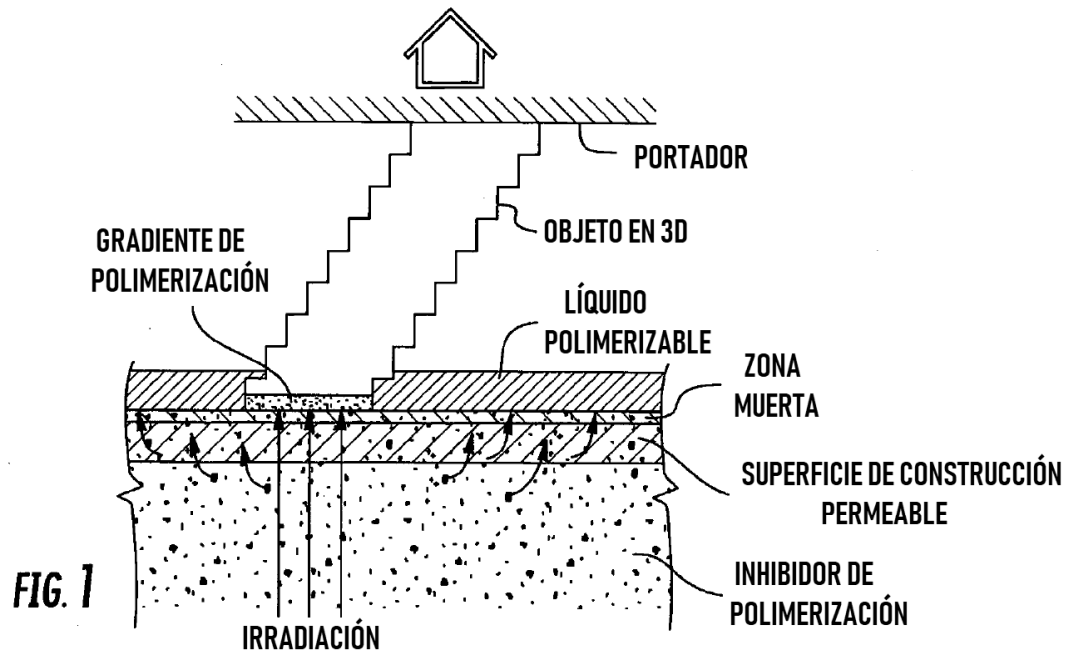
Un método y un aparato como se describieron anteriormente pueden controlarse mediante un programa informático que se ejecuta en un ordenador de propósito general con el hardware de interfaz adecuada entre el ordenador y el aparato descrito anteriormente. Numerosas alternativas están disponibles comercialmente. Los ejemplos no limitantes de una combinación de componentes se muestran en las Figuras 29-31, donde "Microcontroller" es Parallax Propeller, el controlador de motor Stepper es Sparkfun EasyDriver, el controlador LED es un Luxeon Single LED Driver, el USB de serie es un USB Parallax al convertidor de serie, y el sistema DLP es un sistema LightCrafter de Texas Instruments.

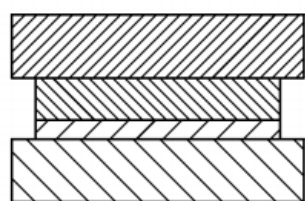
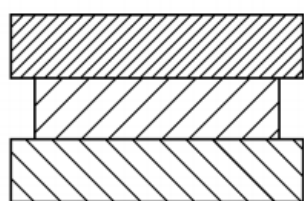
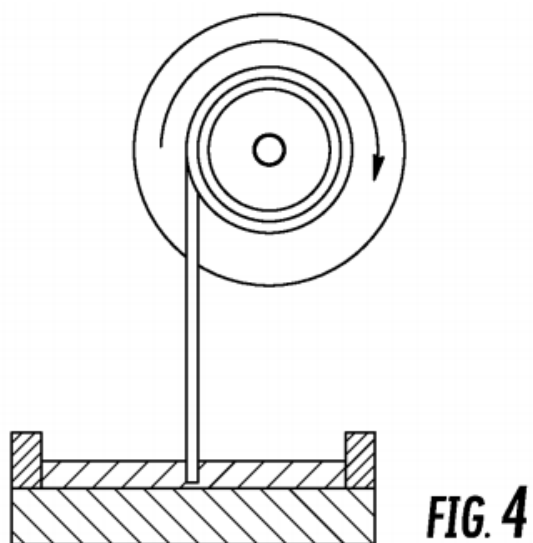
Lo anterior es ilustrativo de la presente invención, y no debe interpretarse como limitantes de esta. La invención se define por las siguientes reivindicaciones, que incluyen los equivalentes de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

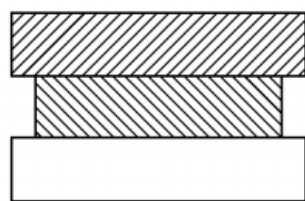
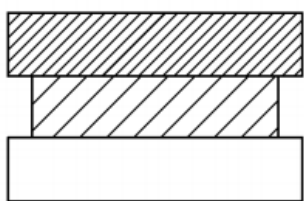
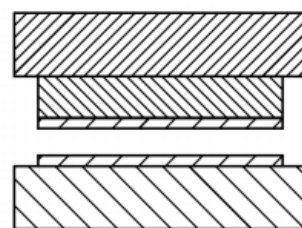
1. Un método de formación de un objeto tridimensional, que comprende:
proporcionar un portador y un miembro ópticamente transparente que tiene una superficie de construcción, dicho portador y dicha superficie de construcción definen una región de construcción entre ellos;
- 5 rellenar dicha región de construcción con un líquido polimerizable;
irradiar dicha región de construcción a través de dicho miembro ópticamente transparente para formar un polímero sólido a partir de dicho líquido polimerizable mientras simultáneamente avanza dicho portador lejos de dicha superficie de construcción para formar dicho objeto tridimensional a partir de dicho polímero sólido, mientras que también simultáneamente:
- 10 (i) mantener continuamente una zona muerta de líquido polimerizable en contacto con dicha superficie de construcción, y
(ii) mantener continuamente un gradiente de la zona de polimerización entre dicha zona muerta y dicho polímero sólido y en contacto con cada uno de los mismos, dicho gradiente de la zona de polimerización comprende dicho líquido polimerizable en forma parcialmente curada;
- 15 en donde dicho miembro ópticamente transparente comprende un miembro semipermeable, y dicho mantenimiento continuo de una zona muerta se lleva a cabo mediante el suministro de un inhibidor de la polimerización a través de dicho miembro ópticamente transparente, de esta manera crear un gradiente de inhibidor en dicha zona muerta y opcionalmente en al menos una porción de dicho gradiente de la zona de polimerización.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en donde dicha etapa de irradiación se lleva a cabo con un patrón de radiación bidimensional proyectado en dicha región de construcción, en donde dicho patrón varía con el tiempo mientras dicha etapa de avance continúa simultáneamente por un tiempo suficiente para formar dicho objeto tridimensional.
3. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde dicho gradiente de la zona de polimerización se mantiene por un tiempo de al menos 5 segundos.
- 25 4. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende además la etapa de interrumpir dicho gradiente de la zona de polimerización por un tiempo suficiente para formar una línea de falla en dicho objeto tridimensional.
5. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende además la etapa de calentar dicho líquido polimerizable para reducir la viscosidad de los mismos en dicha región de construcción.
6. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde dicho portador tiene al menos un canal formado en el mismo, y dicha etapa de rellenar se lleva a cabo mediante el paso o al forzar dicho líquido polimerizable en dicha región de construcción a través de dicho al menos un canal.
- 30 7. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde dicho portador tiene una capa de sacrificio soluble sobre el mismo, y dicho objeto tridimensional se forma sobre dicha capa de sacrificio soluble.
8. El método de cualquiera reivindicación anterior, en donde:
el área de la superficie total de la región de construcción ocupa al menos setenta por ciento del área de la superficie total de la superficie de construcción; y/o
en donde el movimiento lateral del portador y el objeto en cualquier dirección no es más de treinta por ciento del ancho de dicha región de construcción en la dirección correspondiente.
9. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la superficie de construcción es sustancialmente fija o estacionaria.
- 40 10. Un aparato para formar un objeto tridimensional a partir de un líquido polimerizable, que comprende:
(a) un soporte;
(b) un portador asociado operativamente con dicho soporte sobre cuyo portador se forma dicho objeto tridimensional;
(c) un miembro ópticamente transparente que tiene una superficie de construcción, con dicha superficie de construcción y dicho portador que definen una región de construcción entre ellos;
- 45 (d) un suministro de polímero líquido asociado operativamente con dicha superficie de construcción y configurado para suministrar polímero líquido en dicha región de construcción para la polimerización por solidificación;

- (e) una fuente de radiación 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;
- (f) un controlador asociado operativamente con dicho portador y dicha fuente de radiación para avanzar dicho portador lejos de dicha superficie de construcción para formar dicho objeto tridimensional a partir de dicho polímero sólido, mientras que también simultáneamente:
- 5 (i) mantener continuamente una zona muerta de líquido polimerizable en contacto con dicha superficie de construcción, y
- (ii) mantener continuamente un gradiente de la zona de polimerización entre dicha zona muerta y dicho polímero sólido y en contacto con cada uno de los mismos, dicho gradiente de la zona de polimerización comprende dicho líquido polimerizable en forma parcialmente curada;
- 10 en donde dicho miembro ópticamente transparente comprende un miembro semipermeable configurado para permitir que dicho mantenimiento continuo de una zona muerta se lleve a cabo alimentando un inhibidor de polimerización a través de dicho miembro ópticamente transparente, creando así un gradiente de inhibidor en dicha zona muerta y opcionalmente en al menos un porción de dicho gradiente de la zona de polimerización.
- 15 11. El aparato de la reivindicación 10, en donde dicho portador tiene al menos un canal formado en el mismo, configurado para suministrar dicho líquido polimerizable en dicha región de construcción a través de dicho al menos un canal; opcionalmente en donde dicho portador tiene una pluralidad de canales formados en el mismo, configurados para suministrar líquidos polimerizables diferentes a través de uno diferente de dicha pluralidad de canales.
- 20 12. El aparato de la reivindicación 10 u 11, que comprende además al menos uno, o una pluralidad de, conductos de suministro externos separados de dicho objeto, cada uno de dicho al menos un conducto de suministro en comunicación fluida con un canal en dicho portador, configurado para suministrar al menos uno, o una pluralidad de diferentes, líquidos polimerizables a partir de dicho portador a dicha zona de construcción.
13. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde la placa de construcción es sustancialmente fija o estacionaria.
- 25 14. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en donde la fuente de inhibidor de la polimerización es un depósito de inhibidor de la polimerización dentro del miembro semipermeable.
15. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en donde el miembro semipermeable además comprende una superficie de suministro separada de dicha superficie de construcción; opcionalmente en donde la superficie de suministro está en contacto continuo con un inhibidor de la polimerización con el objetivo de proporcionar dicha fuente de inhibidor de polimerización.
- 30 16. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, que comprende además un calentador asociado operativamente con dicha placa de construcción y/o dicho suministro de polímero líquido, dicho calentador y configurado para calentar líquido polimerizable en, o suministrado a, dicha región de construcción; y/o que comprende además un enfriador asociado operativamente con dicha placa de construcción y configurado para enfriar líquido polimerizable en dicha región de construcción.
- 35 17. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, que comprende además un fuente de presión asociada operativamente con dicho suministro de polímero líquido.
18. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 17, en donde dicho portador comprende un accionador, dicho accionador y dicho controlador configurados para hacer avanzar dicho portador unidireccionalmente lejos de dicha superficie de construcción.
- 40 19. El aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 18, en donde dicho portador tiene una capa de sacrificio soluble sobre el mismo, y dicho objeto tridimensional se forma sobre dicha capa de sacrificio soluble.

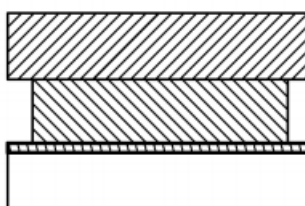
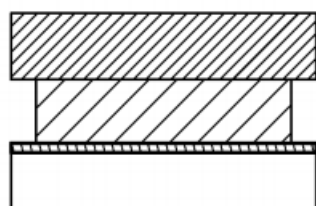
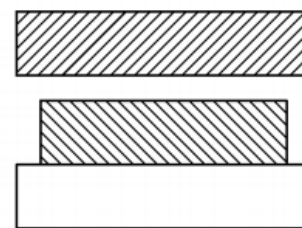




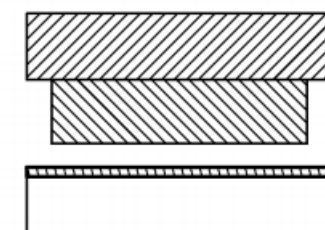
↑ UV



↑ UV



↑ UV



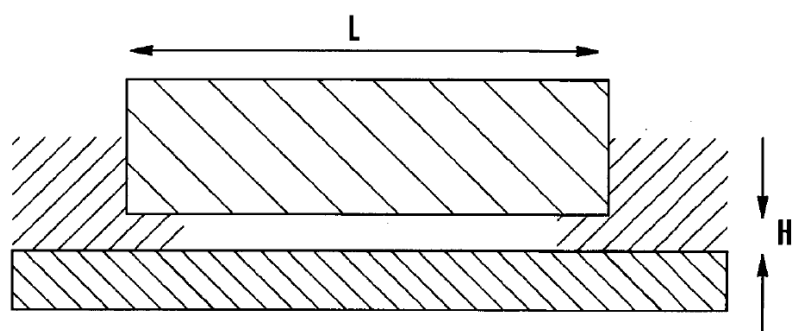
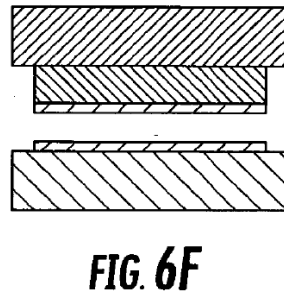
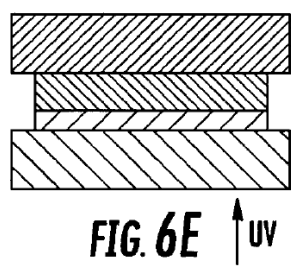
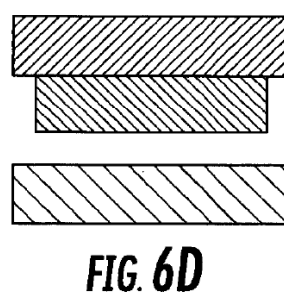
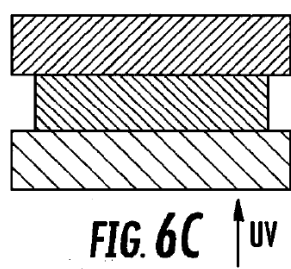
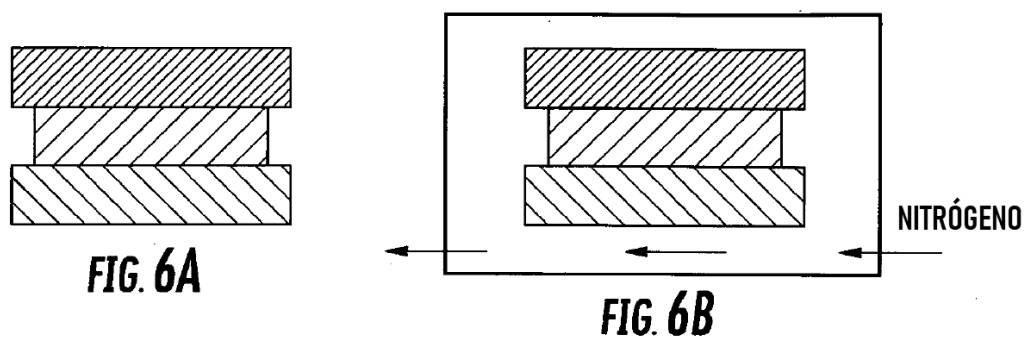


FIG. 7

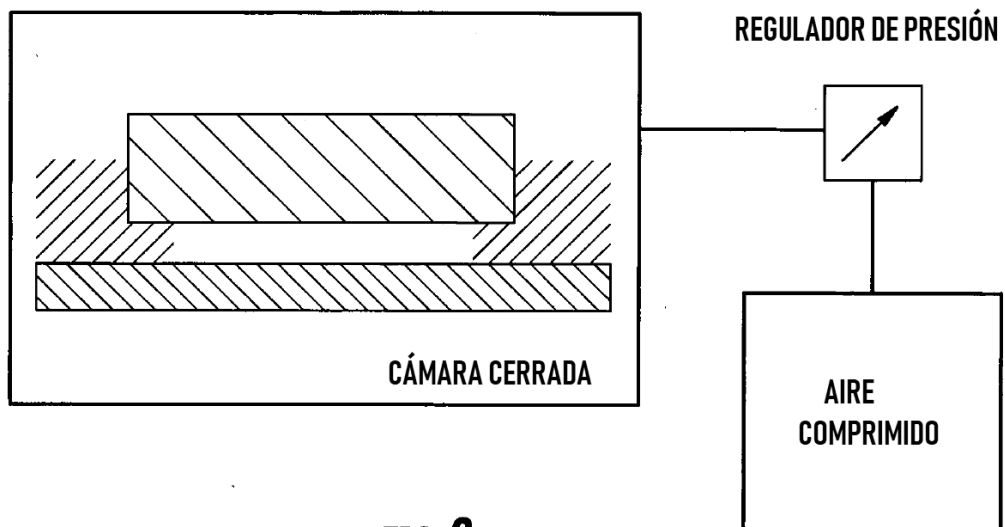


FIG. 8

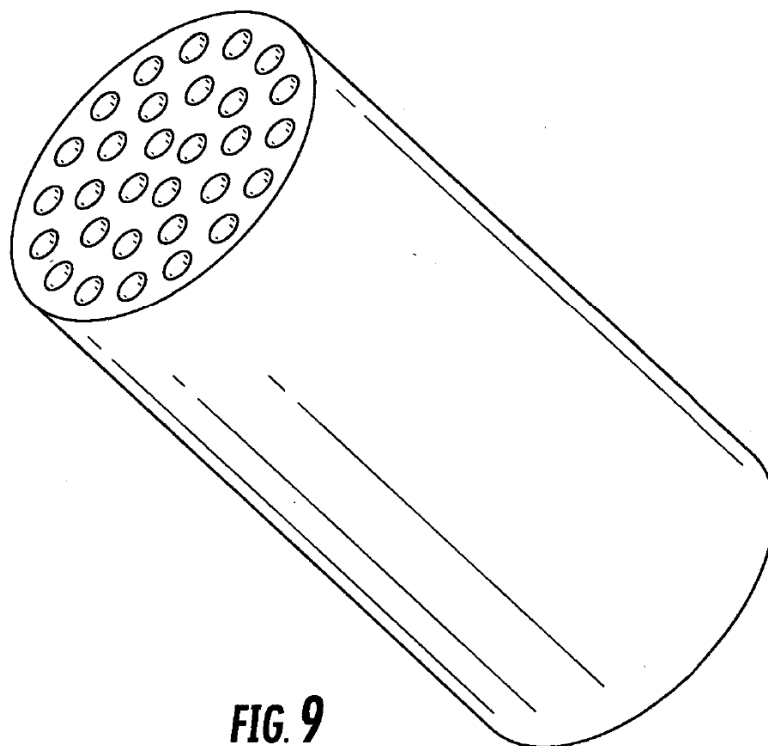


FIG. 9

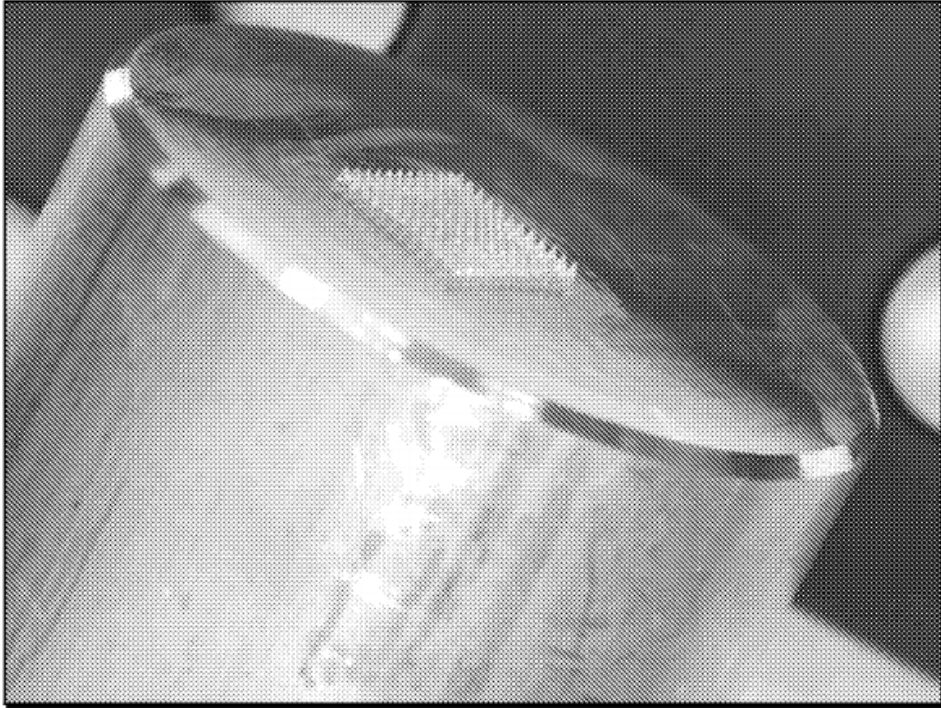


FIG. 10

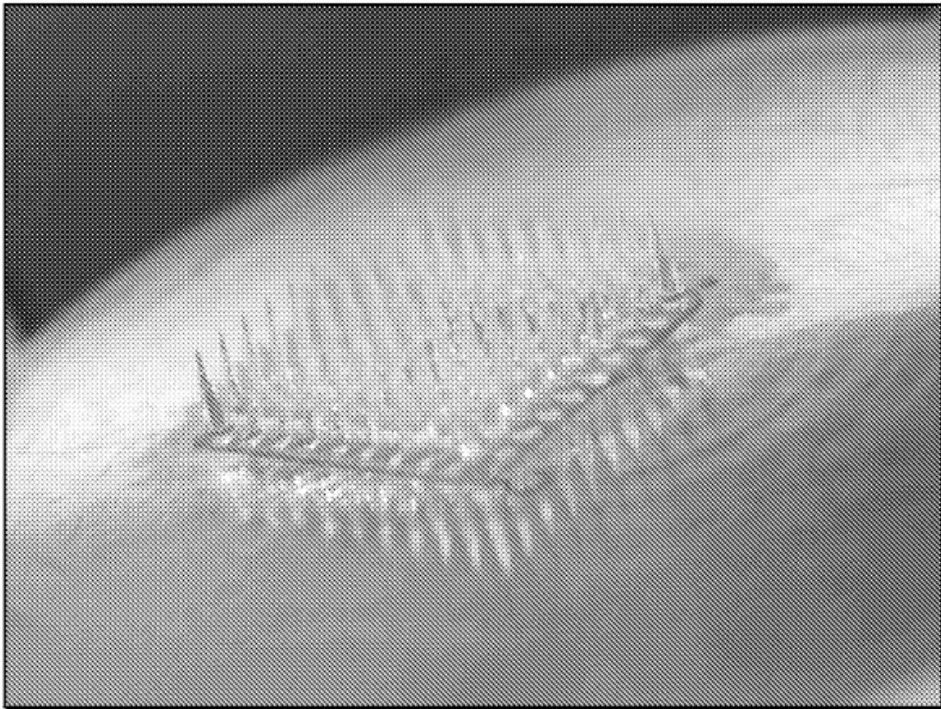


FIG. 11

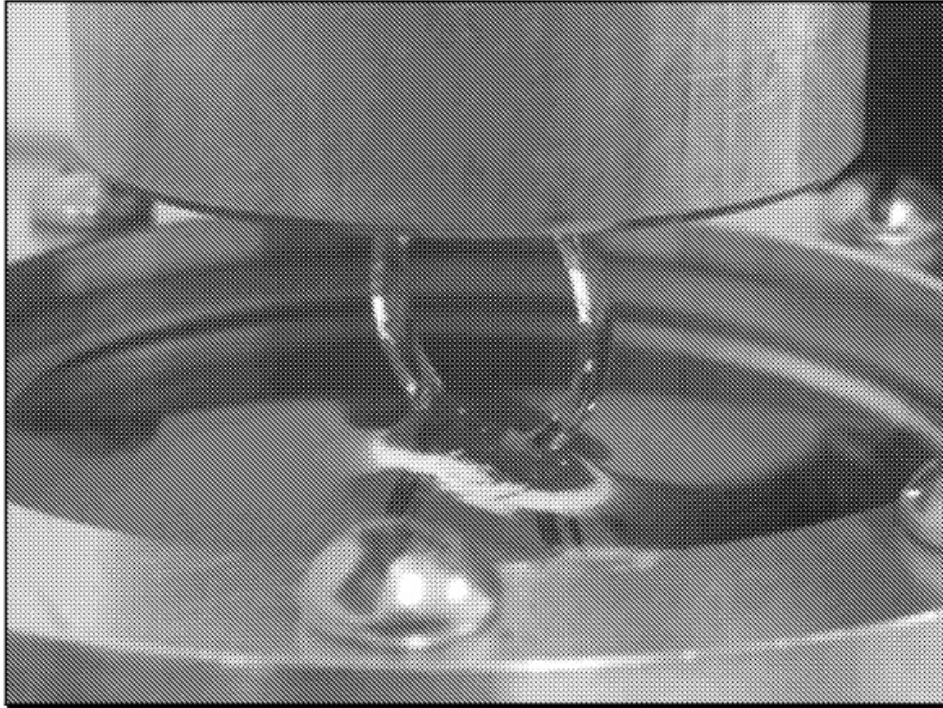


FIG. 12



FIG. 13

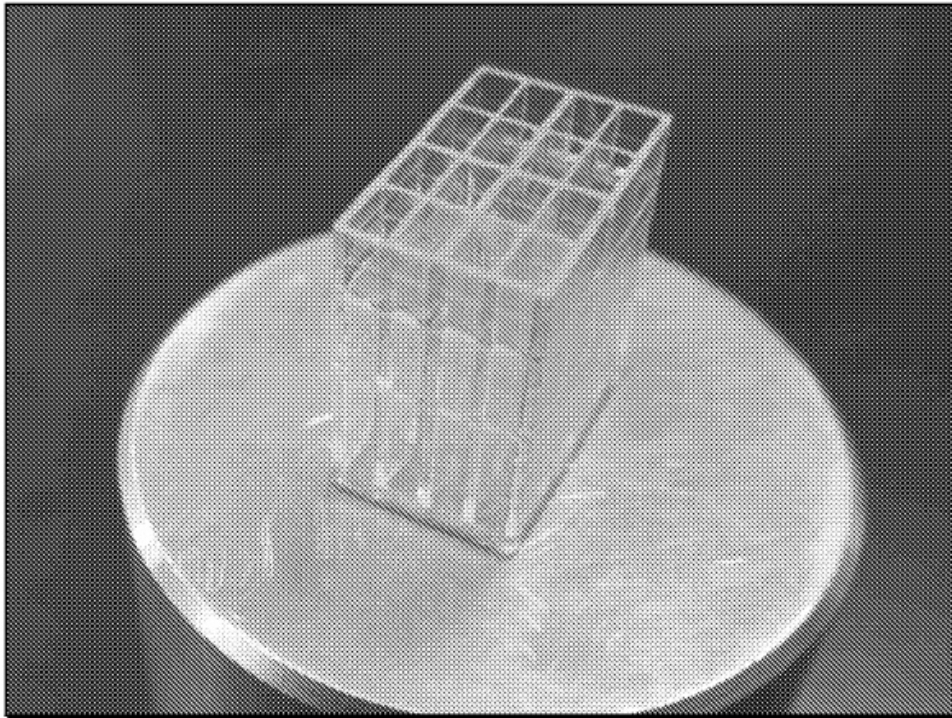


FIG. 14

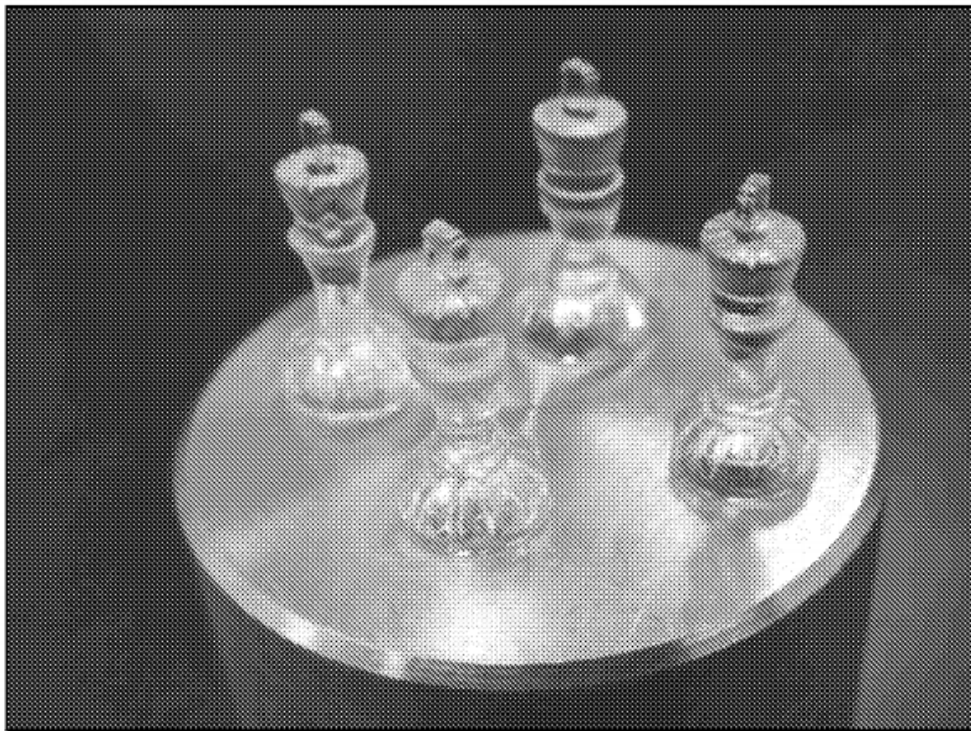


FIG. 15

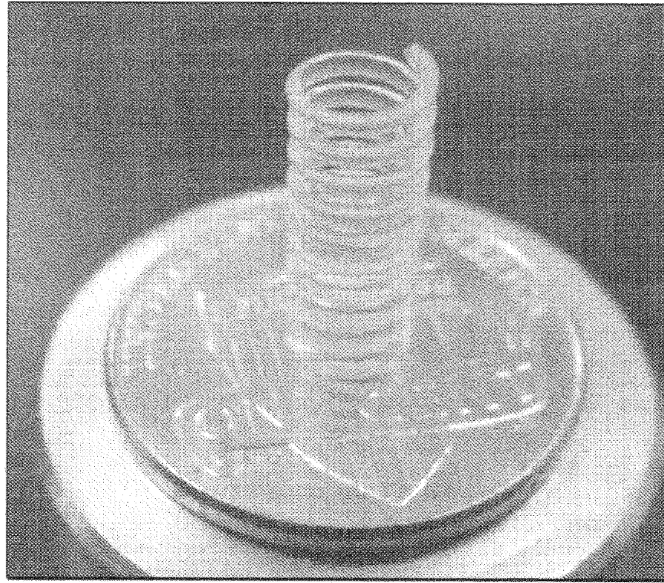
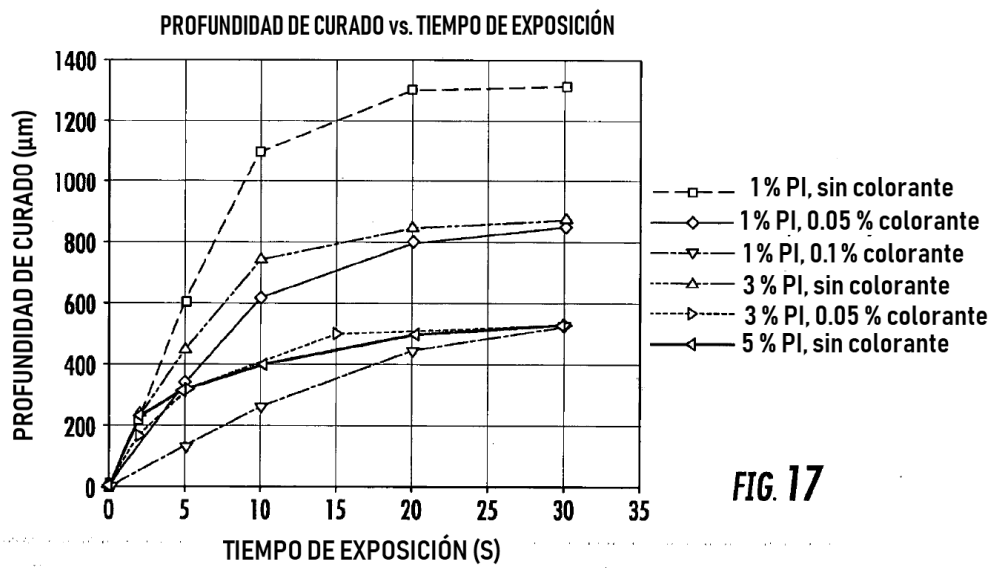


FIG. 16



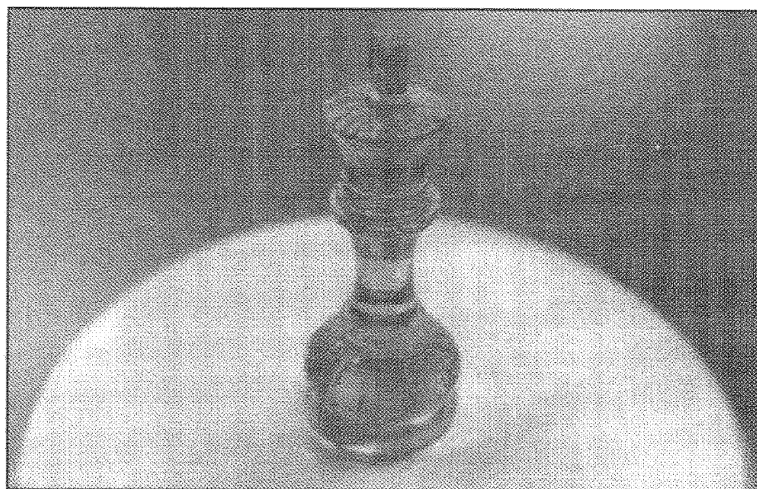


FIG. 18

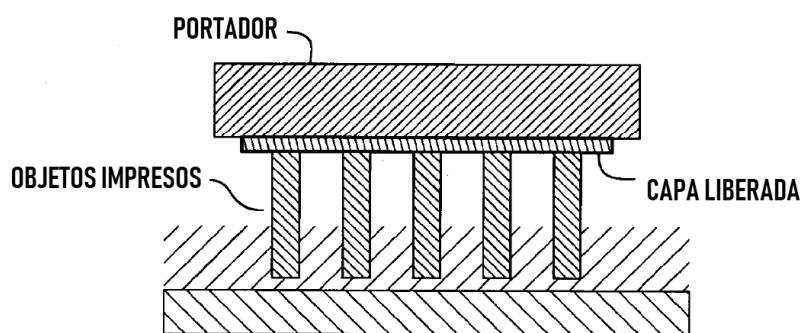


FIG. 19

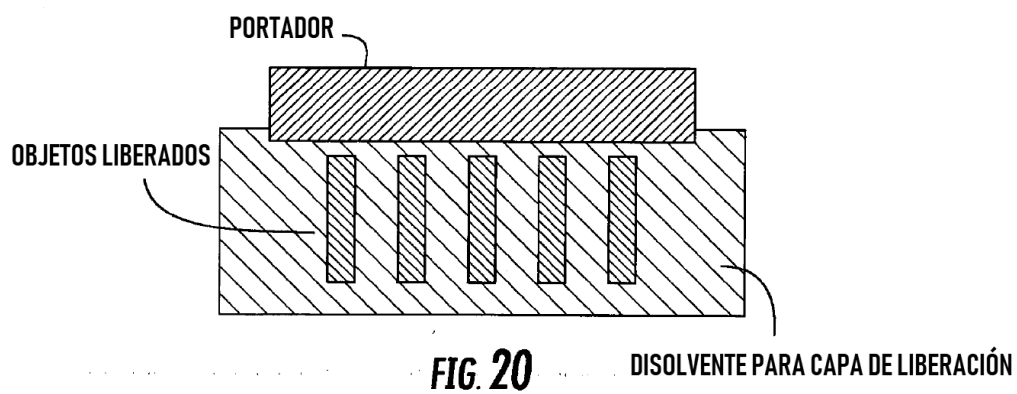


FIG. 20

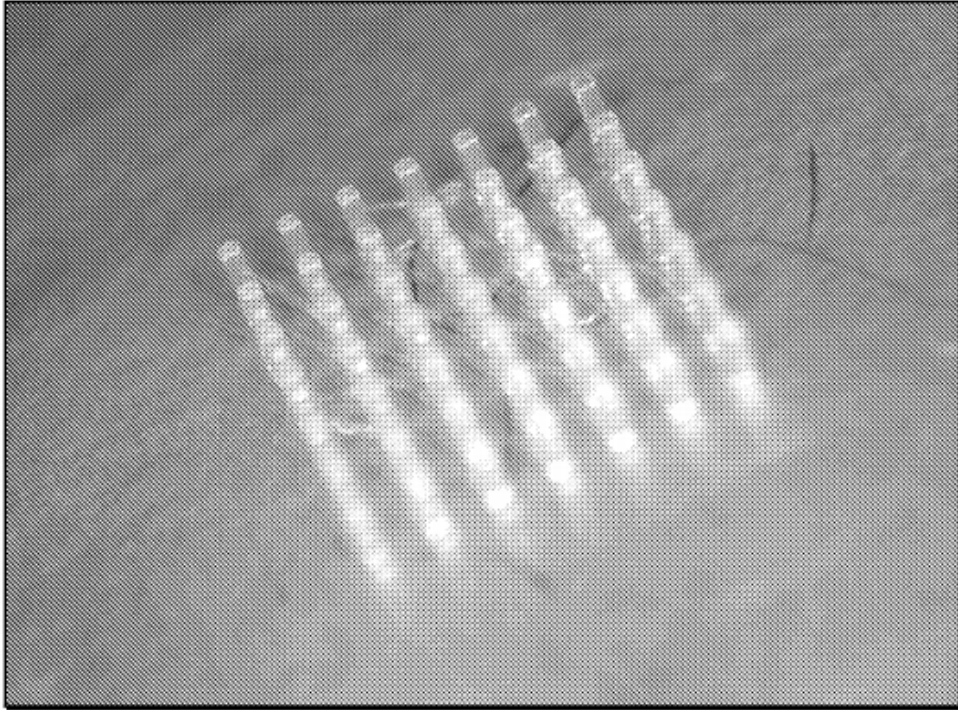


FIG. 21

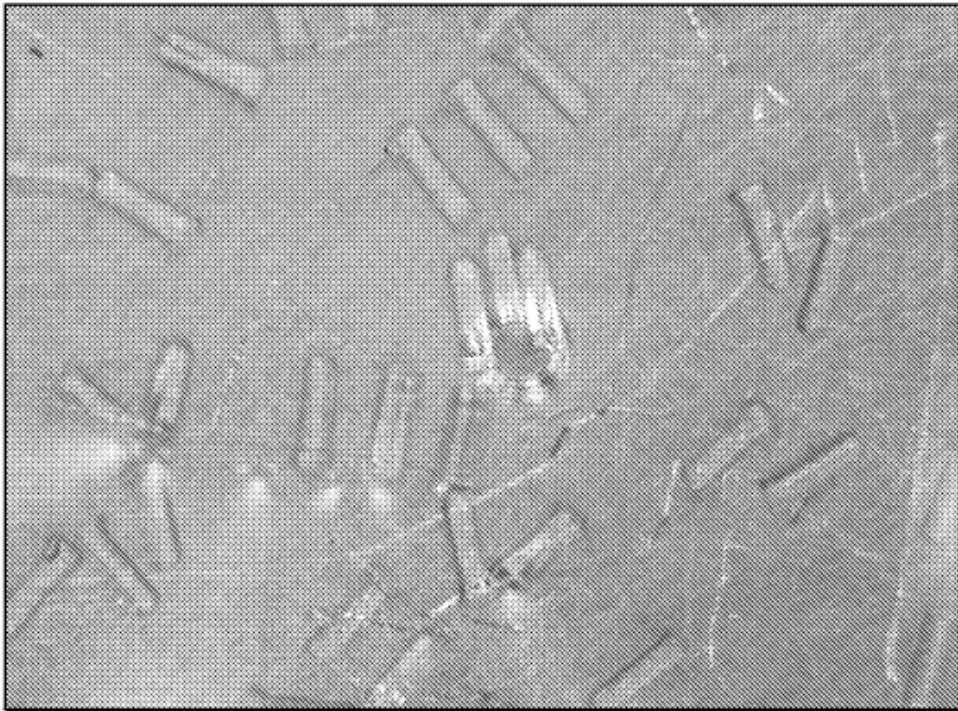


FIG. 22

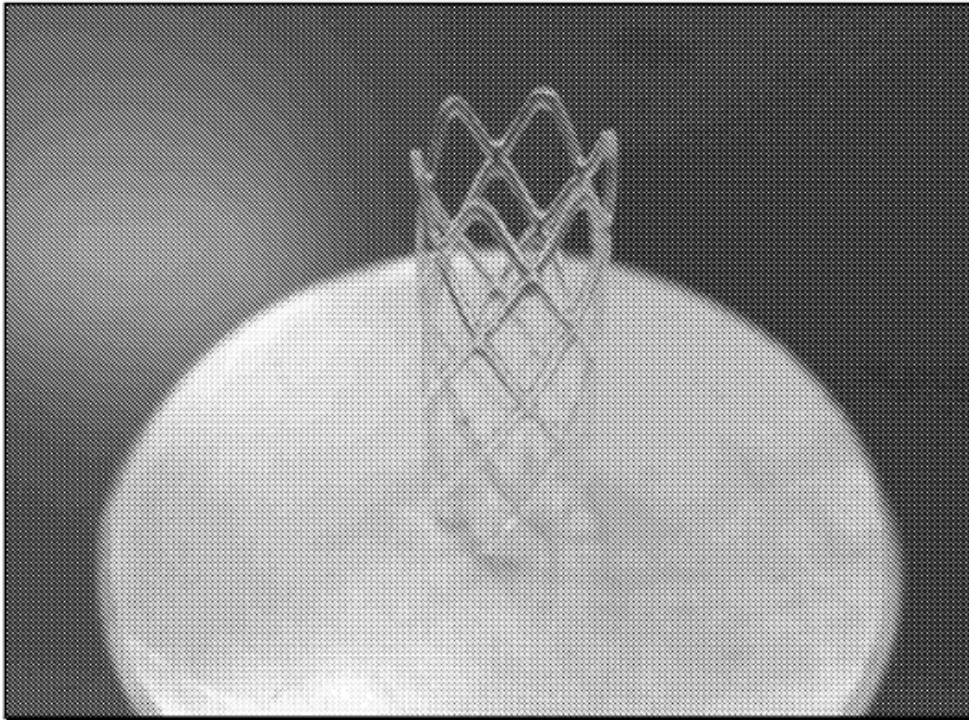


FIG. 23

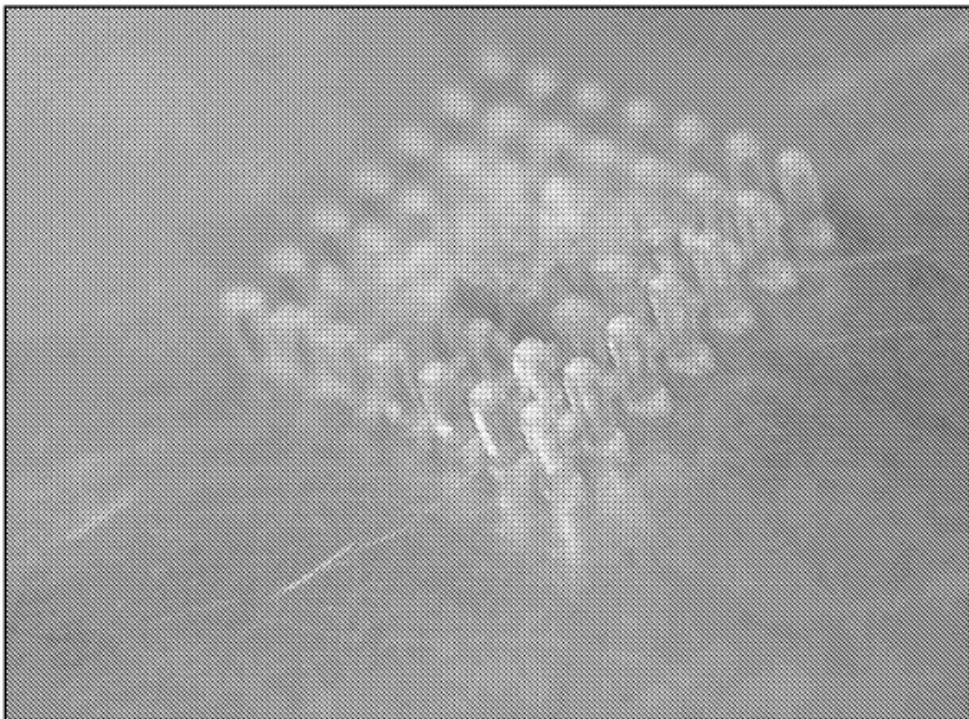


FIG. 24

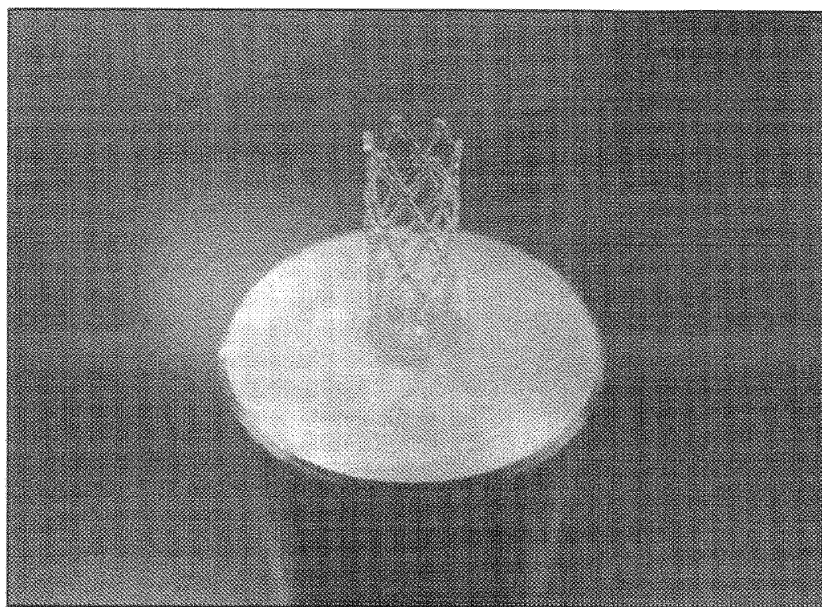
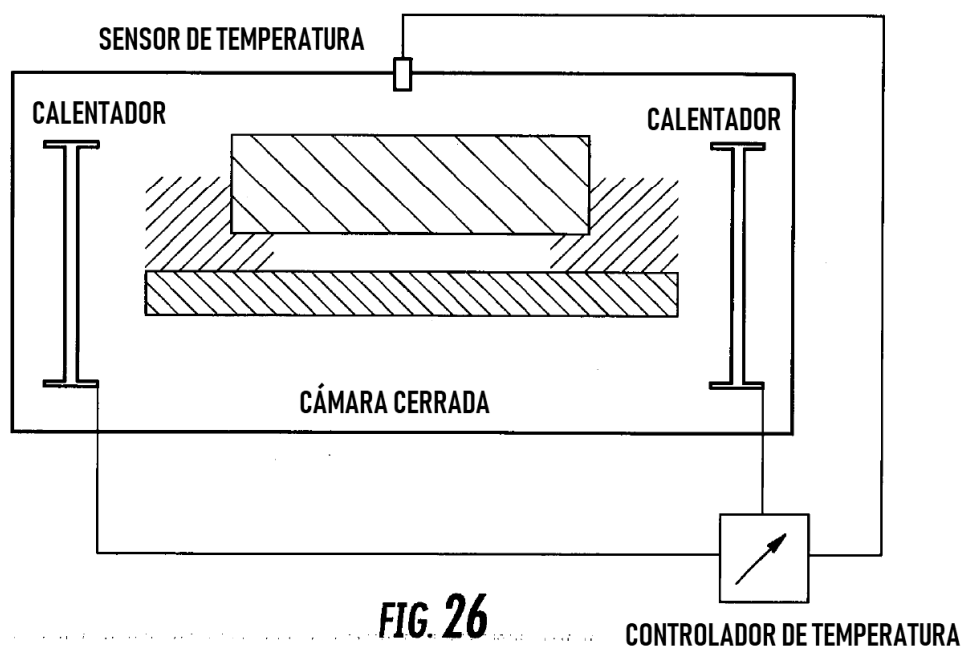
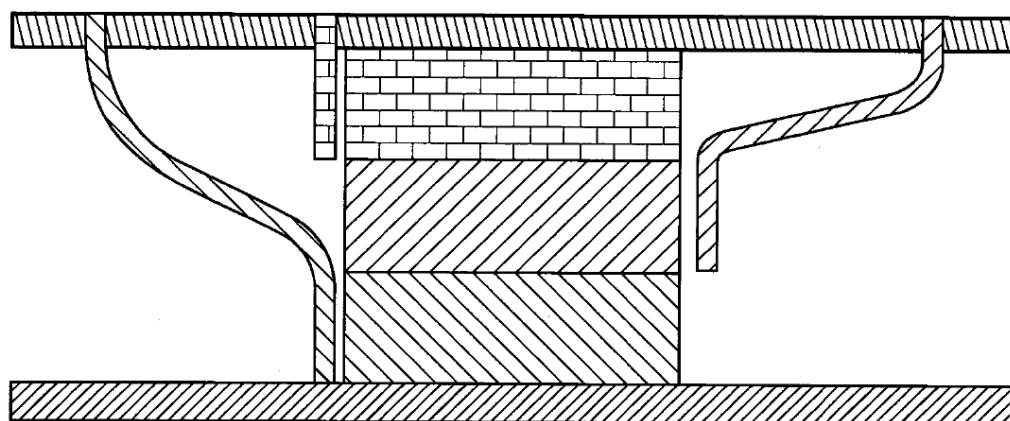
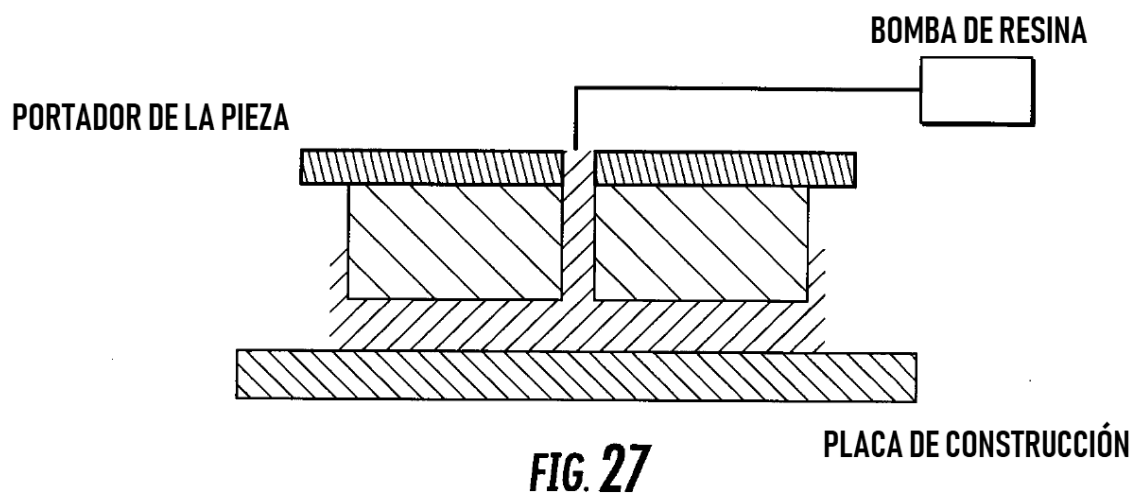


FIG. 25





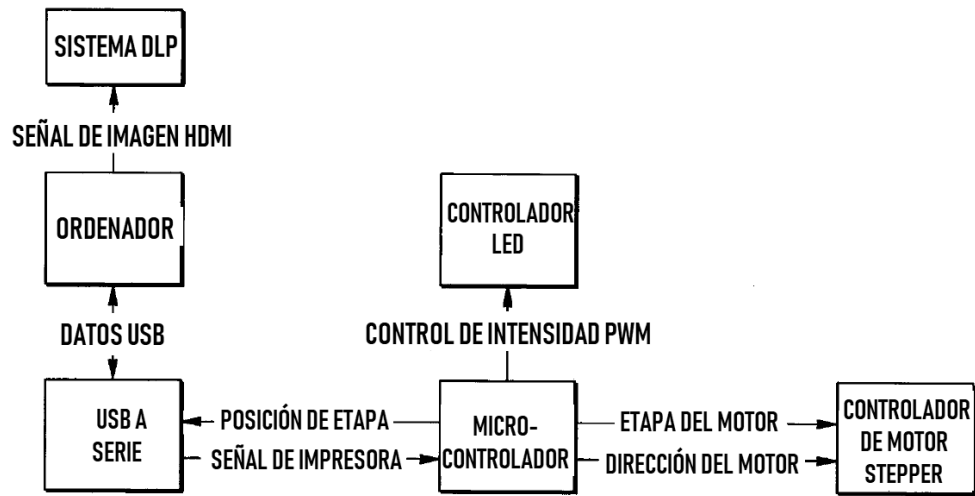


FIG. 29

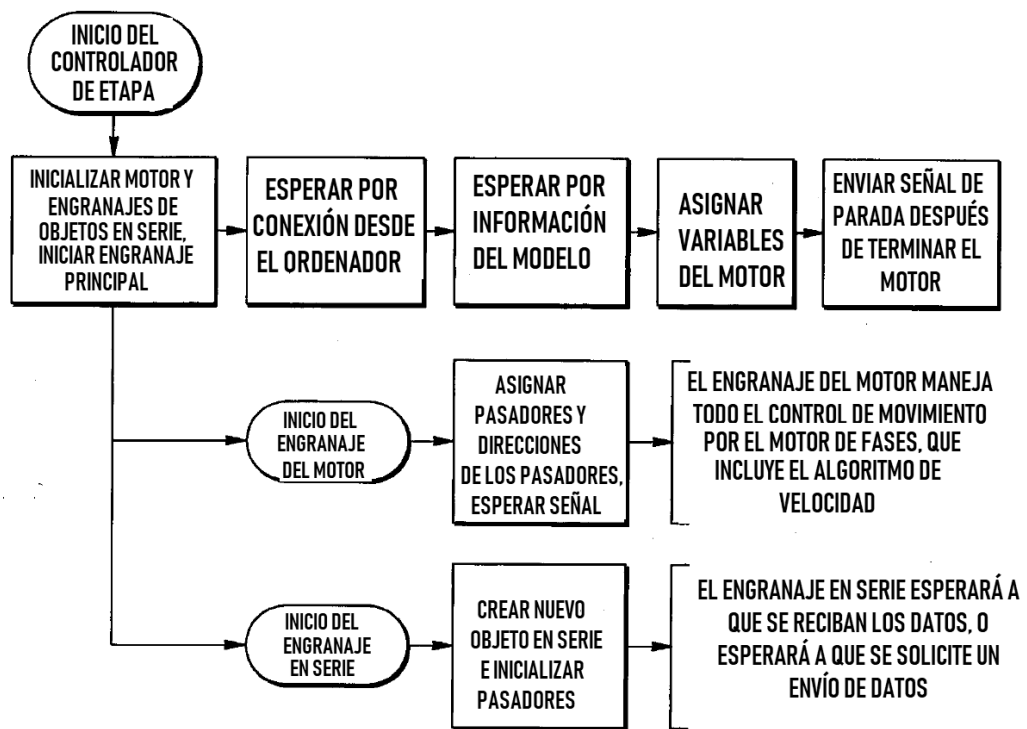


FIG. 30

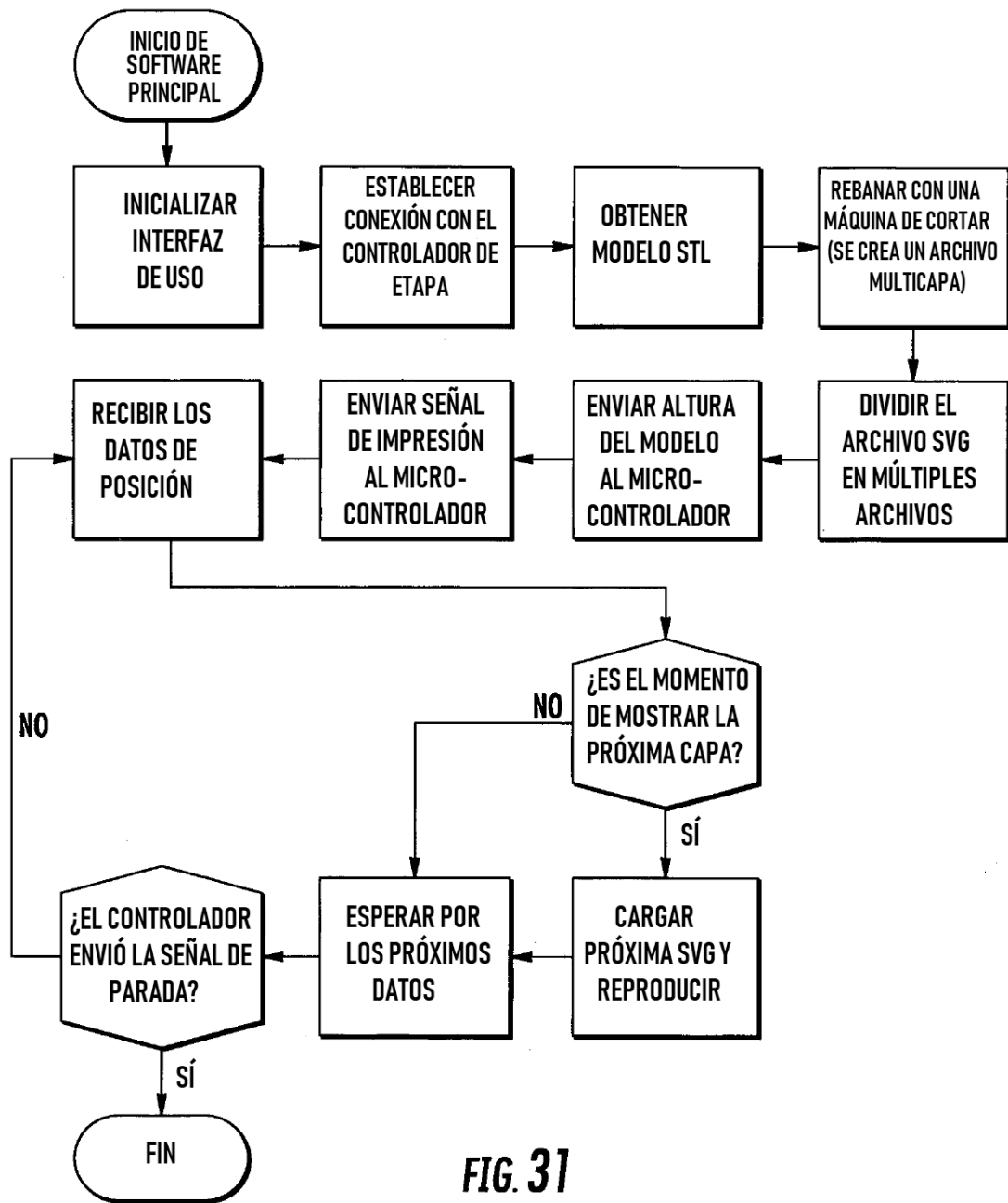


FIG. 31