

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 961 482**

51 Int. Cl.:

B29C 64/35 (2007.01)

B29C 71/00 (2006.01)

B33Y 40/20 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2017 PCT/GB2017/053841**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.07.2018 WO18127683**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2017 E 17822750 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2023 EP 3565712**

54 Título: **Mejoras en la fabricación aditiva**

30 Prioridad:

09.01.2017 GB 201700346

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
12.03.2024

73 Titular/es:

**ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES
LIMITED (100.0%)
Unit N Europa House, Sheffield Airport Business
Park
SheffieldS9 1XU, GB**

72 Inventor/es:

**CRABTREE, JOSEPH GWILLIAM;
RYBALCENKO, KONSTANTIN y
GAIO, ANDRE**

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 961 482 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Mejoras en la fabricación aditiva

La presente invención se refiere a procesos de fabricación aditiva. En concreto, pero no exclusivamente, la presente invención se refiere al posprocesamiento de piezas de polímero que han sido fabricadas mediante un proceso de fabricación aditiva a base de polvo, tal como la sinterización por láser o mediante infrarrojos, o un proceso basado en extrusión, tal como el modelado por depósito fundido (FDM, Fused Deposition Modelling).

La fabricación aditiva (AM, Additive Manufacturing) es un proceso de unión de materiales para crear objetos a partir de datos de modelos 3D, habitualmente capa sobre capa, a diferencia de las técnicas de fabricación sustractivas, tales como el fresado o el corte. Los procesos de AM se clasifican, en general, según las máquinas y tecnologías utilizadas, por ejemplo, láser o extrusión, y el estado de la materia prima utilizada, es decir, de base líquida, de polvo o de base sólida. Las diferentes condiciones del procesamiento que se encuentran en la AM producen diferentes propiedades mecánicas y acabados superficiales, especialmente en comparación con las técnicas de fabricación tradicionales. Por ejemplo, el acabado superficial del moldeo por inyección está determinado por el molde, mientras que la superficie exterior de las piezas de AM tiene un tacto rugoso y es visualmente opaca, como resultado del proceso de capa sobre capa. Un acabado superficial de este tipo suele ser no deseable, especialmente si la pieza está destinada a una aplicación estética. Además, la rugosidad superficial puede afectar negativamente el rendimiento mecánico de la pieza de AM, tal como la resistencia al desgarro, la resistencia a la tracción y/o a la flexión, el módulo de Young del material y la deformación a fractura. Adicionalmente, un acabado superficial rugoso puede ser difícil de limpiar, se puede manchar fácilmente o puede causar daños no deseados a las piezas adyacentes en la utilización.

Por lo tanto, las piezas de AM a menudo son procesadas posteriormente después de la fabricación, en un intento de alisar la superficie exterior rugosa, a menudo no deseable, y a veces también para eliminar las estructuras de soporte utilizadas en el proceso de fabricación. Las dos categorías clave del posprocesamiento son el posprocesamiento principal y secundario. El posprocesamiento principal incluye habitualmente las etapas obligatorias que se deben realizar en todas las piezas de AM para que sean adecuadas para su utilización en cualquier aplicación. Estas etapas varían según la tecnología pero, en general, incluyen limpieza y eliminación de la estructura de soporte. El posprocesamiento secundario incluye el acabado opcional de la pieza para mejorar la estética y/o la función de la pieza. Más comúnmente, el posprocesamiento secundario incluye lijado, rellenado, imprimación y pintura. Habitualmente, las piezas de AM de polímero se pulen, se lijan o se recubren mecánicamente para mejorar el aspecto y el tacto de la superficie. No obstante, estas etapas de posprocesamiento principal y secundaria son manuales, lo que agrega costes y tiempo importantes al proceso de fabricación, en vista de la importante mano de obra que se requiere y que, por lo tanto, potencialmente reduce los beneficios de la AM en algunas aplicaciones. Dicho posprocesamiento manual también puede introducir una variación de dimensiones no cuantificable en la geometría de la pieza final y es difícil, si no imposible, para la persona que realice el acabado, obtener exactamente la misma cantidad y grado de acabado para cada pieza, es decir, un acabado superficial repetible y reproducible. Para piezas intrincadas con características delicadas, a menudo se fabrica una pieza duplicada en caso de que la original se dañe o se rompa durante la etapa de posprocesamiento, lo que aumenta aún más, no deseablemente, los costes, la energía y los materiales. Los detalles finos de una pieza de AM se pueden perder irrevocablemente como resultado de técnicas manuales de posprocesamiento. Además, las técnicas manuales de posprocesamiento son procesos de "línea de visión" y no son adecuadas para alisar características ocultas/intrincadas, tal como las superficies interiores de estructuras reticulares, por ejemplo.

De este modo, la percepción de que las técnicas de AM ofrecen un flujo de trabajo digital que es simple, rápido y automatizado solo es precisa hasta el momento en que se retiran las piezas de AM de la máquina de AM. Tan pronto como las piezas de AM entran en la fase de posprocesamiento, el proceso automatizado mediante un pulsador se convierte en una operación manual que afecta no deseablemente al tiempo, al coste, a los materiales, a la energía y a la calidad.

Es conocida la utilización de un vapor de disolvente, tal como acetona, para mejorar el acabado superficial de piezas de AM fabricadas principalmente a partir de materiales del tipo del ABS. Un tratamiento de este tipo se basa en un disolvente adecuado para disolver parte de la superficie exterior rugosa de la pieza de AM para mejorar la suavidad de la superficie, el brillo y potencialmente las propiedades mecánicas de la propia pieza. No obstante, estos tratamientos con disolventes conocidos también son manuales y requieren mucha mano de obra y, por lo tanto, adolecen de los mismos inconvenientes que las técnicas mecánicas descritas anteriormente. Además, los tratamientos con disolventes conocidos no son adecuados para mejorar el acabado superficial del Nylon 12, que es el polímero más comúnmente utilizado para la sinterización por láser, y que forma parte del grupo de poliamidas de materiales que son especialmente resistentes a productos químicos tales como la acetona. Además, en algunos casos se ha descubierto que se produce un

aumento en el peso de la pieza de AM después de utilizar un tratamiento de posprocesamiento con disolvente para mejorar el acabado superficial. Este aumento de peso no deseable puede ser de hasta un 8 %, y se ha descubierto que es el resultado de la absorción de agua (especialmente en materiales Nylon™) en las capas superficiales de la pieza de AM.

5

Un ejemplo conocido de un sistema y procedimiento para alisar con vapor un objeto tridimensional fabricado rápidamente se describe en la Patente US 2009/0321972 A1.

10

Otro ejemplo conocido de un procedimiento para procesar objetos fabricados utilizando procedimientos de fabricación aditiva se describe en la Patente WO2016/201614 A1.

15

Un objetivo de ciertas realizaciones de la presente invención es dar a conocer un procedimiento automatizado de posprocesamiento de una pieza de polímero de AM para mejorar el acabado superficial de la misma sin comprometer la integridad, el aspecto o el rendimiento de la pieza.

Un objetivo de ciertas realizaciones de la presente invención es dar a conocer un procedimiento automatizado de posprocesamiento de una pieza de polímero de AM para mejorar el acabado superficial de la misma, que sea eficiente y consistente en términos de calidad, tiempo, coste y materiales.

20

Un objetivo de ciertas realizaciones de la presente invención es dar a conocer un procedimiento automatizado de posprocesamiento de una pieza de polímero de AM para mejorar el acabado superficial de la misma exponiendo la pieza de AM a un disolvente de manera controlada, para conseguir el acabado superficial deseado sin un aumento de peso no deseable.

25

Un objetivo de ciertas realizaciones de la presente invención es dar a conocer un procedimiento automatizado de posprocesamiento de una pieza de polímero de AM de una manera "inteligente", mediante el cual se utiliza el aprendizaje automático de múltiples aparatos para mejorar los parámetros de procesamiento y la eficiencia del proceso de acabado de la pieza.

30

Un objetivo de ciertas realizaciones de la presente invención es dar a conocer un aparato para llevar a cabo un procedimiento automatizado de posprocesamiento de una pieza de polímero de AM, para mejorar el acabado superficial de la misma de una manera controlada y automatizada que sea eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

35

Según un primer aspecto de la presente invención, se da a conocer un aparato para el posprocesamiento de una pieza de polímero fabricada aditivamente, tal como está definido en la reivindicación 1.

40

Opcionalmente, el como mínimo un parámetro comprende un material de la pieza, una rugosidad superficial deseada de la pieza y/o una propiedad geométrica de la pieza que incluye área de la superficie, volumen, dimensión y/o complejidad de la pieza.

Opcionalmente, el controlador está configurado para accionar selectivamente la bomba de vacío durante un tiempo predeterminado, para aplicar una presión negativa en la cámara de procesamiento.

45

Opcionalmente, la presión negativa está comprendida entre aproximadamente 10 y 400 mbar.

50

Opcionalmente, el aparato comprende, además, una válvula de suministro de disolvente, controlable operativamente por el controlador, para permitir que una cantidad predeterminada de disolvente sea aspirada selectivamente hacia la cámara de procesamiento mediante la presión negativa aplicada en la misma.

Opcionalmente, el sistema de suministro de disolvente comprende una bomba y una válvula dosificadora para el suministro controlado de la cantidad predeterminada de disolvente a la cámara de procesamiento.

55

Opcionalmente, el disolvente es introducido en la cámara de procesamiento mediante un sistema de distribución de disolvente.

Opcionalmente, el sistema de distribución de disolvente comprende como mínimo una boquilla, para la distribución controlada del vapor de disolvente en la cámara de procesamiento.

60

Opcionalmente, el aparato comprende, además, un calentador, para calentar de manera controlada el interior de la cámara de procesamiento hasta una temperatura predeterminada de la cámara.

Opcionalmente, el calentador comprende un elemento de calentamiento, configurado para calentar de manera controlable como mínimo una superficie interior de la cámara de procesamiento.

65

Opcionalmente, el aparato comprende, además, un refrigerador, para el enfriamiento controlado de una pieza

de AM situada en la cámara de procesamiento.

5 Opcionalmente, el controlador está configurado para accionar selectivamente la bomba de vacío durante un tiempo predeterminado adicional, para volver a aplicar una presión negativa en la cámara de procesamiento después de que haya transcurrido un tiempo de procesamiento predeterminado.

Opcionalmente, el tiempo de procesamiento está comprendido entre aproximadamente 5 segundos y aproximadamente 120 minutos, basándose en el como mínimo un parámetro.

10 Opcionalmente, la bomba de vacío está configurada, además, para ventilar selectivamente la cámara de procesamiento hacia la atmósfera cuando se ha vuelto a aplicar la presión negativa, para extraer el vapor de disolvente de la cámara de procesamiento y de la pieza situada en la misma.

15 Opcionalmente, el aparato comprende, además, un sistema de recuperación de disolvente, para recuperar el disolvente usado, de la cámara de procesamiento.

Opcionalmente, el sistema de recuperación de disolvente comprende un condensador, para separar el disolvente del aire.

20 Opcionalmente, el sistema de recuperación de disolvente está conectado de manera fluida con el depósito y/o con el sistema de suministro de disolvente, de tal manera que el disolvente usado recuperado puede ser devuelto al mismo.

25 Opcionalmente, el depósito comprende un primer compartimento para disolvente virgen y un compartimento adicional para disolvente recuperado.

30 Opcionalmente, el aparato comprende, además, una interfaz de usuario, para que un usuario introduzca el material de la pieza a procesar y la rugosidad superficial deseada, en el que el controlador está configurado, además, para ejecutar un programa de procesamiento basado en como mínimo el material y la rugosidad superficial deseada.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se da a conocer un procedimiento de posprocesamiento de una pieza de polímero fabricada aditivamente, tal como está definido en la reivindicación 8.

35 Opcionalmente, el como mínimo un parámetro comprende un material de la pieza, una rugosidad superficial deseada de la pieza y/o una propiedad geométrica de la pieza que incluye área de la superficie, volumen, dimensión y/o complejidad.

40 Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, utilizar la presión negativa para suministrar selectivamente la cantidad predeterminada de disolvente a la cámara de procesamiento.

Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, calentar selectivamente el interior de la cámara de procesamiento hasta una temperatura predeterminada de la cámara.

45 Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, calentar como mínimo una superficie interior de la cámara de procesamiento.

50 Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, crear un potencial energético entre una pieza de AM situada en la cámara de procesamiento y el disolvente.

Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, enfriar selectivamente una pieza de AM situada en la cámara de procesamiento, para crear el potencial energético y hacer que el vapor de disolvente se condense en la pieza de AM.

55 Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, volver a aplicar una presión negativa en la cámara de procesamiento durante un tiempo predeterminado, después de que haya transcurrido un tiempo de procesamiento predeterminado.

60 Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, ventilar selectivamente la cámara de procesamiento hacia la atmósfera cuando se ha vuelto a aplicar la presión negativa, para extraer el vapor de disolvente de la cámara de procesamiento y de la pieza situada en la misma.

Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, recuperar el disolvente usado de la cámara de procesamiento.

65 Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, devolver el disolvente usado recuperado al depósito.

Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, introducir o seleccionar el como mínimo un parámetro asociado con la pieza a través de una interfaz de usuario.

- 5 Opcionalmente, el procedimiento comprende, además, ejecutar un programa de procesamiento mediante un controlador basándose en el como mínimo un parámetro.

Según un tercer aspecto de la presente invención, se da a conocer un programa informático tal como el definido en la reivindicación 15.

10

Según un cuarto aspecto de la presente invención, se da a conocer la utilización de un disolvente para el posprocesamiento de manera controlable de una pieza de polímero fabricada de manera aditiva que responde a como mínimo un parámetro asociado con la pieza.

15

Opcionalmente, el disolvente se selecciona de un grupo que incluye 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-propanol (HFIP), dimetilformamida, ácido sulfúrico, m-cresol, ácido fórmico, ácido trifluoroacético y alcohol bencílico.

Opcionalmente, la utilización comprende, además, crear selectivamente un potencial energético entre una pieza de AM y el disolvente.

20

Opcionalmente, la utilización comprende, además, controlar selectivamente la temperatura del disolvente y la temperatura de la pieza de AM, en la que la temperatura del disolvente es mayor que la temperatura de la pieza de AM.

25

Opcionalmente, la utilización comprende, además, calentar el disolvente hasta una temperatura de disolvente predeterminada y enfriar la pieza de AM para crear un gradiente de temperatura deseado entre ellos, para provocar que el vapor de disolvente se condense sobre la pieza de AM durante un tiempo de procesamiento predeterminado.

30

Descripción de los dibujos

Ciertas realizaciones de la presente invención se describirán a continuación haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

35

la figura 1a muestra un esquema de un aparato de posprocesamiento de piezas de AM, según ciertas realizaciones de la presente invención;

las figuras 1b a 1e muestran esquemas de diversas partes del aparato de la figura 1a;

40

la figura 2 muestra las etapas de posprocesamiento de un procedimiento que utiliza el aparato de la figura 1a;

la figura 3 muestra la relación entre la rugosidad superficial y el tiempo de exposición, según ciertas realizaciones de la presente invención;

45

la figura 4 muestra una lista de sensores del aparato de la figura 1a;

la figura 5 muestra una lista de parámetros controlables por el aparato de la figura 1a;

50

la figura 6 muestra una lista de entradas monitorizadas por el aparato de la figura 1a;

la figura 7 muestra un esquema adicional de un aparato de posprocesamiento de piezas de AM, según ciertas realizaciones de la presente invención;

55

la figura 8 muestra las etapas de posprocesamiento de un procedimiento que utiliza el aparato de la figura 7;

la figura 9 muestra una lista de sensores del aparato de la figura 7;

la figura 10 muestra una lista de parámetros controlables mediante el aparato de la figura 7;

60

la figura 11 muestra las condiciones de procesamiento termodinámico para diferentes polímeros de AM que se van a alisar, según ciertas realizaciones de la presente invención;

la figura 12 muestra el tiempo de procesamiento y los niveles del potencial energético para diversos acabados superficiales, según ciertas realizaciones de la presente invención;

65

la figura 13 muestra datos de procesamiento para poliamida 12;

la figura 14 muestra datos de procesamiento para poliuretano termoplástico;

la figura 15 muestra un gráfico de presión-temperatura del disolvente HFIP para ajustar los parámetros de procesamiento para alisar las superficies de la pieza de polímero de AM;

las figuras 16a y 16b muestran el proceso de creación de diferentes niveles de suavidad superficial controlando el potencial energético entre el disolvente y la pieza de AM, según ciertas realizaciones de la presente invención;

la figura 17 muestra el control del estado del disolvente durante el proceso de alisado;

las figuras 18a y 18b muestran los efectos de la condensación rápida de disolvente en una pieza de AM según ciertas realizaciones de la presente invención;

las figuras 19 y 19b muestran la eliminación de disolvente residual de una pieza de AM, según ciertas realizaciones de la presente invención;

las figuras 20a y 20b muestran los resultados de la prueba de inmersión en agua para piezas de TPU y poliamida 12 procesadas según ciertas realizaciones de la presente invención;

la figura 21 muestra los resultados de la prueba termogravimétrica de un polímero procesado según ciertas realizaciones de la presente invención;

la figura 22 muestra una cromatografía que muestra la eficiencia de la recuperación de disolvente HFIP de un polímero procesado según ciertas realizaciones de la presente invención; y

la figura 23 muestra las condiciones de eliminación del HFIP residual según ciertas realizaciones de la presente invención.

Descripción detallada

Tal como se muestra en la figura 1a, el aparato 100, según ciertas realizaciones de la presente invención, incluye un cartucho de disolvente 102 extraíble, un sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104, para contener un disolvente, un sistema de distribución de disolvente 106, una cámara de procesamiento 108, una bomba de vacío 110 y un sistema de recuperación de disolvente 112. El aparato también incluye una cámara de control 114, conectada al sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 y una bomba de calentamiento de aire 116, para ventilar aire caliente hacia la cámara de procesamiento 108. La cámara de procesamiento 108 contiene, asimismo, un sistema de soporte de pieza 109 tal como un bastidor o similar.

Una primera válvula de control V_1 está situada entre el cartucho de disolvente 102 y el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104. Una segunda válvula de control V_2 está situada entre el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 y el sistema de distribución de disolvente 106. Una tercera válvula de control V_3 está situada entre el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 y la cámara de control 114. Una cuarta válvula de control V_4 está situada más abajo de la cámara, adecuadamente en la bomba de vacío 110, para permitir que el aparato, especialmente la cámara de procesamiento 108, sea ventilado selectivamente a la atmósfera. Una quinta válvula de control V_5 está situada entre el sistema de recuperación de disolvente 112 y el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104/cartucho de disolvente 102. La válvula V_5 es una válvula de desvío, que controla selectivamente el flujo de disolvente recuperado hacia el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 o hacia el cartucho 102, tal como se describe más adelante.

El aparato 100 incluye, además, un controlador 118, que tiene una interfaz de usuario, por ejemplo, una pantalla táctil, para permitir que un operador introduzca parámetros predeterminados asociados con la pieza de AM a posprocesar, tal como se describirá más adelante. Un operador puede interactuar con el controlador, ya sea en el aparato o a distancia, a través de una conexión por cable o inalámbrica, mediante la utilización de una aplicación almacenada en un dispositivo informático tal como una tableta o un teléfono móvil. El controlador 118 está conectado eléctricamente a los componentes controlables a través de un sistema informático tal como Raspberry Pi™ o de otro sistema de código libre o no libre, a los sistemas y sensores del aparato 100, para permitir que el controlador controle automática y selectivamente el aparato, mientras también recibe señales de retroalimentación durante una operación de posprocesamiento, tal como se describe más adelante. El controlador también está configurado para registrar las condiciones ambientales de funcionamiento del aparato, concretamente la temperatura ambiente AT1 y la humedad ambiente AH1 mientras el aparato está en uso. El controlador está convenientemente conectado a un botón de parada de emergencia ES1 para detener inmediatamente la máquina en caso de necesidad. También está presente un

sensor AP1, para detener el aparato 100 en caso de que se retire algún panel de acceso de mantenimiento durante el funcionamiento. El controlador 118 también está en comunicación de lectura/escritura con un medio de almacenamiento de datos, tal como una base de datos 120 basada en la nube, para permitir el acceso a, y/o el almacenamiento de parámetros operativos, programas y datos.

Solo con fines ilustrativos, el flujo de disolvente en estado líquido durante la operación de posprocesamiento se muestra mediante una línea de puntos y trazos y está referenciado con SP_L. El flujo de disolvente en estado de vapor se muestra mediante una línea continua relativamente gruesa, y está referenciado con SP_V. El flujo de agua se denomina WP y el flujo de aire está referenciado con A. Los enlaces de control se muestran en una línea relativamente delgada y están referenciados con C.

La figura 2 muestra un diagrama de flujo que muestra las etapas de un procedimiento S200 de posprocesamiento de una pieza de AM utilizando el aparato 100, según ciertas realizaciones de la presente invención.

Tal como se muestra en la etapa S202, se selecciona un cartucho 102 "preenvasado" y sellado que contiene un disolvente adecuado y se acopla de manera extraíble al aparato 100 a través de una conexión 102c adecuada, tal como un mecanismo de liberación rápida o similar. Tal como se muestra en la figura 1b, el cartucho de disolvente 102 incluye dos compartimentos; uno para disolvente virgen y otro para disolvente usado. Un sensor SL₁ detecta el nivel de disolvente virgen y un sensor SL₃ detecta el nivel de disolvente usado. El compartimento de disolvente virgen tiene como mínimo una salida y el compartimento de disolvente usado tiene como mínimo una entrada para devolver el disolvente usado al cartucho, tal como se describe más adelante. El cartucho 102 incluye un chip electrónico de código no libre 102a que se comunica con el controlador 118 para permitir que las señales del sensor se envíen operativamente al mismo. El cartucho 102 también incluye un mecanismo de empuñadura de acoplamiento de liberación rápida 102b para manipular el cartucho cuando se conecta a, y se retira del aparato. El mecanismo de empuñadura 102b puede ser acoplado al mecanismo de conexión 102c de tal manera que el mecanismo de empuñadura 102b acciona un mecanismo de acoplamiento de conexión/liberación rápida 102c para acoplar/retirar rápida y fácilmente el cartucho al/del aparato. Un sensor QR₁ (no mostrado) puede estar dispuesto para confirmar al controlador 118 que el cartucho está correctamente situado y conectado al aparato.

Los disolventes adecuados incluyen disolventes polares protónicos y disolventes polares no protónicos, tales como, entre otros, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-propanol (HFIP), dimetilformamida, ácido sulfúrico, m-cresol, ácido fórmico, ácido trifluoroacético y alcohol bencílico. Convenientemente, se puede utilizar un disolvente que presente fuertes propiedades de formación de enlaces de hidrógeno. Esta propiedad permitirá al disolvente procesar sustancias que sirven como aceptores de enlaces de hidrógeno, tales como Nylon™ (Poliamidas).

En la etapa S204, como mínimo una pieza de polímero de AM es colocada en la cámara de procesamiento 108 a través de una puerta de acceso a la misma, tal como una tapa sellable situada en una superficie superior del aparato para un fácil acceso, y en una estructura de soporte 109 opcional, tal como un bastidor, situado en la cámara. La estructura de soporte 109 está configurada para garantizar que la pieza esté completamente expuesta al disolvente introducido en la cámara. La puerta/tapa de acceso se cierra y la cámara 108 se sella. La cámara 108 se sella una vez que un sensor Do/Dc de la puerta de la cámara de proceso indica que la puerta está cerrada.

Convenientemente, a través de la interfaz de usuario del controlador 118 o, automáticamente, en respuesta a que la cámara esté sellada y/o a que una pieza esté situada en la misma, el controlador 118 ejecuta una comprobación de los sistemas para garantizar que el aparato 100 esté en un estado "neutro" y listo para procesar piezas de AM. La comprobación del estado neutro garantiza que todas las válvulas de control estén en las posiciones correctas, que el cartucho de disolvente contenga una cantidad suficiente de disolvente virgen y que se haya acoplado correctamente al aparato, y que la puerta/tapa de la cámara de proceso esté cerrada de manera segura.

En S206, un usuario introduce un archivo digital de CAD en el controlador 118 para que la pieza de AM sea procesada ya sea a través de Internet/Ethernet/conexión inalámbrica desde un programa/aplicación o desde una base de datos de archivos de datos de CAD previamente almacenados. El archivo de CAD detalla las piezas a procesar en la orientación y posición en la que están situadas en la estructura de soporte 109 en la cámara de procesamiento 108. Esto garantiza la repetibilidad y reproducibilidad y también permite el cálculo preciso de los parámetros del procesamiento mediante la comprensión del área de la superficie y la "complejidad" de las piezas.

En S208, a través de la interfaz de usuario del controlador 118, el usuario selecciona el material de la pieza de AM y el acabado superficial deseado, por ejemplo, rugosidad que, a su vez, determina el programa de procesamiento requerido que el controlador debe seleccionar y ejecutar. El material de la pieza puede ser seleccionado de una lista no exhaustiva de materiales que incluyen Nailon 12 (PA220 Duraform™ PA),

Nailon 11 (Duraform™ EX Natural, Duraform™ EX Black), poliuretano termoplástico (TPU), materiales elastómeros TPE-210, ABS, o similar. La pantalla táctil puede enumerar una cantidad de materiales seleccionables para que el usuario los seleccione en respuesta a la pieza de AM a posprocesar. La rugosidad superficial se puede seleccionar entre un intervalo de aproximadamente 1,5 μ m a la rugosidad superficial "tal como está impresa" (es decir, sin alisado), en incrementos de aproximadamente 1 μ m. Alternativamente, se puede seleccionar un acabado superficial basándose en las descripciones del acabado, por ejemplo, mate o brillante, y/o en ejemplos visuales mostrados en la pantalla de la interfaz de usuario o el dispositivo informático móvil.

En la etapa S210, el programa de procesamiento es seleccionado por el controlador 118 en respuesta al material de la pieza seleccionado y a la rugosidad superficial deseada y, a continuación, se ejecuta.

Tal como se muestra en la figura 1c, el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 incluye una cámara de dosificación de disolvente 104a y un sensor de nivel de disolvente SL₂ para detectar un nivel de disolvente en el mismo, una bomba dosificadora de disolvente 104b y un sensor de presión Sp₁ para detectar una presión del disolvente que está siendo bombeado desde la misma, una válvula de control V_{1A} adicional y un elemento de calentamiento de disolvente 104c, tal como un serpentín de calentamiento, y un sensor de temperatura S₁₁ para detectar la temperatura del disolvente en el sistema de calentamiento 104.

En la etapa S212, el controlador 118 abre la primera válvula de control V₁ y una cantidad predeterminada de disolvente para llenar, como mínimo parcialmente, la cámara 104a del sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104, convenientemente aproximadamente 1000 ml, se transfiere desde el cartucho 102 al sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 utilizando la bomba dosificadora de disolvente 104b a una velocidad controlada de dosificación de la bomba de disolvente SDs.

En la etapa S214, se cierra la primera válvula de control V₁. Se transfiere una dosis predeterminada de disolvente líquido desde la cámara de dosificación 104a al serpentín de calentamiento de disolvente 104c a través de la válvula V_{1A} mediante la bomba dosificadora de disolvente 104b. La "dosis" de disolvente líquido se calienta a través del serpentín de calentamiento de disolvente 104c hasta una temperatura predeterminada St₁ mediante medios de calentamiento adecuados, por ejemplo, un elemento de calentamiento eléctrico situado en o alrededor del serpentín de calentamiento de disolvente 104c. La cantidad de disolvente se calcula en función del tipo de disolvente que se utiliza, del volumen de la cámara de procesamiento 108, del área de la superficie de la pieza o las piezas, la temperatura de procesamiento (una función del punto de ebullición del disolvente) y la presión de procesamiento (vacío). La cantidad de dosificación desde la cámara de dosificación de disolvente a través del serpentín de calentamiento está comprendida entre aproximadamente 25 y 200 ml. La relación determina la cantidad correcta de disolvente para conseguir el grosor de capa uniforme requerido en todas las piezas a procesar. Alternativamente, el propio cartucho 102 puede ser calentado mediante un medio de calentamiento separado o integral, tal como un elemento de calentamiento eléctrico dispuesto en el cartucho, para elevar la temperatura del disolvente en el mismo hasta la temperatura predeterminada S₁₁. En dicha realización, es posible que no sea necesario el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104, y el disolvente puede ser introducido en la cámara de procesamiento 108 directamente desde el cartucho, en lugar de a través del sistema de dosificación y calentamiento 104. El disolvente se calienta para permitir procesar eficazmente una variedad de disolventes con diferentes puntos de ebullición. La temperatura del disolvente S₁₁ puede estar comprendida entre la temperatura ambiente y 100 °C, dependiendo del tipo de disolvente que se utilizará para la pieza de AM que se está procesando. Es posible que algunos disolventes no requieran calentamiento. Precalentar el disolvente para transformarlo en una fase de vapor antes de introducirlo en la cámara de procesamiento 108 permite aplicar un diferencial de presión más bajo (vacío) al disolvente y, por lo tanto, menos energía, para transformar el disolvente de un estado líquido a un estado de vapor, y aspirar el vapor del disolvente hacia la cámara de procesamiento 108. Además, la capacidad de calentar el disolvente puede acelerar el proceso termodinámico de evaporación del disolvente.

En la etapa S216, se aplica a continuación una presión negativa en el interior de la cámara de procesamiento 108 mediante la bomba de vacío 110 durante un tiempo de vacío VT₁ para crear una presión reducida en la cámara VP₁ comprendida entre aproximadamente 10 y 200 mbar y, convenientemente, aproximadamente de 70 mbar. Convenientemente, se puede crear un vacío absoluto en la cámara de procesamiento 108. La presión crítica medida por el sensor ACP1 en la cámara de procesamiento 108 se define como el punto por debajo del cual el disolvente se evaporará a temperatura ambiente, es decir, en el punto crítico cuando el disolvente está en la fase de vapor antes de entrar en la fase gaseosa si se aumentase la presión/temperatura.

En la etapa S218, la segunda y tercera válvulas de control V₂ y V₃ se abren, y la diferencia de presión entre el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 y la cámara de procesamiento 108 y la cámara de control 114 aspira el disolvente hacia ambas cámaras 108, 114. En vista del diferencial de presión entre el vapor de disolvente a presión atmosférica y la presión de vacío VP₁ seleccionada aplicada a las cámaras 108, 114, la "dosis" de disolvente se introduce instantáneamente en la cámara de

procesamiento 108 y la cámara de control 114 y llena instantáneamente las cámaras 108, 114. La pieza o las piezas de AM situadas en la cámara de procesamiento 108 y una muestra/espécimen de prueba situado en la cámara de control 114 están completamente rodeados por vapor de disolvente. La cantidad de dosificación está controlada por el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 y se define como la cantidad de disolvente necesaria para saturar completamente la fase de vapor. Esto se rige por los equilibrios vapor-líquido del disolvente específico en relación con la temperatura y presión de las fases de vapor y líquido. Tal como se muestra en la figura 1d, el sistema de distribución de disolvente 106 incluye tres canales de distribución 106a, cada uno de los cuales tiene una pluralidad de aberturas equiespaciadas para garantizar una introducción uniforme y rápida de la fase de vapor de disolvente en la cámara de proceso de vacío 108.

Como alternativa a, o además de, la aplicación de una presión negativa a la cámara de procesamiento 108, se puede aplicar una presión positiva al disolvente para empujarlo hacia las cámaras 108, 114 desde el depósito de disolvente 104.

En la etapa 220, se cierran la segunda y tercera válvulas de control V_2 y V_3 .

En la etapa 222, se abre la cuarta válvula de control V_4 , y se aspira o bombea aire ambiente calentado por un calentador H1 adecuado (no mostrado) de la bomba de calentamiento 116, a una temperatura predeterminada aT , a la cámara de procesamiento 108. Con una temperatura y una presión superiores en la cámara de procesamiento 108, el vapor de disolvente se condensa instantáneamente sobre la pieza o las piezas de AM para formar un residuo uniforme y una película uniforme de disolvente en el estado líquido en las superficies exteriores de la pieza. Alternativamente, la segunda válvula de control V_2 puede abrirse para exponer la cámara de procesamiento 108 al sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 y, por lo tanto, a una cantidad de disolvente adicional para controlar la velocidad de condensación deseada.

La película de disolvente líquido condensado se mantiene sobre la pieza o las piezas de AM durante un tiempo de exposición de pieza PET_1 predeterminado que puede oscilar desde aproximadamente 5 segundos para piezas de Nailon 12 hasta aproximadamente 10 minutos para piezas de tipo TPU. Tal como se muestra en la figura 3, el tiempo de exposición de pieza PET_1 predeterminado determina la rugosidad superficial final de la pieza o las piezas y se puede controlar a aproximadamente $1,5\mu m$.

Cuando se ha alcanzado el tiempo de exposición de pieza PET_1 predeterminado para la pieza o las piezas que están siendo procesadas, la bomba de vacío 110 (en la etapa S224) aplica una presión negativa VP_2 comprendida entre aproximadamente 10 y 200 mbar a la cámara de procesamiento 108 durante un tiempo predeterminado VT_2 . La nueva aplicación de una presión negativa a la cámara de procesamiento 108 aumenta la presión de vapor para devolver el disolvente condensado de un estado líquido a un estado de vapor.

En la etapa S226, se abre la cuarta válvula de control V_4 y la cámara de procesamiento 108 se ventila a la atmósfera a través de la bomba de vacío 110 y el vapor de disolvente se elimina completamente de la superficie de la pieza o las piezas de AM procesadas y de la propia cámara de procesamiento 108. Un filtro de carbono está dispuesto en el colector de atmósfera externo y en la bomba de calentamiento para garantizar que no se libere vapor de disolvente a la atmósfera. No queda ningún vapor residual en la superficie de la pieza o las piezas, no queda ningún rastro residual y a su vez se detiene inmediatamente el posprocesamiento de la pieza o las piezas. Esto no solo garantiza que el proceso esté completamente controlado, sino que también algunas aplicaciones, tales como dispositivos médicos o dentales, requieren que las piezas estén completamente limpias y sean seguras de utilizar, y también que posean una rugosidad superficial especialmente precisa que no se podría conseguir si se realizara algún procesamiento adicional de la pieza como resultado de cualquier residuo de disolvente restante en las superficies de la pieza.

Un sensor de disolvente SS_1 está situado en la cámara de procesamiento 108 para detectar la presencia de vapor de disolvente en el mismo y enviar una señal al controlador 118 indicando si existe o no disolvente en la cámara 108. En la etapa S228, la etapa de extracción/secado se repite hasta que no se detecta ningún disolvente (Compuestos Orgánicos Volátiles - VOC) en el interior de la cámara 108 por parte del sensor de disolvente SS_1 situado en ella.

El vapor de disolvente extraído de la cámara de procesamiento 108 puede pasar a través de una unidad de recuperación de disolvente 112, que consta de un sistema de bomba de calor con módulo Peltier o similar. El vapor de disolvente es condensado a través del sistema de bomba de calor Peltier en el sistema de recuperación de disolvente 112 a una temperatura CT_1 predeterminada, y el líquido condensado (disolvente y agua en vista del aire ambiente calentado que se introduce en la cámara de procesamiento en la etapa S222) es recogido en una trampa de líquido en la parte inferior del sistema de recuperación de disolvente 112. El líquido (que contiene tanto el disolvente como agua) es destilado a continuación a través de un serpentín de calentamiento a una temperatura HCT_1 superior a la temperatura de ebullición del disolvente, pero inferior a la temperatura de ebullición del agua, es decir, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Esto vaporiza el disolvente, manteniendo el agua en la fase líquida. A continuación, el disolvente revaporizado vuelve a pasar a través de la bomba de calor Peltier

para condensarse de vapor a líquido. El agua es recuperada en el depósito de agua residual 122. Alternativamente, se puede utilizar un tamiz molecular para eliminar el agua del sistema. A continuación, el disolvente recuperado es devuelto al sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 104 a través de la quinta válvula de control V₅. Por lo tanto, el aparato 100 forma un bucle cerrado. El disolvente se utiliza durante aproximadamente cien operaciones o hasta que se alcanza un área superficial máxima procesada, lo que ocurra primero, antes de ser recuperado y enviado al compartimento de disolvente usado del cartucho 102 a través de la válvula de desvío V₅ para su eliminación segura. Antes de que el cartucho 102 alcance el final de su vida útil y necesite ser reemplazado, el chip electrónico 102a que está configurado para monitorizar la frecuencia con la que se recicla el disolvente a través del cartucho utilizando el sensor Nc se comunicará automáticamente con el controlador 118, de tal manera que se solicita automática o manualmente el suministro de un nuevo cartucho. El cartucho usado es extraído y se introduce un cartucho nuevo que contiene disolvente "nuevo" para la siguiente operación. El agua producto de la destilación es dirigida hacia un depósito de agua residual 122 para que el operador la recoja y elimine de manera segura. El depósito de agua residual 122 incluye un sensor de nivel de agua WL1 (no mostrado) para indicar cuándo es necesario vaciar o reemplazar el contenedor.

En la etapa S230, en respuesta a la señal SS₁ que indica que no queda vapor de disolvente en la cámara de procesamiento 108, el controlador 118 detiene la bomba de vacío 110 y cierra la cuarta válvula V₄. El programa de procesamiento finaliza y se notifica al operador mediante una indicación audible y/o visual.

En la etapa S232, la puerta de acceso del aparato 100 se abre para recuperar la pieza o las piezas de polímero de AM procesadas de la cámara de procesamiento 108. El proceso se repite según se desee.

Tal como se muestra en la figura 1e, un cupón de prueba 114b, por ejemplo, un espécimen de hueso de perro, que se fabrica mediante el mismo proceso de AM y del mismo material que la pieza o las piezas de AM que se están procesando, es situado en la cámara de control 114 que no está sujeta a vacío y, por lo tanto, está sujeta a una posible absorción de agua de la atmósfera circundante. Durante el posprocesamiento, el cupón de prueba es sometido al vapor de disolvente durante el mismo tiempo de exposición al disolvente PET₁ que la pieza de AM que se está procesando y el peso del cupón de prueba es controlado de manera continua por medios adecuados, tales como una célula de carga 114c. Se produce un aumento de peso con mejora en la rugosidad superficial. Esta relación se ha cuantificado y se sabe que la ganancia de masa, que puede ser de hasta el 8 %, se debe a la absorción de agua en las capas superficiales, y no a la absorción de disolvente. El peso de la pieza original calculado a partir de los datos de CAD (en vacío y sin absorción de agua) se compara con un cupón de prueba fuera de la cámara de vacío (no en vacío y sujeta a absorción de agua). Las muestras de prueba requieren la misma relación entre el área de la superficie y el volumen que la pieza que se está alisando, para proporcionar una retroalimentación precisa.

La relación entre el aumento del peso de la muestra en función del tiempo de exposición al disolvente PET₁ se utiliza para calcular la rugosidad superficial conseguida realmente. Para garantizar que la relación entre la cámara de control 114 y las condiciones de la cámara de procesamiento 108 están en calibración, la correlación entre ellas se genera por medio de una retroalimentación experimental, y resulta de pruebas iterativas para una cantidad de muestra y acabado superficial conocidas por cada tipo de material. Alternativamente, se podría utilizar un procedimiento óptico sin contacto, tal como medición por láser y/o un interferómetro de luz blanca o un microscopio confocal de barrido láser en la pieza de muestra en la cámara de control 114, para determinar en tiempo real los cambios de rugosidad superficial. De esta manera, es posible evaluar de manera continua si la pieza o las piezas de AM se están alisando en la cámara de procesamiento 108 y garantizar que las piezas han sido procesadas con la rugosidad superficial correcta. Si no se ha conseguido la rugosidad superficial deseada, utilizando la retroalimentación de los datos de la célula de carga (o la medición directa sin contacto de la rugosidad superficial) en la cámara de control 114, los parámetros de procesamiento pueden ser ajustados en tiempo real, y la pieza o las piezas de AM en la cámara de procesamiento 108 se procesarán automáticamente de nuevo hasta que se consiga la rugosidad superficial deseada.

Abrir la válvula V3a (tal como se muestra en la figura 1e) al final del proceso permite que la cámara de control 114 quede expuesta al vacío en la cámara de procesamiento 108, evacuando por lo tanto de manera segura cualquier vapor de disolvente, y eliminando cualquier disolvente presente en la superficie de la muestra situada en la misma.

De este modo, la medición automática del aumento de peso de un cupón de prueba utilizando una célula de carga mientras la pieza de AM es posprocesada controla con precisión la cantidad (volumen y tiempo) de exposición al disolvente de la pieza de AM que se está procesando y, a su vez, el grado de alisado de la pieza necesario para conseguir el acabado superficial deseado. Además, la relación entre el aumento de peso en el cupón de prueba y el acabado superficial de la pieza de AM se creará como parte de los conjuntos de datos generados, y el controlador 118 está configurado para utilizar esta retroalimentación y obtener con el tiempo qué parámetros se requieren para obtener un acabado superficial deseado en respuesta al material de la pieza, la geometría, el área de la superficie y/o el tipo de disolvente. Esto también permite una verificación

en tiempo real de los resultados y el procesamiento en forma de un circuito de retroalimentación cerrado.

Para cada operación, el controlador 118 monitoriza y registra todas las variables operativas tal como se enumeran en las tablas de las figuras 4 a 6 y las carga en una base de datos de lectura/escritura almacenada en un servidor 120 basado en la web o similar.

A continuación se describirá otro ejemplo según ciertas realizaciones de la presente invención. Tal como se muestra en la figura 7, el aparato 400 para el posprocesamiento de una pieza de AM incluye un depósito 402 extraíble, un sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404, un sistema de distribución de disolvente 406, una cámara de procesamiento de piezas de AM 408, una bomba de vacío 410 y un sistema de recuperación de disolvente 412.

El sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 incluye una bomba peristáltica 405 y una válvula 407 para suministrar selectivamente una cantidad/dosis predeterminada de disolvente desde el depósito 402 a la cámara de procesamiento 408 a través del sistema de distribución de disolvente 406. El sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 incluye, además, un medidor de flujo de disolvente 409 y un elemento de calentamiento 411 en forma de placa o serpentín de calentamiento. Un termopar 413 está dispuesto en el elemento de calentamiento 411, para monitorizar su temperatura ST1.

El sistema de distribución de disolvente 406 garantiza que el vapor de disolvente se distribuya uniformemente a través de la cámara 408. Consiste como mínimo en un canal de distribución con una abertura situada, preferentemente en el centro, en el interior de la cámara de proceso 408. Convenientemente, está dispuesta una abertura por cada aproximadamente 30 litros de volumen efectivo de la cámara de proceso. Para una cámara de proceso que tiene un volumen superior a aproximadamente 30 litros, son deseables más aberturas, para garantizar que las condiciones del proceso para los componentes poliméricos situados en diferentes ubicaciones en el interior de la cámara sean las mismas. Por ejemplo, una cámara de proceso 408 que tenga un volumen efectivo de aproximadamente 90 litros requeriría como mínimo tres aberturas que distribuyan el vapor del disolvente a través de la cámara.

En el interior del sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404, entre la bomba peristáltica 405 y la válvula 407, puede estar dispuesta otra válvula 471 para extraer una muestra de disolvente líquido, de la máquina 400, con fines de prueba.

La cámara de procesamiento 408 incluye una tapa 415 extraíble y un sistema de soporte de piezas 417 para soportar una o varias piezas de AM a posprocesar, tales como un bastidor, ganchos, marco o similares. Las paredes interiores de la cámara de procesamiento 408 pueden ser calentadas adecuadamente mediante uno o varios elementos calefactores adecuados, y está dispuesto un termopar 451 para controlar la temperatura CT1 de la misma. La tapa 415 también puede ser calentada adecuadamente mediante uno o varios elementos de calentamiento adecuados, y está dispuesto un termopar 421 para controlar su temperatura. Un sensor de presión 423 está dispuesto para monitorizar la presión en el interior de la cámara de procesamiento 408 y un sensor de temperatura, por ejemplo, otro termopar 419, está dispuesto para monitorizar la temperatura en la misma. También está dispuesto un conmutador/sensor 425 para detectar un estado de la tapa con respecto a la cámara de procesamiento, es decir, abierta o cerrada. Están dispuestos otros termopares 453, 455, o similares, en el interior y en el exterior del aparato, para monitorizar la temperatura ambiente interna y externa, y un sensor de humedad 457 controla la humedad ambiental.

Un par de válvulas de control 427a, 427b están dispuestas entre la cámara de procesamiento 408 y una pila de filtros de carbono activado 416, para permitir que el aparato, especialmente la cámara de procesamiento 408, se ventile selectivamente a la atmósfera. Una de las válvulas es para permitir una entrada relativamente pequeña de ventilación a la atmósfera, mientras que la otra válvula es para permitir una ventilación relativamente grande, por ejemplo, completa, a la atmósfera.

Una segunda válvula 429 está situada entre la cámara de procesamiento 408 y la bomba de vacío 410, para recuperar selectivamente disolvente de la cámara de procesamiento 408. También están dispuestos termopares de bomba 459, 461, 463 para monitorizar la temperatura del cuerpo de la bomba y a la entrada y la salida de la misma. Una válvula de condensador 431 está dispuesta entre la bomba de vacío 410 y el sistema de recuperación de disolvente 412, para aislar la bomba de vacío con fines de mantenimiento. Termopares de condensador 465, 467 están dispuestos a la entrada y la salida del sistema de recuperación de disolvente 412, y en el interior del condensador, y también está dispuesto un sensor de presión 469 para controlar la presión en el interior del condensador.

Una segunda bomba peristáltica 433 está dispuesta entre el sistema de recuperación de disolvente 412 y el depósito de disolvente 402, para devolver el disolvente recuperado desde el sistema de recuperación de disolvente 412, al depósito 402. Una válvula de control adicional 435 está dispuesta entre la segunda bomba peristáltica 433 y el sistema de recuperación de disolvente 412, y está dispuesto un caudalímetro de disolvente usado 437 más abajo de la bomba 433. Otra válvula 473 está dispuesta entre el condensador 412

y el depósito 402, para extraer una muestra del disolvente recuperado, con fines de prueba.

Una válvula de aire del condensador 439 está dispuesta entre el sistema de recuperación de disolvente 412 y la pila de filtros 416. Además, una válvula de aire enfriado 441 está dispuesta entre el sistema de recuperación de disolvente 416 y la cámara de procesamiento 408.

Opcionalmente, otra válvula de control adicional (no mostrada) puede estar situada entre el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 y la cámara de procesamiento 408. En este caso, el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 actuaría como un recipiente de alta presión capaz de precalentar el disolvente en fase de líquido o vapor a una temperatura concreta antes de liberarlo en la cámara de procesamiento.

El aparato 400 incluye, además, un controlador 418 que tiene una interfaz de usuario, por ejemplo, una pantalla táctil, para permitir que un operador introduzca parámetros predeterminados asociados con la pieza de AM a posprocesar, tal como se describirá más adelante. Un operador puede interactuar con el controlador ya sea en el aparato o a distancia a través de una conexión por cable o inalámbrica mediante la utilización de una aplicación almacenada en un dispositivo informático 463, tal como una tableta o un teléfono móvil. El controlador 418 está conectado eléctricamente a los componentes controlables del aparato 400 a través de un sistema informático tal como Raspberry Pi™ o de otro sistema de código libre o no libre, a los sistemas y sensores del aparato 400, para permitir que el controlador controle automática y selectivamente el aparato mientras también recibe señales de retroalimentación durante una operación de posprocesamiento, tal como se describe más adelante. El controlador también está configurado para registrar las condiciones ambientales de funcionamiento del aparato, concretamente, la temperatura y humedad ambiente mientras el aparato está en uso. El controlador está convenientemente conectado a un conmutador/botón de parada de emergencia (señal EM1; véase la tabla de la figura 10) para detener inmediatamente la máquina en caso de necesidad. También puede estar presente un sensor (señal AP1) para detener el aparato 400 en caso de que se retire algún panel de acceso de mantenimiento durante el funcionamiento. El controlador 418 también puede estar en comunicación de lectura/escritura con un medio de almacenamiento de datos, tal como una base de datos basada en la nube, para permitir el acceso a, y/o almacenamiento de parámetros operativos, programas y datos.

Solo con fines ilustrativos, el flujo de disolvente en estado líquido durante la operación de posprocesamiento se muestra mediante una línea de puntos y trazos en la figura 7 y el flujo de disolvente (o aire) en estado de vapor se muestra mediante una línea continua relativamente gruesa en la figura 7.

La figura 8 muestra un diagrama de flujo que muestra las etapas de un procedimiento de posprocesamiento de una pieza de AM utilizando el aparato 400 tal como se muestra en la figura 7, según ciertas realizaciones de la presente invención.

Tal como se muestra en la etapa S402, se selecciona un depósito 402 "preenvasado" y sellado que contiene un disolvente adecuado y se acopla de manera extraíble al aparato 400 a través de una conexión adecuada tal como un mecanismo de liberación rápida o similar. Tal como se muestra en la figura 7, el depósito 402 de disolvente incluye dos compartimentos 420, 422; uno para disolvente virgen y otro para disolvente usado/recuperado. Un sensor de nivel 443 detecta el nivel de disolvente virgen en el compartimento de disolvente virgen y un sensor de nivel 445 detecta el nivel de disolvente usado en el compartimento de disolvente usado. El compartimento de disolvente virgen 420 tiene como mínimo una salida y el compartimento de disolvente usado tiene como mínimo una entrada para devolver el disolvente usado al cartucho, tal como se describe más adelante. El cartucho 402 incluye un chip electrónico de código no libre que se comunica con el controlador 418 para permitir que las señales del sensor se envíen operativamente al mismo. El cartucho 402 también puede incluir un mecanismo de empuñadura de acoplamiento de liberación rápida para manipular el cartucho cuando se conecta al aparato y se retira del mismo. El mecanismo de empuñadura puede ser acoplado al mecanismo de conexión de tal manera que el mecanismo de empuñadura acciona un mecanismo de acoplamiento de conexión/liberación rápida para acoplar/quitar rápida y fácilmente el cartucho al/del aparato. Un sensor puede estar dispuesto para confirmar al controlador 418 que el cartucho está correctamente situado y conectado al aparato.

Los disolventes adecuados incluyen disolventes polares protónicos y disolventes polares no protónicos, tales como, entre otros, 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-propanol (HFIP), dimetilformamida, ácido sulfúrico, m-cresol, ácido fórmico, ácido trifluoroacético y alcohol bencílico. Convenientemente, se puede utilizar un disolvente que presente fuertes propiedades de formación de enlaces de hidrógeno. Esta propiedad permitirá al disolvente procesar sustancias que sirven como aceptores de enlaces de hidrógeno, tales como Nylon™ (Poliamidas).

En la etapa S404, como mínimo una pieza de polímero de AM es colocada en la cámara de procesamiento 408 a través de la tapa 415 de acceso y sobre la estructura de enganche de piezas 417 situada en la cámara. La estructura de soporte 417 está configurada para garantizar que la pieza esté

expuesta completamente al disolvente introducido en la cámara. La tapa 415 de acceso está cerrada y la cámara 408 está sellada. Un sensor 425 de la puerta de la cámara de procesamiento indica que la tapa está cerrada y la cámara de procesamiento está sellada. El controlador 418 detecta una señal L1 correspondiente (véase la tabla de la figura 10) del sensor 425 de la tapa que indica que la tapa está cerrada.

Convenientemente, a través de la interfaz de usuario del controlador 418, o automáticamente en respuesta a que la cámara 408 esté sellada y/o a que una pieza esté situada en la misma, el controlador 418 ejecuta una comprobación de los sistemas para garantizar que el aparato 400 esté en un estado "neutro" y listo para posprocesar piezas de AM. La comprobación del estado neutro garantiza que todas las válvulas de control estén en las posiciones correctas, que el cartucho de disolvente contenga una cantidad suficiente de disolvente virgen y que se haya acoplado correctamente al aparato, y que la puerta/tapa de la cámara de proceso esté cerrada de manera segura.

En S406, un usuario introduce información relacionada con la pieza de AM a posprocesar en el controlador 418. La información incluye, pero no está limitada a, material, área de la superficie, volumen, geometría, complejidad y/u orientación/posición en el interior de la cámara de procesamiento. El material de la pieza puede ser seleccionado de una lista no exhaustiva de materiales que incluyen Nailon 12 (PA220 Duraform™ PA), Nailon 11 (Duraform™ EX Natural, Duraform™ EX Black), poliuretano termoplástico (TPU), materiales elastómeros TPE-210, acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), acrilato de acrilonitrilo estireno (ASA) o similares. Otros polímeros que pueden ser procesados utilizando un aparato y procedimiento según ciertas realizaciones de la presente invención incluyen poliamida 6, poliamida 11, poliamida 12, policarbonato (PC), polipropileno (PP), fluoruro de polivinilideno (PVDF), sulfuro de polifenileno (PPS), poliéter éter cetona (PEEK), caucho de etileno propileno (EDPM), caucho de nitrilo (NBR), elastómetros termoplásticos (TPE), ULTEM™ 9085, ULTEM™ 1010, o similares. La selección del material de la pieza de una lista de materiales previamente almacenada garantiza la repetibilidad y reproducibilidad del proceso.

En S408, a través de la interfaz de usuario del controlador 418, el usuario selecciona el acabado superficial deseado, por ejemplo, suavidad/rugosidad, que, junto con los parámetros de entrada de la etapa S406, determina el programa de procesamiento requerido que será seleccionado y ejecutado por el controlador (véase la tabla de la figura 11). La rugosidad superficial se puede seleccionar de un rango de aproximadamente 1,0^μm a la rugosidad superficial "tal como está impresa" (es decir, sin alisado). Alternativamente, se puede seleccionar un acabado superficial basándose en las descripciones del acabado, por ejemplo mate o brillante, y/o en ejemplos visuales mostrados en la pantalla de la interfaz de usuario o el dispositivo informático móvil.

En la etapa S410, el programa de procesamiento es seleccionado por el controlador 418 en respuesta al material de la pieza seleccionado y a la rugosidad superficial deseada y, a continuación, se ejecuta. Los programas de procesamiento se definen según los niveles requeridos de energía que se deben igualar para procesar materiales concretos (véase la tabla de la figura 11 y los diagramas de las figuras 13 y 14), tal como se describe más adelante. La energía a igualar depende del disolvente, del material, de la suavidad deseada y, a su vez, de las diferencias de temperatura requeridas entre el material y el disolvente. Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura, mayor será la energía a igualar. Por ejemplo, para poliamida 12 la cantidad mínima de energía a igualar debería ser: $E_q = k \times (T_H - T_M) / T_H = k \times (21 - 15) / 21 = 0,3k$, mientras que para poliuretano termoplástico (TPU) como mínimo: $E_q = k \times (T_H - T_M) / T_H = k \times [39 - (-20)] / 39 = 1,5k$, donde k es el coeficiente que representa la transferencia de calor de diferentes polímeros, T_H es la temperatura del vapor del HFIP y T_M es la temperatura del polímero a procesar. Los valores más altos darán como resultado un grado diferente de procesamiento de la superficie que, cuando se combina con el tiempo de procesamiento, puede producir diferentes niveles de acabado superficial (véase la figura 12. Los niveles de E_q se han descrito relativamente en la tabla de la figura 12 como "bajo" y "alto" para cada material, es decir, E_q que es "bajo" para TPU, sería "alto" para poliamida 12, mientras que E_q que es "bajo" para poliamida 12 no sería adecuado para procesar TPU). Los valores de T_M fueron obtenidos por el solicitante y se pueden ver en la figura 11. Los valores de T_H dependen de las condiciones del proceso obtenidas por el solicitante, tal como están tabuladas en la figura 11, y están obtenidas, en consecuencia, del diagrama de presión-temperatura del disolvente específico (por ejemplo, figura 15 para el disolvente HFIP).

En la etapa S412, la bomba de vacío 410 se utiliza para reducir la presión en el interior de la cámara de procesamiento 408, y los calentadores de la pared de la cámara 403 precalientan las paredes interiores de la cámara hasta una temperatura predefinida. La presión y la temperatura de la cámara de procesamiento 408 se basan en la pieza de polímero de AM que se va a procesar (véase la tabla de la figura 11). Las figuras 13 y 14 muestran las relaciones termodinámicas específicas del disolvente para poliamida 12 y poliuretano termoplástico, respectivamente.

En la etapa S414, el controlador 418 abre la válvula dosificadora de disolvente 407 del sistema de dosificación y calentamiento del disolvente 404 y se transfiere una cantidad/dosis predeterminada de disolvente (véase la tabla de la figura 11) desde el depósito 402 al elemento de calentamiento 411 en el interior del sistema de dosificación y calentamiento del disolvente 404 utilizando la bomba dosificadora de

disolvente 405 a una velocidad controlada de dosificación de la bomba de disolvente SDs (véase la tabla de la figura 10). La cantidad de disolvente se calcula en función del tipo de disolvente que se utiliza, del volumen de la cámara de procesamiento 108, del área de la superficie de la pieza o las piezas y del material de las piezas (véase la tabla de la figura 11). Por ejemplo, si la cámara de procesamiento 408 está llena con componentes de poliamida 12 con un área superficial total de 1000 cm^2 , entonces la cantidad de disolvente HFIP requerida será de $0,08 \text{ ml/cm}^2 \times 1000 \text{ cm}^2 = 80 \text{ ml}$ (se puede ver en la figura 11 el multiplicador de cantidad para el disolvente HFIP, que variará dependiendo del tipo de disolvente usado).

En la etapa 416, el disolvente en el interior del sistema de dosificación y calentamiento del disolvente 404 se calienta (se le proporciona energía) a una temperatura predeterminada St1 (véase la tabla de la figura 10). La cantidad de energía (calor) proporcionada al disolvente depende de las condiciones termodinámicas del proceso que, a su vez, viene dictada por el tipo de polímero a procesar (véanse las tablas de las figuras 10 y 11). Tal como se explica en las figuras 13, 14, 15 y 17, el disolvente tiene que seguir un trayecto termodinámico concreto y condensarse sobre el polímero en condiciones específicas para la superficie del polímero a procesar. La temperatura del disolvente St1 en el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 puede estar comprendida entre la temperatura ambiente y 100°C , dependiendo del tipo de disolvente que se utilizará para la pieza de AM que se está procesando (véase la figura 9 que muestra el diagrama termodinámico para el disolvente HFIP). Es posible que algunos disolventes no requieran calentamiento. Como resultado, el disolvente pasa al estado de vapor y es suministrado a la cámara de procesamiento 408 a través del sistema de distribución de disolvente 406.

El sistema de distribución de disolvente 406 incluye como mínimo un canal de distribución, que tiene como mínimo una abertura situada preferentemente en el centro de la cámara, para garantizar una uniforme y rápida introducción del vapor de disolvente en la misma. Tal como se describió anteriormente, el número de aberturas situadas a lo largo de la cámara depende del tamaño de la cámara, y requiriendo las cámaras más grandes más aberturas para garantizar que el vapor del disolvente cubre todas las piezas de polímero situadas en ellas, de manera uniforme. El solicitante determinó que una abertura situada centralmente es suficiente para distribuir uniformemente el vapor de disolvente a través de una cámara de procesamiento que tiene un volumen de aproximadamente 30 litros.

Alternativamente, el propio cartucho 402 puede ser calentado mediante un medio de calentamiento separado o integral, tal como un elemento de calentamiento eléctrico dispuesto en el cartucho, para elevar la temperatura del disolvente en el mismo hasta la temperatura St1 predeterminada. En dicha realización, es posible que no se requiera el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 y el disolvente puede ser introducido en la cámara de procesamiento 408 directamente desde el cartucho a través del sistema de distribución de disolvente 406.

Otra alternativa puede ser un tipo de dispositivo de expansión de presión, donde el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 está aislado mediante las válvulas tanto del depósito 402 como de la cámara de procesamiento 408. En este caso, el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 se convierte en un recipiente de alta presión, en el que el disolvente se calienta hasta que alcanza el estado de vapor; a continuación, el vapor se sobrecalienta y, además, se le proporciona energía que, a su vez, aumenta la presión en el interior del sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404. A continuación, una válvula que separa el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 y la cámara de procesamiento 408, se abre, y la diferencia de presión entre el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 con vapor sobrecalentado y la cámara de procesamiento 408 impulsa el vapor hacia la cámara de procesamiento 408.

Como resultado, el aparato permite lograr la combinación del vapor de disolvente precalentado y la presión más alta o más baja en la cámara de procesamiento 108. La temperatura del material polimérico de AM también puede ser controlada selectivamente mediante preenfriamiento, utilizando aire enfriado, o similar, suministrado a la cámara de procesamiento 408 desde, por ejemplo, el condensador / sistema de recuperación de disolvente 412 y a través de la válvula de control 441 situada entre ellos. Esto, a su vez, permite conseguir diversas diferencias de nivel de energía (es decir, gradientes de temperatura) entre el vapor de disolvente y la pieza de polímero de AM para diferentes piezas de polímero de AM, tal como se muestra en las figuras 16a y 16b. Estas figuras muestran el proceso para crear diversos niveles de suavidad de la superficie controlando la energía disponible para equilibrar E_q , cuando a) E_q se establece en un valor relativamente alto aumentando la temperatura del vapor de disolvente T_H y reduciendo la temperatura de la pieza de polímero de AM a procesar T_M ; y b) cuando E_q se establece en un valor relativamente bajo. En el caso de que E_q sea relativamente alto, se condensará más disolvente rápidamente en la superficie de la pieza, lo que dará como resultado una mayor disolución en la superficie del material y, por lo tanto, una superficie más lisa. En comparación, cuando E_q es relativamente bajo, se condensará menos disolvente en la superficie del material, lo que conducirá a una menor disolución y a una superficie menos lisa.

Después de que el vapor de disolvente es introducido en la cámara de procesamiento 408, la pieza o las piezas de AM situadas en ella están completamente rodeadas por vapor de disolvente. La cantidad de

dosificación está controlada por el sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 y se determina según los requisitos de procesamiento de la pieza de polímero de AM concreta y/o como la cantidad de disolvente necesaria para saturar completamente la fase de vapor. En el último caso, esto se rige por los equilibrios vapor-líquido (por ejemplo, véase la figura 15 para el diagrama vapor-líquido del HFIP) del disolvente específico en relación con la temperatura y la presión de las fases de vapor y líquido.

En la etapa 418, el disolvente comienza a condensarse en la pieza de polímero de AM situada en la cámara de procesamiento 408. La condensación se desencadena debido a las condiciones de presión y/o temperatura y la sobresaturación de vapor resultante gobernada por la línea de equilibrio vapor-líquido para el disolvente concreto (véase la figura 15). Esto se manipula mediante diversos procedimientos: reducir la temperatura en el interior de la cámara de procesamiento 408 utilizando el calentador de la cámara 403; aumentar la presión introduciendo más vapor de disolvente en la cámara de procesamiento 408 a través del sistema de dosificación y calentamiento de disolvente 404 o abrir las válvulas de ventilación al aire 427a,b (véanse las figuras 13, 14 y 17). La figura 17 muestra los efectos del procesamiento de controlar la presión y la temperatura del disolvente en la cámara de procesamiento 408 y en la pieza o las piezas de AM.

Por ejemplo, el disolvente HFIP en estado de vapor se condensa en la pieza de polímero lo suficientemente rápido como para formar una capa límite sobre la superficie. La figura 18a muestra la absorción de las gotitas de disolvente condensadas en la matriz polimérica porosa causada por las presiones capilares de los poros, lo que ocurre de manera no deseable en condiciones estándar mediante procedimientos convencionales; y la figura 18b muestra gotitas de disolvente condensadas que se acumulan rápidamente en la superficie del polímero poroso más rápidamente de lo que puede tener lugar la absorción, lo cual se consigue deseablemente según ciertas realizaciones de la presente invención.

En esta etapa, los granos de la capa superior de la pieza de polímero se disuelven y se redistribuyen para formar una superficie lisa (véanse las figuras 16a y 16b). La cantidad de disolvente condensado por unidad de tiempo depende del nivel de energía E_q que debe equilibrarse entre el polímero y el vapor del disolvente. Una mayor cantidad de disolvente condensado por unidad de tiempo dará como resultado una mayor disolución de la capa exterior de la pieza de polímero y, por lo tanto, una superficie más lisa; y, por el contrario, una menor cantidad de condensación de disolvente en la superficie disolverá menos superficie, lo que, a su vez, significa un acabado superficial menos liso. El solicitante obtuvo las condiciones termodinámicas en la cámara de procesamiento 408 para que se equilibre la energía óptima E_q y varían para diferentes polímeros (véanse las tablas de las figuras 11 y 12 y los diagramas de las figuras 13 y 14).

La condensación también puede ser desencadenada mediante la adición de gases inertes utilizando cámaras de almacenamiento adicionales para esos gases, con el fin de aumentar la presión o la adición de aire enfriado para reducir la temperatura. Para evitar la condensación en las paredes interiores de la cámara de procesamiento 408, la temperatura de estas paredes se controla para que esté justo por encima de la línea de condensación del disolvente (véanse las figuras 15 y 17). Como resultado, la condensación del vapor de disolvente ocurre deseablemente solo en la pieza o las piezas de polímero de AM.

La película de disolvente líquido condensado se mantiene sobre la pieza o las piezas de AM durante un tiempo de exposición de piezas PET_1 predeterminado, que puede variar desde aproximadamente 5 segundos para piezas de Nailon12 hasta aproximadamente 10 minutos para piezas de tipo TPU (véase la tabla de la figura 12). El tiempo de exposición PET_1 predeterminado de la pieza y el nivel de energía a equilibrar E_q determinan la rugosidad superficial final de la pieza o las piezas y se puede controlar a aproximadamente $1,0^{\circ}\text{m}$ (véase la tabla de la figura 12 y la figura 16a,b).

El resto de la cámara de procesamiento 408 se mantiene por encima del punto de condensación del disolvente, para garantizar que el disolvente se condense solo sobre la pieza. Por ejemplo, las figuras 13 y 14 representan el proceso para materiales de Poliamida 12 (Nailon 12) y TPU, respectivamente, en términos de condiciones de presión y temperatura en el interior de la cámara de procesamiento.

En la etapa 420, una vez que se ha alcanzado el tiempo de exposición de la pieza PET_1 predeterminado para la pieza o las piezas que se están procesando, se completa el proceso de alisado de las piezas. El tiempo necesario para conseguir diversos niveles de acabado superficial según ciertas realizaciones de la presente invención se puede ver en la tabla de la figura 12. La figura 3 muestra la relación entre la rugosidad superficial y el tiempo de exposición, según ciertas realizaciones de la presente invención.

A continuación, la bomba de vacío 410 aplica una presión negativa VP_1 comprendida entre aproximadamente 10 y 200 mbar a la cámara de procesamiento 408 durante un tiempo VT_1 predeterminado. La nueva aplicación de una presión negativa a la cámara de procesamiento 108 aumenta la presión de vapor para devolver el disolvente condensado de un estado líquido a un estado de vapor. Esto se hace para secar la pieza procesada y recuperar cualquier exceso de disolvente (véase la figura 19a,b).

En la etapa S422, la válvula 429 entre la bomba de vacío 410 y el sistema de recuperación de disolvente 412

se abre y el vapor de disolvente se elimina completamente de la cámara de procesamiento 408 a través del sistema de recuperación de disolvente 412, donde el disolvente se recoge en forma líquida y se transfiere al compartimento de disolvente recuperado 422 del depósito 402 mediante la bomba peristáltica 433. El sistema de recuperación de disolvente 412 puede comprender un condensador como mínimo con una columna, o similar.

Por lo tanto, el aparato 400 forma un bucle cerrado. El disolvente es usado hasta alcanzar un área superficial máxima procesada, antes de ser recuperado y enviado al compartimento de disolvente usado/recuperado 422 del depósito 402 para su eliminación segura. Antes de que el depósito 402 llegue al final de su vida útil y necesite ser reemplazado, un chip electrónico, que está configurado para monitorizar la frecuencia con la que se recicla el disolvente a través del depósito, se comunicará automáticamente con el controlador 418, de tal manera que se solicite automática o manualmente el suministro de un nuevo depósito. El depósito usado es retirado, y se introduce un depósito nuevo que contiene disolvente "nuevo" para la siguiente operación.

El filtro o los filtros de carbono 416 están presentes en el colector de atmósfera externo para garantizar que no se libere vapor de disolvente a la atmósfera. No queda ningún vapor residual en la superficie de la pieza o las piezas, no queda ningún rastro residual y, a su vez, se detiene inmediatamente el posprocesamiento de la pieza o las piezas. Esto no solo garantiza que el proceso esté completamente controlado, sino que también algunas aplicaciones, como para dispositivos médicos o dentales, requieren que las piezas estén completamente limpias y sean seguras de utilizar, y también que posean una rugosidad superficial especialmente precisa que no sería posible conseguir si se produjese otro procesamiento de la pieza como resultado de cualquier residuo de disolvente restante en las superficies de la pieza.

Un sensor de disolvente (no mostrado) puede estar situado en la cámara de procesamiento 408, para detectar la presencia de vapor de disolvente en la misma y enviar una señal al controlador 418, indicando si existe o no disolvente en la cámara 408. En la etapa S424, la etapa de extracción/secado se repite hasta que no se detecta ningún disolvente (Compuestos Orgánicos Volátiles - VOC) en el interior de la cámara de procesamiento 408 mediante el sensor de disolvente SS₁ situado en la misma.

En la etapa S426, en respuesta a la señal SS₁ que indica que no queda vapor de disolvente en la cámara de procesamiento 408, el controlador 418 detiene la bomba de vacío 410 y cierra la válvula 429 entre la cámara de procesamiento 408 y la bomba de vacío 410. El programa de procesamiento finaliza y se le notifica al operador mediante una indicación audible y/o visual.

En la etapa S428, la puerta/tapa de acceso 415 del aparato 400 puede ser abierta para recuperar la pieza o las piezas de polímero de AM posprocesadas, de la cámara de procesamiento 408. El proceso se repite según se desee.

Para cada operación, el controlador 418 monitoriza y registra todas las variables operativas tal como se indica en las tablas de las figuras 9 y 10 y las carga en una base de datos de lectura/escritura almacenada en un servidor basado en web o similar.

En uso, se seleccionan y utilizan un conjunto de algoritmos predeterminados que definen las diversas relaciones entre los parámetros operativos para controlar el posprocesamiento de una pieza de AM basándose en su material, volumen, área de la superficie, geometría y acabado deseado, tal como se describió anteriormente.

A continuación se describe un ejemplo según determinadas realizaciones de la presente invención. La información sobre la pieza o las piezas de AM que se van a posprocesar es cargada en el controlador 118, 418 donde se obtienen los siguientes parámetros:

Volumen de cada pieza – V_p

Área de la superficie de cada pieza – A_p

Altura, anchura y longitud máximas de cada pieza - para calcular el volumen de la "caja delimitadora" - V - L, W, H

A partir de estos parámetros se calculan los siguientes valores:

$$\text{Relación de volumen de la pieza (C}_{PR}) = 1 - \frac{V_p}{V_b}$$

$$\text{Volumen de la pieza} = V_p$$

$$\text{Volumen de la caja delimitadora} = V_b$$

$$\text{Relación de área (C}_{AR}) = 1 - \frac{A_s}{A_p}$$

$$\text{Superficie de la esfera imaginaria} = As = (4\pi)^{\frac{1}{3}} (3Vp)^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{Relación de grosor (C}_{TR}) = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

- 5 T_{min} - Grosor mínimo de la pieza
 T_{max} - Grosor máximo de la pieza

El factor de complejidad C_F se calcula, por lo tanto, de la siguiente manera:

$$C_F = C_{TR} + C_{AR} + 0,1C_{PR}$$

10

La rugosidad superficial requerida es introducida en el controlador junto con el tipo de material de la pieza. El controlador calcula el tiempo de exposición de la pieza PET₁ requerido según la relación entre la rugosidad superficial y el tiempo mostrado en la figura 3.

15

Por ejemplo, para Nailon 12 esta relación cumple la relación $T = e^{\left(\frac{SR-0,4371}{-1,965}\right)} = .$

Por lo tanto, para conseguir una rugosidad superficial específica de 5 micras, el PET₁ del proceso se calcula como sigue:

$$T = e^{\left(\frac{5-0,4371}{-1,965}\right)} = 3,7 \text{ segundos.}$$

20

A continuación, esto se multiplica por el factor de complejidad X_Y para dar el PET₁. Para el procesamiento de piezas moderadamente complejas, esto generaría un X_Y de aproximadamente 2,1, lo que daría un tiempo total de procesamiento de 7,8 segundos.

25

En general, el proceso se puede describir mediante el nivel de energía E_q correspondiente, cuyos valores fueron obtenidos por el solicitante y dados a conocer en la figura 12.

30

Dependiendo del tipo de material polimérico de AM, la energía máxima E_q a equilibrar entre el T_H del HFIP y el material polimérico T_M se puede obtener de la ecuación $E_q = k \times (T_H - T_M) / T_H$, donde k es el coeficiente que representa la transferencia de calor de diferentes polímeros, T_H es la temperatura del vapor del HFIP y T_M es la temperatura del polímero que se va a procesar. Una E_q relativamente alta da como resultado una rápida condensación del vapor de disolvente en la pieza de polímero de AM y un acabado superficial brillante, mientras que una E_q relativamente baja da como resultado una velocidad de condensación más lenta y un acabado superficial mate (véase la figura 16a, b). El controlador utiliza los algoritmos predeterminados para controlar automáticamente las variables clave del proceso automatizado para conseguir el acabado superficial deseado por el usuario.

35

45

Se ha mostrado que el aparato según ciertas realizaciones de la presente invención que tiene una cámara de procesamiento 408 de aproximadamente 400 mm de altura, aproximadamente 400 mm de profundidad y aproximadamente 600 mm de anchura puede permitir el procesamiento por lotes de una pieza de polímero de AM que tiene dimensiones de aproximadamente 31 x 31 x 53 mm en aproximadamente 20 segundos y, por lo tanto, procesa aproximadamente 50 piezas en aproximadamente 12 minutos, lo que es más de 100 veces más rápido que los procedimientos manuales tradicionales para el posprocesamiento de una pieza de polímero de AM.

40

50

Como ejemplo adicional, el procedimiento de posprocesamiento según ciertas realizaciones de la presente invención comprende liberar selectivamente una cantidad predeterminada de disolvente 1,1,1,3,3,3-Hexafluoro-2-propanol (HFIP) en la cámara de procesamiento utilizando presión positiva o presión negativa. La cantidad de disolvente HFIP requerida depende del tipo y número de piezas de polímero de AM a procesar. El procedimiento comprende proporcionar al disolvente una cantidad predeterminada de energía y calentarlo hasta una temperatura específica, lo que hace que el disolvente se vaporice antes de entrar en la cámara de procesamiento. El aparato y el procedimiento según ciertas realizaciones de la presente invención están configurados para crear un potencial energético (calor) entre la pieza de polímero de AM y el disolvente HFIP: el disolvente recibe una cantidad concreta de energía y se vaporiza, mientras que la pieza de polímero de AM puede ser preenfriada hasta una temperatura concreta para que haya una diferencia de energía (entropía) entre el vapor de disolvente y la pieza de polímero de AM. El HFIP líquido es convertido en vapor y, a continuación, se condensa rápidamente sobre la superficie del material polimérico. Debido a la diferencia de energía entre el vapor de disolvente y la pieza de polímero de AM, el material polimérico no es lo suficientemente rápido para absorber las gotas de condensado del disolvente en el interior de su matriz, sino que las gotas de condensado del disolvente se acumulan en la capa superior del polímero. En esta etapa, los granos de polímero de la capa superior se disuelven y se redistribuyen para formar una capa límite lisa. Como resultado, las partículas del material se fusionan y la capa superior queda sellada, evitando la

60

entrada/absorción más profunda del disolvente en la matriz polimérica. Las condiciones de energía termodinámica para que se cree suficiente condensado en la superficie de la pieza varían para los diferentes polímeros de AM. Este efecto de sellado de la superficie de las partículas puede, a su vez, tener otras aplicaciones en aplicaciones de sellado frente al agua. La velocidad de condensación aumenta
 5 adecuadamente en relación con la condensación en condiciones estándar, para garantizar que la superficie del polímero sea procesada. El motivo de esto es la estructura porosa de la superficie del polímero, que resulta en la absorción gradual de las gotas de condensado, es decir, en un comportamiento de absorción de agua como una esponja. Este es especialmente el caso de elastómeros tales como el poliuretano termoplástico (TPU). Debido a este fenómeno de adsorción, en lugar de acumularse sobre la superficie del
 10 polímero, el disolvente normalmente se absorbería en el interior de la matriz polimérica. No obstante, al aumentar la velocidad de condensación, el polímero poroso no es capaz de absorber las gotas de condensación lo suficientemente rápido, como resultado, las gotas de condensación se acumulan en la superficie del polímero en lugar de ser absorbidas, lo que a su vez disuelve y alisa la superficie de la pieza de polímero de AM. En el sistema cerrado (cámara de procesamiento) se debe aumentar la disponibilidad de
 15 energía para equilibrar durante el proceso, es decir, reducir la entropía del sistema. Esto a su vez aumenta la velocidad de condensación. La energía máxima E_q a equilibrar entre la T_H del HFIP y la T_M del material polimérico se puede obtener a partir de la ecuación $E_q = k \times (T_H - T_M) / T_H$, donde k es el coeficiente que representa la transferencia de calor de diferentes polímeros, T_H es la temperatura de vapor del HFIP y T_M es la temperatura del polímero a procesar. Para conseguir el nivel de energía de equilibrio requerido en el
 20 sistema, la temperatura del HFIP es aumentada utilizando un sistema de calentamiento incorporado, mientras que los materiales poliméricos se pueden enfriar utilizando un sistema de congelación rápida incorporado o externo. La presión en el interior de la cámara también se manipula para ayudar a conseguir la diferencia requerida en la energía a equilibrar. Existe un nivel umbral para el equilibrio energético de los diferentes polímeros a procesar. Por ejemplo, para la Poliamida 12 la cantidad mínima de energía a igualar debe ser como mínimo: $E_q = k \times (T_H - T_M) / T_H = k \times [(-1) \times 21] / 21 = 0,2k$, mientras que para el poliuretano
 25 termoplástico, como mínimo: $E_q = k \times (T_H - T_M) / T_H = k \times [39 - (-20)] / 139 = 1,5k$. Los valores de T_M fueron obtenidos por el solicitante y se dan a conocer en la figura 11. Los valores de T_H dependen de las condiciones del proceso obtenidas por el solicitante tal como se tabulan en la figura 11 y se obtienen, en consecuencia, del diagrama de presión-temperatura del disolvente específico (por ejemplo, figura 15 para el disolvente HFIP). Las paredes de la cámara de procesamiento se mantienen adecuadamente por encima de las condiciones de condensación del HFIP para garantizar que la condensación se produzca preferentemente en las piezas de polímero en lugar de en la propia cámara. Una vez finalizado el procesamiento, el HFIP se vuelve a convertir en fase de vapor para ser eliminado del polímero. Se aplica un vacío para ayudar a eliminar el disolvente residual del polímero procesado. La cantidad de HFIP que entra en la matriz del material
 30 polimérico se minimiza mediante un rápido proceso de condensación. Como resultado, los granos de polímero en la superficie superior se fusionan y actúan como una capa límite de sellado. Durante la última etapa del procesamiento, se enciende la ventilación y se ajustan la temperatura y la presión de la cámara para garantizar que se recupere cualquier disolvente residual en el interior de la matriz polimérica (véase las figuras 22 y 23). La figura 22 muestra los resultados termogravimétricos del material polimérico procesado, indicando la presencia de HFIP residual y la temperatura a la que se puede recuperar. La figura 23 muestra una cromatografía que muestra la eficiencia de recuperación del HFIP del polímero procesado. La línea
 35 continua gris representa la cantidad de HFIP sobrante en el polímero procesado que no ha sido sometido al procedimiento de eliminación de disolvente, mientras que la línea continua negra indica la cantidad de HFIP sobrante en la muestra de polímero procesado que ha sido sometida al procedimiento de eliminación de disolvente. La línea discontinua negra está dispuesta como referencia, y muestra la cantidad de HFIP sobrante en una muestra de polímero no procesada. Esto garantiza que no haya un aumento de peso no deseado ni productos químicos residuales en la pieza de polímero de AM. Se llevaron a cabo análisis termogravimétricos y experimentos cromatográficos para encontrar la combinación más eficaz de parámetros de temperatura y vacío de la cámara de procesamiento que recupera el disolvente residual (véase la tabla de la
 40 figura 24).

Por lo tanto, se da a conocer la utilización de condensado de 1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-propanol (HFIP) para procesar la superficie de polímeros fabricados aditivamente (AM) mediante la manipulación del sistema termodinámico y los niveles de energía del HFIP y del polímero. El aparato según ciertas realizaciones de la
 55 presente invención está configurado para manipular el sistema termodinámico y crear condiciones energéticas favorables para los polímeros de AM a alisar. El aparato y el procedimiento de procesamiento están configurados para tratar la superficie de varias piezas de polímero fabricadas mediante procedimientos de fabricación aditiva (por ejemplo, impresión 3D). La superficie de los polímeros tratados se vuelve más lisa en comparación con las superficies no tratadas y, en concreto, el nivel de lisura puede ser controlado con un
 60 conjunto de parámetros predefinidos tal como se describe en el presente documento. El condensado de HFIP trata la superficie del material polimérico en un proceso rápido que se consigue maximizando la energía a equilibrar (entropía) entre el HFIP y el polímero, es decir, calentando el HFIP mientras se enfría el material polimérico. Según ciertas realizaciones de la presente invención, se da a conocer una nueva utilización del HFIP, tratando la superficie de los polímeros, especialmente TPU, mediante condensación de HFIP en el
 65 polímero mediante el control de la energía de equilibrio disponible entre el HFIP y el material polimérico.

El aparato según ciertas realizaciones de la presente invención está configurado para procesar cualquier pieza de polímero fabricada a partir de un proceso de impresión 3D/fabricación aditiva. Por ejemplo, el aparato es capaz de procesar piezas creadas a partir de múltiples grupos de polímeros, tales como Nailon 12 (PA220 Duraform™ PA), Nailon 11 (Duraform™ EX Natural, Duraform™EX Black), poliuretano termoplástico (TPU) y materiales de elastómero TPE-210, o similares. Además, el aparato es capaz de procesar otros materiales poliméricos tales como el ABS. Una pieza de AM fabricada mediante modelado por depósito fundido (FDM), sinterización por láser (LS, Laser Sintering) y sinterización de alta velocidad (HSS, High Speed Sintering) y fusión por múltiples chorros se puede terminar utilizando el aparato y el procedimiento según determinadas realizaciones de la presente invención.

El procedimiento de procesamiento según la presente invención puede, deseablemente, sellar la superficie de materiales porosos, tales como TPU y Poliamida 12, lo que podría ser ventajoso cuando la pieza de AM se va a utilizar en aplicaciones de sellado frente al agua o donde la estanqueidad frente al agua del material es especialmente importante (véanse las figuras 20a y 20b). Este efecto de sellado de la superficie de las partículas puede, a su vez, tener otras aplicaciones en aplicaciones de sellado frente al agua. El procedimiento de procesamiento según la presente invención también puede mejorar deseablemente la resistencia a la tracción de la pieza o las piezas de polímero de AM.

El control de la etapa de secado del procedimiento de procesamiento según ciertas realizaciones de la presente invención evita deseablemente el procesamiento continuo de una pieza de AM que, de otro modo, ocurriría debido a la presencia de disolvente no evaporado en la superficie de la pieza.

La utilización de depósitos/cartuchos de disolvente preenvasados e intercambiables elimina la necesidad de manipular disolventes en una vitrina de extracción de gases, por ejemplo. Un sistema de circuito cerrado tal como el descrito anteriormente permite la recuperación de los disolventes usado para minimizar el consumo total de disolvente del cartucho, reduciendo de este modo los costes operativos y el impacto medioambiental en términos de creación y eliminación de disolventes, etc.

Si bien el aparato y el procedimiento según ciertas realizaciones de la presente invención se han descrito en el presente documento con referencia a una cámara de procesamiento "estática", la invención podría ser implementada como parte de un sistema "dinámico", similar a un transportador, que desplaza piezas de AM a través de un dispositivo de impresión 3D y un sistema automatizado de inspección/monitorización.

Las aplicaciones para el aparato y procedimiento según ciertas realizaciones de la presente invención son de amplio alcance y pueden ser adecuadas para procesar cualquier pieza de AM que requiera un acabado deseado con fines estéticos y/o funcionales, tal como calzado, componentes de interior/embellecedores de automóviles, y dispositivos dentales/médicos o similares.

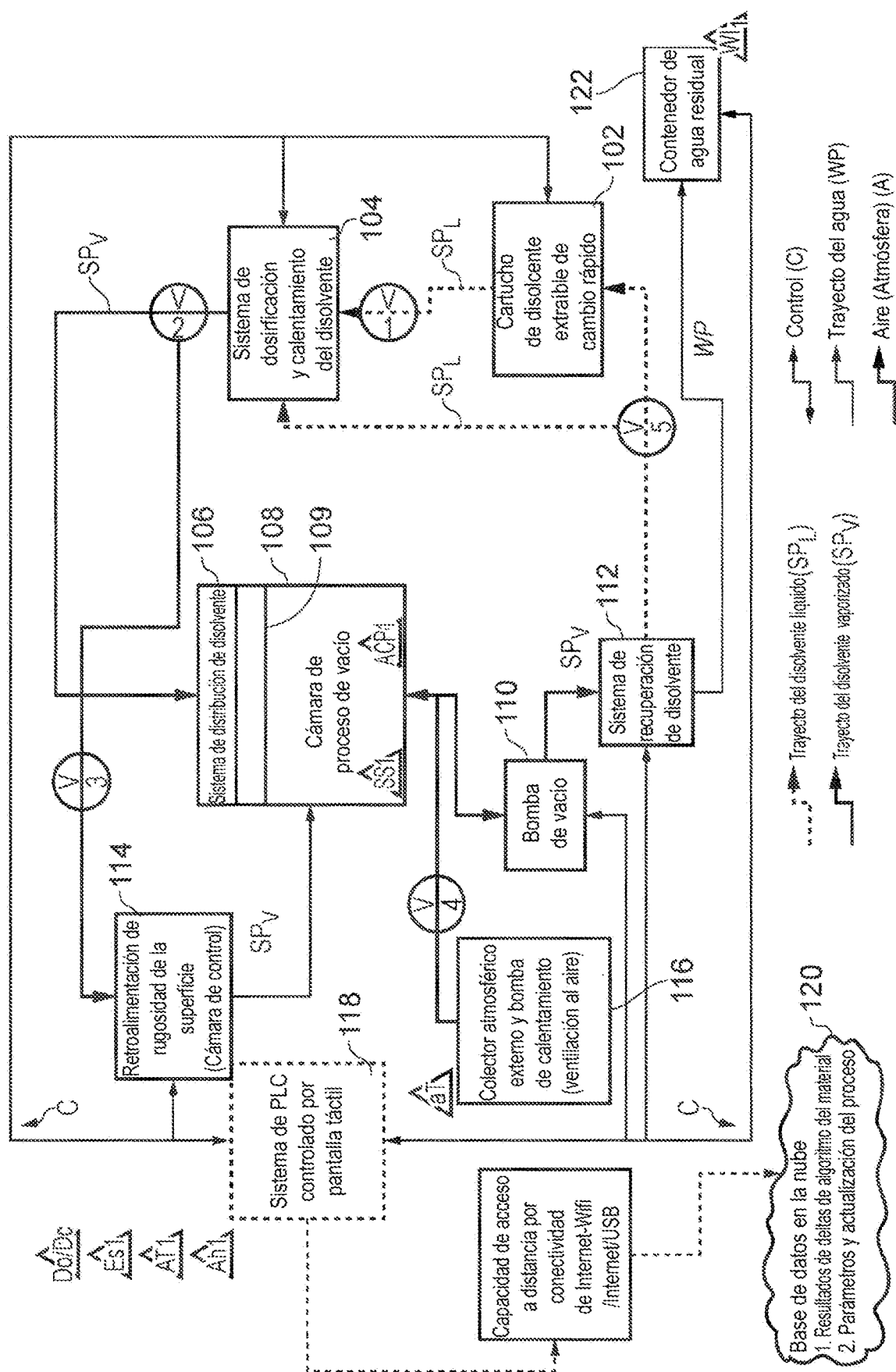
REIVINDICACIONES

1. Aparato (100) para el posprocesamiento de una pieza de polímero fabricada aditivamente, que comprende:

- 5 un depósito (102), para contener un disolvente líquido;
una cámara de procesamiento (108), en comunicación fluida controlable con el depósito (102); y
un controlador (118), configurado para el posprocesamiento de manera controlable de una pieza de polímero
fabricada de manera aditiva situada en la cámara de procesamiento (108), mediante el disolvente que
10 responde, como mínimo, a un parámetro asociado con la pieza, y **caracterizado por que** el aparato
comprende, además, un sistema de suministro de disolvente (104) situado más arriba de la cámara de
procesamiento (108) y controlable operativamente por el controlador (118) para recibir selectivamente
disolvente del depósito (102) e introducir una cantidad predeterminada de disolvente en la cámara de
procesamiento (108),
un elemento de calentamiento (104c), configurado para calentar de manera controlable la cantidad
15 predeterminada de disolvente hasta una temperatura de disolvente predeterminada para hacer que el
disolvente se vaporice antes de entrar en la cámara de procesamiento (108), y
una bomba de vacío (110) controlable operativamente por el controlador (118) y configurada para aplicar una
presión negativa al interior de la cámara de procesamiento (108).
- 20 2. Aparato, según la reivindicación 1, en el que el controlador (118) está configurado para accionar
selectivamente la bomba de vacío (110) durante un tiempo predeterminado para aplicar una presión negativa
en la cámara de procesamiento (108).
- 25 3. Aparato, según la reivindicación 1 o 2, que comprende, además, una válvula de suministro de
disolvente (V2), controlable operativamente por el controlador (118) para permitir que una cantidad
predeterminada de disolvente sea aspirada selectivamente hacia la cámara de procesamiento (108),
mediante la presión negativa aplicada en ella.
- 30 4. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, un
calentador (403), para el calentamiento controlado del interior de la cámara de procesamiento (108) hasta
una temperatura predeterminada de la cámara y, opcionalmente, en el que el calentador (403) comprende un
elemento de calentamiento, configurado para calentar de manera controlable como mínimo la superficie
interior de la cámara de procesamiento (108).
- 35 5. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, un refrigerador
para el enfriamiento controlado de una pieza fabricada de manera aditiva situada en la cámara de
procesamiento (108).
- 40 6. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador (118) está
configurado para accionar selectivamente la bomba de vacío (110) durante un tiempo predeterminado
adicional para volver a aplicar una presión negativa en la cámara de procesamiento (108) después de que
haya transcurrido un tiempo de procesamiento predeterminado.
- 45 7. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la bomba de vacío (110) está
configurada, además, para ventilar selectivamente la cámara de procesamiento (108) a la atmósfera cuando
se ha vuelto a aplicar la presión negativa para extraer el vapor de disolvente de la cámara de
procesamiento (108) y de la pieza situada en la misma y, opcionalmente, en el que el aparato comprende,
además, un sistema de recuperación de disolvente (112), para recuperar el disolvente usado de la cámara de
procesamiento (108).
- 50 8. Procedimiento de posprocesamiento de una pieza de polímero fabricada de manera aditiva, que
comprende:
situar una pieza de polímero fabricada de manera aditiva en una cámara de procesamiento (108);
55 calentar una cantidad predeterminada de disolvente hasta una temperatura de disolvente predeterminada
para provocar que el disolvente se vaporice antes de entrar en la cámara de procesamiento (108);
aplicar una presión negativa al interior de la cámara de procesamiento (108) durante un tiempo
predeterminado;
suministrar selectivamente la cantidad predeterminada de disolvente a la cámara de procesamiento (108);
60 en respuesta, como mínimo, a un parámetro asociado con la pieza, posprocesar de manera controlable la
pieza mediante el disolvente introducido de manera controlable en la cámara de procesamiento (108).
9. Procedimiento, según la reivindicación 8, que comprende, además, utilizar la presión negativa para
suministrar selectivamente la cantidad predeterminada de disolvente a la cámara de procesamiento (108).
- 65 10. Procedimiento, según la reivindicación 8 o la reivindicación 9, que comprende, además, calentar

selectivamente el interior de la cámara de procesamiento (108) hasta una temperatura predeterminada de la cámara y, opcionalmente, en el que el procedimiento comprende calentar como mínimo la superficie interior de la cámara de procesamiento (108).

- 5 11. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 8, 9 o 10, que comprende, además, crear un potencial energético entre una pieza fabricada de manera aditiva situada en la cámara de procesamiento (108) y el disolvente.
- 10 12. Procedimiento, según la reivindicación 11, que comprende, además, enfriar selectivamente una pieza fabricada de manera aditiva situada en la cámara de procesamiento (108) para crear el potencial energético y hacer que el vapor de disolvente se condense en la pieza fabricada de manera aditiva.
- 15 13. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, que comprende, además, volver a aplicar una presión negativa en la cámara de procesamiento (108) durante un tiempo predeterminado después de que haya transcurrido un tiempo de procesamiento predeterminado.
- 20 14. Procedimiento, según la reivindicación 13, que comprende, además, ventilar selectivamente la cámara de procesamiento (108) a la atmósfera cuando se ha vuelto a aplicar la presión negativa para extraer el vapor de disolvente de la cámara de procesamiento (108) y de la pieza situada en la misma y, opcionalmente, en el que el procedimiento comprende, además, recuperar disolvente usado de la cámara de procesamiento (108).
- 25 15. Programa informático que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas en el controlador del aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, hacen que dicho aparato ejecute el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14.



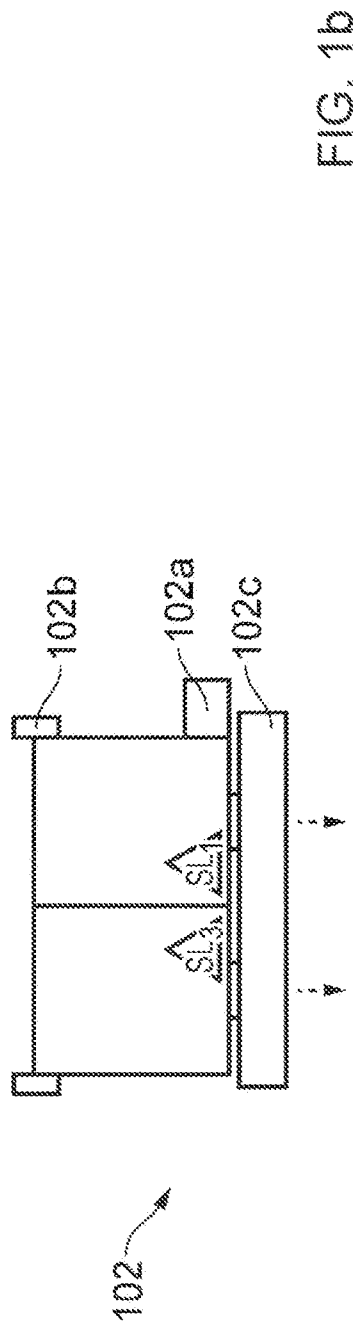


FIG. 1b

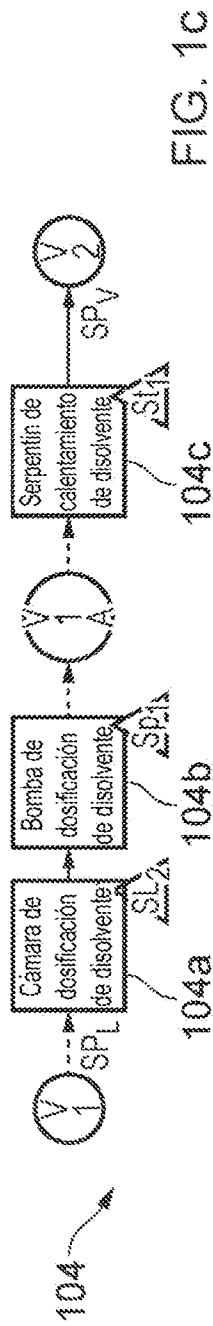


FIG. 1c

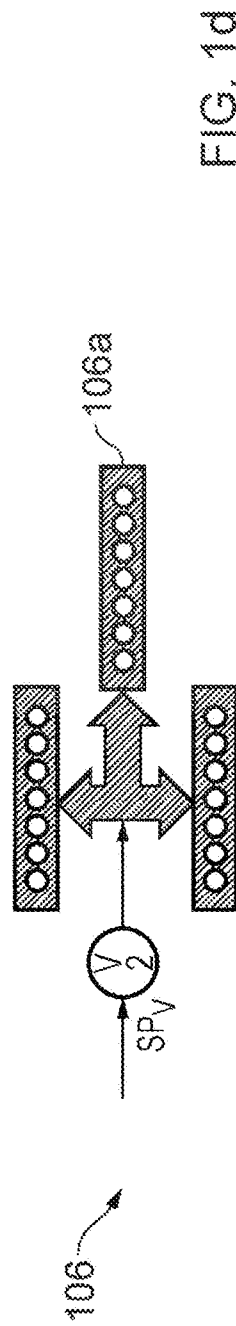


FIG. 1d

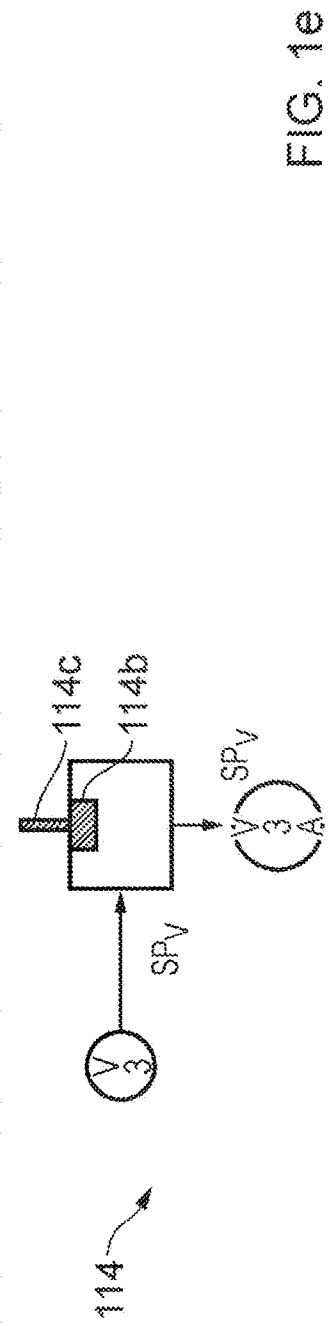


FIG. 1e

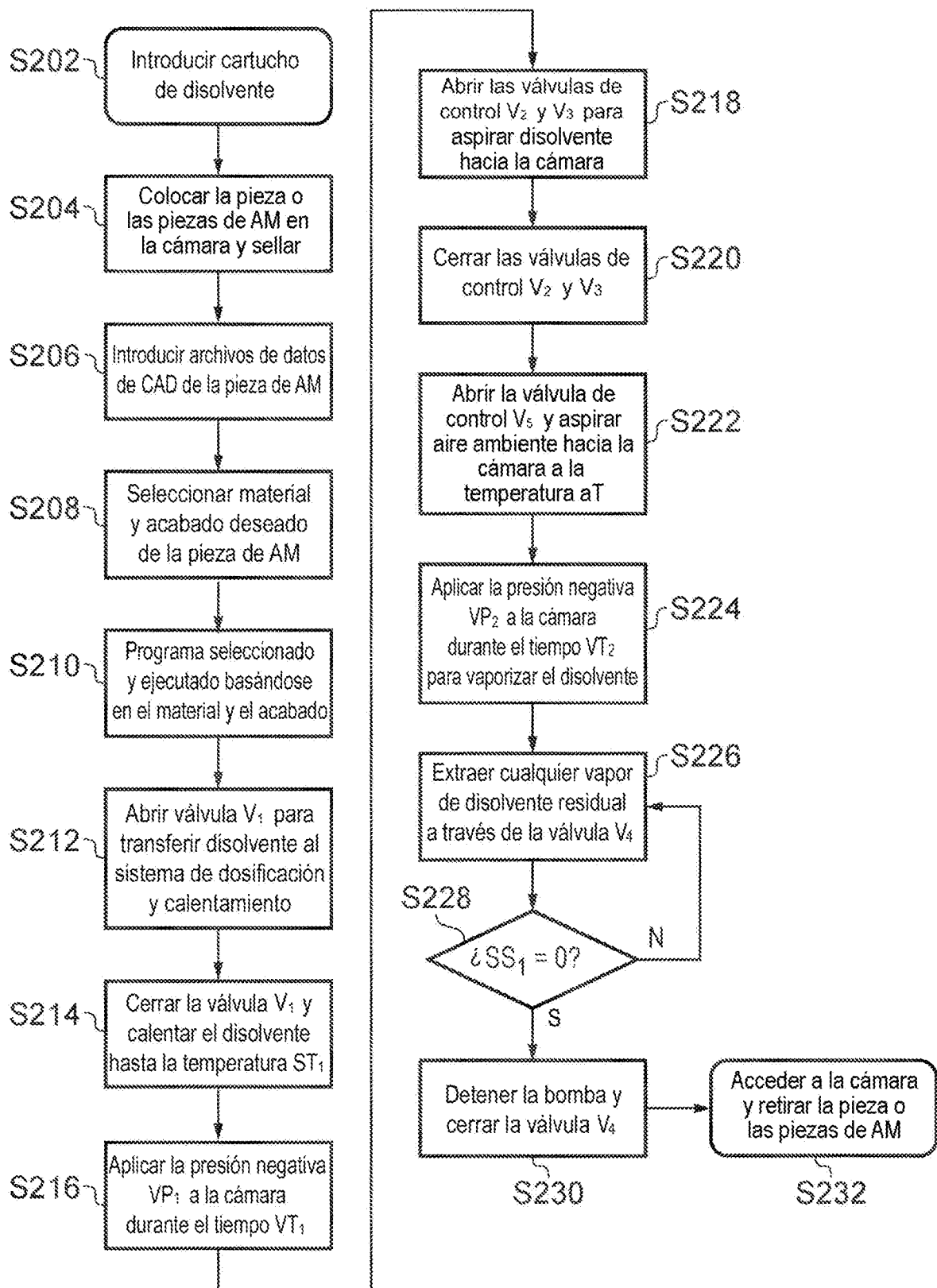


FIG. 2

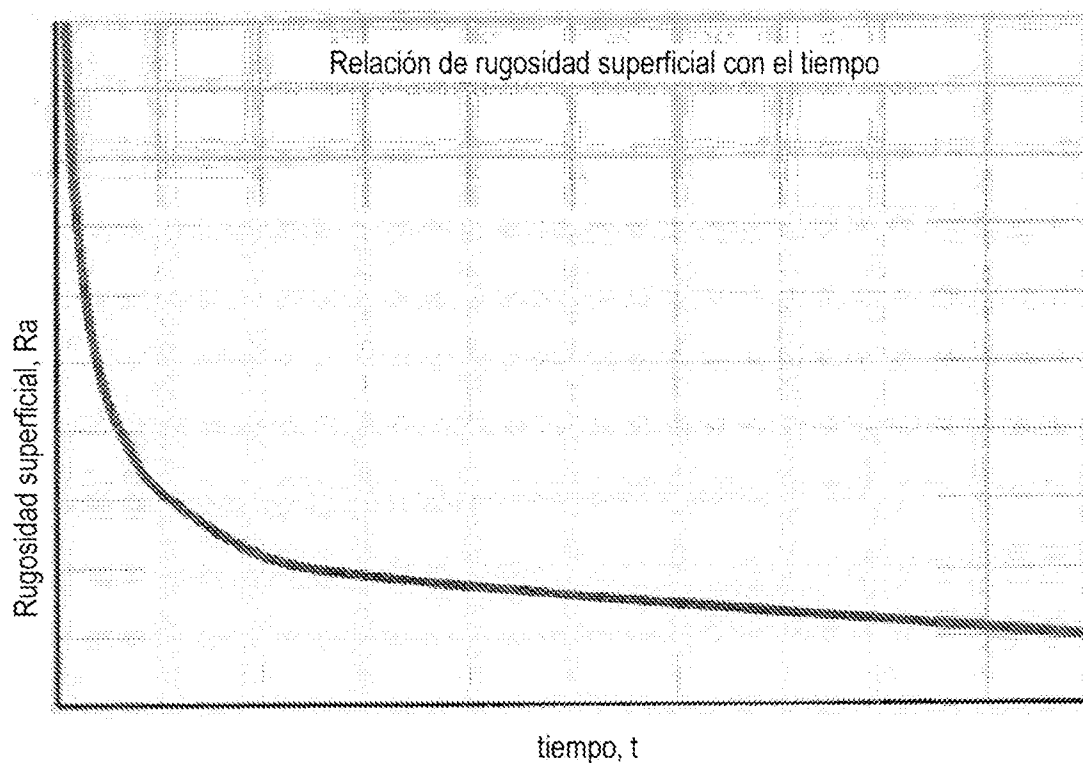


FIG. 3

Ref. en la figura 1a	Sensor	Descripción	Estado / Unidades
102	SL1	Nivel de disolvente usado	Volumen (ml)
104a	SL2	Nivel de disolvente líquido en la cámara de dosificación de disolvente	Volumen (ml)
	SL3	Nivel de disolvente usado	Volumen (ml)
102a	QR1	Acoplamiento de liberación rápida conectado	Encendido / Apagado
104c	St1	Temperatura de calentamiento del serpentín de disolvente	°C (Grados Celsius)
104c	SP1	Presión de dosificación de disolvente	Milibares
108	ACP1	Presión real de la cámara de proceso	Milibares
116	aT	Temperatura del aire de entrada	°C (Grados Celsius)
108	SS1	Sensor de VOC del disolvente	Encendido / Apagado
112	rsT	Temperatura de la Peltier	°C (Grados Celsius)
122	WL1	Nivel de agua residual	Volumen (ml)

FIG. 4

Ref. en la figura 1a	Parámetro	Descripción	Estado / Unidades
-	V1	Válvula de control del disolvente líquido	Encendido / Apagado
104b	SDs	Velocidad de la bomba de dosificación del disolvente	ml/h
-	V1a	Válvula de control del disolvente líquido	Encendido/Apagado variable
104c	ST1	Temperatura de calentamiento del disolvente líquido	°C (Grados Celsius)
-	V2	Válvula de control del disolvente vaporizado	Encendido/Apagado variable de tres vías
110	VP1	Presión de la bomba de vacío (Velocidad) Evaporación	rpm
110	VT1	Presión de la bomba de vacío (Tiempo) Evaporación	Segundos
-	V3	Válvula de control del disolvente vaporizado	Encendido/Apagado variable
116	H1	Calentador del aire de entrada	°C (Grados Celsius)
108	PET1	Tiempo de exposición de la pieza	Segundos
110	VP2	Presión de la bomba de vacío (Velocidad) (Evaporación-Retirada de disolvente)	rpm
110	VT2	Presión de la bomba de vacío (Tiempo) (Evaporación Retirada de disolvente)	Segundos
112	CT1	Temperaturas del módulo de refrigeración/calentamiento de la Peltier	°C (Grados Celsius)
112	HCT1	Temperatura del serpentín de calentamiento del destilado de disolvente	°C (Grados Celsius)

FIG. 5

Ref. en la figura 1a	Entrada	Descripción	Estado / Unidades
108	Do/DC	Puerta de la cámara de proceso Abierta / Cerrada	Abierto / Cerrado
118	ES1	Activación del botón de parada de emergencia	Encendido / Apagado
118	AT1	Monitorización de la temperatura ambiente	°C (Grados Celsius)
118	AH1	Monitorización de la humedad ambiente	Rh %
118	Nc	Número máx. de ciclos / área de la superficie antes de solicitar la sustitución del cartucho	Entero n 1-100 / Área de la superficie cm ²
118	AP1	Retirada del panel de acceso	Encendido / Apagado

FIG. 6

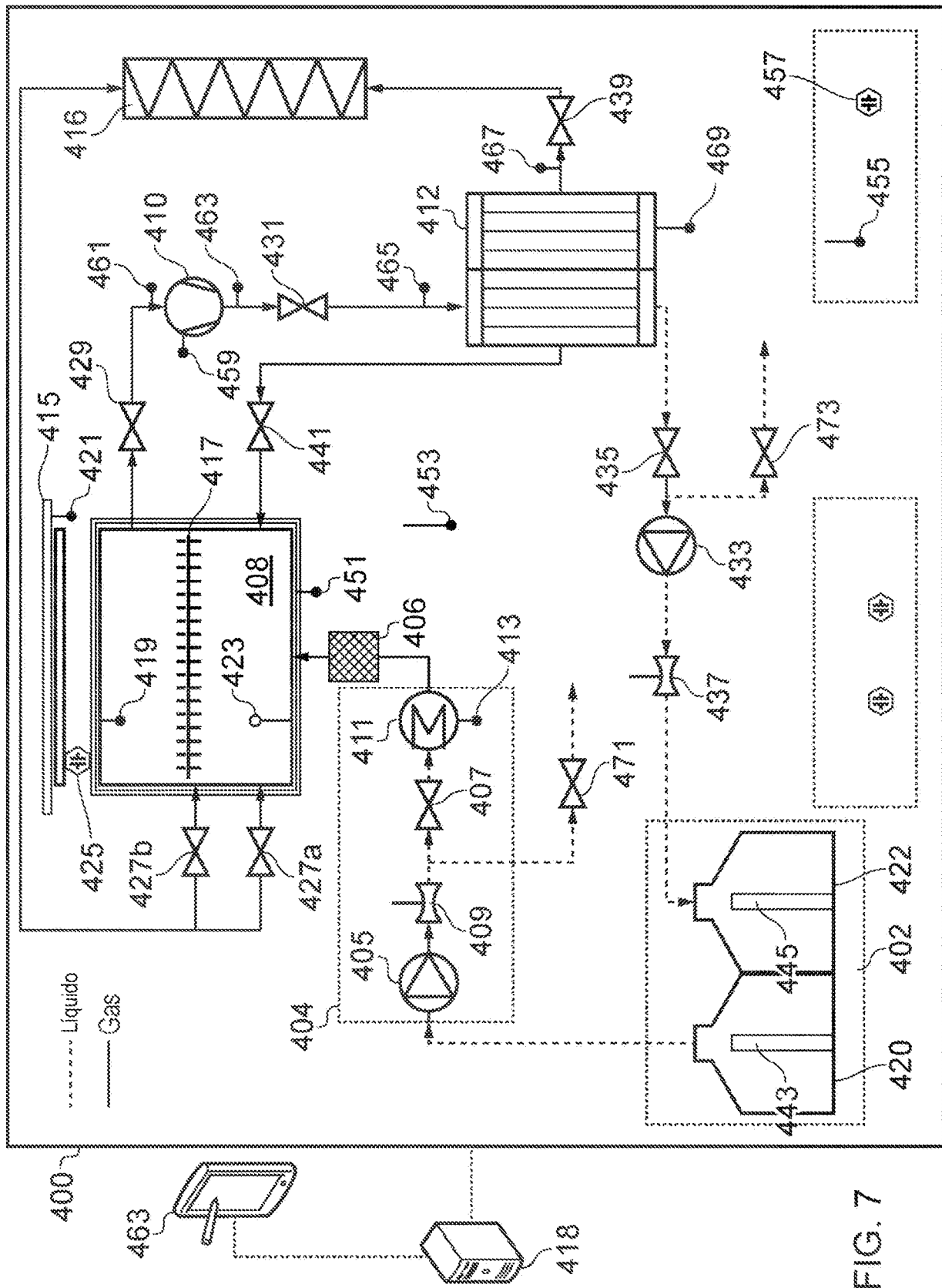


FIG. 7

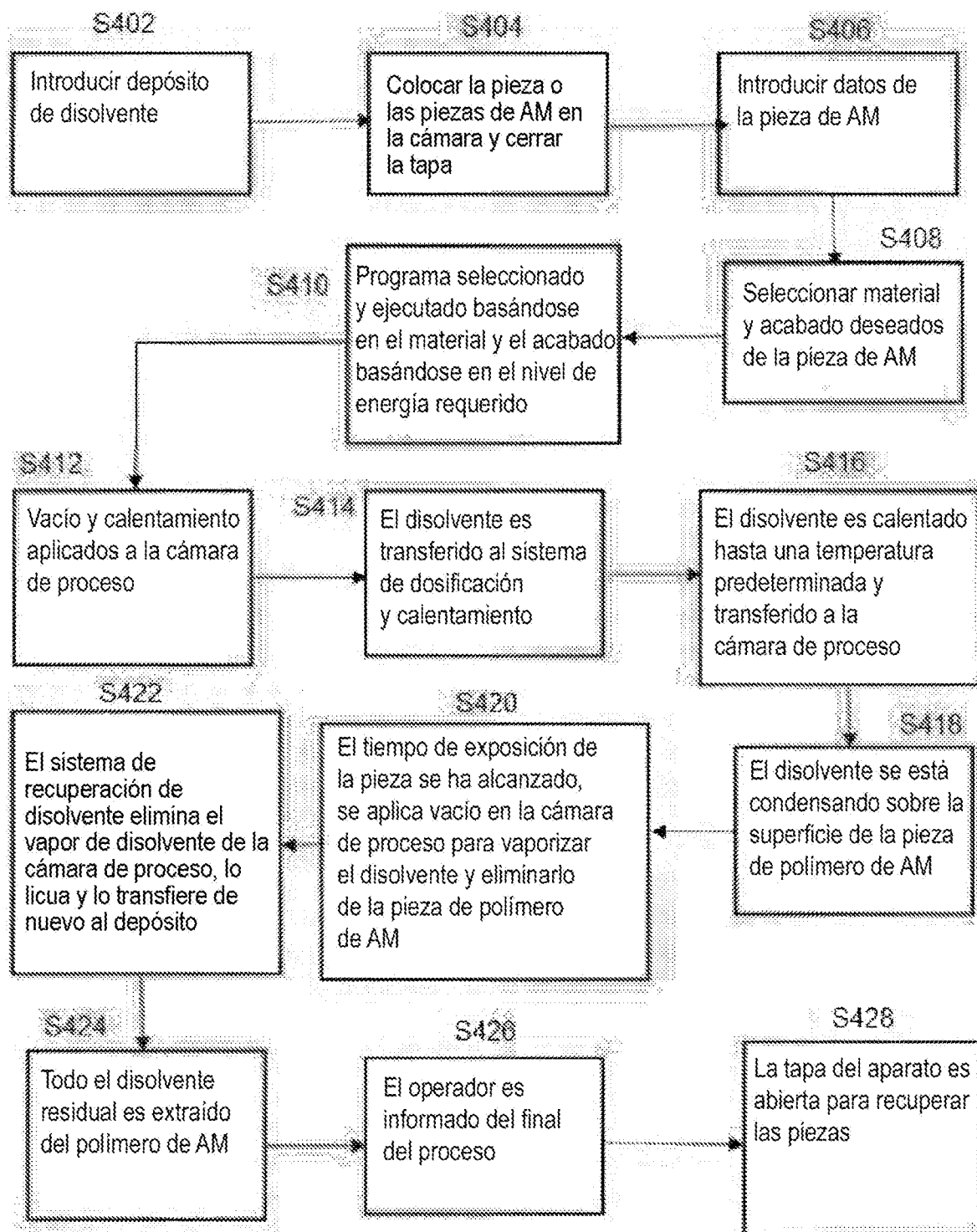


FIG. 8

Ref. en la figura 7	Sensor	Descripción	Estado / Unidades
443	Sensor de nivel 1	Nivel de disolvente virgen	Volumen (ml)
445	Sensor de nivel 2	Nivel de disolvente reciclado	Volumen (ml)
409	Medidor de flujo de disolvente virgen	Cantidad de disolvente líquido	Caudal (ml/s)
-	Acoplamiento de liberación rápida	Indica si el depósito de disolvente está conectado	Encendido / Apagado
413	Termopar de la placa de calentamiento	Temperatura de calentamiento del disolvente	°C (Grados Celsius)
423	Sensor de presión 1	Nivel de presión en el interior de la cámara de proceso	Milibares
419	Termopar de la cámara 1	Temperatura en el interior de la cámara de proceso	°C (Grados Celsius)
451	Termopar de calentamiento de la cámara	Temperatura en las paredes interiores de la cámara de proceso	°C (Grados Celsius)
425	Sensor de la tapa	Indica si la tapa de la cámara está abierta o cerrada	Encendido / Apagado
421	Termopar de calentamiento de la tapa	Temperatura de la tapa	°C (Grados Celsius)
453	Termopar de ambiente	Termopar en el interior de la máquina para monitorizar la temperatura ambiente	°C (Grados Celsius)
457	Sensor de humedad	Sensores de humedad en el interior de la máquina para monitorizar la humedad ambiente	%
-	Sensor de VOC del disolvente	Indica la presencia de disolvente en el interior de la cámara	Encendido / Apagado
461	Termopar de la entrada a la bomba de vacío	Monitoriza la temperatura de la bomba de vacío a la entrada	°C (Grados Celsius)
459	Termopar del cuerpo de la bomba de vacío	Monitoriza la temperatura de la bomba de vacío en el interior del cuerpo de la bomba	°C (Grados Celsius)
463	Termopar de la salida de la bomba de vacío	Monitoriza la temperatura de la bomba de vacío a la salida	°C (Grados Celsius)
465	Termopar de la entrada al condensador	Monitoriza la temperatura del condensador a la entrada	°C (Grados Celsius)
467	Termopar de la salida del condensador	Monitoriza la temperatura del condensador a la salida	°C (Grados Celsius)
-	Termopar interior del condensador	Monitoriza la temperatura en el interior del condensador	°C (Grados Celsius)
469	Sensor de presión del condensador	Monitoriza la presión en el interior del condensador	Milibares
437	Medidor de flujo del disolvente usado	Monitoriza la cantidad de disolvente líquido reciclado	Caudal (ml/s)

FIG. 9

Ref. en la figura 7	Unidad de control	Parámetro	Descripción	Estado / Unidades
-	Válvula de control	V1	Válvula de control del disolvente líquido	Encendido / Apagado
405	Bomba peristáltica	SDs	Velocidad de la bomba de dosificación de disolvente	ml/s
407	Válvula de control	V1a	Válvula de dosificación del disolvente líquido	Encendido/Apagado variable
411	Placa de calentamiento	ST1	Temperatura de calentamiento del disolvente líquido	°C (Grados Celsius)
-	Calentador	CT1	Temperatura de las paredes de la cámara de proceso	°C (Grados Celsius)
-	Calentador	CT2	Temperatura de la tapa	°C (Grados Celsius)
415	Tapa	L1	Puerta de la cámara de proceso Abierta / Cerrada	Abierta / Cerrada
-	Botón de emergencia	EM1	Activación del botón de parada de emergencia	Encendido / Apagado
427a	Válvula de control	VA1	Válvula de control de ventilación al aire	Encendido / Apagado
427b	Válvula de control	VA2	Válvula de control de ventilación al aire	Encendido / Apagado
410	Bomba de vacío	VP1	Presión de la bomba de vacío (Velocidad) Evaporación	rpm
410	Bomba de vacío	VT1	Presión de la bomba de vacío (Tiempo) Evaporación	Segundos
-	Válvula de control	V2	Válvula de control del disolvente vaporizado	Encendido / Apagado
410	Bomba de vacío	VP2	Presión de la bomba de vacío (Velocidad) (Evaporación-Eliminación de disolvente)	rpm
410	Bomba de vacío	VT2	Presión de la bomba de vacío (Velocidad) (Evaporación-Eliminación de disolvente)	Segundos
441	Válvula de control	VC1	Válvula de aire de entrada al refrigerador	Encendido / Apagado
412	Refrigerador / condensador de aire	C1	Refrigeración de aire	°C (Grados Celsius)
408	Cámara de proceso	PET1	Tiempo de exposición de la pieza	Segundos
412	Sistema de recuperación de disolvente / Condensador	HCT1	Temperatura del condensador de recuperación de disolvente	°C (Grados Celsius)
429	Válvula de control	RC1	Entrada de la válvula del sistema de recuperación	Encendido / Apagado
429	Válvula de control	RC2	Salida de la válvula del sistema de recuperación	Encendido / Apagado
437	Válvula de control	V1b	Válvula de dosificación del disolvente usado	Encendido / Apagado
433	Bomba peristáltica	US1	Bomba peristáltica de disolvente usado	ml/s
-	Panel de acceso	AP1	Retirada de panel de acceso	Encendido / Apagado

FIG. 10

Material	Presión del proceso, mbar	Temperatura del proceso, °C	Temperatura del material, °C	Tiempo de inicio del procesamiento, segundos	Cantidad de HFIP requerida por área superficie del polímero, ml/cm ²
Poliamida 6 y 12	150	25	15	120	0,08
Poliamida 11	200	27	10	110	0,12
Poliuretano termoplástico	400	23	-20	5	0,15

FIG. 11

Material	4-6 µm (Ra) Superficie mate	4-6 µm (Ra) Superficie brillante	1-4 µm (Ra) Superficie mate	1-4 µm (Ra) Superficie brillante
Poliamida 6 y 12	2 min; E _q baja (0,3k)	2 min; E _q alta (0,5k-0,8k)	3 min; E _q baja (0,3k-0,5k)	3 min; E _q alta (1k-1,2k)
Poliamida 11	2,5 min; E _q baja (0,6k)	2,5 min; E _q alta (0,7k-1k)	4 min; E _q baja (0,6k-0,7k)	4 min; E _q alta (1k-1,2k)
Poliuretano termoplástico	1 min; E _q baja (1,5k)	1 min; E _q alta (1,7k – 1,8k)	2 min; E _q baja (1,5k-1,7k)	2 min; E _q alta (1,8k-2k)
Material	<1 µm (Ra) Superficie mate	<1 µm (Ra) Superficie brillante		
Poliamida 6 y 12	7 min; E _q baja (0,3k-0,5k)	7 min; E _q alta (>1,2k)		
Poliamida 11	10 min; E _q baja (0,6k-0,7k)	10 min; E _q alta (>1,2k)		
Poliuretano termoplástico	10 min; E _q baja (1,5k-1,7k)	10 min; E _q alta (>2k)		

FIG. 12

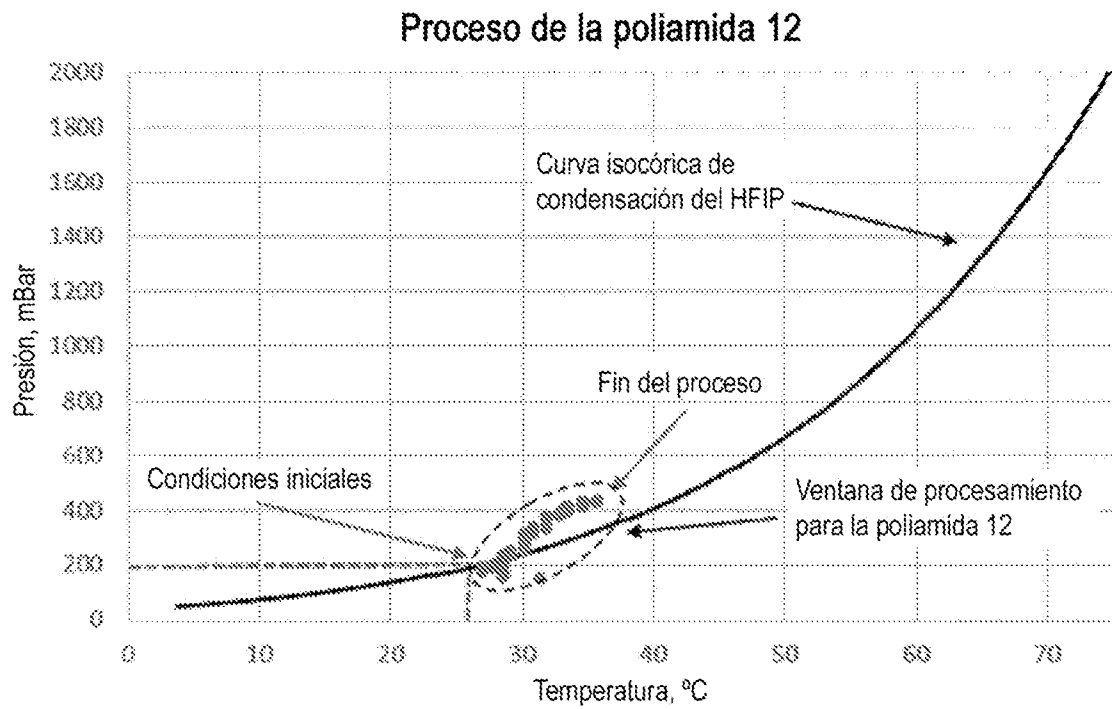


FIG. 13

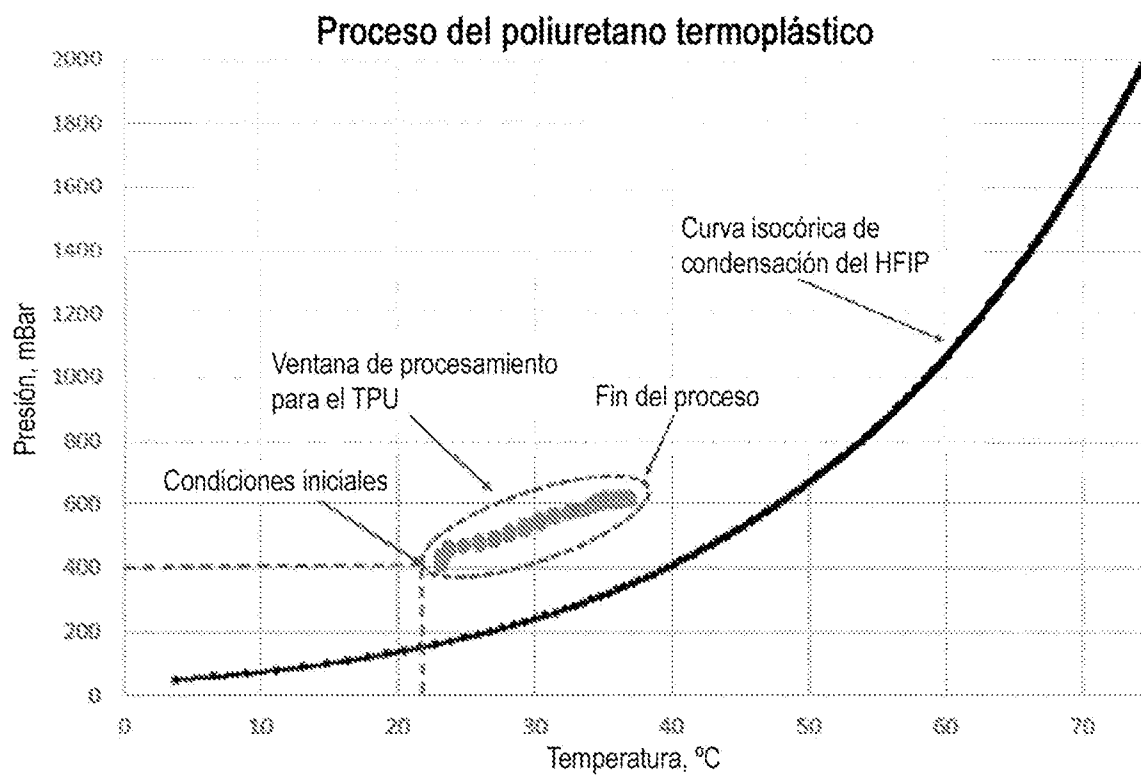


FIG. 14

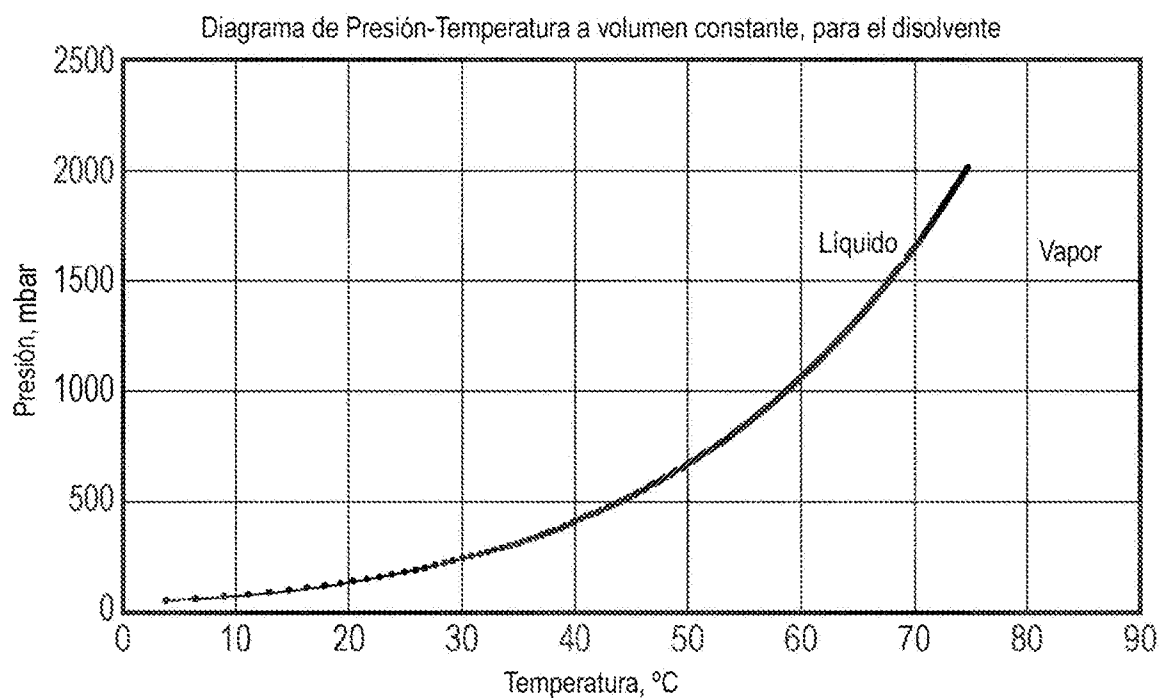


FIG. 15

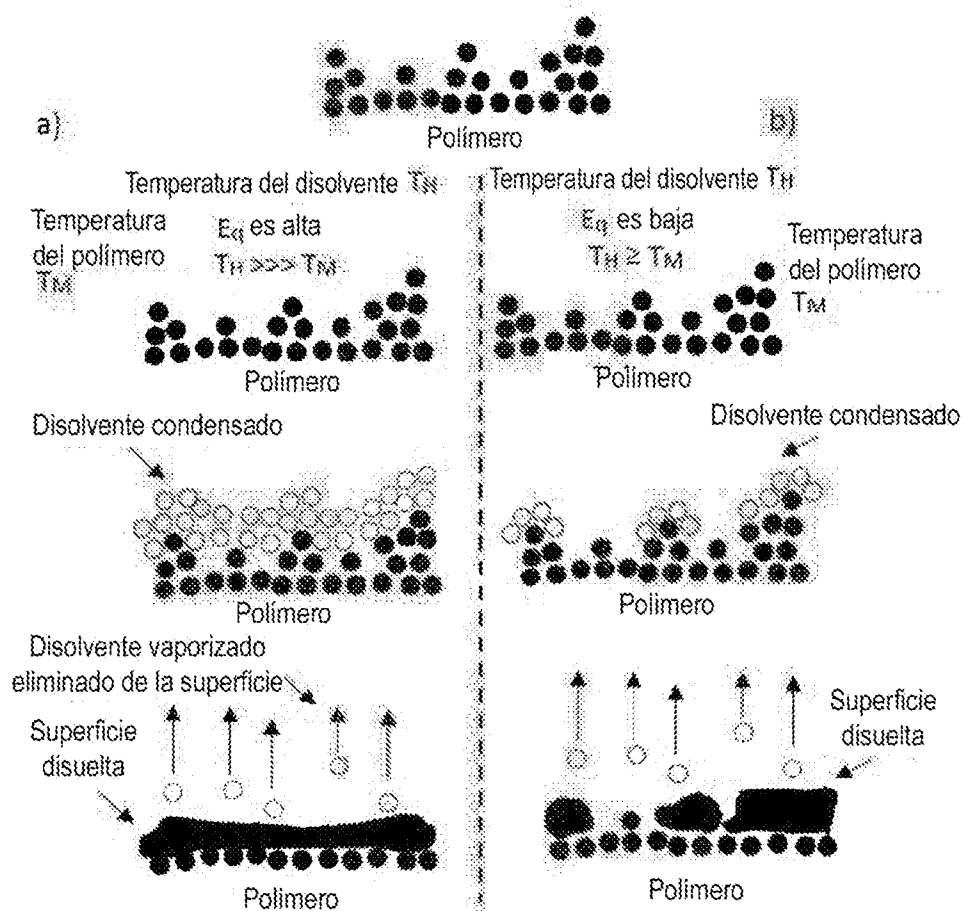


FIG. 16a

FIG. 16b

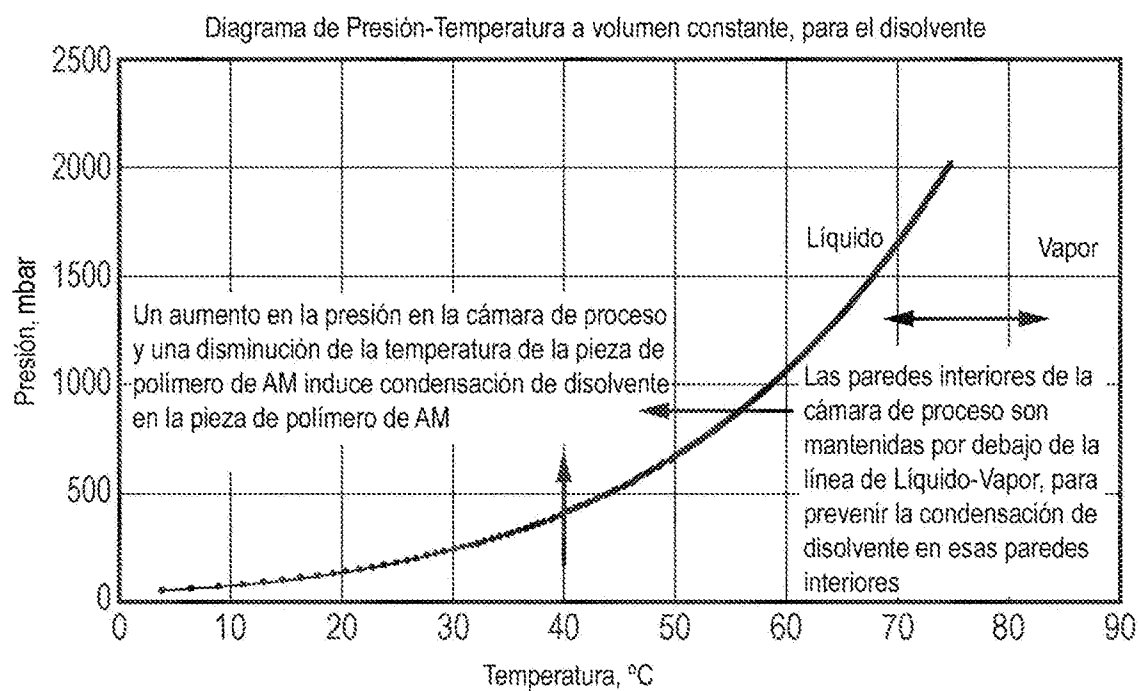


FIG. 17

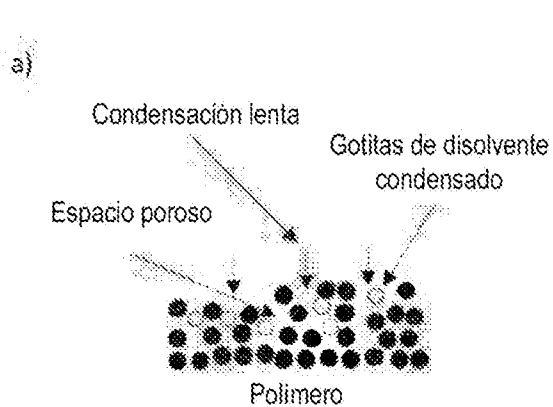


FIG. 18a

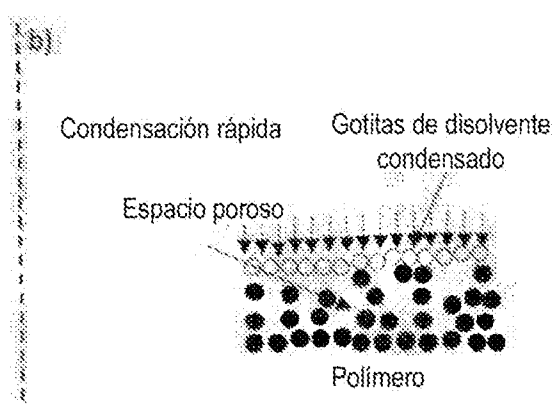


FIG. 18b

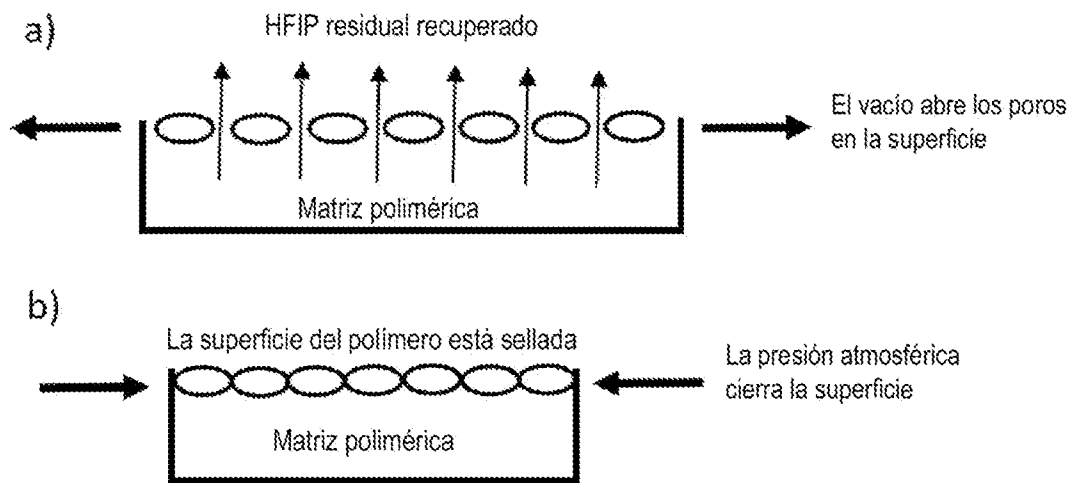


FIG. 19

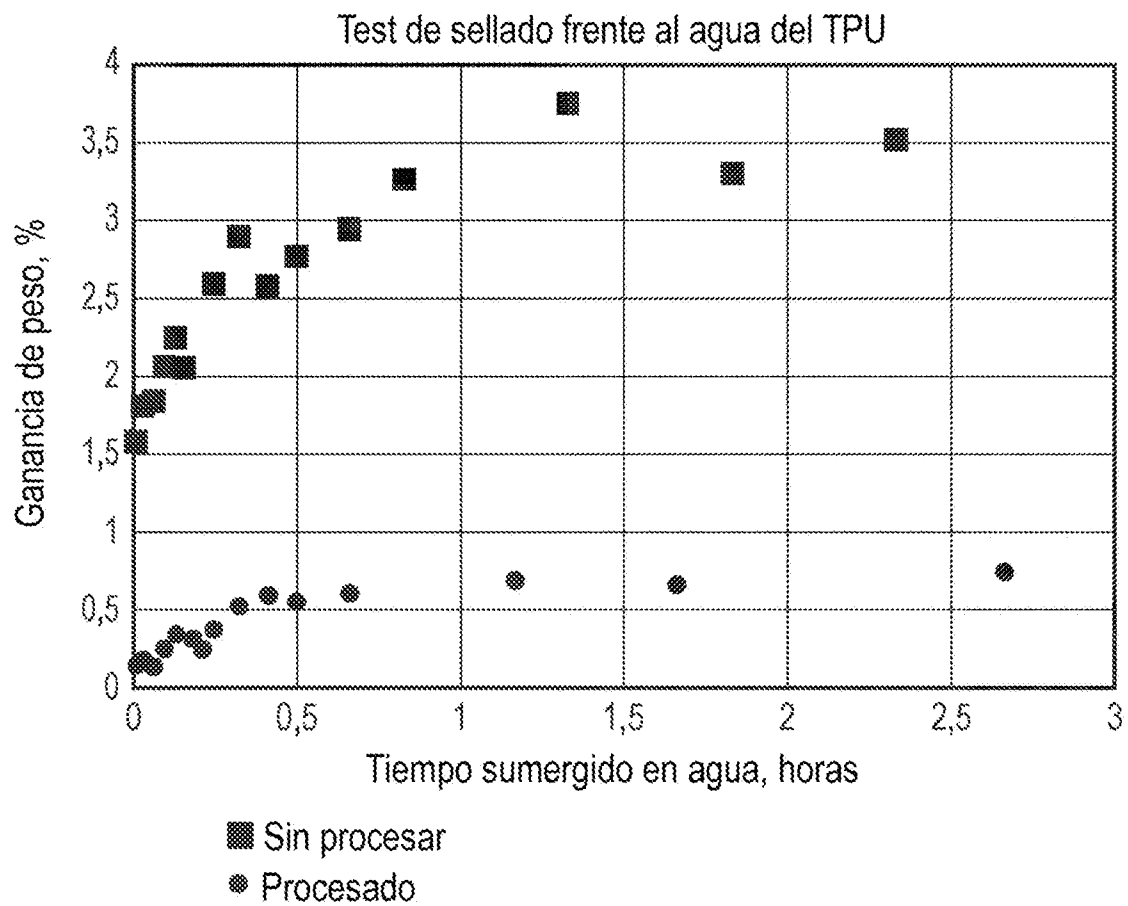


FIG. 20a

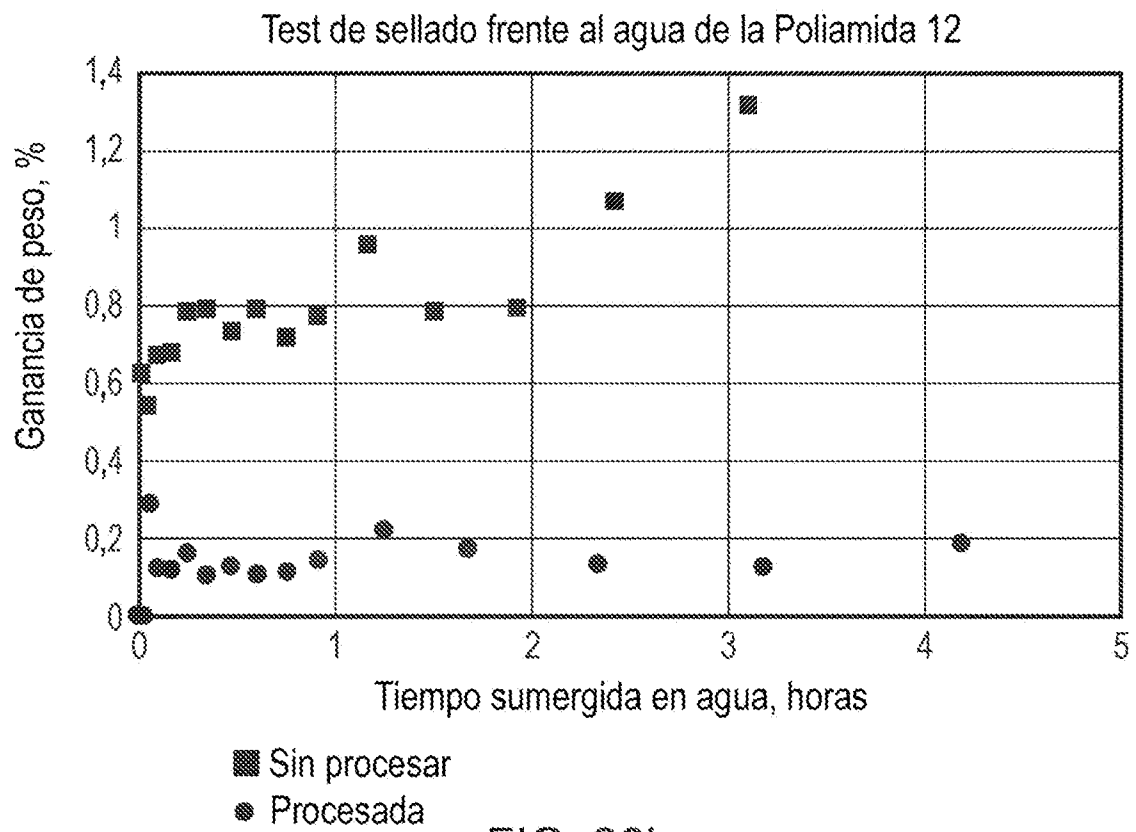


FIG. 20b

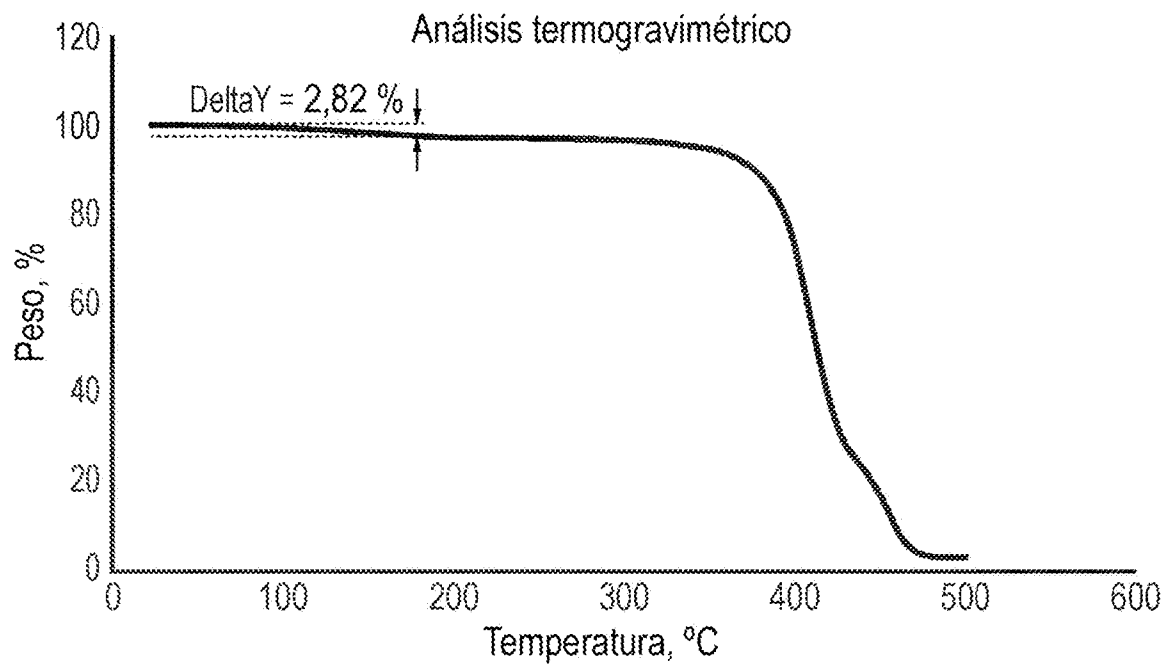


FIG. 21

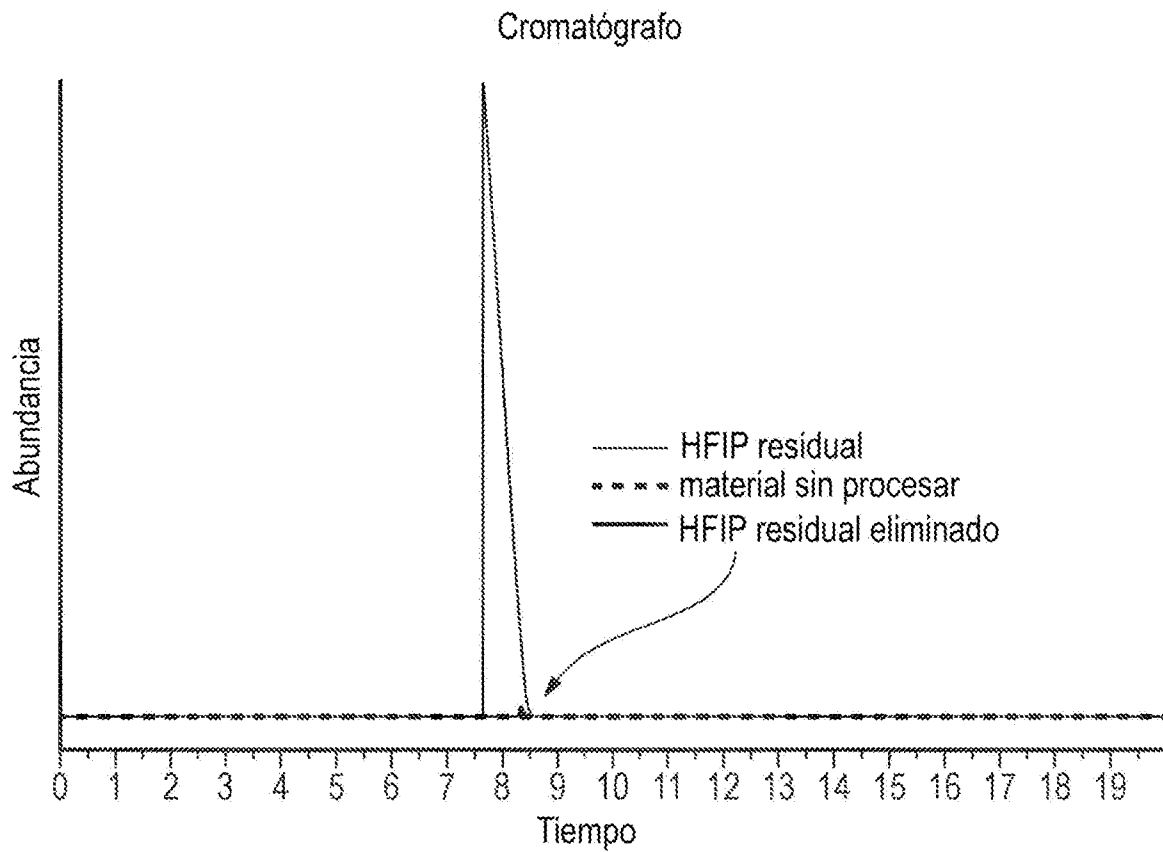


FIG. 22

Material	Temperatura de eliminación de disolvente residual, °C	Presión de eliminación de disolvente residual, mbar
Poliamida 6 y 12	110	850
Poliamida 11	100	850
Poliuretano termoplástico	85	650

FIG. 23

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.*

Documentos de patentes citados en la descripción

• US 20090321972 A1

• WO 2016201614 A1

10