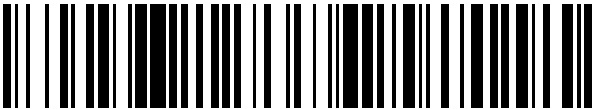


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 072 414**

21 Número de solicitud: 202431114

51 Int. Cl.:

B02B 3/00 (2006.01)
B23K 26/00 (2014.01)
B23K 26/12 (2014.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:
30.12.2024

43 Fecha de publicación de la solicitud:
01.07.2026

71 Solicitantes:
UNIVERSITAT JAUME I DE CASTELLÓ (100,00%)
Av. de Vicent Sos Baynat, s/n
12071 Castellón de la Plana (Castellón) ES

72 Inventor/es:
DOÑATE BUENDIA, Carlos;
FERNANDEZ MOLINA PRADOS, Sergio;
LANCIS SAEZ, Jesús y
MINGUEZ VEGA, Gladys

74 Agente/Representante:
UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **SISTEMA PARA PRODUCIR NANOPARTÍCULAS**

57 Resumen:

Un sistema (100) para producir nanopartículas. El sistema incluye diversas unidades. Una cámara de ablación (10) aloja un fluido (19) y al menos una muestra (18) inmersa en el fluido (19). La cámara de ablación (10) incluye una entrada (13), una salida (14) y al menos una ventana (11) para recibir un haz de luz láser de una unidad láser (20). Opcionalmente, una unidad de flujo (40) genera movimiento del fluido en la cámara de ablación (10). Una unidad de conformado (30) conforma una pluralidad de haces secundarios (24) o conformar un perfil de haz (25) a partir del haz de luz láser (22), e irradia una o múltiples regiones de la muestra (18) a través de una o múltiples ventanas (11).

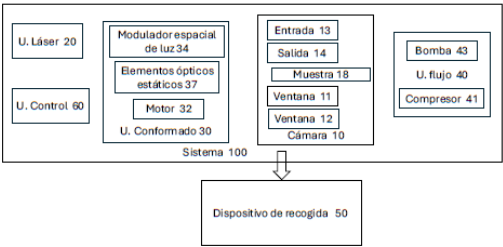


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

SISTEMA PARA PRODUCIR NANOPARTÍCULAS

Campo técnico de la invención

5 La presente invención pertenece al campo de síntesis de nanomateriales, más en concreto a la síntesis de nanomateriales por métodos físicos, específicamente en la fabricación de nanopartículas con láser en fluidos (líquidos y gases). La invención tiene potenciales aplicaciones en diversos sectores como, por ejemplo, la industria biomédica o la ingeniería de materiales. La incorporación de nanomateriales puede mejorar
10 prestaciones, usos, funciones o durabilidad de materiales.

Estado de la Técnica

La síntesis de nanomateriales con láser en líquidos es una técnica de fabricación ventajosa, aplicada con una creciente demanda en numerosos y variados campos entre
15 los que están la medicina personalizada o la fabricación aditiva. Esta técnica permite obtener materiales y productos con unas propiedades fisicoquímicas interesantes, entre las que destaca la pureza y la fácil funcionalización. Además, estas técnicas de síntesis ofrecen la posibilidad de modificar el tamaño, la fase y la composición de las nanopartículas fabricadas, propiedades que, a su vez, son necesarias para diseñar
20 materiales y productos específicos requeridos en el desarrollo de aplicaciones innovadoras. Esta técnica es además respetuosa con el medio ambiente.

Sin embargo, los sistemas de fabricación con láser actuales tienen que afrontar retos para aprovechar todo su potencial. Deben optimizar adecuadamente la energía que se deposita sobre la muestra, proveniente de un láser de alta potencia, por ejemplo,
25 mediante fragmentación, ablación, foto-reducción, fusión, etc. También deben asegurar la robustez de los sistemas empleados en esta tarea.

En particular, la técnica de ablación con láser en líquidos, en adelante LAL (de sus siglas en inglés “Laser Ablation in Liquids”) tiene unos requisitos exigentes para ser robusta. Brevemente, la técnica LAL implica la irradiación de un material sólido sumergido en un
30 líquido utilizando un láser de alta potencia. Cuando el láser incide sobre la superficie de la muestra, provoca que se expelan átomos, electrones, iones y material vaporizado, dando lugar a la formación de un plasma de alta temperatura y presión. Este plasma se enfría rápidamente al interactuar con el líquido circundante, lo que lleva a la nucleación

y crecimiento de nanopartículas. El diseño clásico de una cámara de ablación es un vaso de precipitados de vidrio o una cubeta llena de un líquido donde la muestra se sumerge acostada o de pie, dependiendo de la dirección del haz entrante. Los sistemas convencionales que incorporan estas cámaras de ablación tienen problemas y limitaciones. Por ejemplo, si para aumentar la producción de nanopartículas, se incrementa la energía del pulso láser, se pueden producir daños en el sistema y limitar la vida útil de sus componentes. Por otra parte, reemplazar tales componentes es a menudo una tarea compleja o costosa desde el punto de vista económico.

Por otro lado, la técnica de fabricación de nanopartículas en gases más usada es la deposición con láser pulsado en aire, en adelante PLD, (de sus siglas en inglés 'Pulsed Laser Deposition') que requiere condiciones específicas para garantizar su efectividad y estabilidad en la producción de nanopartículas. Brevemente, la técnica PLD implica la irradiación de un material sólido mediante un láser de alta potencia en un ambiente de gas controlado o vacío, en lugar de un líquido. Al incidir el láser sobre la superficie del material, se genera una evaporación de la superficie y la formación de un plasma compuesto de átomos, iones y moléculas del material. Este plasma se expande rápidamente en el medio gaseoso circundante, donde los átomos y partículas se enfrían y empiezan a agruparse, lo que resulta en la nucleación y crecimiento de nanopartículas que finalmente se depositan en un sustrato cercano. La cámara de deposición en PLD suele estar diseñada para mantener un vacío parcial o una atmósfera específica (por ejemplo, de oxígeno o nitrógeno), lo que permite controlar el tamaño y la composición de las nanopartículas producidas. Los sistemas convencionales de PLD enfrentan limitaciones, como la acumulación de material en el sustrato dónde se coloca la muestra, la necesidad del vacío y el desgaste de los componentes del sistema cuando se aumenta la energía del pulso láser para mejorar la producción.

Breve descripción de la invención

A la vista de la situación anterior, según un aspecto de la invención, se propone un sistema para producir nanopartículas (en adelante, sistema) con una unidad de conformado espacial del haz láser emitido por una unidad láser de forma que modifique la fluencia (energía/área). Así permite el control eficiente de la irradiación láser distribuida sobre una región concreta de la muestra o muestras en una cámara de ablación apta para alojar un fluido. Ello permite aumentar la producción de nanopartículas y/o reducir las condiciones extremas del haz que pueden dañar los componentes del sistema. La unidad de conformado permite generar uno o múltiples

focos y/o modificar sus perfiles y/o corregir aberraciones. Como se describirá más adelante, generar múltiples focos se puede llevar a cabo de numerosas formas (con hologramas, lentes difractivas, moduladores espaciales de luz, óptica freeform, metamateriales, etc.). Con múltiples focos se pueden usar láseres más potentes.

5 Empleando un solo foco no se consigue aumentar la producción significativamente una vez que se ha alcanzado la fluencia de saturación. Por otro lado, mejorar aberraciones, o definir perfiles concretos es útil para una distribución eficiente de la energía sobre la muestra.

Adicional o alternativamente, según otro aspecto de la invención, se propone una
10 cámara de ablación que cuenta con dos o más ventanas. Esta configuración permite irradiar simultáneamente con varios haces de luz láser, bien sobre una misma muestra, bien sobre varias muestras. Esta cámara de ablación es apta para alojar un fluido. El fluido puede, en algunas realizaciones, atravesar la cámara de ablación como un flujo.

Una unidad de control puede incluirse en algunas realizaciones para controlar el
15 funcionamiento de la unidad de conformado, la unidad láser y de otros componentes.

Breve descripción de las figuras

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte
20 integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

FIG. 1: Diagrama esquemático de bloques de una realización del sistema para producir nanopartículas con láser en fluidos.

FIG. 2A: Ejemplo esquemático de una realización para el sistema para producir
25 nanopartículas con láser con una unidad de flujo con líquido.

FIG. 2B: Ejemplo esquemático de una realización del sistema para producir nanopartículas con láser con una unidad de flujo con gas.

FIG. 3A: Ejemplo esquemático de una realización de la cámara de ablación de doble ventana acoplada con matrices de microlentes.

30 FIG. 3B: Detalle de un corte de la cámara de ablación de doble ventana.

FIG. 3C: Ejemplo esquemático de una realización del sistema con una unidad de conformado con elementos ópticos para producir cuatro haces conformados con corrección de aberraciones para una cámara de doble ventana.

FIGs. 4A-4D: Ejemplo de imágenes generadas a partir de un haz de luz láser para irradiar una muestra. FIG. 4A: Imagen producida por un sistema de focalización convencional. FIG. 4B: Imagen que corrige aberraciones producida por una unidad de conformado. FIG. 4C: Imagen con múltiples focos producida por una unidad de conformado. FIG. 4D: Imagen con múltiples focos con aberraciones corregidas producida por una unidad de conformado.

FIGs. 5A-5D: Ejemplo perfiles de haz. FIG. 5A: Perfil gaussiano. FIG. 5B: Perfil top-hat. FIG. 5C: Perfil alargado transversalmente. FIG. 5D: Múltiples perfiles top-hat.

FIG. 6: Ejemplo esquemático de una realización de una cámara de ablación de cuatro ventanas para irradiar varias muestras simultáneamente y/o en posiciones diferentes.

FIG. 7A: Ejemplo de posición inicial de una matriz de microlentes sobre una ventana mientras se hace un barrido de una muestra.

FIG. 7B: Ejemplo de posición intermedia de una matriz de microlentes sobre una ventana mientras se hace un barrido de una muestra.

FIG. 8: Ejemplo de una gráfica de producción de nanopartículas frente a fluencia del láser.

LISTADO DE REFERENCIAS NUMÉRICAS

10 Cámara de ablación.

11, 12 Ventana.

13 Entrada de la unidad de flujo.

14 Salida de la unidad de flujo.

18 Muestra.

19 Fluido.

20 Unidad láser.

22 Haz láser.

24 Haces conformados.

30 Unidad de conformado.

31 Matriz de microlentes.

32 Espejo.

- 33 Sistema galvanométrico.
- 34 Modulador espacial de luz.
- 35 Pantalla de cristal líquido.
- 36 Lente.
- 5 37 Elementos ópticos estáticos.
- 40 Unidad de flujo.
- 41 Compresor de gas.
- 43 Bomba hidráulica.
- 50 Dispositivo de recogida.
- 10 52 Cubeta.
- 54 Líquido base.
- 100 Sistema.

Descripción detallada de la invención

15

Para una mejor comprensión y con referencia a figuras, se presentan diversos aspectos de la invención a través de varios modos de realización que no deben considerarse de forma restrictiva.

20

La **FIG. 1** muestra un diagrama esquemático de bloques según una realización del sistema 100. El sistema incluye una unidad láser 20 con capacidad de generar haces de luz láser con diferentes características, haz continuo o en pulsos de haces de cierta duración, haces con una longitud de onda o una potencia específicas, etc. Los haces generados se encaminan hacia una cámara de ablación 10 que tiene una o más

25

ventanas 12 transparentes.

Para irradiar adecuadamente una o más muestras 18 de las que se desea obtener nanopartículas, el sistema 100 incluye una unidad de conformado 30 que produce haces conformados. Esta unidad de conformado 30 puede realizar diferentes funciones. Entre ellas están: eliminar aberraciones ópticas, conformar, en lugar de un punto en el foco

30

óptico con el haz proveniente de la unidad láser 20, un patrón de múltiples puntos o bien un perfil de haz concreto como, por ejemplo, un perfil de haz tipo donut, un perfil de haz de tipo cuadrado ("flat top"), etc. La unidad de conformado 30 puede incluir un

modulador espacial de luz 34 y/o elementos ópticos estáticos 37 para producir haces conformados e irradiar la(s) muestra(s) 18 alojada(s) en la cámara de ablación 10 a través de la(s) ventana(s) 12. Así inciden los haces conformados a la vez sobre diferentes regiones de la(s) muestras(s) 18. Por esta cámara de ablación 10 circula o se aloja un fluido 19 donde están inmersas una o más muestras 18 de las que se desea obtener nanopartículas. Por ejemplo, dos muestras de geometría laminar, situadas una junto a la otra, con una cara de cada muestra expuesta a una ventana diferente 11, 12 para que se irradian a la vez. Opcionalmente, para que no se irradie de forma continua en las mismas regiones de la ventana 11, 12 y de la muestra 18 (genera desgaste prematuro en una ventana y pérdidas en la muestra sobrante), la cámara de ablación 10 se puede desplazar respecto de la unidad de conformado 30 mediante el empleo de un motor o motores. Así se puede ampliar la zona irradiada distribuyéndola y/o cambiar la zona irradiada dinámicamente, por ejemplo, siguiendo un patrón que va cubriendo una región mayor de la(s) muestra(s) y de la(s) ventana(s). Ventajosamente, la cámara de ablación 10 puede instalarse en posición vertical, recostada (horizontal) o inclinada sin adaptaciones importantes en el resto de unidades del sistema 100 como se desprende de las realizaciones descritas más adelante.

Opcionalmente, una unidad de flujo 40 se encarga de generar un flujo de fluido al introducir el fluido 19 en la cámara de ablación 10 a través de una entrada 13 y evacuarlo por una salida 14 siguiendo un circuito que puede ser abierto o cerrado. El fluido desplaza las nanopartículas ya formadas, que podrían interferir con el haz láser y dificultar la creación de nuevas nanopartículas al reducir la fluencia que llega a la muestra. En el caso de usar gas como fluido, el sistema 100 incorpora un compresor 41 que hace pasar a las nanopartículas mediante una conducción (idealmente, cuanto más corta mejor) a un dispositivo de recogida 50. Esto evita además riesgos de inhalación. Una ventaja de usar un gas (p. ej., aire o nitrógeno) en lugar de líquido, es que no se producen burbujas de cavitación que pueden desviar los haces láser y reducir la producción. En el caso de usar un líquido como fluido, el sistema 100 incorpora una bomba hidráulica 43 (en lugar del compresor 41) para realizar una función similar. Una ventaja de usar líquido es que mejora la monodispersividad de los materiales y refrigera. Preferiblemente, se debe asegurar un flujo de fluido constante, durante la operación del sistema 100. Si se quieren procesar cantidades considerables de nanopartículas, es deseable mantener un flujo continuo de fluido sobre la muestra para refrigerar el sistema y evitar pérdidas por acumulación de nanopartículas (también de burbujas en caso de ser el fluido un líquido) que reducen por absorción o difusión la energía que llega a la muestra.

En el caso de trabajar con un líquido, el flujo permite adicionalmente remover las burbujas persistentes. No obstante, para reducir las pérdidas por absorción o efectos no lineales en el líquido, se puede limitar la cantidad de líquido que circula entre la ventana transparente y la muestra, y/o reducir la distancia de separación entre ellas en la cámara de ablación. Se estima que las pérdidas debidas a efectos no lineales del líquido pueden suponer más de la mitad de la energía de la unidad láser para láseres ultracortos.

En el caso de trabajar con un gas, la distancia de separación entre ventana transparente y la muestra no es tan crítica, ya que no hay pérdidas no lineales en el aire en condiciones normales de trabajo, si bien interesa redirigir las nanopartículas hacia la zona de salida sin que queden dispersas en la cavidad. El flujo también es un parámetro de control para producir un flujo de gas que minimice la aglomeración de las nanopartículas.

Respecto al material o materiales de la muestra, indicar que prácticamente con cualquiera se puede obtener nanopartículas, esto incluye los elementos de la tabla periódica, materiales compuestos, aleaciones, etc. Meramente como ejemplos, son usadas típicamente en diversos procesos, las nanopartículas esféricas con diámetros en el rango de 3 nm a 80 nm de plata, oro, platino o carbono.

Opcionalmente, el sistema 100 puede incorporar una unidad de control 60 para controlar el funcionamiento de las demás unidades (bien de manera automática, o supervisada por un usuario). En particular, para ajustar las características del haz láser emitido por la unidad láser 20 y para modificar parámetros del modulador espacial de luz 34 o del motor 32 de la unidad de conformado 30. La unidad de control 60 puede implementarse con microprocesadores o microcontroladores para adaptar el haz conformado (24) y que irradie con un valor de fluencia menor que la fluencia de saturación.

La **FIG. 2A** ilustra una realización del sistema 100 para producir nanopartículas en líquidos. Como se indicó anteriormente, una bomba hidráulica 43 hace circular un líquido por una cámara de ablación 10, en esta realización siguiendo un circuito cerrado. Una unidad de conformado 30 transforma el haz láser 22 emitido por una unidad láser 20 en haces conformados 24 que son, en esta realización, un conjunto de haces secundarios que inciden en diferentes puntos de una cámara de ablación 10. Por puntos se debe entender regiones muy reducidas comparadas con la superficie de la muestra (p. ej., una región cuya superficie sea 30 veces menor que la muestra, o menor a $1000 \mu\text{m}^2$). Para ello, la realización emplea un sistema galvanométrico 33 que incluye unos espejos que se mueven a muy alta velocidad y que cambian la dirección del haz láser para que no incida siempre en el mismo punto de la muestra y un elemento óptico estático 37 (por

ejemplo, un holograma). Así, se producen haces conformados 24 que inciden simultáneamente sobre diferentes puntos de la muestra alojada dentro de la cámara de ablación 10. Por ejemplo, con el sistema galvanométrico 33 se pueden variar los puntos donde incide la radiación láser y hacer que sigan un recorrido por diferentes partes de la muestra, por ejemplo, siguiendo un patrón de barrido para favorecer un desgaste homogéneo de la muestra y/o la(s) ventana(s). Las nanopartículas del sistema 100 de esta realización se recogen junto con el líquido empleado para mover las nanopartículas generadas abriendo el circuito, por ejemplo, a través de una bifurcación controlada por una válvula en el circuito cerrado (no mostradas) tras un intervalo de tiempo.

La **FIG. 2B** ilustra una realización del sistema 100 para producir nanopartículas con una unidad de flujo 40 de gas. Una unidad de conformado 30 (como la de la FIG. 2A) transforma el haz láser 22 emitido por una unidad láser 20 en un conjunto de haces conformados 24 que inciden en diferentes puntos de una cámara de ablación 10 para irradiar la muestra 18. Para ello, la realización emplea un sistema galvanométrico 33 que incluye unos espejos que se mueven a gran velocidad cambiando la dirección del haz láser. De este modo, el haz láser 22 combinado con el elemento óptico estático 34 (p.ej., una matriz de microlentes) produce múltiples haces secundarios que inciden simultáneamente sobre diferentes puntos de la muestra 18 alojada en la cámara de ablación 10 y se desplazan a través de ella. Esta realización cambia, respecto de la FIG. 2A, en que la unidad de flujo 40 monta un compresor 41 y un circuito abierto. El compresor 41 hace circular un gas por una cámara de ablación 10 y lo hace siguiendo un circuito abierto que se acopla con el dispositivo de recogida 50 que incluye una cubeta 52 con un líquido base 54 (agua, etanol, etc.) para recoger la producción de nanopartículas formando un coloide. El líquido base 54 puede ser el mismo que el empleado en la realización anterior. Mencionar que los requisitos para emplear un líquido base son mínimos. Basta que las nanopartículas sean estables en él. Como ejemplos, se pueden indicar los siguientes: agua con cantidades micromolares de cloruro sódico o citrato, etanol, polietilenglicol, etc.

La **FIG. 3A** ilustra una realización simplificada y esquemática del sistema 100 compuesto de una cámara de ablación 10, una unidad láser 20 y una unidad de conformado del haz láser. La cámara de ablación 10 tiene una entrada 13, una salida 14 para acoplarse con una unidad de flujo (no mostrada) que puede ser, por ejemplo, una como las descritas en las FIGs. 2A-2B. Durante la operación del sistema 100, un fluido circula proveniente de la entrada 13 hacia la salida 14 de la cámara de ablación

10. En esta realización, la cámara de ablación 10 incluye dos ventanas 11, 12 para irradiar respectivamente dos muestras 18. La unidad de conformado incluye, para esta realización, un divisor de haz 33 y varios espejos 34 para transmitir cada haz 22 de luz láser dividido hasta una matriz de microlentes que puede estar integrada en la ventana 11, 12 (p. ej., en forma de grabado) o ser un elemento aparte.

Preferiblemente, la unidad láser 20 es operable por un usuario 1 o tener un funcionamiento controlado (p. ej., programado) a través de una unidad de control 60 para seleccionar la duración del pulso, modificar la frecuencia de pulsación, la longitud de onda o la potencia del haz de láser, entre otros parámetros que sea posible modificar según sus especificaciones. En función los parámetros láser y las propiedades deseadas de las nanopartículas, distintas partes del sistema 100 tales como la distancia relativa entre la ventana y la muestra, la forma del haz sobre la muestra, el tipo de fluido, etc. pueden modificarse a conveniencia. En términos generales, para pulsos muy cortos temporalmente, conviene reducir los efectos no lineales, por lo que es preferible reducir la capa de fluido.

La **FIG. 3B** ilustra, para apreciar mejor su estructura, una imagen ampliada de un corte esquemático de una cámara de ablación 10 compatible con la mostrada en la FIG. 3A. La cámara de ablación 10 incluye dos ventanas 11, 12 a las que se acopla una matriz de microlentes 31 (en otras realizaciones, la propia ventana podría integrar la matriz de microlentes o un elemento óptico que produzca múltiples focos). La cámara de ablación 10 permite alojar un fluido 19 donde está inmersa una muestra 18. La matriz de microlentes 31 se ubica para enfocar la luz recibida sobre la muestra. En algunas realizaciones, un motor puede mover relativamente la matriz de microlentes 31 respecto de la cámara de ablación 10. En algunas realizaciones, la cámara de ablación 10 puede tener más de dos ventanas, por ejemplo, una tercera ventana en un plano frontal y una cuarta en un plano trasero. Entre las dos ventanas 11, 12 se puede alojar más de una muestra 18 sumergida en el fluido 19, por ejemplo, una muestra es irradiada a través de la ventana superior 11 y otra muestra a través de la ventana inferior 12. Asimismo, una muestra 19 puede ser de un solo material, o bien, de varios materiales diferentes para obtener una mezcla de coloides.

La **FIG. 3C** ilustra esquemáticamente otra realización del sistema 100 similar a la FIG. 3A, donde la unidad de conformado define un perfil espacial del haz láser específico en ambas caras de una muestra 18 para controlar la producción de nanopartículas. La unidad de conformado incluye un modulador espacial de luz 35 (SLM) donde se codifica

simultáneamente la información de correspondiente a la corrección de la aberraciones ópticas y la generación de múltiples focos, una lente convergente 36 que se coloca antes del divisor de haz 33 y espejos 32 que dirigen los haces hacia cada ventana 11, 12. En la parte superior izquierda de la FIG. 3C se pueden observar dos diagramas que representan, respectivamente, la fase para compensar las aberraciones ópticas del sistema 35 (izq.) y que fase permite generar múltiples focos (dcha.), ambas deben combinarse en el SLM. En la parte superior derecha se puede observar un diagrama con la respuesta de la unidad de conformado sobre la muestra donde se aprecian cuatro focos con corrección de la aberración. Una unidad de control 60 puede controlar la unidad láser 20 y el modulador espacial de luz 35 de la unidad de conformado.

Las FIGs. 4A-4D muestran varios focos generados en el plano focal del sistema óptico. En la FIG. 4A se muestra una imagen de un foco si se emplea un sistema de focalización convencional formado exclusivamente por una lente convergente. En la FIG. 4B se muestra una imagen de un foco si se emplea una realización de la unidad de conformado que sólo corrige las aberraciones del sistema óptico. En la FIG. 4C se muestra una imagen de cuatro focos una realización de la unidad de conformado incluye un elemento difractivo para generar múltiples focos sin corrección de aberraciones. En la FIG. 4D se muestra una imagen de cuatro focos con corrección de aberraciones si se emplea una realización de la unidad de conformado que combine los elementos de las FIGs. 4B-4C.

En las FIG. 5A-5D se dan ejemplos de perfiles de haz ventajosos. Se puede ver un perfil gaussiano en la FIG. 5A. Se puede ver un perfil top-hat en la FIG. 5B que tiene la ventaja de reducir los efectos térmicos sobre la muestra. En la FIG. 5C se puede ver un perfil alargado transversalmente que es útil si contamos con láseres de alta energía, ya que puede distribuir mejor la energía sobre la muestra. Alternativamente, todos estos perfiles se pueden generar como múltiples focos por ejemplo para obtener múltiples haces con perfil de haz top-hat como ilustra la FIG. 5D. En resumen, el perfil espacial del haz conformado determina como se distribuye la energía proveniente del haz láser sobre la muestra, por tanto, influye directamente en la eficiencia de ablación y en las propiedades finales de las nanopartículas, como su tamaño y distribución. Adicionalmente, el perfil espacial del haz reduce efectos no deseados del proceso de fabricación, como el daño térmico o los efectos no lineales. Existen tecnologías de control dinámico y estático para ajustar el perfil espacial del haz al deseado que son aplicables a la unidad de conformado.

Entre los elementos ópticos de control dinámico destacan los moduladores espaciales de luz (SLM) ya mencionados. Los SLM pueden controlar la amplitud, la fase o la polarización de la luz, de forma que varía espacialmente. Los SLM incluyen generalmente elementos como pantallas de cristal líquido, dispositivos de microespejos y membranas o lentes deformables cada uno con sus ventajas e inconvenientes. Las pantallas de cristal líquido permiten un control preciso de la fase y la amplitud del haz, aunque su velocidad de operación es limitada. Por otro lado, los dispositivos de microespejos ofrecen velocidades de modulación mucho más altas, pero codifican la información de manera binaria, lo que puede limitar su flexibilidad en ciertos casos. Las membranas y lentes deformables, aunque menos precisas, son útiles para corregir aberraciones ópticas y mejorar la calidad del enfoque.

En cuanto a los elementos ópticos de control estático controlan la intensidad, fase o polarización de la luz de una manera fija, y se pueden implementar con lentes cilíndricas, matrices de microlentes, elementos difractivos, óptica “freeform” (dispositivos refractivos que permiten generar patrones definidos por el usuario) y/o metamateriales. Una ventaja de los elementos ópticos estáticos es que permiten crear perfiles fijos que son ideales para configuraciones repetitivas.

En general, elegir un determinado elemento estático u otro dependerá del objetivo y de la unidad láser. Si se generan láseres ultracortos, los elementos difractivos pueden introducir una dispersión espacio-temporal que ensancha espacial y temporalmente el pulso, mientras que los elementos refractivos introducen dispersión de la velocidad de grupo, que puede aumentar la duración del pulso pero en menor cantidad, pero por el contrario, debido a la presencia de material generalmente más grueso, son más sensibles a efectos no lineales (efecto Kerr, filamentación, etc.). En cuanto a los metamateriales, su funcionamiento dependerá de las características del diseño y qué parámetros busque optimizar (la ausencia o no de aberración cromática, mejorar el límite de difracción, perfiles uniformes tipo “flat top”, etc.).

En suma, la posibilidad de implementar diferentes tecnologías permite una gran flexibilidad para diseñar un haz conformado con un perfil espacial apropiado y evitar problemas específicos en la obtención de nanopartículas. Por mencionar algunos, espejos deformables o moduladores de cristal líquido, pueden eliminar las aberraciones del sistema y obtener una focalización más precisa, lo que aumenta la fluencia y mejora la eficiencia de ablación al reducir las pérdidas de energía. Por otro lado, perfiles uniformes tipo “flat-top”, que se pueden generar con elementos estáticos refractivos o difractivos, distribuyen la energía de forma uniforme y son particularmente útiles para minimizar los daños térmicos en el material, haciendo que el proceso de fabricación de

nanopartículas sea más controlado y reproducible. Otra opción es usar (integrar) metamateriales o microlentes, que se pueden grabar directamente sobre la ventana de la cámara de ablación para generar múltiples focos.

- 5 La **FIG. 6** ilustra una realización de la cámara de ablación 10 en forma de poliedro, con cuatro ventanas situadas en las cuatro caras laterales que es compatible con cualquiera de las realizaciones previamente descritas. Este diseño se puede generalizar a otras geometrías diferentes, incluso con más caras. No obstante, hay que considerar que la complejidad para implementar la unidad de conformado se incrementa. Cada uno de los
- 10 haces 22 debe seguir un camino óptico diferente para llegar a su correspondiente ventana. En la realización mostrada, cuatro haces 22 deben incidir respectivamente en las cuatro ventanas de igual manera a como se aprecia en la perspectiva con la ventana frontal 11, y la ventana derecha 12. Esto es, a través de varias matrices de microlentes 31, cada una asociada con una cara. La cámara de ablación 10 dispone de una entrada
- 15 13 en su base superior y una salida 14 en su base inferior para acoplarse con una unidad de flujo, por ejemplo, como las ya descritas en las FIGs. 2A-2B. Dentro de la cámara de ablación 10 de una a cuatro muestras, debidamente colocadas en unos sustratos, reciben la irradiación láser inmersas en un fluido.
- 20 Las **FIGs. 7A-7B** ilustran dos momentos diferentes (FIG. 7A inicial, FIG. 7B intermedio) de una secuencia de movimiento relativo entre una ventana 11 de una cámara de ablación respecto de una matriz de microlentes 31 de una unidad de conformado. El patrón para que la irradiación no se realice siempre en los mismos puntos de la ventana y de la muestra. El sistema produce este movimiento relativo mediante un motor. Este
- 25 motor, generalmente, puede implementarse formando parte de una unidad de conformado como las descritas previamente. Mencionar que, además de matrices de microlentes 31, se pueden emplear preferentemente, lentes cilíndricas, elementos ópticos difractivos estáticos o dinámicos, elementos de óptica “free form”, metamateriales, etc. La implementación de estos elementos ópticos y su optimización
- 30 para cada laser particular requiere seleccionar tanto los parámetros de la cámara de ablación 10 (por ejemplo, el recubrimiento óptico de la ventana, la velocidad de circulación del fluido, la separación entre la ventana y la muestra, etc.) como el tipo de láser. Una posibilidad para seleccionarlos, según un ejemplo de realización, se describe a continuación.

35

Posible diseño para una unidad de conformado:

Primero, se parte de una única lente convergente con una determinada apertura numérica para enfocar el haz de láser en la muestra a través de la ventana transparente. Segundo, se aumenta la potencia del emisor láser y se analiza cómo cambia la producción de nanopartículas. En la **FIG. 8** se puede apreciar el comportamiento habitual en una gráfica que representa la producción de nanopartículas (su masa por unidad de tiempo, mg/h) frente a la fluencia (es decir, la energía entregada por unidad de superficie, J/cm²). Inicialmente, la producción de nanopartículas crece con la fluencia rápidamente, de forma casi lineal hasta aprox. 0,5 J/cm²; luego, se va ralentizando progresivamente este crecimiento. Por ejemplo, a partir de 1 J/cm², aunque se doble la fluencia, la producción casi se mantiene constante. En 0,6 J/cm² se obtiene aproximadamente el 85% de la producción máxima. Es habitual en la bibliografía definir un punto de saturación a partir de la fluencia umbral, F_{um} , como: $F_{sat} = e^2 F_{um}$, siendo $e = 2,71828...$ y F_{um} la fluencia umbral necesaria para empezar a ablacionar el material (en la gráfica, F_{um} es aprox. 0,25 J/cm²). Así, la fluencia de saturación se corresponde experimentalmente a unas 7,3 veces la fluencia umbral.

Tercero, alcanzada esta situación, se reemplaza la lente convergente por una unidad de focalización por múltiples puntos y se continúa aumentando la potencia. De esta manera, en lugar de seguir enviando más energía a un mismo punto, la energía se redistribuye entre varios puntos, lo que permite seguir aumentando la producción de nanopartículas.

Para ello, hay que analizar con qué fluencia se alcanza la saturación y, a partir de este dato y la potencia del láser, se calcula el número óptimo de microlentes según la expresión:

$$\text{Número de focos} = \frac{\text{Potencia total}}{\text{Potencia fluencia óptima}}$$

Adicionalmente, una vez escogida la matriz de microlentes, hay que comprobar la estabilidad de la ventana transparente durante el funcionamiento del sistema para evitar daños como aquellos producibles por la generación de una pluma de plasma de alta temperatura, una onda de choque, una burbuja de cavitación o una eyección de nanopartículas. Cuando el láser incide en la muestra, se excitan sus electrones y se crea un plasma denso a partir de la ionización del material de la muestra durante los primeros picosegundos. Este plasma se expande rápidamente, generando una onda de choque que se propaga a través del material de la muestra y del fluido circundante (las presiones extremas que pueden alcanzar niveles de gigapascasles). En el caso de que el fluido sea un líquido, al mismo tiempo, la intensa energía del plasma vaporiza parte del líquido, lo que da lugar a la formación de una burbuja de cavitación (que crece en

nanosegundos y colapsa en microsegundos) y libera una considerable cantidad de energía. Estos fenómenos producen presiones y temperaturas extremas y pueden dañar la ventana. Una ventana también se puede dañar si la frecuencia de repetición del láser es muy alta y calienta el material que la compone.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) para producir nanopartículas que comprende:

- una cámara de ablación (10) configurada para alojar un fluido (19) y al menos una muestra (18) inmersa en el fluido (19), donde la cámara de ablación (10) comprende al menos una ventana (11) para recibir luz láser;
- una unidad láser (20) configurada para generar un haz de luz láser (22);
- una unidad de conformado (30) configurada para transformar el haz láser (22) en al menos un haz conformado (24), donde el haz conformado (24) irradia al menos parcialmente a la muestra (18) a través de la ventana (11) siguiendo una distribución de irradiación adaptada al menos al tipo de haz de luz láser (22).

2. El sistema (100) según la reivindicación 1, donde la unidad de conformado (30) está configurada para transformar el haz láser (22) en múltiples haces conformados (24), donde cada haz conformado (24) irradia una región de la muestra (18) diferente.

3. El sistema (100) según la reivindicación 2, donde la unidad de conformado (30) y la unidad láser (20) están controladas por una unidad de control (60) de forma que el haz conformado (24) irradia cada región de la muestra (18) con un valor de fluencia menor que la fluencia de saturación.

4. El sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde la unidad de conformado (30) comprende un modulador espacial de luz (34) para variar la amplitud, la fase y/o la polarización del haz de luz láser (22).

5. El sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde la unidad de conformado (30) comprende al menos uno de los siguientes elementos ópticos estáticos (37): una lente cilíndrica, una matriz de microlentes (31), un elemento óptico difractivo (36), un holograma, un elemento refractivo freeform y/o metamateriales.

6. El sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende una unidad de flujo (40) configurada para introducir fluido (19) en la cámara de ablación (10) mediante una entrada (13) en dicha cámara de ablación (10) y generar un flujo de fluido alrededor de la muestra (18).

5

7. El sistema (100) según la reivindicación 6, donde el fluido (19) es un líquido y el dispositivo para generar un flujo (40) comprende una bomba hidráulica (43) y una conexión para recircular el fluido (19) desde la salida (13) hacia la entrada (11) de la cámara de ablación (10) a través de la bomba hidráulica (43).

10

8. El sistema (100) según la reivindicación 6, donde el fluido (19) es un gas y la unidad de flujo (40) comprende un compresor (41) y una conexión (42) para introducir el fluido (19) en la entrada (11) de la cámara de ablación (10), donde la salida (13) de la cámara de ablación (10) está conectada con un dispositivo de recogida (50) de nanopartículas.

15

9. El sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde la unidad de conformado (30) comprende un motor (31) y/o un sistema galvanométrico configurado para producir un movimiento relativo entre la cámara de ablación (10) y el haz conformado.

20

10. El sistema (100) según la reivindicación 7, donde el movimiento relativo entre la cámara de ablación (10) y el haz conformado comprende un patrón de barrido de la ventana (12) por el haz conformado.

25

11. El sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, donde la ventana (11) de la cámara de ablación (10) incluye un grabado para generar múltiples haces secundarios (31).

30

12. El sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, donde la cámara de ablación (10) comprende al menos una ventana adicional (12), donde la

35

unidad de conformado (30) está configurada para generar un segundo haz conformado y, simultáneamente a través de la ventana adicional (12), irradiar una segunda región de la muestra (18) o irradiar a una segunda muestra.

5

13. El sistema (100) según una de las reivindicaciones anteriores 1 a 12, donde la orientación de la cámara de ablación (10) está configurada para alojar la muestra en una posición vertical, recostada o inclinada.

10

14. El sistema (100) según una de las reivindicaciones anteriores, donde la unidad láser (20) está configurada para emitir, durante un intervalo de tiempo, el haz de láser en modo pulsado o continuo, y modificar la frecuencia, la longitud de onda y/o la potencia.

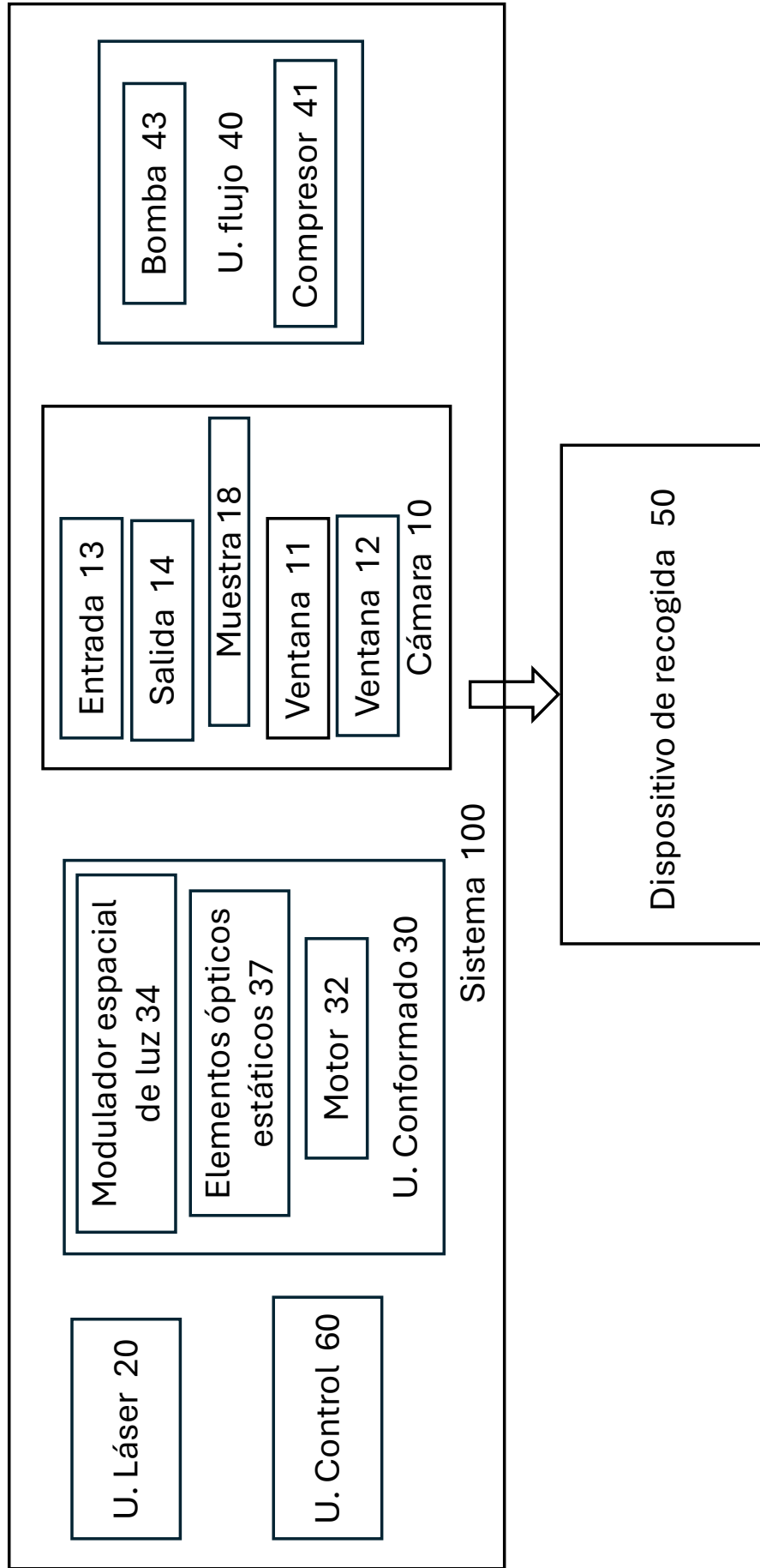


FIG. 1

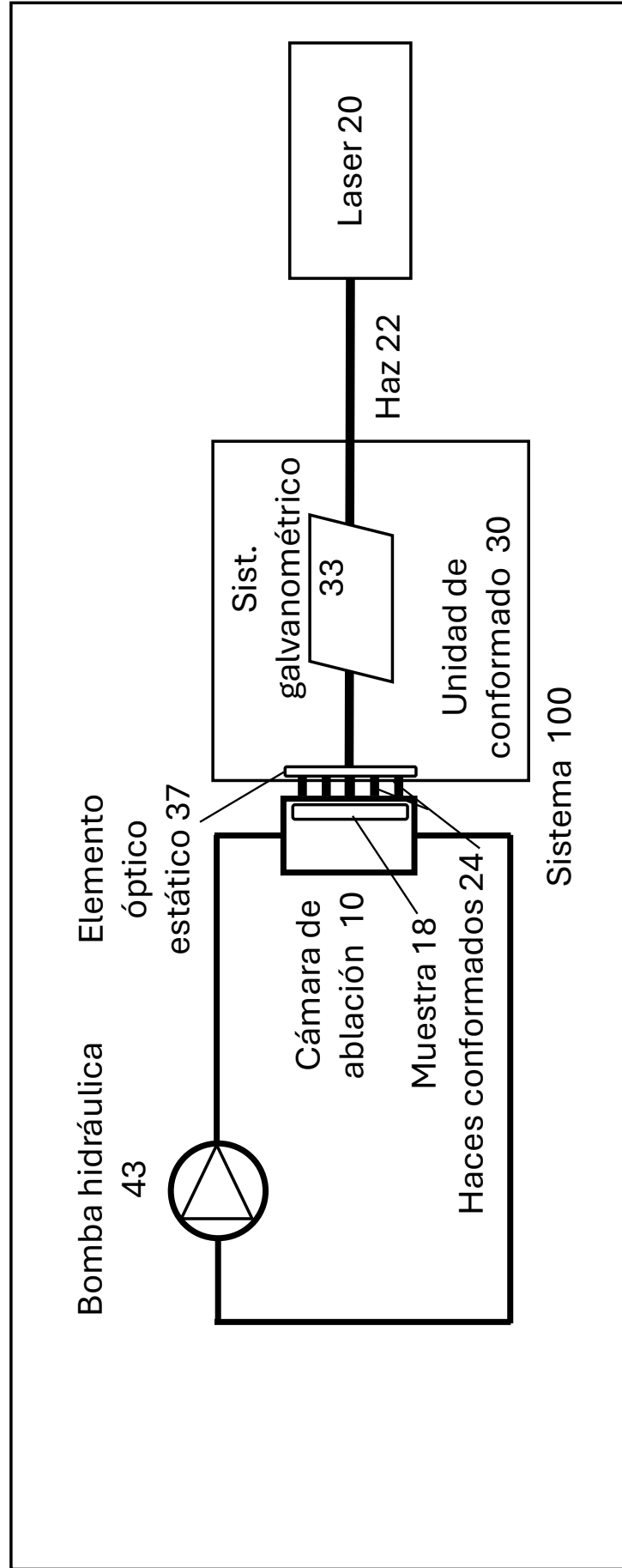


FIG. 2A

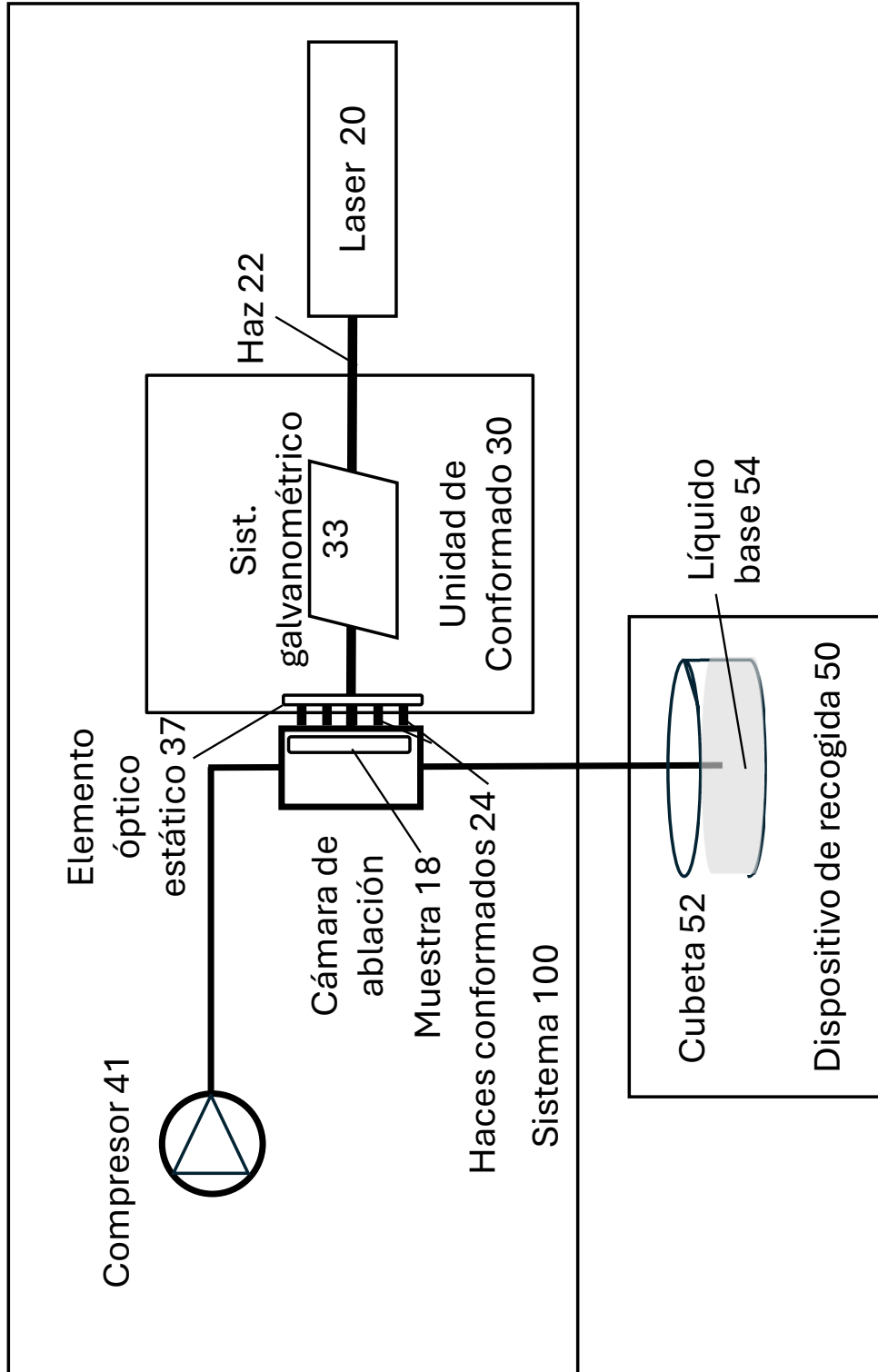


FIG. 2B

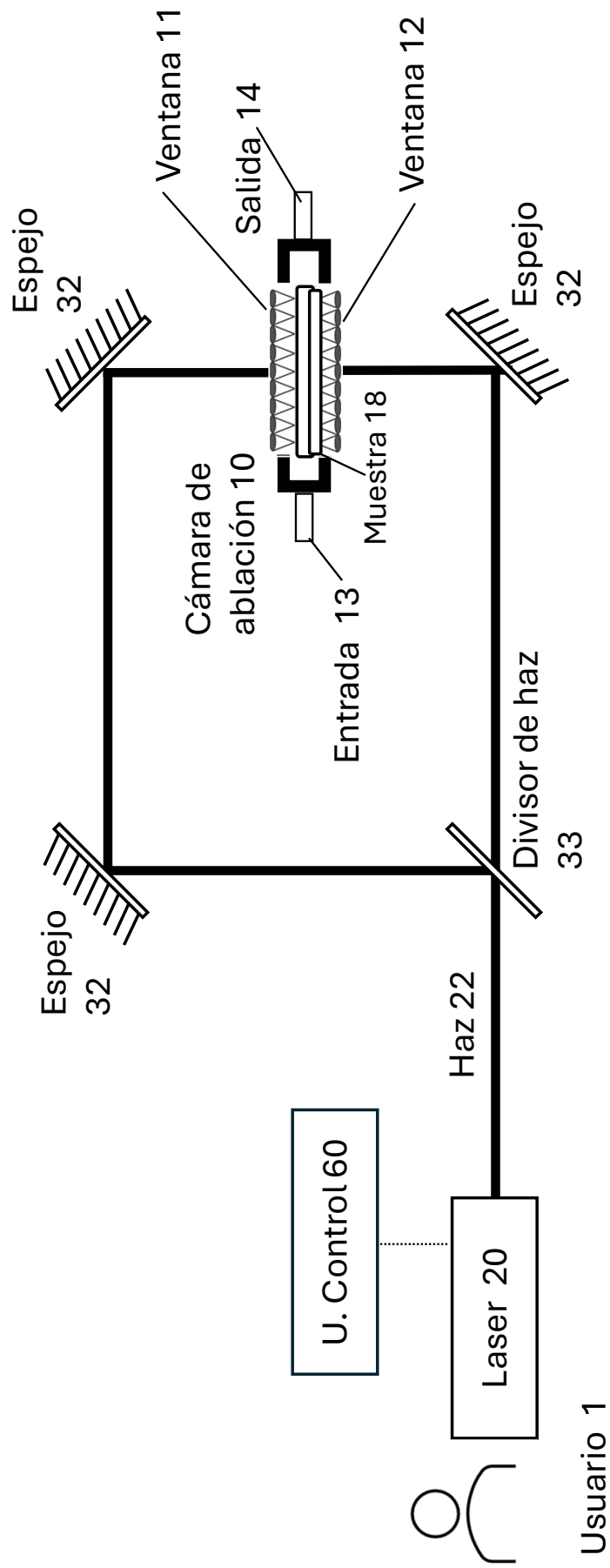


FIG. 3A

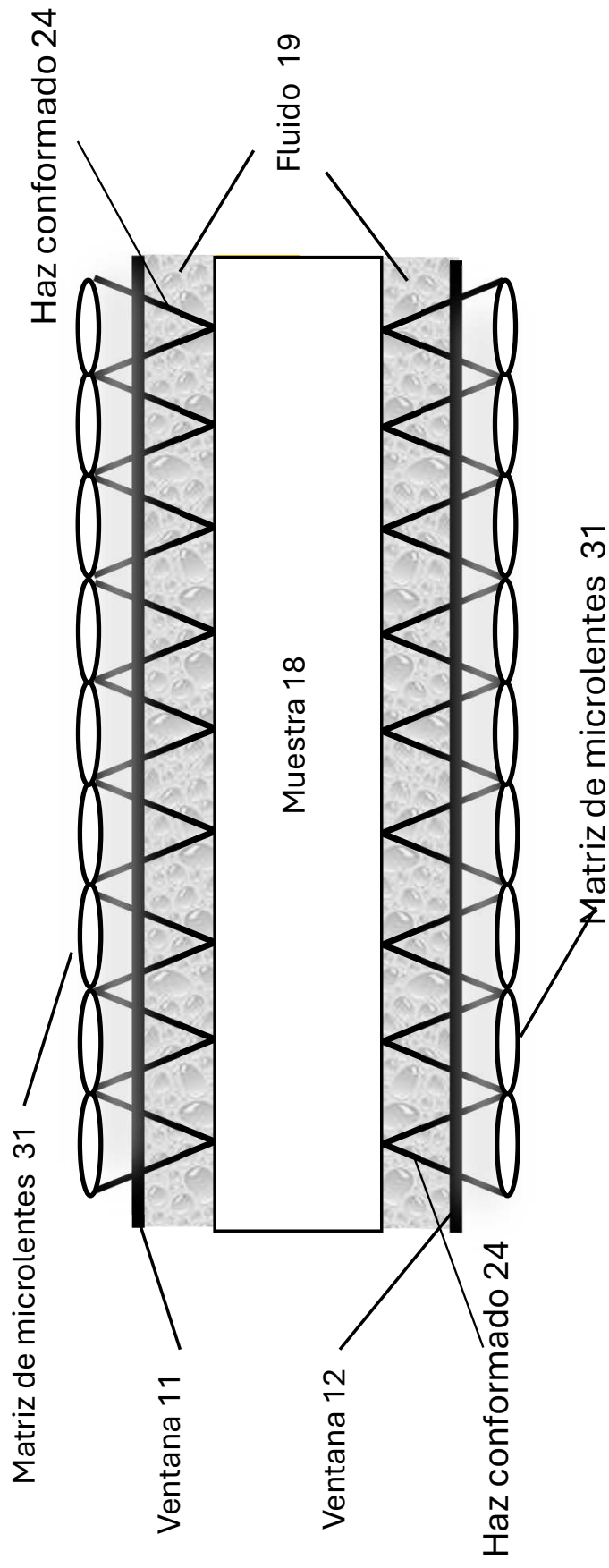


FIG. 3B

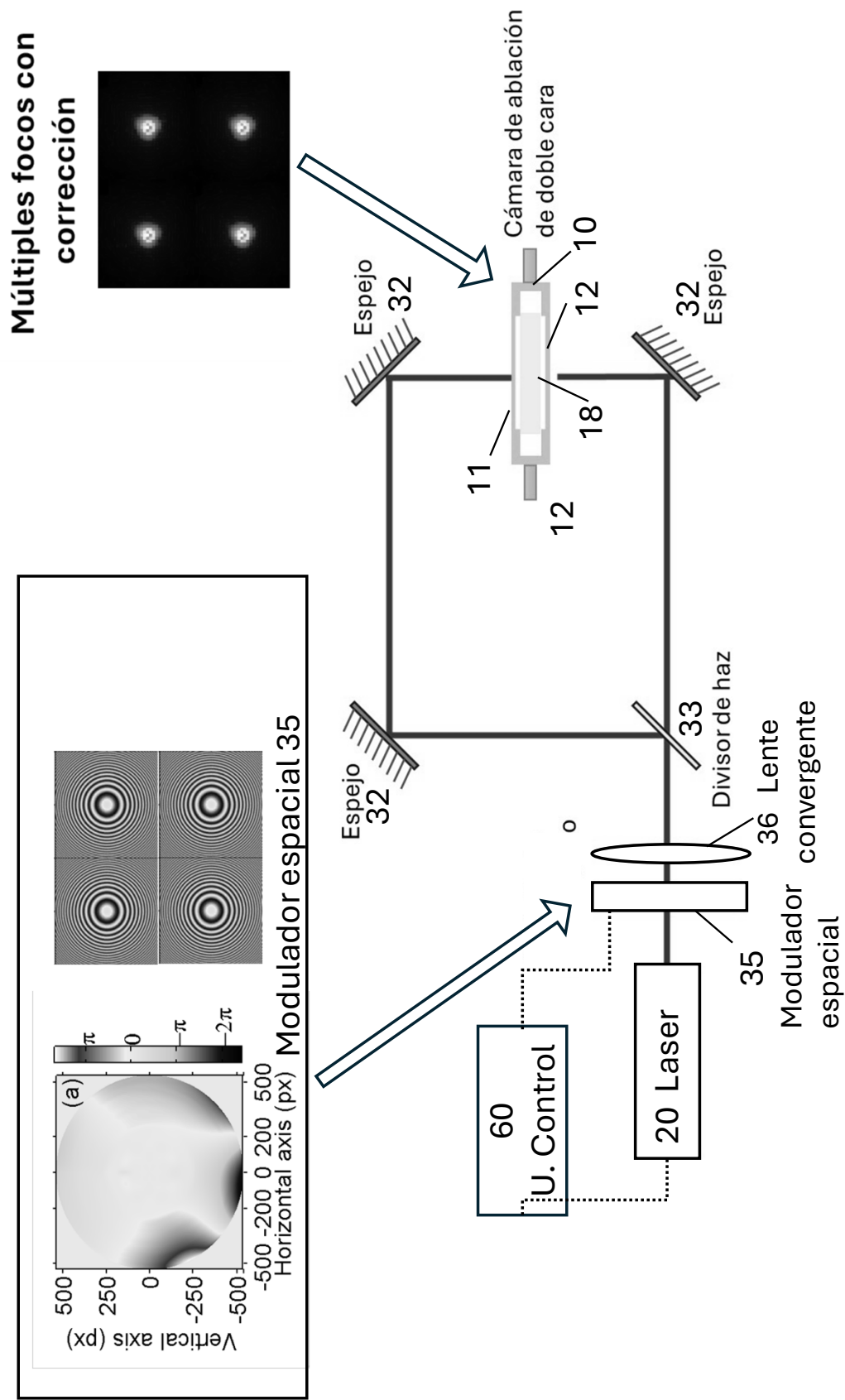


FIG. 3C

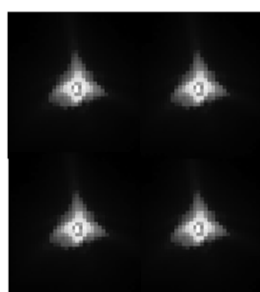


FIG. 4C



FIG. 4D

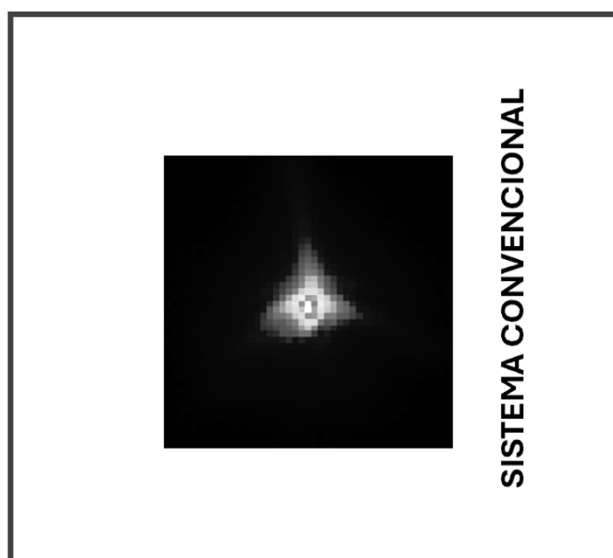
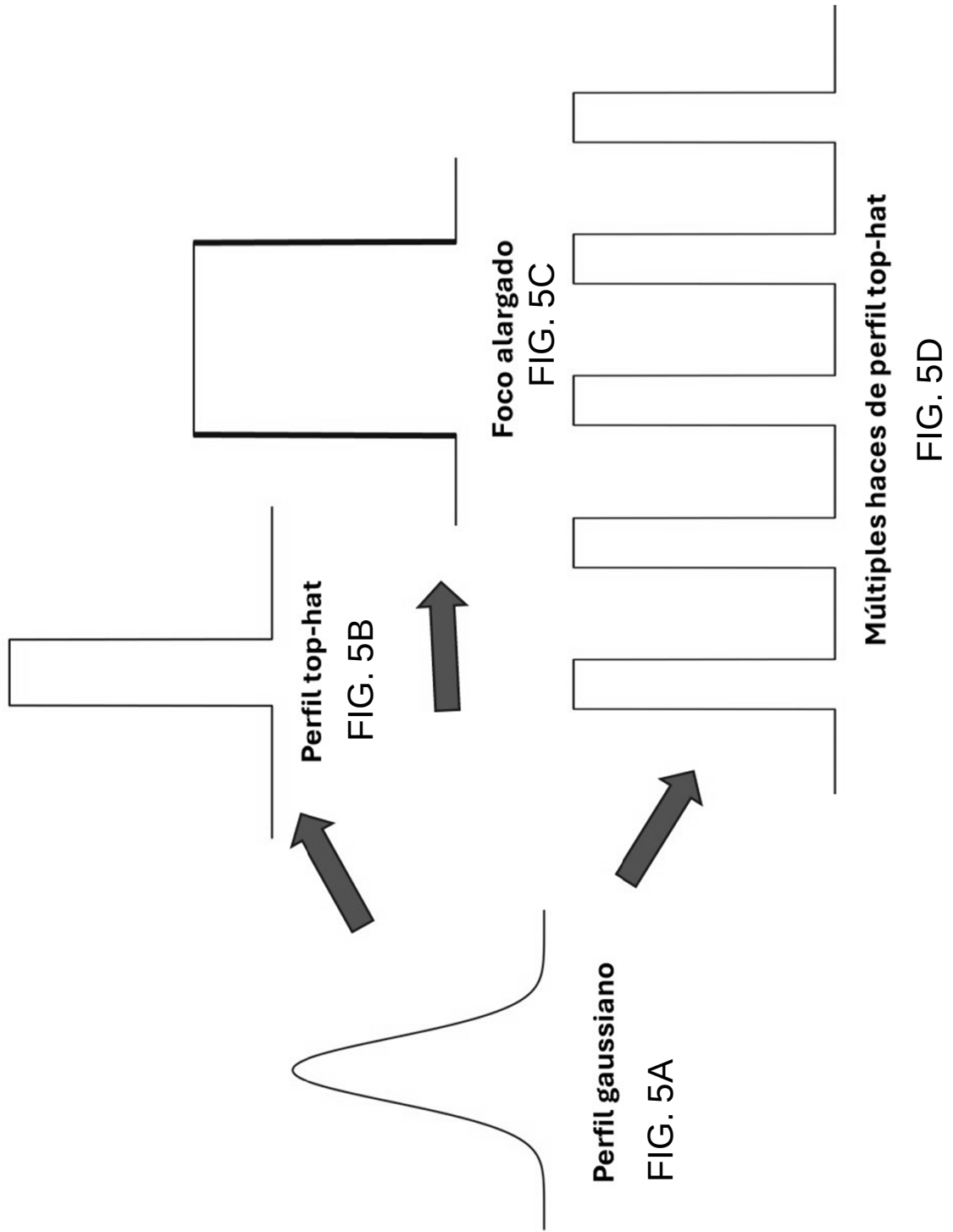


FIG. 4A



FIG. 4B



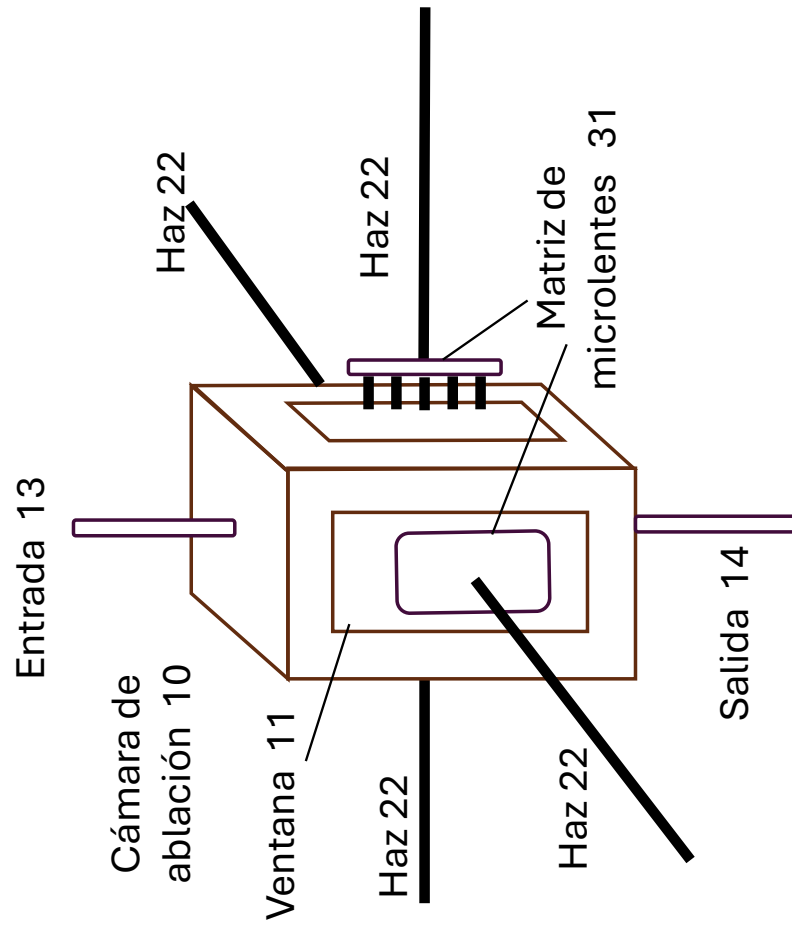


FIG. 6

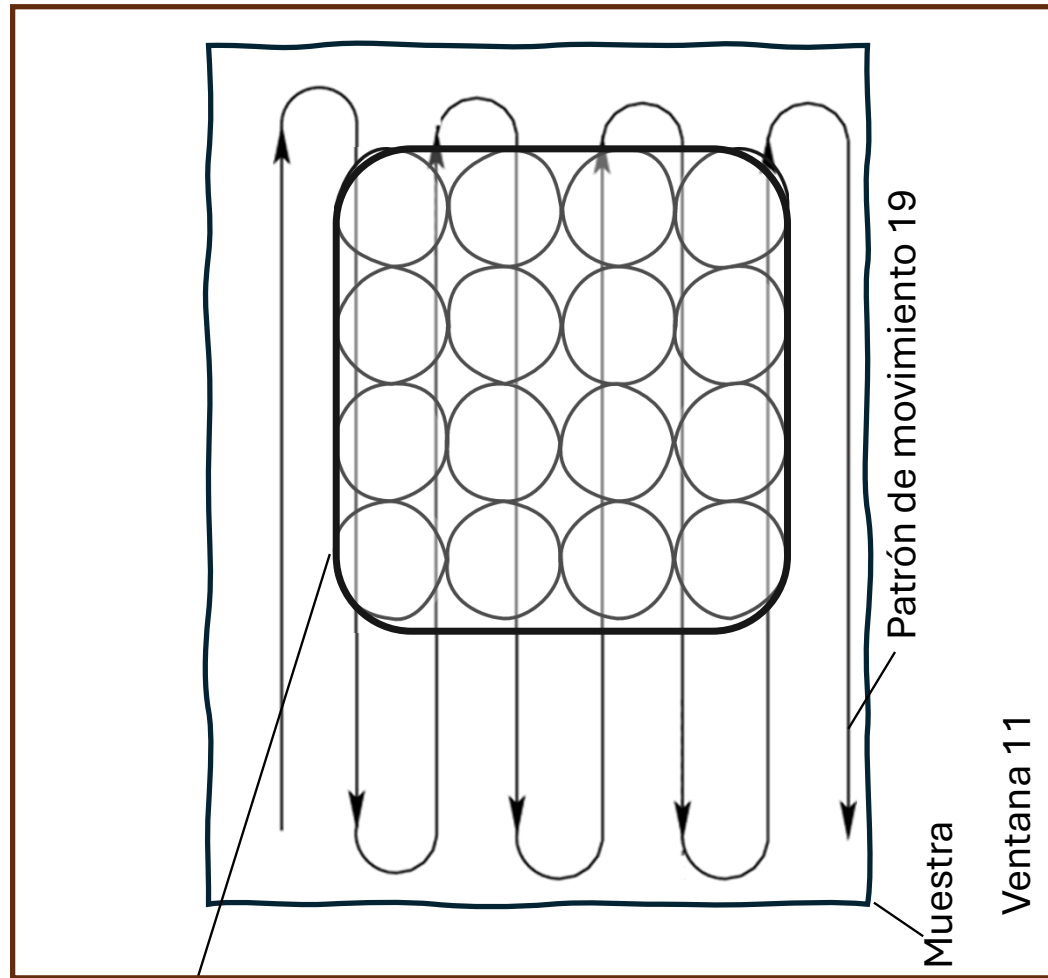


FIG. 7A

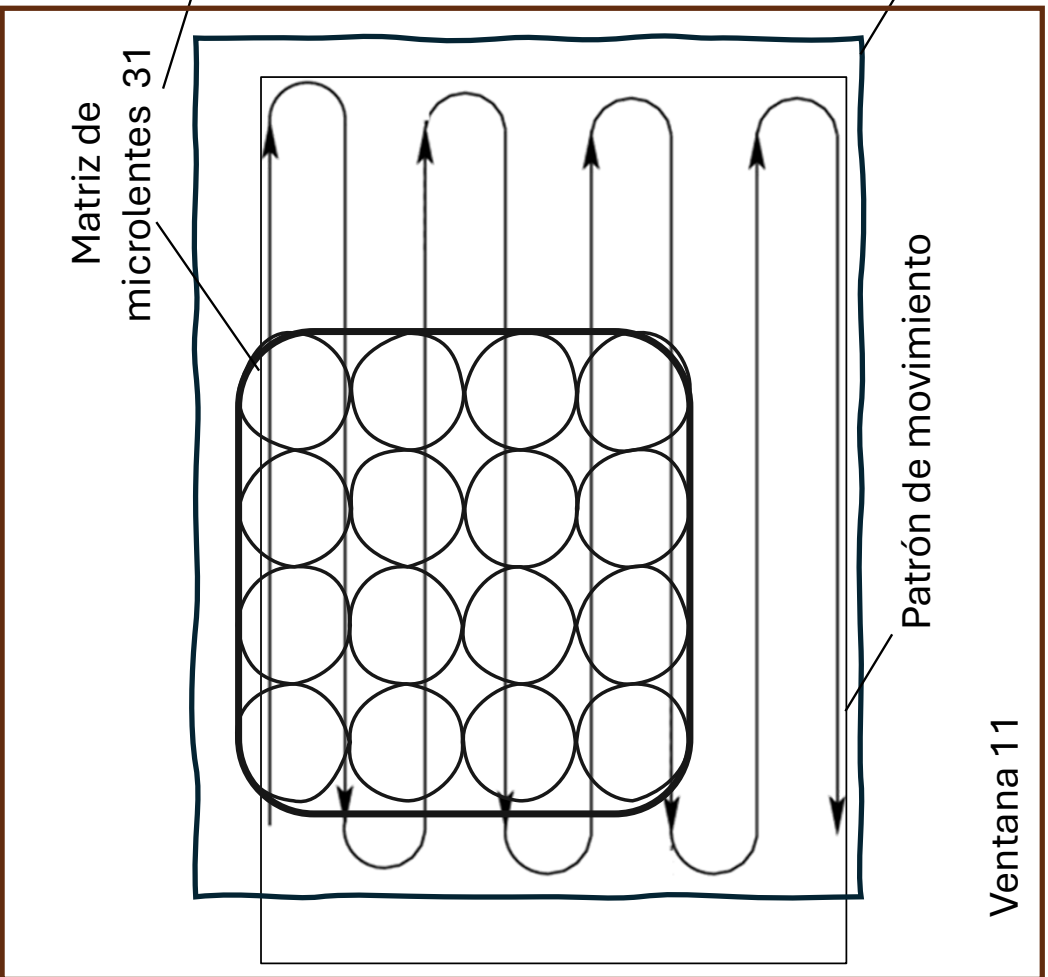


FIG. 7B

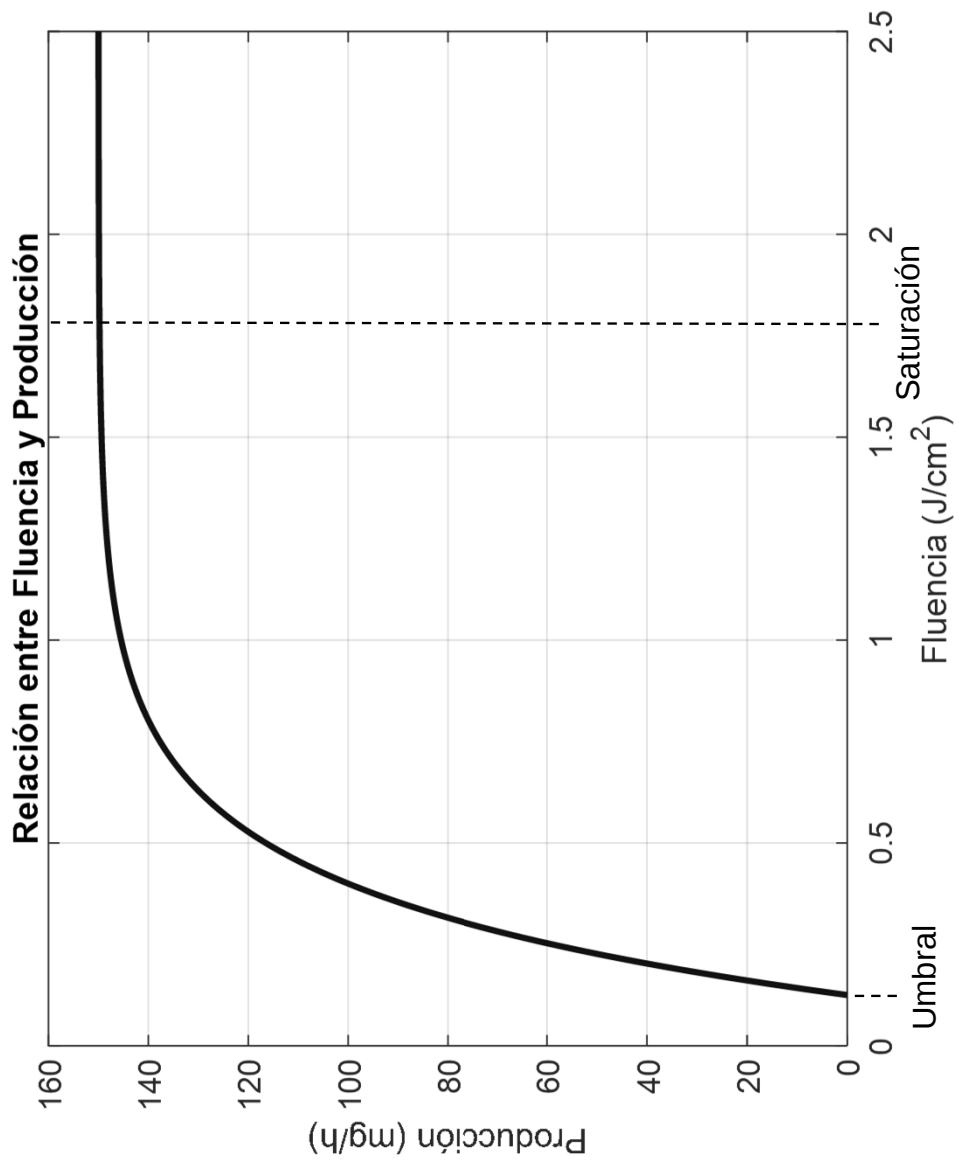


FIG. 8



- 21 N.º solicitud: 202431114
- 22 Fecha de presentación de la solicitud: 30.12.2024
- 32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

51 Int. cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 2011196044 A1 (HU ZHENDONG et al.) 11/08/2011, Párrafos [0001] a [0036]; Figuras	1-14
A	US 2016236296 A1 (TAN SHAN-WEN) 18/08/2016, Párrafos [0001] a [0042]; Figuras	1-14
A	US 2013320595 A1 (NAGARE SANSHIRO) 05/12/2013, Párrafos [0001] a [0101]; Figuras	1-14
A	US 2009246530 A1 (MURAKAMI MAKOTO et al.) 01/10/2009, Párrafos [0001] a [0098]; Figuras	1-14
A	EP 3056300 A1 (GOLD NANOTECH INC) 17/08/2016, Párrafos [0001] a [0023]; Figuras	1-14
Categoría de los documentos citados X: de particular relevancia Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría A: refleja el estado de la técnica O: referido a divulgación no escrita P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud		
El presente informe ha sido realizado ☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:		
Fecha de realización del informe 24.04.2025	Examinador R. Olivares Gómez	Página 1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

B02B3/00 (2006.01)
B23K26/00 (2014.01)
B23K26/12 (2014.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B02B, B23K

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, Google Patents