

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 659**

21 Número de solicitud: 201830422

51 Int. Cl.:

**B01J 19/10** (2006.01)

**B05B 17/06** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**27.04.2018**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**05.06.2019**

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT D'ALACANT / UNIVERSIDAD DE  
ALICANTE (100.0%)  
CARRETERA SAN VICENTE DEL RASPEIG, S/N  
03690 SAN VICENTE DEL RASPEIG (Alicante) ES**

72 Inventor/es:

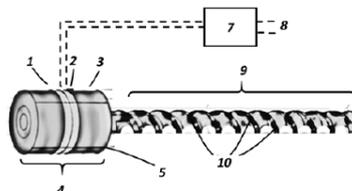
**NAVARRO BRULL, Francisco José y  
GÓMEZ TORREGROSA, Roberto**

54 Título: **REACTOR CAPILAR CON ULTRASONIDOS**

57 Resumen:

La presente invención se refiere a un reactor capilar con ultrasonidos de alta y baja potencia dotado de al menos una sonda mecanizada helicoidal que homogeniza el campo acústico mediante diversos modos de vibración longitudinal, radial y torsional, y frecuencias de excitación, donde la sonda está unida a un transductor y permite el alojamiento de al menos un tubo capilar de reacción, así como de un tubo secundario para el control de la temperatura; de tal manera que esta configuración habilita el trabajo en continuo y/o oscilatorio en procesos químicos o físicos de cristalización permitiendo el manejo de sólidos y/o la mejora de mezclas heterogéneas, gas-líquido-sólido, en tubos capilares de diámetro y longitud variables con un control de temperatura óptimo.

FIG.1



## DESCRIPCIÓN

5 Reactor capilar con ultrasonidos

### CAMPO DE LA INVENCION

10 El reactor capilar con ultrasonidos de la presente invención es un dispositivo que consiste en un tubo capilar situado en una sonda de forma helicoidal que homogeneiza el campo acústico generado a lo largo del tubo capilar sin la aparición de nodos/antinodos longitudinales, de tal manera que se consigue sonicar un reactor capilar de forma homogénea y con un control de temperatura del mismo.

15 El campo de aplicación de la presente invención es el sector industrial relacionado con los reactores aplicados principalmente en la farmaquímica o química médica, y en la sonoquímica, de manera que la invención está destinada a habilitar el trabajo en continuo en procesos químicos o físicos (cristalización) permitiendo el manejo de sólidos y/o la mejora de mezclas heterogéneas (gas-líquido-sólido) en tubos capilares  
20 de diámetro y longitud variables con control de temperatura óptimo.

### ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

25 La miniaturización de tamaño de los reactores químicos convencionales ofrece a la industria de química fina mejor control sobre la reacción y mayor eficiencia, permitiéndole avanzar hacia el trabajo en continuo en lugar de discontinuo. Cuando el diámetro del reactor se reduce al orden de milímetros, las elevadas razones de superficie/volumen del reactor permiten el control de reacciones químicas complejas y/o altamente exotérmicas. Sin embargo, la presencia de sólidos limita la vida útil de  
30 estos sistemas miniaturizados de reacción, también denominados reactores capilares, mili- o microrreactores. Las partículas sólidas del catalizador, los reactivos sólidos o subproductos de reacción dificultan el manejo de un reactor con estas dimensiones y condiciones de operación. La formación de agregados de partículas puede causar la obstrucción del reactor capilar, tanto a escala de laboratorio como en síntesis  
35 industrial, limitando la implementación de estos sistemas.

La sonicación es conocida como el acto de aplicar la energía del sonido para agitar las partículas de un elemento concreto y, de acuerdo a la presente invención, la aplicación de un campo acústico puede ayudar a la dispersión y desagregación de partículas. La  
5 vibración de las superficies de reacción se obtiene por transmisión directa con equipos dotados con transductores piezoeléctricos unidos a sondas de diferentes geometrías y/o materiales, por ejemplo, sonda de ultrasonidos, así como por transmisión indirecta mediante baños de ultrasonidos. El campo acústico en los dispositivos de alta potencia de ultrasonidos puede generar, por tanto, cavitación tanto en el medio de reacción  
10 como en el líquido de transmisión utilizado. Hasta el momento, a escala industrial, se han utilizado ultrasonidos de alta potencia para diversas aplicaciones que incluyen desde la limpieza a la emulsificación u homogeneización, entre otras [*Power Ultrasonics book, 2015*]. El control del campo acústico y sus beneficios es función de la amplitud y longitud de la onda generada por el transductor, la geometría del medio  
15 sonificado y la onda estacionaria generada en el mismo.

Los transductores de ultrasonidos de alta potencia pretensados tipo Langevin son comúnmente utilizados en la industria debido a su alta eficiencia, diseño específico de frecuencias con banda estrecha o también como parte activa de los baños y sondas de  
20 ultrasonidos. Su diseño más fundamental se basa en uno o más discos piezoeléctricos pretensados mediante piezas metálicas y tornillo central. Los transductores de Langevin actúan como estructuras en resonancia que vibran en su dirección axial o longitudinal y respetan las longitudes físicas (longitudes de onda) impuestas por la velocidad de sonido de los materiales empleados, así como su frecuencia de trabajo  
25 en resonancia. Los sonotrodos o bocinas de ultrasonidos acoplan sondas para amplificar y dirigir la energía acústica a las zonas de interés. La configuración más común de un sonotrodo es la de un transductor Langevin, como parte activa y una barra o sonda de titanio en su parte frontal que reduce su área transversal para incrementar la amplitud de la vibración longitudinal.

30

La incorporación de ranuras helicoidales o diagonales alrededor de la parte frontal del transductor (acoplador) transforma de forma parcial el movimiento longitudinal en torsional. Esta aplicación se puede encontrar en sondas de ultrasonidos y dispositivos quirúrgicos ya que logra añadir un movimiento de rotación en herramientas de corte.

35

Los dispositivos convencionales de ultrasonidos citados presentan una serie de problemas. La respuesta de las sondas de ultrasonidos muestra nodos periódicos y antinodos a una distancia establecida (longitud de onda), lo que hace que el sistema no vibre de forma homogénea en todos sus puntos. El comportamiento de estas ondas estacionarias puede ser parcialmente modificado con la apropiada selección del material (velocidad de sonido), forma de la sonda y frecuencia de trabajo. En cualquier caso, las fuerzas de radiación acústica transmitidas al medio sonificado están limitadas debido a esta falta de homogeneidad de desplazamiento. Además, las aplicaciones de ultrasonidos de alta potencia, normalmente en el rango de 20 kHz, presentan longitudes de onda más largas y las ondas estacionarias generan un campo acústico aún menos homogéneo. Igualmente, los baños de ultrasonidos comerciales utilizados en reactores capilares, mostrarán siempre distribuciones significativamente desiguales debido a los antinodos del campo de presión acústica en el medio líquido.

La presente invención surge porque no existen soluciones prácticas que logren sonicar un reactor capilar de forma homogénea y con control de temperatura. Únicamente el uso de varios transductores a lo largo de la zona de interés o la transmisión indirecta mediante un líquido [*Hielscher GDmini2-Ultrasonic Inline Micro-Reactor*] se puede considerar como soluciones parciales. El inevitable aumento local de temperatura del medio de transmisión debido a pérdidas de fricción mecánica en los puntos de unión de varios transductores a lo largo del reactor inhabilita su uso en química fina. Por otro lado, la eficiencia y escalabilidad de los baños de ultrasonidos está limitada por las pérdidas de energía acústica debidas a la diferencia de impedancias entre el líquido de transmisión y el material del capilar, a la no homogeneidad del campo acústico y a fenómenos de cavitación en la zona no deseada o externa al medio.

También se considera oportuno señalar que se conoce lo divulgado en el documento "*Continuous contact- and contamination-free ultrasonic emulsification. A useful tool for pharmaceutical development and production*" de Freitas et al., donde se describe un aparato que comprende un transductor de ultrasonidos de potencia destinado a la obtención de nanogotas de una emulsión acuosa, que tiene una configuración diferente a la de la presente invención haciendo uso de un tubo encamisado y que, entre otros aspectos, presenta el inconveniente de no tomar medidas para evitar el efecto de los nodos de las ondas sonoras generadas al realizar la sonicación mediante un medio acuoso.

En este sentido, también es conocido lo divulgado en el documento “*A design Approach for longitudinal-torsional ultrasonic transducers*” de Al Budairi et al., donde se describe una geometría de un sonotrodo macizo con un mecanizado helicoidal superficial que persigue mejorar el campo generado; o lo divulgado en el documento  
5 “*Efficient production of hybrid bio-nanomaterials by continuous microchannel emulsification: Dye-doped SiO<sub>2</sub> and Au-PLGA nanoparticles*” de Larrea et al., donde se compara un sistema micromezclador con una emulsificación por ultrasonidos con una bocina acoplada a un transductor y un tubo capilar en espiral a posteriori, y donde no  
10 hay mecanización en el cuerpo del sonotrodo para mejorar el campo acústico; no obstante, ninguno de estos documentos presenta o sugiere solución alguna al inconveniente de control de la reducción de nodos y antinodos, comprenden estructuras rígidas que no permite tener versatilidad ni la superposición de tubos capilares sobre una sonda, y tampoco toman medidas para evitar el efecto de los  
15 nodos de las ondas sonoras generadas.

En consecuencia, continúa existiendo la necesidad de desarrollar un reactor acústico capilar que vibre de forma homogénea, eficiente, sea fácilmente escalable para grandes longitudes de reacción, que permita un control de temperatura preciso al  
20 aumentar la separación promedio entre el transductor y la sonda, y que consiga anular los nodos y antinodos que el proceso de sonicación provoca en una mezcla durante su preparación en un tubo capilar.

#### EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

25

El dispositivo consiste en un tubo capilar situado en una sonda de forma helicoidal que homogeniza el campo acústico generado a lo largo del tubo capilar sin la aparición de nodos/antinodos longitudinales.

30

La sonda helicoidal está fundamentalmente comprendida por un cilindro recto, también conocido como cuello, unido a una o varias hélices, también conocidas como labios, a una distancia o ángulo constante o variable.

35

El sonotrodo completo está formado por una serie de transductores piezoeléctricos apilados y unidos a la sonda de material sólido que, con su mecanizado de forma

5 helicoidal, actúa como guía de onda, generando vibraciones longitudinales, radiales y torsionales al tubo capilar de forma homogénea. Las frecuencias de la corriente alterna que excitan a los actuadores piezoeléctricos se corresponde a las habituales usadas en ultrasonidos de potencia (~20-500 kHz) y puede ser ajustada para trabajar a las frecuencias de resonancia del ensamblaje, maximizando así su eficiencia energética y admitiendo diversos modos de vibración (longitudinal, radial y torsional) u operación (sonicación continua, modular o por pulsos).

10 La superficie externa de la hélice puede ser utilizada para alojar el tubo de reacción, que recibe energía acústica de forma eficiente en dirección longitudinal, radial y/o torsional.

15 La sonda de forma cilíndrico-helicoidal actúa como guía de onda y distribuye el campo acústico de forma pseudo-homogénea. A partir de aquí, este diseño permite configuraciones más complejas; incrementando el número de transductores, número de sondas o añadiendo formas secundarias a la sonda mediante el rizado o plegado sobre sí misma, u otras posibilidades.

20 La parte interior o superficie libre de la sonda helicoidal puede ser utilizada para el control de la temperatura o para albergar un tubo de reacción adicional. Esta disposición confiere a la invención una serie de ventajas:

- 25 • La distribución homogénea del campo acústico elimina la limitación impuesta por las ondas estacionarias longitudinales, incluso a bajas frecuencias de ultrasonidos (~20-40 kHz).
- 30 • La transmisión directa sólido-sólido-fluido de la potencia acústica al líquido contenido en el tubo capilar permite el uso de diferentes diámetros y longitudes. La vibración es transmitida por el material sólido de la sonda, generalmente metálico, lo que reduce pérdidas por atenuación y habilita la sonicación eficiente en sondas de gran longitud, en el orden de metros, con una extensa superficie útil.
- 35 • La eficiencia del diseño permite operar tanto a baja potencia, obteniendo solo beneficios mecánicos como la eliminación de obstrucciones por vibración sin

- 5 complicaciones derivadas del aumento de temperatura, o a elevadas potencias de ultrasonidos, de cavitación y sonoquímica. Así, la energía acústica puede ser usada para favorecer diversos procesos fisicoquímicos como el mezclado en medios de una o varias fases con o sin cavitación y/o para reducir las limitaciones del manejo de sólidos en suspensión, mitigando o eliminando posibles obstrucciones.
- 10 • El aislamiento del sonotrodo del medio de reacción evita la contaminación por metales debida a la erosión por cavitación si, por ejemplo, se usa un tubo capilar de vidrio, como pueda ser el de borosilicato; materiales metálicos como el acero inoxidable o cobre; o materiales poliméricos inertes como puede ser el politetrafluoroetileno (PTFE), el Perfluoroetileno/propileno (FEP), Perfluoroalcoxialcanos (PFA), Perfluoroalcoxialcanos (MFA), el Fluoruro de polivinilo (PVF) o Polietereetercetona (PEEK).
  - 15 • Las elevadas razones de superficie/volumen del capilar permiten un control óptimo de la temperatura del reactor usando ventilación forzada o un tubo secundario térmico en contacto con la sonda.
  - 20 • La distancia de separación entre el transductor piezoeléctrico y el medio sonificado minimiza la transferencia de calor pudiendo además, amplificar la potencia recibida mediante cambios de sección transversal de la sonda.
  - 25 • El diseño de la sonda admite además un transductor adicional en el extremo libre de la sonda para excitación a frecuencias secundarias o recuperación de energía.
  - 30 • La disposición helicoidal de la sonda puede ser longitudinal, plegada, rizada o adaptada a diferentes formas para reducir el espacio ocupado por el reactor. Un mismo transductor puede emitir a una pluralidad de sondas con forma helicoidal.
  - 35 • La excitación de los piezoeléctricos a diversas frecuencias resonantes permite al reactor operar con casos límites de diseño helicoidal ajustándose a varios requerimientos acústico-mecánicos. El uso de varios modos de vibración longitudinal admite desde un diámetro del eje central (cilindro o cuello) reducido

al mínimo, formando una hélice, hasta un diámetro del eje que iguale al diámetro de la hélice externa, formando un cilindro.

- 5 • Los extremos de la sonda pueden ser utilizados para albergar racores, uniones en T y/o dispositivos de mezcla. Se pueden utilizar sistemas de anclaje u unión roscada que pueden ser utilizados de tal forma que los beneficios aportados por la sonicación se propaguen también a dichos dispositivos.
- 10 • Los tubos capilares o de tamaño reducido permiten albergar a su vez tubos concéntricos interiores para llevar a cabo reacciones tubo-en-tubo.
- Los tubos capilares pueden estar ubicados sobre la superficie útil exterior de la hélice de la sonda, o pueden ir albergados, protegidos o embebidos en su interior.

15

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

20 Figura 1. Vista en perspectiva de la invención, con el sonotrodo con sonda y onda de guía helicoidal que homogeniza el campo acústico transformando las vibraciones longitudinales en radiales y de torsión.

25 Figura 2. Vista en perspectiva de un sonotrodo con capilar alojado en una mecanización simplificada de la sonda junto a la representación de modos de vibración longitudinal y radial.

Figura 3. Detalle y vista lateral con ejemplo de aplicación de la sonda helicoidal con tubo capilar.

30 Figura 4. Detalle la sonda helicoidal y parámetros de diseño divididos por sus elementos fundamentales.

Figura 5. Detalle de los modos de vibración, longitudinal (L), radial (R) y torsional (T) en el sonotrodo que homogenizan el campo acústico a lo largo del capilar

35

Figura 6. Vista en perspectiva libre de los componentes de una realización de un

reactor ultrasónico capilar.

Figura 7. Vista en perspectiva libre de los componentes de una realización de un reactor ultrasónico capilar donde se observa que la sonda se pliega y riza sobre sí misma.

Figura 8. Vista en perspectiva libre de los componentes de una realización de un reactor ultrasónico capilar con un segundo transductor de ultrasonidos en el extremo final de la sonda.

10

#### EXPOSICIÓN DETALLADA DE MODOS DE REALIZACIÓN

Las Figuras 1 y 2 muestran una realización preferida del reactor capilar con ultrasonidos, que comprende fundamentalmente un transductor de ultrasonidos de potencia (4), también conocido como bocina de ultrasonidos, formado por una pluralidad (preferentemente 1 o 2 pares) de elementos piezoeléctricos en forma de anillo (2) que están sujetos por un tornillo y tuerca de compresión a una parte trasera (1) y delantera (3) que vibran en resonancia, respetando la mitad de longitud de onda del conjunto y transformando la energía eléctrica (8) mediante un sistema de control (7) que modifica la frecuencia y amplitud de la señal. La sonda (9), realizada típicamente en una aleación de titanio o material resistente a la fatiga, presenta elementos helicoidales que aumentan la homogeneidad del campo acústico como se aprecia en los nodos y antinodos marcados como zonas claras y oscuras (10), respectivamente. En la Figura 2 se presenta uno de los casos límite de diseño helicoidal de la sonda, que alcanza una geometría cilíndrico-helicoidal (6) junto a un acoplador mecánico (5) de ángulo recto.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo detallado de sonda (9) helicoidal con tubo capilar de reacción (12), donde una geometría alabeada engendrada por una superficie tipo hélice (11) se desarrolla apoyándose en un eje cilíndrico (15). Esta forma proporciona homogeneidad del campo acústico y otorga flexibilidad a la sonda. El tubo capilar (12) está firmemente alojado longitudinalmente a una cavidad mecanizada en la superficie útil de la hélice (11), entendiéndose como alojado la posibilidad de estar unido, apoyado, adherido, embebido o protegido.

35

El diseño de la sonda (9) helicoidal presenta los elementos fundamentales que se detallan en la Figura 4, donde el eje cilíndrico (15) y la hélice (11) se presentan de forma separada. Las características, como diámetro externo (32) e interno (35), número, paso (34) y forma (33) de los elementos tipo hélice (11), pueden ser  
5 diseñados para ajustarse a diversos modos de funcionamiento acústico (frecuencia única o multifrecuencia), así como para la mejora de propiedades acustomecánicas.

Volviendo a la Figura 2, nos volvemos a referir al caso límite de diseño helicoidal de la sonda (9), cuando esta tiene una configuración cilíndrico-helicoidal (6) junto a un  
10 acoplador mecánico (5) de ángulo recto. El otro caso extremo correspondería a una sonda con forma de hélice. En ambos casos, las vibraciones transmitidas a un tubo capilar son principalmente longitudinales debido a la geometría y sección transversal homogénea de la sonda. El gráfico mostrado en la figura 2 ilustra como el diámetro externo de la sonda debe ser aproximadamente de un cuarto de la longitud de onda  
15 característica del material para reducir la complejidad del campo acústico generado por el transductor (4). La longitud de onda depende a su vez de la velocidad de propagación de la vibración y frecuencia aplicada. Esta distribución nodal longitudinal genera un patrón de presiones máximas y mínimas bien definidas que, por ejemplo, desplaza partículas de manera similar a un bombeo peristáltico. Mediante variaciones  
20 en la frecuencia y/o la temporización-duración de la señal aplicada al transductor (4) se puede redistribuir el campo acústico y evitar así el bloqueo o atascamiento del capilar.

Como se aprecia mejor en la Figura 5, el tubo capilar (12) se aloja longitudinalmente  
25 en la sonda helicoidal a través de una cavidad mecanizada en la superficie que transmite las vibraciones con diversos modos de vibración: torsional (16 - T), longitudinal (17 - L) y radial (18 - R), que logran homogenizar el campo acústico recibido por el capilar. La transmisión de ultrasonidos puede ser favorecida mediante el uso de soldaduras, resinas o adhesivos que reduzcan el cambio de impedancia  
30 acústica y/o aporten rigidez a la unión.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el uso de elementos helicoidales mostrados en la Figura 1, 3, y 5 producen una distribución más homogénea del campo acústico eliminando la limitación impuesta por las ondas estacionarias longitudinales al  
35 trabajar a bajas frecuencias no variables de ultrasonidos (~20-40 kHz). Mayores

frecuencias de trabajo reducirán la longitud de onda, homogeneizando también el campo acústico, pero presentando problemas de eficiencia energética debido a la alta atenuación sufrida.

5 A título de ejemplo, en el contexto de la presente invención se ha descubierto una sonda de acero endurecido adecuada con hendiduras helicoidales (14) de 5 mm de profundidad, 45° de ángulo constante y un paso de 20 mm a un cilindro con diámetro exterior de 12 mm, tal como se representa en la Figura 3. Esta sonda acoplada a un transductor proporciona una vibración homogénea a un reactor capilar de, al menos,  
10 500 mm de longitud y 1.6 mm de diámetro externo cuando es sonicado a 28 kHz, aproximadamente.

La transmisión directa sólido-sólido-fluido de la potencia acústica al líquido contenido en el tubo capilar (12) en la Figura 3, permite, a su vez, el uso de diferentes diámetros  
15 y longitudes. La vibración es transmitida por un material sólido con baja atenuación habilitando la sonicación eficiente y una extensa superficie útil de la hélice (11) que alberga uno o varios tubos capilares en la parte exterior o interior de la sonda (no mostrados). La eficiencia y alta homogeneidad lograda por la presente invención permite trabajar en, al menos, dos modos de operación:

- 20 • baja potencia energética donde la amplitud de las vibraciones transmitidas al tubo es suficiente para reducir el riesgo de obstrucciones (13) o atascamientos, pero no para inducir cambios significativos de temperatura o efectos químicos;
- altas potencias de ultrasonidos donde la amplitud de las vibraciones y correspondientes valores de presión acústica son elevados, generando  
25 cavitación. Así, la energía acústica puede ser usada para favorecer diversos procesos fisicoquímicos como los relacionados con la sonoquímica o el mezclado en medios de una o varias sustancias si una de las fases en disolución es compresible.

30 Para el control de temperatura, la parte interior (14) de la sonda helicoidal puede ser utilizada mediante un tubo secundario y una pasta térmica que mejore la evacuación o aporte de energía térmica pero no la transmisión de vibraciones mecánicas. Adicionalmente, un sistema externo de conducción térmica, para refrigeración o calefacción, o un sistema de aire forzado también puede ser implementado.

35

Teniendo en cuenta las figuras anteriores, como se aprecia en más detalle en la Figura 6, un reactor químico de tubo capilar (12) es adecuado para su uso con la presente invención. Sus características pueden ser diseñadas para la aplicación concreta o corresponder a capilares disponibles comercialmente. El tubo capilar (12) de reacción  
5 recibe las vibraciones generadas por un transductor (4) de tipo Langevin mediante una sonda de forma helicoidal (9) mecanizada para homogenizar la distribución de campo acústico a lo largo del medio de reacción. Un acoplador mecánico (5) reduce la sección transversal de la sonda amplificando así la señal. La potencia y señal es suministrada al transductor mediante bornes (22) soldados o conectados a cables  
10 eléctricos (24) unidos a un sistema de control con amplificador y generador de frecuencias (no mostrados). El ensamblaje de una o varias sondas, para un solo transductor, es facilitado por zonas de apriete (25, 27) o tornillos de compresión (21) alojándose en una carcasa externa (28) haciendo uso de los puntos nodales (23), conteniendo además sistemas de anclaje exterior (26) y un equipo de refrigeración  
15 (20) con rejillas (19) de ventilación para refrigerar el equipo piezoeléctrico.

En la Figura 6, también se aprecia un sistema de refrigeración por ventilación forzada (20) que, unido a la distancia de separación que aporta la parte frontal del transductor (4) y el acoplador mecánico (5), minimiza la transferencia de calor recibida por  
20 conducción. El acoplador mecánico (5) puede ser de ángulo recto, troncocónico, exponencial negativo, o de cualquier otra forma.

La presente invención permite además el uso de un tubo de reacción capilar inerte hecho de borosicato o de un polímero como politetrafluoroetileno (PTFE), lo que evita  
25 la contaminación por metales generada por una cavitación en sondas de ultrasonidos convencionales. Los tubos capilares o de tamaño reducido permiten albergar a su vez tubos concéntricos para llevar a cabo reacciones tubo-en-tubo (no mostrado) con diferentes puntos de inserción.

30 Para evitar el bloqueo del capilar, tal como se observa en la Figura 6, ciertas zonas de interés, como los extremos de la sonda (9), pueden ser utilizadas para albergar racores, uniones en T y/o dispositivos de mezcla que maximicen la energía acústica recibida mediante su colocación en antinodos (29, 30 y 31), permitiendo además maximizar la amplitud reduciendo la sección de la sonda en estos puntos. La longitud  
35 de la sonda helicoidal es variable, así como la dirección del flujo, única u oscilante, y

conexiones, de entrada o salida del tubo capilar.

Un mismo transductor de alta potencia puede emitir a una pluralidad de sondas con forma helicoidal mediante un acoplador que aumente el área de vibración, pero  
5 mantenga las vibraciones principales divididas por zonas mediante hendiduras (no mostrado). La disposición helicoidal de la sonda puede ser longitudinal, plegada, rizada o adaptada a diferentes formas para reducir el espacio que ocupa el sonoreactor (no mostrado).

10 La presente invención admite además pares adicionales de piezoeléctricos que sean excitados a frecuencias secundarias o con diferentes modos de vibración (no mostrado). El sistema de control puede ser ajustado dinámicamente modulando la potencia según requerimientos, como caída de presión o temperatura máxima de reacción, o limitaciones físicas como frecuencias de resonancia, sobrecalentamiento o  
15 esfuerzo máximo del material. Del mismo modo, el sistema permite un sistema de pausa o espacio entre las señales individuales de accionamiento, torsional o longitudinal, para cumplir con los mencionados propósitos u otras medidas *on line* proporcionales a la concentración de reactivos, por ejemplo, absorción de frecuencias infrarroja, visible u ultravioleta.

20 Adicionalmente, el extremo libre de la sonda helicoidal puede acoplar otro transductor para recuperación de energía (no mostrado) o para excitar la sonda con frecuencias o modos de vibración complementarios. El uso de transductores secundarios puede ser interesante para zonas previas o posteriores al reactor.

25 Finalmente, aunque se han descrito anteriormente determinadas formas de realización de la presente invención, estas descripciones se proporcionan a título ilustrativo y/o explicativo. Pueden introducirse variaciones, cambios, modificaciones y desviaciones respecto de los sistemas y métodos expuestos anteriormente, sin apartarse del  
30 alcance de las reivindicaciones adjuntas.

En las Figuras 7 y 8 se pueden observar diversas realizaciones alternativas de la invención. A modo de ejemplo, en la Figura 7 se puede observar que la sonda con diseño helicoidal permite tener cualquier forma secundaria mediante el plegado y  
35 rizado sobre sí misma, para por ejemplo reducir el espacio. Por su parte, en la Figura 8

se puede observar una realización de la invención con un segundo transductor de ultrasonidos de potencia que puede ser utilizado para recuperación de energía, desde mecánica a eléctrica, o para añadir modos de vibración secundarios.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Reactor capilar con ultrasonidos, que sonifica y homogeniza el campo acústico generado a lo largo de tubos capilares (12) sin la aparición de nodos/antinodos  
5 longitudinales, que comprende al menos un transductor de ultrasonidos de potencia (4) formado por al menos un elemento piezoeléctrico (2); y que se caracteriza por que comprende:
- al menos una sonda (9) mecanizada, fijada al transductor (4), que está constituida por al menos un elemento helicoidal con una geometría alabeada engendrada por una  
10 superficie útil tipo hélice (11) que se desarrolla apoyándose en un eje cilíndrico (15); y donde la sonda (9) recibe unas vibraciones generadas por el transductor (4);
  - al menos un tubo capilar (12) que está en contacto con el elemento helicoidal de la sonda (9) y que recibe vibraciones generadas por el transductor (4) en dicho elemento helicoidal;
  - 15 y donde los elementos piezoeléctricos (2) del transductor (4) están en conexión con un sistema de control (7) con el que se transforma la energía eléctrica (8) y se modifica la frecuencia y se amplía la señal, de tal forma que dichos elementos piezoeléctricos (2) vibran en resonancia, respetando la mitad de longitud de onda del conjunto.
- 20 2.- Reactor capilar con ultrasonidos, según la reivindicación 1, que se caracteriza por que la hélice (11) transmite vibraciones torsionales (16 - T), longitudinales (17 - L) y radiales (18 - R) a cada tubo capilar (12).
- 3.- Reactor capilar con ultrasonidos, según la reivindicación 1 y 2, que se caracteriza  
25 por que cada tubo capilar (12) está alojado longitudinalmente en una cavidad mecanizada en la superficie útil de la hélice (11).
- 4.- Reactor capilar con ultrasonidos según la reivindicación 1, que se caracteriza por que la potencia y señal es suministrada al transductor (4) mediante bornes (22)  
30 soldados o conectados a un cable eléctrico (24) unido al sistema de control (7) con amplificador y generador de frecuencias.
- 5.- Reactor capilar con ultrasonidos, según la reivindicación 1, que se caracteriza por que el ensamblaje de cada sonda (9) al transductor (4) se realiza por medio de unas  
35 zonas de apriete (25, 27) o tornillos de compresión (21) que se alojan en una carcasa

externa (28) y se hace uso de unos puntos nodales (23) y unos anclajes exteriores (26).

5 6.- Reactor capilar con ultrasonidos, según la reivindicación 1, que se caracteriza por que la parte interior (14) de la sonda (9) helicoidal incorpora un tubo secundario y una pasta térmica de evacuación o aporte de energía térmica.

10 7.- Reactor capilar con ultrasonidos, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que el transductor (4) dispone de un equipo de refrigeración (20) con rejillas (19) de ventilación.

15 8.- Reactor capilar con ultrasonidos, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que en los extremos, o a lo largo de la sonda (9), se dispone de racores, uniones en T y/o dispositivos de mezcla (29, 30 y 31) que aprovechan zonas donde la energía acústica es maximizada mediante cambios de sección o forma.

20 9.- Reactor capilar con ultrasonidos, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que la dirección del flujo en el capilar (9) es única u oscilante.

25 10.- Reactor capilar con ultrasonidos, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que cada sonda (9) tiene una configuración cilíndrica helicoidal (6) a la que se fijan, en los extremos y/o a lo largo de la misma, al menos un transductor (4) por medio de acopladores mecánicos (5).

30 11.- Reactor capilar con ultrasonidos, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por que el tubo capilar (12) que se aloja en la sonda (9) es de vidrio.

12.- Reactor capilar con ultrasonidos, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que se caracteriza por que el tubo capilar (12) que se aloja en la sonda (9) es de un polímero inerte.

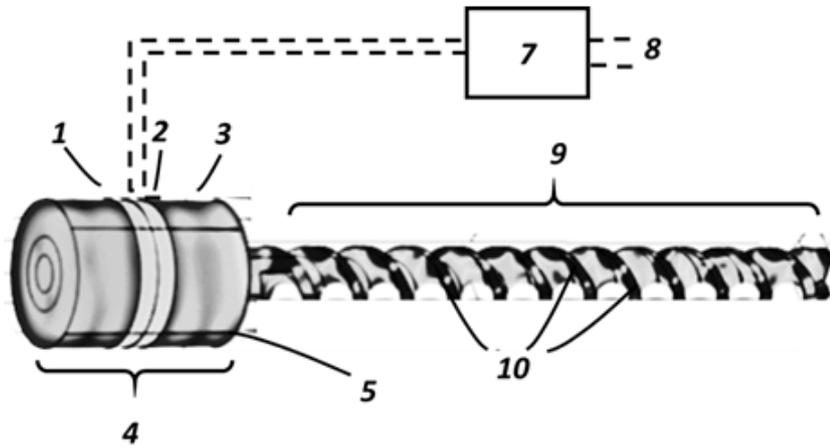
35 13.- Reactor capilar con ultrasonidos, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11,

que se caracteriza por que el tubo capilar (12) que se aloja en la sonda (9) es una aleación de acero, cobre o material metálico.

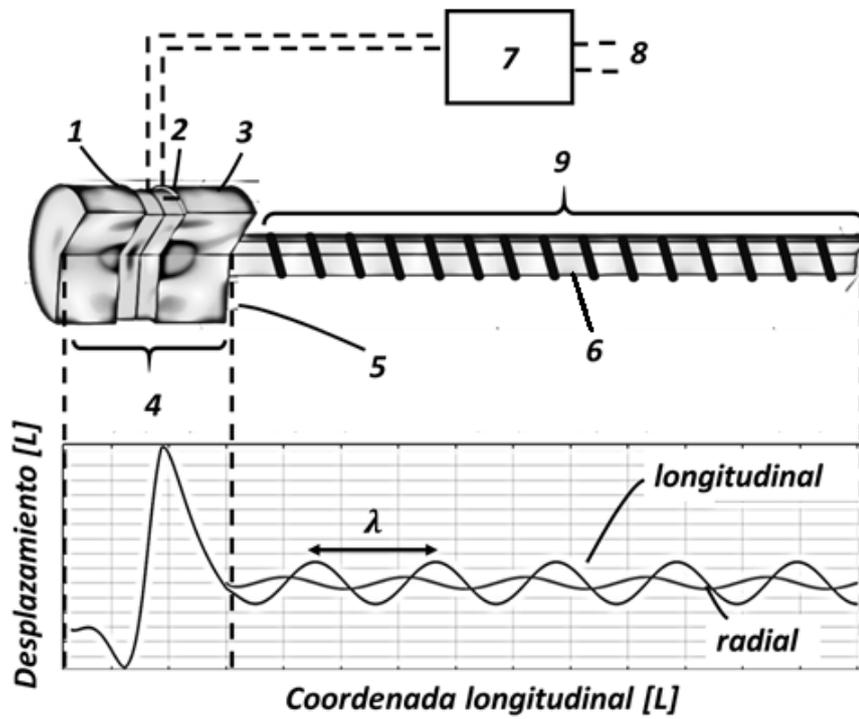
5 14.- Reactor capilar con ultrasonidos, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, que se caracteriza por que el tubo capilar (12) que se aloja en la sonda (9) es de un material cerámico.

10 15.- Reactor capilar con ultrasonidos, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se caracteriza por un tubo capilar (12) que se aloja en la sonda (9) y que dispone de un segundo tubo en una disposición concéntrica dentro de él.

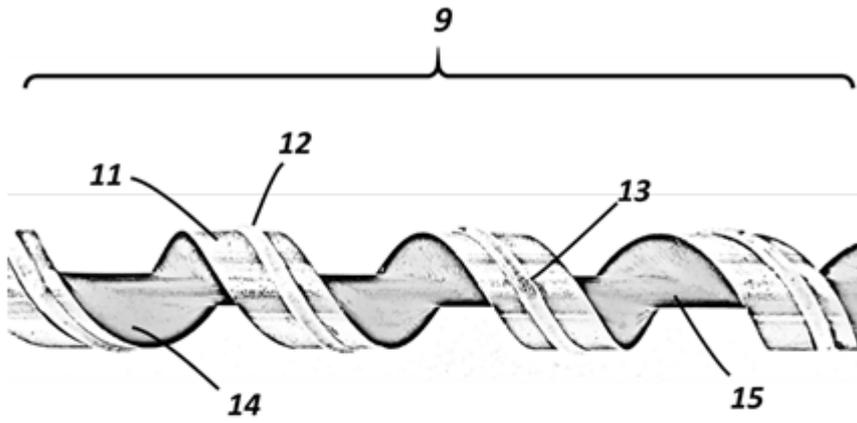
**FIG.1**



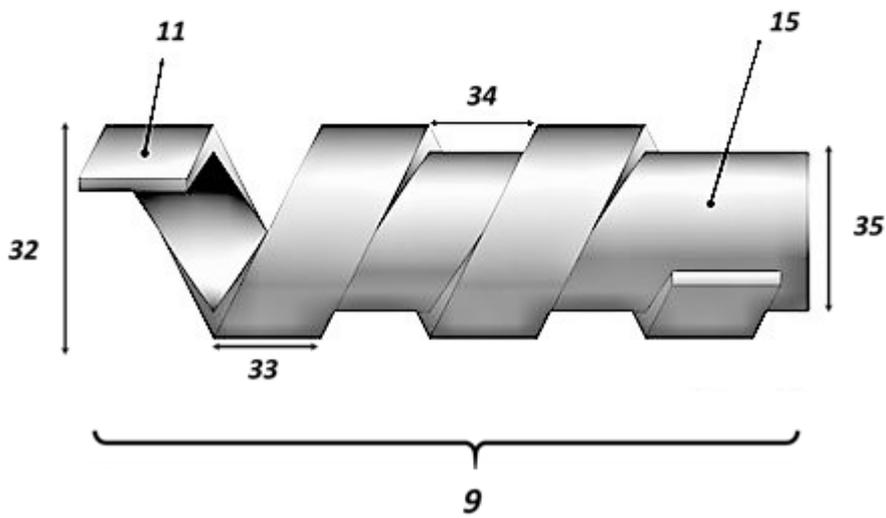
**FIG.2**



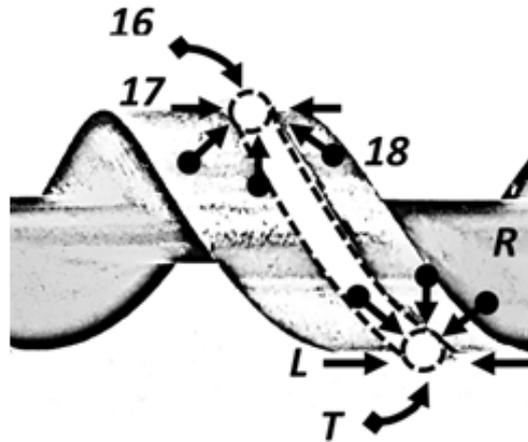
**FIG.3**



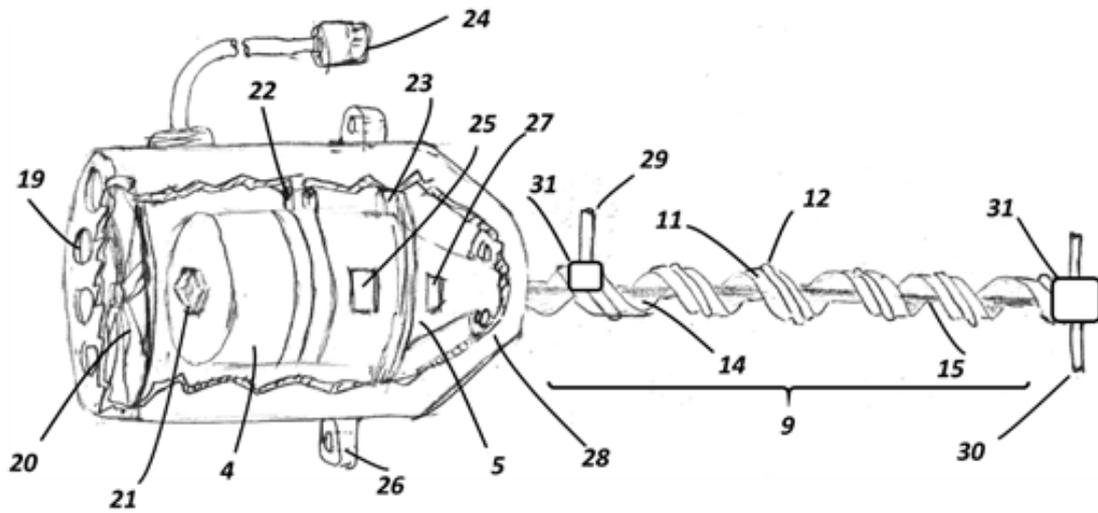
**FIG.4**



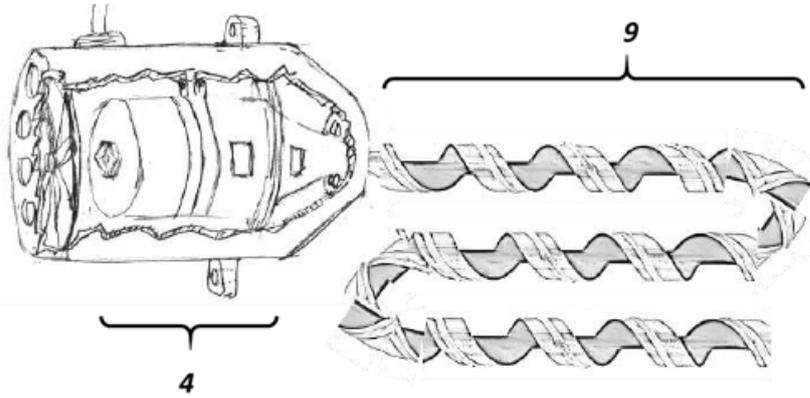
**FIG.5**



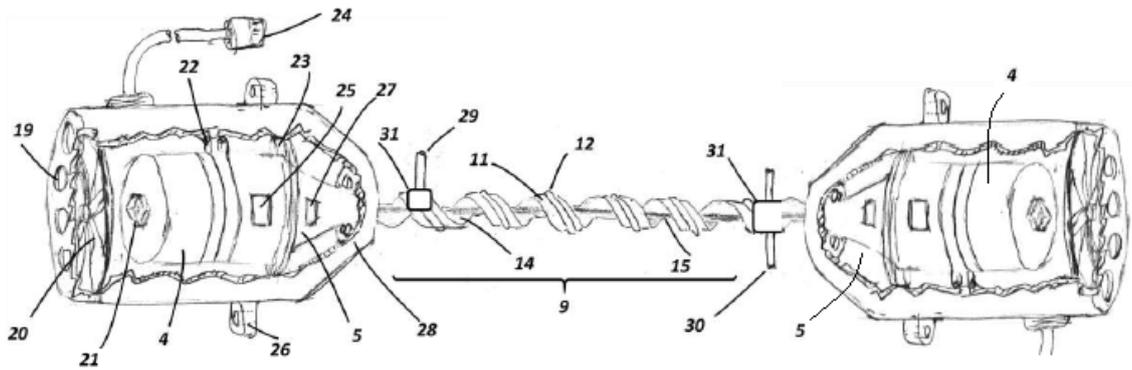
**FIG.6**



**FIG.7**



**FIG.8**





- ②① N.º solicitud: 201830422  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 27.04.2018  
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl.: **B01J19/10** (2006.01)  
**B05B17/06** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	FREITAS S et al. "Continuous contact- and contamination-free ultrasonic emulsification-a useful tool for pharmaceutical development and production". ULTRASONICS: SONOCHEMISTRY, 20060101 BUTTERWORTH-HEINEMANN, GB. Manickam Sivakumar, 01/01/2006, Vol. 13, Nº 1, Páginas 76 - 85 [en línea][recuperado el 11/02/2019]., ISSN 1350-4177, <DOI: doi:10.1016/j.ultsonch.2004.10.004>	1-15
A	AL-BUDAIRI et al. "A design approach for longitudinal-torsional ultrasonic transducers". Sensors and Actuators A: Physical, 15/08/2013, Vol. 198, Páginas 99-106 [en línea][recuperado el 11/02/2019]. Recuperado de Internet <URL: <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092442471300188X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092442471300188X</a> >, <DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.04.024">https://doi.org/10.1016/j.sna.2013.04.024</a> >	1-15
A	LARREA ANE et al. Efficient production of hybrid bio-nanomaterials by continuous microchannel emulsification: Dye-doped SiO <sub>2</sub> and Au-PLGA nanoparticles. CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, 20170203. Gallucci Fausto; Basile Angelo; Michalkiewicz Beata, 03/02/2017, Vol. 316, Páginas 663 - 672 [en línea][recuperado el 11/02/2019]., ISSN 1385-8947, <DOI: doi:10.1016/j.cej.2017.02.003>	1-15

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**

12.02.2019

**Examinador**

M. P. López Sábater

**Página**

1/2

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

B01J, B05B

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

INVENES, EPODOC, IEEE, Elsevier, Internet