

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 697 917**

21 Número de solicitud: 201730981

51 Int. Cl.:

**B08B 3/12** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**26.07.2017**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**29.01.2019**

71 Solicitantes:

**FUNDACIÓN TEKNIKER (100.0%)  
Polo tecnológico de Eibar, c/ Iñaki Goenaga 5  
20600 Eibar (Gipuzkoa) ES**

72 Inventor/es:

**SARASUA MIRANDA, Jon Ander ;  
SANDÁ VERDE, Alejandro y  
GOIOGANA BENGOTXEA, Manu**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

54 Título: **DISPOSITIVO Y MÉTODO DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDOS**

57 Resumen:

Un dispositivo (10, 30, 80) para limpiar mediante ultrasonidos una superficie (65) sobre la cual se ha dispuesto una solución limpiadora, donde el dispositivo (10, 30, 80) comprende: al menos un oscilador ultrasónico (1) configurado para convertir una señal eléctrica que opera a una frecuencia de 50-60 Hz en energía eléctrica que opera a una frecuencia comprendida en la banda de frecuencias ultrasónicas; al menos un convertidor ultrasónico (2) para convertir dicha energía eléctrica en una vibración mecánica ultrasónica; al menos una banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') acoplada a dicho al menos un convertidor ultrasónico (2) y configurada para entrar en resonancia a flexión cuando se le aplica dicha vibración mecánica de frecuencia ultrasónica y para amoldarse elásticamente a dicha superficie (65); estando dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') configurada para, durante su uso, generar un acoplamiento líquido de solución limpiadora entre dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') y dicha superficie (65) y para exponer a dicha superficie (65) en contacto con dicho acoplamiento líquido de solución limpiadora a cavitación, eliminando así la suciedad (70) de la superficie (65). Método de limpieza por ultrasonidos.

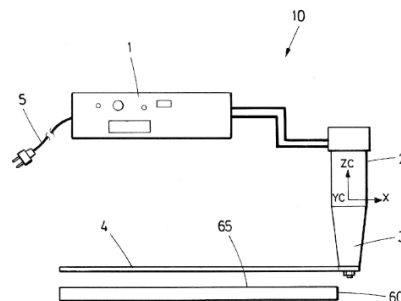


FIG.1

ES 2 697 917 A1

## DESCRIPCIÓN

### DISPOSITIVO Y MÉTODO DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDOS

#### 5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención pertenece al campo de la limpieza, tanto industrial como doméstica. Más concretamente, la invención se refiere a métodos y dispositivos para limpieza ultrasónica.

#### 10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Una limpieza ultrasónica es un proceso que utiliza ultrasonidos (generalmente entre 20 y 200 kHz) y un líquido apropiado para limpiar artículos. Los limpiadores ultrasónicos se utilizan para limpiar muchos tipos diferentes de objetos, incluyendo piezas ópticas, instrumentos quirúrgicos, herramientas, piezas industriales y equipos electrónicos. La  
15 limpieza por ultrasonidos se puede utilizar para una amplia gama de formas, tamaños y materiales de piezas. En la limpieza ultrasónica, el objeto a limpiar se sumerge en un tanque metálico que contiene una solución líquida (en un disolvente acuoso u orgánico, dependiendo de la aplicación). Un transductor generador de ultrasonidos incorporado en una cámara, o bajado en el líquido, produce ondas ultrasónicas en el  
20 líquido cambiando el tamaño en concierto con una señal eléctrica que oscila a la frecuencia ultrasónica. Estos elementos forman normalmente un circuito resonante. La señal eléctrica se produce mediante una fuente eléctrica de alta frecuencia. La limpieza ultrasónica usa burbujas de cavitación inducidas por ondas de presión (sonido) de alta frecuencia para agitar el líquido. Durante la cavitación, las burbujas de  
25 gas colapsan con una gran cantidad de energía, liberando fuertes ondas de choque. Cuando las burbujas implosionan cerca de una superficie, como la superficie a limpiar, puede producirse un colapso asimétrico, liberando chorros de agua fuertes. Ambos fenómenos contribuyen a eliminar la suciedad y a acelerar procesos de disolución química. En otras palabras, la agitación produce altas fuerzas en los contaminantes  
30 adheridos a sustratos como metales, plásticos, goma de vidrio, y cerámicas. Como líquido apropiado, se pueden usar agua o disolventes, dependiendo del tipo de contaminación y de la pieza. El uso de un disolvente apropiado para el artículo a limpiar y el tipo de suciedad presente generalmente mejora el efecto de limpieza. Los

contaminantes pueden incluir polvo, suciedad, aceite, pigmentos, óxido, grasa, algas, hongos, bacterias, cal, compuestos de pulido, agentes de flujo, huellas dactilares, cera de hollín y agentes desmoldeantes, tierra biológica como la sangre, etc.

Una limitación importante de los limpiadores ultrasónicos convencionales es que la  
5 pieza a limpiar necesita estar completamente sumergida en el tanque que contiene el líquido. Por lo tanto, los limpiadores ultrasónicos convencionales son inviables para piezas o dispositivos de gran tamaño, o para estructuras no desmontables, tales como cristales de gran tamaño, frentes de construcción, pisos, etc.

JP H06 2183337 divulga un dispositivo portátil para limpiar una pieza mediante un  
10 sonotrodo. El dispositivo no requiere la inmersión completa de la pieza dentro de un tanque que contenga una solución limpiadora. Para limpiar la superficie de la pieza, se proyecta un chorro de agua a través del cual se aplican ondas ultrasónicas, sobre la superficie a limpiar. En este dispositivo, la superficie del sonotrodo diseñada para estar  
15 más cerca de la superficie a limpiar es rígida y plana, ya sea vertical, inclinada o en escalera, con respecto a la superficie a limpiar. Esto limita la efectividad del dispositivo de limpieza cuando la superficie a limpiar no es homogénea, por ejemplo cuando no es totalmente lisa.

Por otra parte, son conocidos los métodos de limpieza mediante chorros de agua a  
20 presión. Sin embargo, estos métodos consumen una cantidad elevadísima de agua y requieren de una potencia eléctrica relativamente elevada.

Por tanto, hay una necesidad de desarrollar un nuevo dispositivo y método de limpieza ultrasónica que supere los inconvenientes de los dispositivos y métodos convencionales.

## 25 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente divulgación proporciona un nuevo dispositivo y método de limpieza por  
ultrasonidos que no requiere la inmersión de la pieza a limpiar en un tanque que  
contiene una solución limpiadora, y que es capaz de limpiar piezas de geometrías  
irregulares. Basado en los mismos principios de la limpieza por ultrasonidos  
30 convencional, el dispositivo y método propuestos consiguen arrancar la suciedad de

grandes superficies, tales como piezas industriales, azulejos, baldosas, etc., tanto lisas como irregulares (curvas, rugosas, con patrones volumétricos, etc.).

En un primer aspecto de la presente divulgación, se proporciona un dispositivo para limpiar mediante ultrasonidos una superficie sobre la cual se ha dispuesto una solución  
5 limpiadora. El dispositivo comprende: al menos un oscilador ultrasónico configurado para convertir una señal eléctrica que opera a una frecuencia de 50-60 Hz en energía eléctrica que opera a una frecuencia comprendida en la banda de frecuencias ultrasónicas; al menos un convertidor ultrasónico para convertir dicha energía eléctrica en una vibración mecánica ultrasónica; al menos una banda de sonotrodo ultrasónica  
10 acoplada a dicho al menos un convertidor ultrasónico y configurada para entrar en resonancia a flexión cuando se le aplica dicha vibración mecánica de frecuencia ultrasónica y para amoldarse elásticamente a dicha superficie. La banda de sonotrodo ultrasónica está configurada para, durante su uso, generar un acoplamiento líquido de solución limpiadora entre dicha banda de sonotrodo ultrasónica y dicha superficie y  
15 para exponer a dicha superficie en contacto con dicho acoplamiento líquido de solución limpiadora a cavitación, eliminando así la suciedad de la superficie.

En realizaciones de la invención, la banda de sonotrodo ultrasónica es metálica.

En realizaciones de la invención, la banda de sonotrodo ultrasónica tiene un espesor inferior a 10 mm.

20 En realizaciones de la invención, la banda de sonotrodo ultrasónica comprende una pluralidad de gotas de plástico en la parte destinada a estar más próxima a dicha superficie para evitar el rozamiento entre dicha banda de sonotrodo ultrasónica y dicha superficie.

En realizaciones de la invención, el dispositivo comprende dos bandas de sonotrodo  
25 ultrasónicas configuradas para desplazarse sobre la superficie a limpiar, estando dichas dos bandas de sonotrodo ultrasónicas configuradas para que, en uso del dispositivo, los antinodos generados en cada una de ellas debido a la resonancia en flexión estén desplazados en una banda de sonotrodo ultrasónica con respecto a la otra banda de sonotrodo ultrasónica.

30 En realizaciones de la invención, el dispositivo comprende dos osciladores ultrasónicos y dos convertidores ultrasónicos acoplados a dicha al menos una banda de sonotrodo ultrasónica.

En un segundo aspecto de la presente divulgación, se proporciona un método de limpieza de una superficie mediante ultrasonidos, que comprende: aplicar una solución limpiadora sobre la superficie a limpiar; mover un dispositivo que comprende al menos una banda de sonotrodo ultrasónica a lo largo de dicha superficie, presionando dicha  
5 al menos una banda de sonotrodo ultrasónica sobre dicha superficie; aplicar una vibración ultrasónica sobre dicha al menos una banda de sonotrodo ultrasónica; generar un acoplamiento líquido de solución limpiadora entre dicha al menos una banda de sonotrodo ultrasónica y dicha superficie; exponer a cavitación a dicha superficie en contacto con dicho acoplamiento líquido de solución limpiadora,  
10 eliminando así la suciedad de la superficie.

En realizaciones de la invención, la generación de un acoplamiento líquido de solución limpiadora entre dicha banda de sonotrodo ultrasónica y dicha superficie se consigue o bien aplicando una gota de solución limpiadora tanto a la solución limpiadora dispuesta sobre la superficie como a la banda de sonotrodo ultrasónica), o bien bajando la banda  
15 de sonotrodo ultrasónica hasta que entre en contacto con una solución limpiadora dispuesta sobre dicha superficie.

En realizaciones de la invención, el dispositivo se mueve a lo largo de dicha superficie manteniendo una distancia constante entre dicha superficie y dicha banda de sonotrodo ultrasónica.

20 En realizaciones de la invención, la solución limpiadora se aplica sobre la superficie antes de empezar a funcionar la al menos una banda de sonotrodo ultrasónica, de forma que una capa de solución limpiadora es dispuesta sobre la superficie.

En realizaciones de la invención, la solución limpiadora se aplica sobre la superficie a limpiar a medida que la al menos una banda de sonotrodo ultrasónica se mueve a lo  
25 largo de dicha superficie, de forma que dicho acoplamiento líquido de solución limpiadora queda dispuesto entre dicha superficie y la superficie exterior de la banda de sonotrodo ultrasónica.

En realizaciones de la invención, la solución limpiadora se suministra externamente a la banda de sonotrodo ultrasónica por medio de una jeringuilla o de una boquilla atomizadora. En este caso, la solución limpiadora puede suministrarse internamente a  
30 la banda de sonotrodo ultrasónica a lo largo de un canal dispuesto en la banda de sonotrodo ultrasónica), estando dicho canal diseñado para conducir la solución

limpiadora a la superficie de la banda de sonotrodo ultrasónica más próxima a la superficie a limpiar.

La solución limpiadora puede reusarse por la banda de sonotrodo ultrasónica mediante la succión de gotas sucias, el filtrado de dichas gotas sucias y la aplicación de gotas  
5 filtradas mientras la banda de sonotrodo ultrasónica avanza sobre la superficie a limpiar.

En realizaciones de la invención, la solución limpiadora se selecciona del siguiente grupo: agua y soluciones acuosas que comprenden al menos un agente químico.

Ventajas y características adicionales de la invención serán evidentes a partir de la  
10 descripción en detalle que sigue y se señalarán en particular en las reivindicaciones adjuntas.

#### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Para complementar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de  
15 las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de la descripción, un juego de figuras en el que con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura 1 muestra un dispositivo para llevar a cabo limpieza por ultrasonidos de  
20 acuerdo con una posible realización de la invención.

Las figuras 2(a), 2(b) y 2(c) muestran el comportamiento del agua dispuesta sobre la superficie a limpiar, bajo distintas condiciones de funcionamiento, durante el uso del dispositivo de la invención. En la figura 2(a) se ha representado la banda del dispositivo sin aplicar ultrasonidos. En la figura 2(b) se ha representado el dispositivo  
25 funcionando con ultrasonidos en régimen de limpieza. En la figura 2(c) se ha representado el dispositivo funcionando con ultrasonidos en régimen de pulverización.

La figura 3 ilustra un ejemplo de prototipo de dispositivo de limpieza de acuerdo con la realización mostrada en la figura 1.

La figura 4 muestra un dispositivo de limpieza por ultrasonidos  
30 posible implementación de la invención.

La figura 5 ilustra la resonancia a flexión que experimenta el sonotrodo de banda del dispositivo de la invención, cuando la banda vibra a la frecuencia de operación.

La figura 6 ilustra la forma que adoptan unas gotas de agua dispuestas sobre el sonotrodo de banda cuando la banda vibra en resonancia a flexión.

- 5 Las figuras 7a y 7b muestran un detalle del dispositivo de limpieza de acuerdo con una posible implementación de la invención, en la que se destaca el sonotrodo de banda y el soporte sobre el que se fija el mismo.

La figura 8 muestra una implementación alternativa del dispositivo de limpieza de la invención.

- 10 La figura 9 esquematiza la disposición de antinodos en las dos bandas del dispositivo de limpieza de la figura 8.

La figura 10 muestra un dispositivo de limpieza de acuerdo con la invención, que está siendo desplazado a lo largo de la superficie de una pieza a limpiar.

- 15 La figura 11 ilustra un dispositivo de limpieza durante el funcionamiento del mismo en un método de limpieza por ultrasonidos de acuerdo con la presente invención.

La figura 12 muestra un espejo sometido a unas pruebas de limpieza con el dispositivo de la invención en configuración horizontal, en el que se diferencian tres zonas.

La figura 13 muestra un espejo sometido a unas pruebas de limpieza con el dispositivo de la invención en configuración vertical, en el que se diferencian tres zonas.

- 20 La figura 14 ilustra un prototipo de dispositivo de limpieza de acuerdo con la invención, de accionamiento manual.

## **DESCRIPCIÓN DE UNA FORMA DE LLEVAR A CABO LA INVENCIÓN**

- 25 En este texto, el término “comprende” y sus derivaciones (tal como “comprendiendo”, etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben ser interpretados como que excluyen la posibilidad de que lo que se describe y se define pueda incluir elementos, etapas adicionales, etc.

En el contexto de la presente invención, el término “aproximadamente” y términos de su familia (como “aproximado”, etc.) deben interpretarse como indicando valores muy

cercanos a aquellos que acompañan a dicho término. Es decir, una desviación dentro de límites razonables con respecto a un valor exacto deberían aceptarse, porque un experto en la materia entenderá que tal desviación con respecto a los valores indicados puede ser inevitable debido a imprecisiones de medida, etc. Lo mismo aplica  
5 a los términos “unos”, “alrededor de” y “sustancialmente”.

La descripción que sigue no debe tomarse en un sentido limitado, sino que se proporcionan solamente con el propósito de describir principios amplios de la invención. Las siguientes realizaciones de la invención se describirán a modo de ejemplo, con referencia a las figuras arriba citadas, que muestran aparatos y  
10 resultados de acuerdo con la invención.

El dispositivo 10 ilustrado en la figura 1 representa una posible realización de un dispositivo para llevar a cabo limpieza por ultrasonidos sin tener que sumergir la pieza a limpiar 60 en un tanque que contenga una solución limpiadora. La pieza a limpiar puede ser una pieza de grandes dimensiones o de elevado peso. Ejemplos no  
15 limitativos de tales piezas son suelos o piezas que componen un suelo, paredes o piezas que componen una pared, piezas de automoción, de la industria aeroespacial o del sector de la energía, como espejos concentradores de energía. En la realización ilustrada, la superficie a limpiar 65 de la pieza 60 se ha representado como una superficie sustancialmente plana, pero en general, la superficie a limpiar 65 puede ser  
20 de curvatura sencilla, por ejemplo lineal, cilíndrica o parabólica (por ejemplo, un tubo, una barra o un perfil), o de doble curvatura, por ejemplo carrocerías de coche, alas de avión o hélices de barco. La superficie a limpiar 65 puede tener irregularidades geométricas, como cavidades, poros, patrones volumétricos periódicos o no periódicos, o cualquier otra irregularidad. La superficie a limpiar 65 se limpia mediante  
25 un movimiento de barrido, como se explica más adelante.

En la implementación ilustrada, la pieza 60 es un espejo. La limpieza por ultrasonidos sin inmersión se basa en la generación de vibración ultrasónica en una fina capa de agua (o solución limpiadora, en general) depositada sobre la superficie a limpiar. Esta técnica emplea fenómenos de reducción de la tensión superficial del agente de  
30 limpieza (agua u otro), de manera que los ultrasonidos pueden ser aplicados directamente sobre una película de agua previamente depositada sobre la superficie a limpiar 65. El dispositivo de limpieza 10 debe barrerse o desplazarse a lo largo de la superficie a limpiar 65. La interfaz de agua entre la superficie 65 y la parte del



dispositivo de limpieza 10 más próxima a dicha superficie 65, queda expuesta a un campo de cavitación muy intenso.

El dispositivo 10 comprende un generador de ondas ultrasónicas 1 conectado a una línea de tensión convencional (red eléctrica) 5. La línea de tensión 5 trabaja normalmente a 50-60 Hz, dependiendo del país. El generador ultrasónico 1 convierte la señal eléctrica estándar que trabaja a 50-60 Hz en energía eléctrica que trabaja a frecuencia ultrasónica, es decir, por encima de 20.000 ciclos por segundo (20 KHz = 20.000 Hz) aprox. En otras palabras, el generador de ondas ultrasónicas 1 genera energía eléctrica de alta frecuencia (ultrasónica). La energía eléctrica proporcionada por el generador de ondas ultrasónicas 1 se convierte en un convertidor ultrasónico (también denominado transductor ultrasónico) 2 en vibración mecánica. Es una vibración armónica cuya frecuencia es la misma que la generada por el generador de ondas 1. La amplitud de la vibración (desplazamiento máximo) está relacionada con la potencia eléctrica, y puede ser amplificada mecánicamente por otros componentes como un intensificador 3 o un sonotrodo 4. Las características específicas de esta vibración mecánica se dan más adelante en esta descripción. El dispositivo 10 puede tener opcionalmente un intensificador 3 (también denominado amplificador 3). Se necesita un intensificador 3 en aplicaciones que exigen alta potencia (es decir, potencia superior a la proporcionada por el generador de ondas ultrasónicas 1). Por lo tanto, en aplicaciones que requieren menor potencia, el intensificador 3 puede ser retirado. Cuando está presente, el intensificador 3 está conectado al convertidor ultrasónico 2. El intensificador 3 amplifica la vibración ultrasónica procedente del conversor ultrasónico 2 y transmite dicha vibración ultrasónica amplificada a un sonotrodo de banda 4 (también referido en ocasiones como "banda de sonotrodo" o "banda" de forma simplificada en este texto). La amplitud de la vibración aplicada sobre el sonotrodo de banda 4 depende de la amplitud de la vibración proporcionada por el conversor 2 y de la amplificación proporcionada por el intensificador 3, en caso de usarse un intensificador. El intensificador 3 también puede servir como medio de soporte del sonotrodo de banda 4.

En la realización de la figura 1, el sonotrodo de banda 4 está conectado al intensificador 3 y recibe la vibración ultrasónica del intensificador 3. En ausencia de intensificador, el sonotrodo de banda 4 puede conectarse directamente al conversor ultrasónico 2. En uso del dispositivo, la banda o sonotrodo de banda 4, debido a su

flexibilidad, se amolda a la superficie a limpiar 65 (superficie de la pieza 60) presionando sobre la misma, como se explica más adelante. El sonotrodo de banda 4 se implementa de un material flexible, que permita su adaptación a la superficie a limpiar. En realizaciones de la invención, el sonotrodo de banda 4 es metálico, dada su capacidad de flexionarse sin romperse. Ejemplos no limitativos de metales que pueden usarse son aluminio, titanio y acero, entre otros. La banda 4 es alargada y sustancialmente plana. El espesor de la banda 4 debe ser suficientemente pequeño como para que la banda se amolde o adapte a la superficie a limpiar 65, pero suficientemente grande como para que la banda no se rompa. En realizaciones de la invención, el espesor de la banda 4 se elige de forma que sea inferior a 10 mm (milímetros), tal como inferior a 5 mm o inferior a 3 mm. Por ejemplo, se elige una banda 4 de espesor de entre 0,1 mm y 3 mm, tal como de entre 0,5 mm y 3 mm. Nótese que la superficie a limpiar 65 puede tener una cierta curvatura, irregularidades, etc. En uso del dispositivo 10, la banda 4 es apretada contra la superficie a limpiar 65, de forma que la banda 4 se deforma, adaptándose a dicha superficie a limpiar 65. En función del material y espesor de la banda 4, ésta puede deformarse hasta unos 3 cm (centímetros), por ejemplo aproximadamente 1 cm. Un experto entenderá que en función del material empleado, que queda fuera de la presente invención, se puede conseguir fabricar bandas de espesores muy reducidos a la vez que suficientemente robustos a la fractura. Para que al presionar la banda 4 sobre la superficie a limpiar 65 ésta no se dañe (por ejemplo, se raye), y también para que la propia banda 4 no se dañe, en el lado de la banda 4 configurado para quedar más próximo a la superficie a limpiar 65 en uso del dispositivo 10, se pueden depositar unas gotas de plástico, por ejemplo de silicona, espaciadas a lo largo de la banda 4, para que sean estas gotas o cúmulos de plástico los que presionen contra (o entren en contacto físico con) la superficie a limpiar 65, evitando el rozamiento directo entre la banda 4 y la superficie 65. En cuanto a la anchura y longitud de la banda 4, éstas dependen de la aplicación para la que se diseñe la banda 4. En líneas generales, la potencia aplicada se distribuye a lo largo de la superficie de la banda 4. Por tanto, cuanto mayor es la longitud de la banda, mayor es la superficie sobre la que se tiene que distribuir la potencia aplicada, por lo que la limpieza es menos intensa. Lo mismo ocurre con la anchura de la banda 4. Por tanto, es recomendable, para cada aplicación, buscar la

anchura y longitud máxima que garanticen que frente a una determinada potencia de ultrasonidos, se va a limpiar el tipo de suciedad presente en la superficie en cuestión.

El sonotrodo de banda 4 recibe la vibración ultrasónica del intensificador 3 (o del convertidor ultrasónico 2, según sea el caso), y transmite dicha vibración ultrasónica al líquido dispuesto en la superficie a limpiar 65. Los inventores han observado que, sorprendentemente, la vibración ultrasónica del sonotrodo de banda 4, al entrar en contacto con el líquido dispuesto sobre la superficie a limpiar 65, hace cavitar a dicho líquido a alta frecuencia, eliminando así la suciedad de la superficie 65 de la pieza 60 sobre la que se ha dispuesto el líquido. La vibración ultrasónica que se aplica al sonotrodo ultrasónico 4 son ondas transversales en una dirección perpendicular a la banda del sonotrodo de banda 4. La figura 5, que se describe más adelante, representa la vibración ultrasónica aplicada al sonotrodo de banda 4.

Para limpiar la superficie 65, debe haber un acoplamiento líquido entre la superficie 65 y la superficie del sonotrodo de banda 4. Es bien sabido que la vibración ultrasónica reduce la tensión superficial de los líquidos, lo que aumenta la superficie de contacto entre el líquido (solución limpiadora) y el sólido (sonotrodo de banda 4 y superficie 65). Si la superficie de contacto aumenta, la interfase líquida (acoplamiento líquido) podrá retener un volumen de líquido más grande. Cuanta más amplitud de vibración tengamos, más superficie de contacto tendremos y, por lo tanto, se retendrá un mayor volumen de solución limpiadora. Con el fin de recoger tanto volumen de líquido como sea posible entre la superficie del sonotrodo de banda 4 y la superficie 65 a limpiar, se desea que la superficie del sonotrodo de banda 4 sea tan ancha como sea posible, teniendo en cuenta el requisito de potencia mencionado anteriormente. La superficie alargada del sonotrodo de banda 4, a lo largo de la cual se transmite la vibración ultrasónica, proporciona una adecuada superficie de contacto con el líquido.

Para una frecuencia dada, dependiendo del líquido a disponer entre la superficie del sonotrodo de banda y la superficie a limpiar 65, existe un valor umbral crítico, en el que la amplitud de la vibración es tan alta que el acoplamiento líquido se vuelve inestable y se atomiza. Este umbral depende de las propiedades físicas del líquido. En particular, depende de la densidad del líquido, la viscosidad y el estrés superficial. Por ejemplo, en el caso de que la solución limpiadora sea agua de grifo, y dada una frecuencia de 20 kHz, este umbral crítico es 11  $\mu\text{m}$ . En otro ejemplo, en el caso de la acetona (solución limpiadora), y dada una frecuencia de 20 kHz, este umbral crítico es

inferior a 3  $\mu\text{m}$ . La amplitud de vibración por encima de la cual el acoplamiento líquido se atomiza también depende de la frecuencia aplicada. En particular, el umbral crítico (umbral por encima del cual se atomiza el acoplamiento líquido) disminuye con la frecuencia cuadrada. Por ejemplo, si la frecuencia varía de 20 kHz a 40 kHz (es decir, 5 x2), el umbral de amplitud de vibración se divide por 2<sup>2</sup>. En general, si la frecuencia se multiplica por N (xN), el umbral de amplitud de vibración se divide por 2<sup>N</sup>.

Estos fenómenos se ilustran en las figuras 2 (a-c). La figura 2 (a) muestra una situación en la que no se aplican ultrasonidos (US) mediante un sonotrodo de banda 4 a la capa de líquido (solución limpiadora) dispuesta debajo de él. En este caso, las 10 gotas líquidas convencionales pueden adherirse a la superficie de salida del sonotrodo de banda 4. La figura 2 (b) muestra una situación en la que el sonotrodo de banda 4 (y la vibración ultrasónica que produce) ha conseguido reducir el estrés sobre el líquido de abajo sin atomizarlo. Cuando esto ocurre, el líquido tiende a adherirse a la superficie de salida del sonotrodo de banda 4 (en otras palabras, el líquido es atraído 15 hacia la superficie de salida del sonotrodo de banda 4), generando un gran acoplamiento líquido homogéneo lineal 20 (también referido como acoplamiento líquido estático 20). Cuanto mayor sea la superficie de salida del sonotrodo de banda 4, más cantidad de líquido formará el acoplamiento de líquido estático 20. Cualquier objeto físico que entre en contacto con este acoplamiento líquido 20 será expuesto a 20 una cavitación muy intensiva y, por tanto, limpiado. Si hay un movimiento relativo (tal como un movimiento de barrido) entre el acoplamiento líquido 20 y el objeto poroso sucio, el acoplamiento líquido 20 perderá parte de su contenido, el cual permanecerá dentro de los poros. Para evitar este problema, la superficie porosa a limpiar debe estar previamente mojada. Finalmente, la figura 2 (c) muestra una situación en la que 25 la vibración ultrasónica producida por el sonotrodo de banda 4 ha atomizado el líquido dispuesto por debajo de la superficie de salida del sonotrodo. Por lo tanto, la superficie sucia no se limpia. En los ejemplos de las figuras 2(a-c), el líquido es agua del grifo. Como ya se ha mencionado, el umbral crítico de la amplitud de vibración aplicada por la superficie de salida del sonotrodo de banda a la que el agua del grifo no atomiza es 30 11  $\mu\text{m}$  dada una frecuencia de 20 kHz. Es por eso que el efecto deseado (figura 2(b)) sucede cuando dicha amplitud de vibración es igual o inferior a 11  $\mu\text{m}$ , mientras que el efecto indeseado (figura 2(c)) ocurre cuando dicha amplitud de vibración es superior a 11  $\mu\text{m}$ .

Como ya se ha explicado, los inventores han observado que la amplitud de vibración aplicada en la superficie del sonotrodo de banda 4 es muy importante, ya que para cada solución de limpieza que se puede usar, existe un umbral crítico o valor máximo de esta amplitud de vibración, de manera que si la amplitud de vibración aplicada  
5 excede el umbral asociado a cada solución limpiadora, la solución limpiadora atomizará (figura 2(c)) en lugar de formar un acoplamiento líquido lineal homogéneo 20 o un acoplamiento líquido estático 20 (figura 2b)). El convertidor 2 tiene una potencia eléctrica nominal que asegura una amplitud de vibración dada.

Es decir, dada una cierta solución limpiadora (que tiene propiedades físicas  
10 específicas) y dada una cierta frecuencia, hay un umbral de amplitud de vibración por encima del cual la vibración ultrasónica producida por el sonotrodo de banda 4 en su salida produce la atomización del líquido dispuesto por debajo del sonotrodo de banda. En consecuencia, la superficie sucia 65 no se limpia. Por otro lado, es aconsejable trabajar con una amplitud de vibración próxima a (pero inferior) dicho umbral, porque si  
15 la amplitud de vibración es mucho menor que el umbral, la capacidad de limpieza se reducirá.

Cuando la superficie a limpiar 65 tiene irregularidades geométricas, tales como patrones ornamentales en volumen o simples faltas o errores, para limpiarla adecuadamente, la altura o profundidad de la irregularidad o cavidad definida por el  
20 patrón volumétrico, es preferentemente menor que la altura del volumen de líquido retenido (acoplamiento líquido 20), como se muestra por ejemplo en la figura 2(b).

La figura 3 ilustra un ejemplo de prototipo de dispositivo de limpieza 10 de acuerdo con la realización mostrada en la figura 1. En el prototipo pueden apreciarse el generador de señal 1, el conversor ultrasónico (también llamado conversor piezoeléctrico o  
25 transductor ultrasónico) 2, el intensificador 3 y la banda o sonotrodo de banda 4. Además, se puede observar también el enchufe 5 a través del que puede alimentarse el dispositivo 10.

La figura 4 muestra un dispositivo de limpieza por ultrasonidos 30 de acuerdo con una posible implementación de la invención. Además se ilustra el modo de operación del  
30 mismo. En esta ocasión, el dispositivo 30 está formado por dos conjuntos de intensificador 3 y conversor 2. Los dos conjuntos proporcionan la vibración ultrasónica a una misma banda o sonotrodo de banda 4. En función de la potencia necesaria para

limpiar la superficie 65 de la pieza a limpiar, que a su vez puede depender de la cantidad de suciedad acumulada, de las irregularidades de la superficie 65 y/o del tamaño de superficie a limpiar, podrán usarse uno, dos o más conjuntos de intensificador 3 y conversor 2 asociados a un mismo sonotrodo de banda 4. En la

5 figura 4, la flecha representa la dirección de barrido o deslizamiento del conjunto sobre la superficie 65 durante el uso del dispositivo 30. En la figura se han ilustrado también unos medios de sujeción o soporte 6, tales como abrazaderas u otros, para sujetar el uno o más conjuntos de intensificador 3 y conversor 2 y facilitar su barrido sobre la superficie a limpiar 65.

10 Al hacer vibrar la banda 4 a la frecuencia de operación (en torno a 20 KHz (20.000 Hercios), la banda entra en resonancia a flexión (en inglés, flexural resonance), como se ilustra en la figura 5. Esta resonancia puede producir una deformación entre picos de, por ejemplo, varias micras ( $10^{-6}$  metros). Como puede observarse, al resonar a flexión, la banda 4 presenta una pluralidad de antinodos (picos de onda) 51 que actúan

15 como emisores de vibración. Así, al apoyar la banda 4 sobre la superficie mojada a limpiar 65, la banda del sonotrodo se deforma elásticamente y adopta la forma de la superficie 65. Los antinodos 51 corresponden con las zonas de la banda 4 en las que se emite vibración ultrasónica de mayor potencia. Refiriéndonos ahora por ejemplo a la figura 4, en la que se esquematiza el funcionamiento del dispositivo 30, que es barrido

20 a lo largo de la superficie a limpiar 65, se ha observado que aplicando una cierta potencia, la superficie a limpiar 65 se va limpiando correctamente en las zonas de la superficie 65 correspondientes a los antinodos 51 de la banda 4, mientras que las zonas de la superficie 65 correspondientes a zonas de la banda diferentes a los antinodos, quedan relativamente sucias. Es decir, se ha observado que el dispositivo

25 10, 30 limpia de forma especialmente eficiente en las proximidades de los antinodos 51. En consecuencia, la superficie a limpiar 65 puede alternar zonas limpias con zonas sucias, las zonas limpias correspondiendo a donde la banda 4 ha presentado antinodos 51. Se ha observado que incrementando la potencia nominal aplicada, de forma que la potencia en los antinodos 51 sea superior a la necesaria para limpiar la

30 zona de la superficie 65 correspondiente a los antinodos, la banda 4 limpia también en las zonas de la superficie que no corresponden a los antinodos formados en la banda 4. Es decir, variando la potencia proporcionada al sonotrodo de banda 4, es posible conseguir que los antinodos 51 proporcionen suficiente potencia de vibración para

limpiar las zonas de la superficie a limpiar 65 más alejadas de los antinodos 51. La figura 6 muestra las ondas formadas por agua depositada sobre una banda 4 cuando la banda 4 vibra en resonancia a flexión. Se aprecia el efecto de los antinodos 51 (picos de potencia).

5 Las figuras 7a y 7b ilustran un detalle del dispositivo de limpieza de acuerdo con una posible implementación del mismo, en la que se destaca el sonotrodo de banda 4 y el soporte 6 sobre el que se fija el mismo. La banda (sonotrodo de banda) 4 está dispuesta en o acoplada a unos medios de sujeción o soporte 6. Los medios de sujeción o soporte 6 son alargados, de forma que la banda 4 se sujeta a ellos a lo  
 10 largo de su longitud (dimensión mayor). En la figura 7a se observa en primer plano los medios de sujeción 6, mientras que la figura 7b corresponde a una vista girada de la figura 7a, en la que la banda 4 se aprecia mejor. En la figura 7a se observa parte de un convertor 2 (pudiendo haber más de uno asociado a la misma banda, como se ha indicado con anterioridad). El dispositivo dispone también de un sistema o mecanismo  
 15 de distribución de agua 7 (o de líquido de limpieza, en general), formado en este caso por unas pequeñas tuberías que hacen llegar dicho líquido a una pluralidad de boquillas 8 a través de las cuales el líquido es expulsado en uso del dispositivo. El líquido puede llegar hasta el sistema o mecanismo de distribución 7 procedente de un depósito (no ilustrado). En las figuras 7a y 7b se muestra también unos rodamientos 9  
 20 y unas ruedas 11, ambos opcionales, que contribuyen a facilitar el desplazamiento o barrido del dispositivo sobre la superficie a limpiar. La figura 14 muestra un prototipo de dispositivo de limpieza que incorpora los detalles de las figuras 7a y 7b, de accionamiento manual mediante una manivela 12.

La figura 8 muestra una implementación alternativa del dispositivo 80 de la invención.  
 25 Como se ha explicado en relación con las figuras 5 y 6, el sonotrodo de banda 4 limpia de forma especialmente eficiente en la superficie 65 -de la pieza sobre la que se barre- que corresponde con los antinodos 51. Por ello, en función de la suciedad, del tipo de pieza a limpiar (por ejemplo piezas muy rugosas o con profundas cavidades), de la potencia que se vaya a emplear y/o de la velocidad a la que se vaya a realizar el  
 30 barrido, puede ser recomendable usar una segunda banda paralela a la primera banda del dispositivo. Esto se ilustra en la figura 8. En ella, un primer conjunto de intensificador 3 y convertor 2 proporcionan vibración ultrasónica a un primer sonotrodo de banda 84, mientras que un segundo conjunto de intensificador 3 y convertor 2

proporcionan vibración ultrasónica a un segundo sonotrodo de banda 84', que desliza o barre la superficie a limpiar inmediatamente detrás del primer sonotrodo de banda 84. Diseñando las dos bandas 84, 84' (y conjuntos de intensificador y conversor correspondientes) de forma que los antinodos 51 de cada banda ocurran desplazados  
 5 entre sí, como esquematiza la figura 9, se consigue limpiar todas las zonas de la superficie 65 de la pieza. En la figura 9, los antinodos 51 de cada banda 84, 84' se han esquematizado como círculos. Se consigue así la limpieza completa de la superficie 65, limpiando de forma alternada con uno u otro sonotrodo de banda 84, 84'.

El uso del dispositivo 10, 30, 80 de limpieza ultrasónica de una pieza 60 es como  
 10 sigue: El dispositivo 10, 30, 80 es barrido a lo largo de la superficie 65 de la pieza 60 a limpiar, como se ilustra en la figura 10. En la figura 10 se ha representado el dispositivo 10 de la figura 1, pero igualmente podría haberse representado el dispositivo 30 o el dispositivo 80, pues el uso de los mismos es similar. Esta operación puede realizarse tanto manualmente como mediante dispositivos automáticos, tales  
 15 como manipuladores robóticos. Para evitar daños (como el rayado) en la superficie a limpiar, así como en el sonotrodo de banda 4, preferentemente debe evitarse el contacto físico entre la superficie 65 y el sonotrodo de banda 4. Como se ha explicado dicho contacto directo se evita, por ejemplo, mediante la aplicación de unas gotas de un material plástico, por ejemplo silicona, sobre varios puntos de la banda 4 (de su  
 20 parte destinada a acercarse íntimamente a la superficie a limpiar), de forma que sean estas gotas las que presionen sobre la superficie a limpiar, evitando el rozamiento entre la banda 4 y la superficie a limpiar.

Además, el dispositivo 10, 30, 80 incluye preferiblemente medios mecánicos, tales como ruedas 11, como se ilustra por ejemplo en las figuras 7a y 7b, para mantener un  
 25 cierto espacio entre el sonotrodo de banda 4 y la solución limpiadora dispuesta sobre la superficie 65 a limpiar. Tales medios mecánicos son especialmente recomendados durante el movimiento de barrido manual. La figura 11, que se describirá en detalle a continuación, muestra la distancia de barrido D entre el sonotrodo de banda 4 y la superficie 65 a limpiar, al barrer el dispositivo 10. La distancia máxima  $D_{max}$  a la  
 30 superficie 65, a la que se puede barrer el sonotrodo de banda 4, se determina por el mayor acoplamiento líquido obtenible de solución limpiadora. Por tanto, la distancia máxima  $D_{max}$  está determinada por el volumen máximo (cantidad) de líquido que puede retenerse entre el sonotrodo de banda 4 y la superficie. En otras palabras,



- depende del tamaño (altura) del acoplamiento líquido estático. Si la distancia  $D$  está por encima del valor máximo  $D_{\max}$ , ya no hay contacto entre el acoplamiento líquido contenido entre el sonotrodo de banda 4 y la superficie húmeda 65 y por lo tanto se rompe el acoplamiento de líquido estático. Este volumen máximo de líquido retenido
- 5 depende del tipo de solución limpiadora (que tiene propiedades físicas específicas) y del material del sonotrodo de banda 4. En realizaciones de la invención, se elige una distancia  $D$  de unos 3 mm para no trabajar en condiciones límite. En otras realizaciones de la invención, se elige una distancia  $D$  de entre 1 y 3 mm, ambos inclusive. Esta distancia  $D$  viene dada por la altura del tope plástico (por ejemplo,
- 10 silicona), aplicado en distintos puntos del sonotrodo de banda 4 para evitar el contacto directo del sonotrodo de banda con la superficie a limpiar. Es decir, puesto que al barrer el sonotrodo de banda 4 sobre la superficie 65 a limpiar se ejerce presión para aproximar la banda a la superficie 65, se depositan previamente unos topes o gotas de plástico sobre la banda, teniendo estos topes o gotas una altura  $D$ .
- 15 Además de la suciedad presente en la superficie a limpiar y la potencia aplicada por el dispositivo de limpieza, se ha observado que dos parámetros que afectan a la limpieza son esta distancia  $D$  y la velocidad a la que se mueve o barre el dispositivo sobre la superficie a limpiar.

Con referencia a la figura 10 o a la 11, entre la superficie 65 de la pieza 60 y la banda del sonotrodo 4, se aplica una capa de líquido o película de líquido (solución limpiadora) (no visible en la figura 10). La vibración ultrasónica aplicada por el sonotrodo de banda 4 hace que la solución de limpieza cavite, liberando fuertes ondas de choque y chorros de agua en la superficie 65. Tanto las ondas de choque como los chorros de agua eliminan las partículas de suciedad (arena, tierra, polvo, barro...) y

20 aceleran disoluciones (pintura, aceite, grasa...). La cavitación puede penetrar en poros, grietas, cavidades o cualquier otro patrón presente en la superficie 65 a limpiar. En otras palabras, la potencia de cavitación ultrasónica se concentra en una capa delgada de líquido (solución limpiadora) cuando el sonotrodo de banda 4 aplica vibración ultrasónica a la solución limpiadora. Ejemplos no limitativos de soluciones de limpieza

25 que pueden usarse son agua (tal como agua del grifo) y soluciones acuosas que comprenden agentes químicos, tales como jabón, acetona y alcohol. La distancia  $D$  entre el sonotrodo de banda 4 más cercana a la superficie 65 a limpiar, es preferiblemente mayor que el espesor de la capa de solución limpiadora. Es decir, la

30

superficie de salida del sonotrodo 4 preferiblemente no está en contacto directo con la solución limpiadora. Esta distancia D, ilustrada en la figura 11, entre la superficie de salida del sonotrodo de banda 4 y la superficie 65 a limpiar, preferiblemente se mantiene constante a lo largo del proceso de barrido, tal como por medio de las gotas  
5 de plástico dispuestas sobre el sonotrodo 4 de banda que evitan el contacto directo entre el sonotrodo de banda 4 y la superficie a limpiar 65.

La aplicación de una solución limpiadora a la superficie 65 a limpiar puede hacerse de diferentes maneras. En una realización particular, antes de mover o barrer el sonotrodo de banda 4 sobre la superficie 65 a limpiar, se aplica una capa de solución  
10 limpiadora sobre esa superficie, de tal manera que sustancialmente toda la superficie 65 a limpiar se cubre con una capa de líquido. Para trabajar de esta manera, es necesario un impulso inicial (por ejemplo una única gota de líquido para obtener acoplamiento de líquido). Si se activa la vibración ultrasónica, cuando la gota toque tanto la capa de líquido como el sonotrodo de banda, se generará un acoplamiento de  
15 líquido estático. No importa que haya movimiento relativo entre el sonotrodo de banda y la capa de líquido porque la tensión superficial del acoplamiento líquido es tan baja que tiende a "pegarse" a ambos elementos. En otras palabras, una vez que se forme el acoplamiento líquido, se podrá producir el movimiento de barrido del sonotrodo de banda. En otra realización, se genera un acoplamiento líquido mediante el movimiento  
20 hacia abajo del sonotrodo de banda hasta que entra en contacto con la capa de líquido. En otras palabras, se requiere un contacto inicial (agua en la superficie a limpiar y agua en la banda).

Como ya se ha mencionado, el sonotrodo de banda 4 (de hecho, todo el dispositivo 10, 30, 80) se mueve sobre la superficie 65, barriendo la superficie desde un primer  
25 extremo 65a hasta el extremo opuesto 65b, a lo largo de la longitud de la superficie 65 a limpiar, como se representa en la figura 10. Si la superficie a limpiar es más ancha que la anchura de la banda (o bandas) del sonotrodo, será necesario barrer el dispositivo 10, 30, 80 a lo largo de la superficie 65 tantas veces como sea necesario para que el sonotrodo de banda 4 aplique una vibración ultrasónica sobre el agua  
30 dispuesta sobre toda la superficie a limpiar. En función de la aplicación y tamaño de la superficie a limpiar, puede diseñarse un dispositivo de limpieza cuya banda 4 sea tan larga como se requiera para no tener que barrer varias veces a lo largo de la superficie a limpiar.

En otra realización particular, una capa de solución limpiadora que cubre toda la superficie a limpiar no se aplica antes de barrer el sonotrodo de banda 4 sobre la superficie 65 a limpiar. En cambio, el acoplamiento líquido mencionado se regenera constantemente. En esta realización, una solución de limpieza puede proporcionarse externamente al sonotrodo de banda 4, por ejemplo por medio de una jeringuilla o una boquilla de pulverización, como se ilustra en la realización mostrada en las figuras 7a y 7b. Alternativamente, la solución de limpieza puede proporcionarse internamente al sonotrodo de banda 4, por ejemplo a lo largo de un canal dispuesto dentro del sonotrodo de banda, diseñado para llevar agua a la superficie del sonotrodo de banda 4, diseñado para estar más cerca de la superficie a limpiar.

La figura 11 ilustra el funcionamiento de un dispositivo 10 para la limpieza ultrasónica de acuerdo con la invención. El generador de ondas ultrasónicas y el intensificador no se muestran en la figura 11. También se muestra la pieza 60 a limpiar. En la figura 11, la flecha M representa el movimiento de barrido del dispositivo 10. La superficie 65 de la pieza 60 a limpiar se limpia mientras el dispositivo 10 se mueve hacia delante. Se muestra la suciedad 70 sobre la superficie 65 aún sin limpiar. La figura 11 se refiere a una realización en la que no hay ninguna capa de solución de limpieza dispuesta sobre la superficie 65 a limpiar antes del movimiento del sonotrodo de banda 4. En su lugar, se proporciona una solución de limpieza a la superficie 65 cuando el sonotrodo de banda 4 se mueve hacia adelante. La flecha A1 representa la dirección de las gotitas 80 de solución limpiadora suministrada mientras el dispositivo 100 se mueve. Cuando las gotitas de solución limpiadora 80 entran en contacto con el sonotrodo de banda 4, se produce vibración ultrasónica V, como consecuencia de lo cual se elimina la suciedad de la superficie 65 de la pieza 60. La flecha A2 representa la dirección de las gotitas sucias 71 siendo aspiradas por un dispositivo de vacío externo mientras el sonotrodo de banda 4 va avanzando. En una realización particular, en la que la solución limpiadora es agua, el agua sucia 71 puede ser filtrada en el dispositivo 10, que continuamente proporciona agua filtrada 80, reutilizando por lo tanto el agua. El mismo sistema podría utilizarse para cualquier tipo de solución de limpieza. En este caso, la flecha A3 representa esquemáticamente la dirección del agua sucia (o solución de limpieza, en general), que se filtra para ser reutilizada. En una realización particular, el agua sucia 71 es retroalimentada y filtrada por medio de un sistema hidráulico que incluye filtración de partículas (no mostrado). En otras palabras, en esta

realización, la capa de agua se regenera constantemente gracias a medios de filtración. De esta manera, la única agua consumida por el dispositivo 10 es el agua que permanece sobre la superficie limpia, por ejemplo en los poros, si los hubiera, dispuestos en la superficie 65 de la pieza 60. El consumo de agua es muy bajo (sólo  
5 la cantidad necesaria para humedecer la superficie 65 a limpiar).

El dispositivo de la invención, y en particular la banda o sonotrodo de banda, puede disponerse en distintas configuraciones, tales como horizontal, vertical u oblicua. En cualquiera de ellas el dispositivo puede accionarse de forma manual por un operario o de forma automatizada (por ejemplo, robotizada).

10 Se han realizado varias pruebas de limpieza con el dispositivo de la invención a una frecuencia de operación del convertor ultrasónico de 40 KHz, que proporciona vibración con amplitud de 10 micras ( $10 \mu\text{m} = 10 \times 10^{-6} \text{m}$ ) a su potencia nominal (200W). Se ha utilizado un dispositivo de limpieza de una sola banda de sonotrodo, de aluminio, con un único convertor. La superficie a limpiar elegida para las pruebas ha  
15 sido un espejo de los utilizados como concentradores de energía solar. Los espejos se ensuciaron manualmente con agua y polvo y se secaron. Al activar la vibración y verter agua sobre la banda del sonotrodo, se genera un acoplamiento líquido lineal. Se ha barrido el dispositivo de limpieza sobre la superficie a limpiar a una distancia sustancialmente constante  $D = 1\text{mm}$ , determinada por la altura de igual valor de unas  
20 gotas de silicona depositadas sobre la superficie de la banda más próxima a la superficie a limpiar. Cuando el acoplamiento líquido entra en contacto con la superficie sucia, la limpia profundamente. Se ha desplazado el dispositivo sobre la superficie a limpiar a velocidades que varían entre 1 y 10 metros /minuto. Los resultados se han comparado con respecto a limpieza mediante agua a alta presión. Se han realizado  
25 ensayos tanto con el espejo dispuesto en horizontal (0 grados), como oblicuo (a 45 grados) y vertical (90 grados). El aporte de agua se ha realizado mediante un atomizador manual. La figura 12 muestra un espejo usado en las pruebas en una configuración horizontal, en el que se diferencian tres zonas. El barrido se ha producido de izquierda a derecha en el espejo ilustrado. El convertor del dispositivo  
30 quedó dispuesto en la parte superior de la imagen (es decir, en la posición inicial, aproximadamente en la esquina superior izquierda del espejo), de forma que a medida que se barría de izquierda a derecha, el convertor quedaba próximo a la parte del fondo (parte superior de la imagen) del espejo, mientras que la parte inferior o próxima

del espejo era barrida por la parte de la banda más lejana al convertor. La primera zona (zona 1) se ha limpiado por tanto en la zona cercana al convertor. Esta zona 1 muestra una limpieza homogénea. Se ha comprobado que su reflectividad relativa es superior al 99%. La segunda zona (zona 2) queda más lejos del convertor, por lo que la amplitud es menor. Esta zona 2 muestra una limpieza por bandas, de forma que las zonas limpias corresponden a los antinodos de la banda de sonotrodo, mientras que las zonas sucias corresponden a zonas de la banda donde no había antinodos. Es decir, en este caso, la amplitud necesaria para limpiar homogéneamente solo se obtiene cerca del convertor. Como puede observarse en la zona 1, cuando la amplitud de vibración supera cierto umbral, las bandas que se aprecian en la zona 2 desaparecen, consiguiéndose limpieza homogénea. Se tiene por lo tanto una ventana de amplitud con un valor mínimo para evitar la aparición de bandas, y un máximo para evitar la atomización del líquido. Se ha comprobado que la limpieza no homogénea de la zona 2 se soluciona o bien aumentando la potencia nominal aplicada, para minimizar el impacto de la distancia del convertor al extremo más lejano de la banda, o incluyendo un segundo convertor, como se ha ilustrado por ejemplo en la figura 4. La tercera zona (zona 3) es una zona sin tratar (totalmente sucia). La figura 13 muestra un espejo usado en las pruebas en una configuración vertical, en el que se diferencian tres zonas similares a las de la figura 12. La reflectividad relativa de la primera zona (zona 1) es también superior al 99%.

En conclusión, en la zona de los antinodos, es decir, en las zonas donde la banda del sonotrodo se acerca más a la superficie a limpiar, amoldándose a la misma, la potencia de limpieza es tan alta que la limpieza es muy eficiente. Además se ha observado que la orientación del dispositivo no afecta a la calidad de los resultados. Sin embargo, en la configuración horizontal deben retirarse gotas de agua tras la limpieza, mientras que en la vertical el aporte de agua es algo más complicado.

Se ha realizado otro experimento, en el que se ha limpiado un espejo similar trabajando a una frecuencia de 30 KHz con un convertor de mayor potencia (1200W). Debido a las limitaciones del generador, la potencia nominal está limitada a 400W. Al 100% de la potencia nominal elegida, es decir, 400 W (vatios), no se han observado bandas de suciedad entre las zonas limpias; además su reflectividad relativa es superior al 99%. Sin embargo, trabajando al 10% de la potencia nominal elegida, es decir, 40 W, se han observado bandas sucias entre zonas limpias del espejo (las

zonas limpias corresponden a los antinodos de la banda del sonotrodo). En comparación con un sistema de limpieza por alta presión convencional de 200 bares, éste no es capaz de limpiar correctamente el espejo y el consumo de agua es de 15 litros / minuto, es decir 600 veces superior al consumo usando el dispositivo de la  
5 invención.

En conclusión, el dispositivo y método propuestos permiten limpiar piezas de cualquier tamaño usando técnicas ultrasónicas, sin sumergir la pieza en un depósito lleno de agua. El método y el dispositivo están indicados para la limpieza ultrasónica de piezas que tienen superficies sustancialmente planas, o superficies curvadas simples, o  
10 superficies de doble curvatura, o superficies que tienen irregularidades geométricas o patrones volumétricos, tales como grietas, cavidades, poros o patrones. Ejemplos no limitativos de las aplicaciones de la invención son la limpieza de paredes que tienen graffitis, limpieza de ladrillos o baldosas o limpieza de piezas de sectores industriales, tales como automoción, aeroespacial o energía. Entre las ventajas de la invención, no  
15 se requiere ningún contacto físico entre el sonotrodo de banda y la pieza a limpiar. Debido a que el sonotrodo de banda se adapta a la superficie a limpiar, se logra una limpieza óptima sin dañar la pieza o la banda del sonotrodo. Además, la capa de solución limpiadora utilizada puede ser filtrada y reutilizada constantemente. De hecho, en superficies impermeables, tales como vidrio o metal, cuando se genera una capa  
20 de líquido estática, el consumo de líquido es casi cero porque puede ser constantemente filtrado y reutilizado. Las ondas de ultrasonido penetran en pequeños poros, grietas o cavidades de la superficie a limpiar. Se puede utilizar con solo agua o con una solución acuosa que comprende agentes químicos. En este último caso, la cavitación ultrasónica acelera drásticamente las reacciones químicas, disolviendo la suciedad adherida a la superficie a limpiar. El método y el dispositivo se pueden  
25 aplicar tanto para tareas industriales como para tareas domésticas de limpieza.

Por otra parte, con respecto a otros métodos de limpieza convencionales, como mediante chorros de agua a presión, el dispositivo de la presente invención consume hasta 600 veces menos agua, a la vez que requiere una potencia eléctrica un orden de  
30 magnitud menor.

La invención no se limita obviamente a la(s) realización(es) específica(s) descrita(s), sino que abarca también cualquier variación que pueda ser considerada por cualquier experto en la materia (por ejemplo, con relación a la elección de materiales,

dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance general de la invención como se define en las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1.- Un dispositivo (10, 30, 80) para limpiar mediante ultrasonidos una superficie (65) sobre la cual se ha dispuesto una solución limpiadora, donde el dispositivo (10, 30, 80) comprende:

5 -al menos un oscilador ultrasónico (1) configurado para convertir una señal eléctrica que opera a una frecuencia de 50-60 Hz en energía eléctrica que opera a una frecuencia comprendida en la banda de frecuencias ultrasónicas;

-al menos un convertidor ultrasónico (2) para convertir dicha energía eléctrica en una vibración mecánica ultrasónica;

10 -al menos una banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') acoplada a dicho al menos un convertidor ultrasónico (2) y configurada para entrar en resonancia a flexión cuando se le aplica dicha vibración mecánica de frecuencia ultrasónica y para amoldarse elásticamente a dicha superficie (65);

15 estando dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') configurada para, durante su uso, generar un acoplamiento líquido de solución limpiadora entre dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') y dicha superficie (65) y para exponer a dicha superficie (65) en contacto con dicho acoplamiento líquido de solución limpiadora a cavitación, eliminando así la suciedad (70) de la superficie (65).

20 2.- El dispositivo (10, 30, 80) de la reivindicación 1, donde dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') es metálica.

3.- El dispositivo (10, 30, 80) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') tiene un espesor inferior a 10 mm.

25 4.- El dispositivo (10, 30, 80) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') comprende una pluralidad de gotas de plástico en la parte destinada a estar más próxima a dicha superficie (65) para evitar el rozamiento entre dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') y dicha superficie (65).

30 5.- El dispositivo (80) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende dos bandas de sonotrodo ultrasónicas (84, 84') configuradas para desplazarse sobre la superficie a limpiar (65), estando dichas dos bandas de sonotrodo ultrasónicas (84, 84') configuradas para que, en uso del dispositivo, los antinodos (51) generados en



cada una de ellas debido a la resonancia en flexión estén desplazados en una banda de sonotrodo ultrasónica (84) con respecto a la otra banda de sonotrodo ultrasónica (84').

5 6.- El dispositivo (80) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende dos osciladores ultrasónicos (1) y dos convertidores ultrasónicos (2) acoplados a dicha al menos una banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84').

7.- Un método de limpieza de una superficie (65) mediante ultrasonidos, que comprende:

-aplicar una solución limpiadora sobre la superficie a limpiar (65);

10 -mover (M) un dispositivo (10, 30, 80) que comprende al menos una banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') a lo largo de dicha superficie (65), presionando dicha al menos una banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') sobre dicha superficie (65);

15 -aplicar una vibración ultrasónica (V) sobre dicha al menos una banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84');

-generar un acoplamiento líquido (20) de solución limpiadora entre dicha al menos una banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') y dicha superficie (65);

-exponer a cavitación a dicha superficie (65) en contacto con dicho acoplamiento líquido de solución limpiadora, eliminando así la suciedad (70) de la superficie (65).

20 8.- El método de la reivindicación 7, donde dicha generación de un acoplamiento líquido de solución limpiadora entre dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') y dicha superficie (65) se consigue o bien aplicando una gota de solución limpiadora tanto a la solución limpiadora dispuesta sobre la superficie (65) como a la banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84'), o bien bajando la banda de sonotrodo ultrasónica (4,  
25 84, 84') hasta que entre en contacto con una solución limpiadora dispuesta sobre dicha superficie (65).

9.- El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, donde el dispositivo (10, 30, 80) se mueve a lo largo de dicha superficie (65) manteniendo una distancia (D) constante entre dicha superficie (65) y dicha banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84,  
30 84').

- 10.- El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, donde dicha solución limpiadora se aplica sobre la superficie (65) antes de empezar a funcionar la al menos una banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84'), de forma que una capa de solución limpiadora es dispuesta sobre la superficie (65).
- 5 11.- El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, donde dicha solución limpiadora se aplica sobre la superficie (65) a limpiar a medida que la al menos una banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') se mueve a lo largo de dicha superficie (65), de forma que dicho acoplamiento líquido de solución limpiadora queda dispuesto entre dicha superficie (65) y la superficie exterior de la banda de sonotrodo ultrasónica  
10 (4, 84, 84').
- 12.- El método de la reivindicación 11, donde dicha solución limpiadora se suministra externamente a la banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') por medio de una jeringuilla o de una boquilla atomizadora (8).
- 13.- El método de la reivindicación 11, donde dicha solución limpiadora se suministra  
15 internamente a la banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') a lo largo de un canal (7) dispuesto en la banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84'), estando dicho canal (7) diseñado para conducir la solución limpiadora a la superficie de la banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') más próxima a la superficie (65) a limpiar.
- 14.- El método de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, donde dicha solución  
20 limpiadora se reúsa por la banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') mediante la succión (A2) de gotas sucias (71), el filtrado (A3) de dichas gotas sucias y la aplicación (A1) de gotas filtradas (80) mientras la banda de sonotrodo ultrasónica (4, 84, 84') avanza sobre la superficie (65) a limpiar.
- 15.- El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 14, donde dicha solución  
25 limpiadora se selecciona del siguiente grupo: agua y soluciones acuosas que comprenden al menos un agente químico.

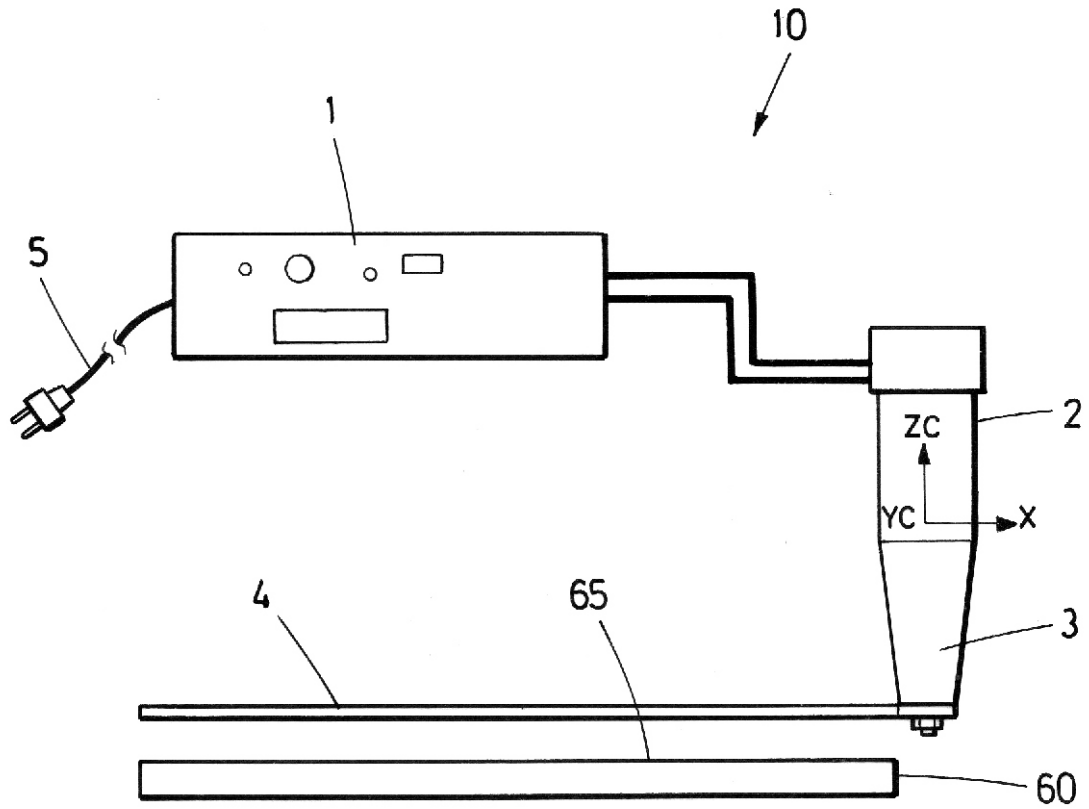


FIG.1

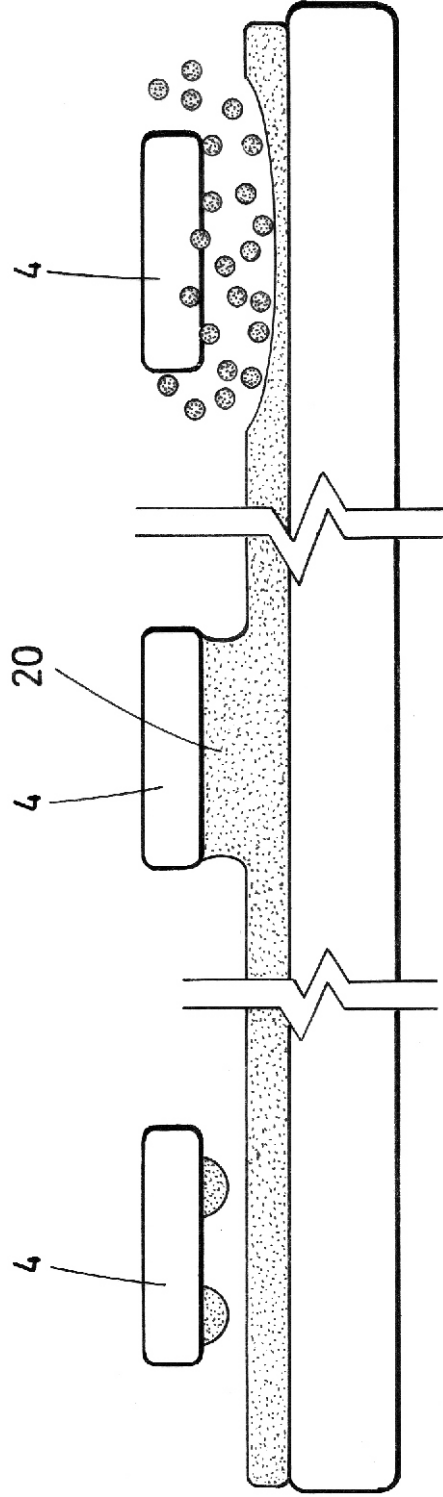
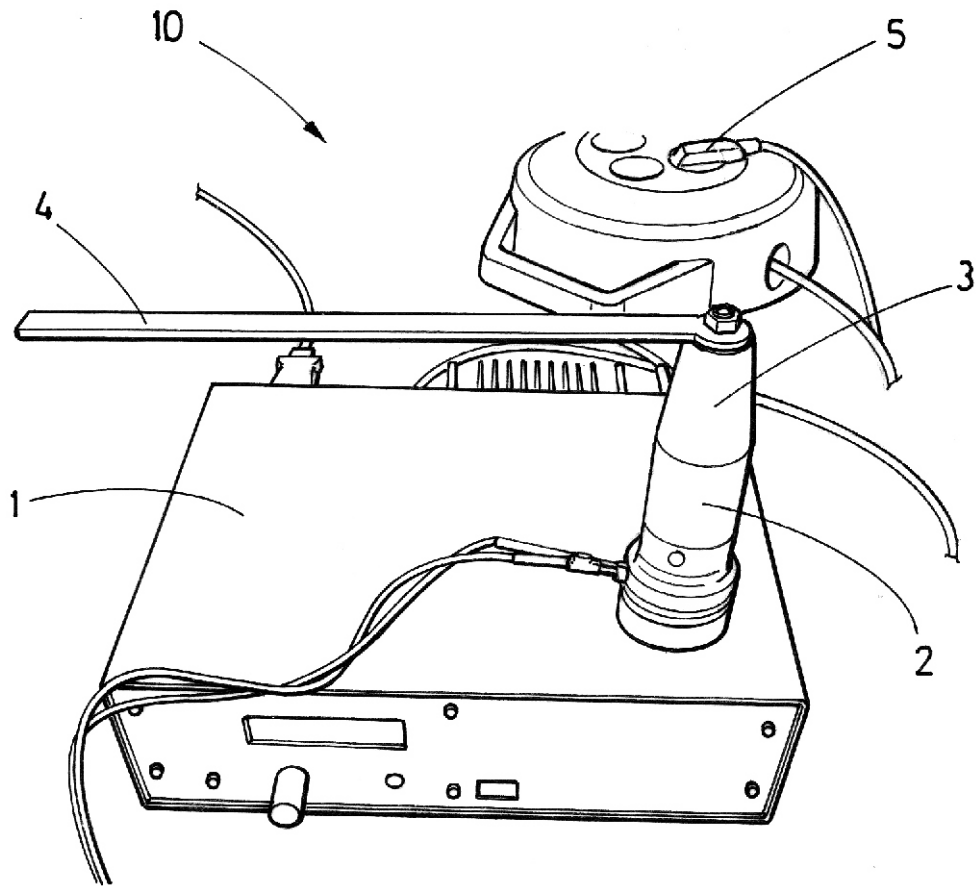


FIG.2a

FIG.2b

FIG.2c



**FIG.3**

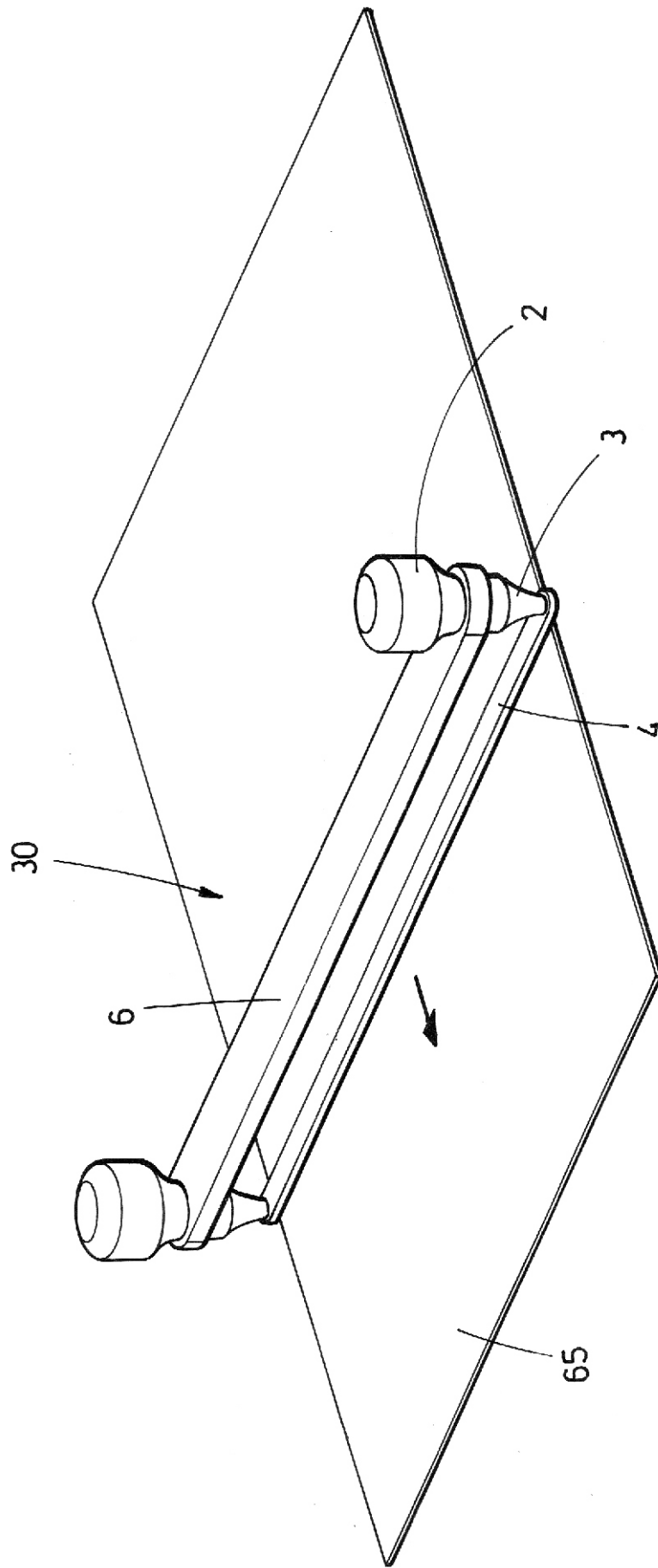
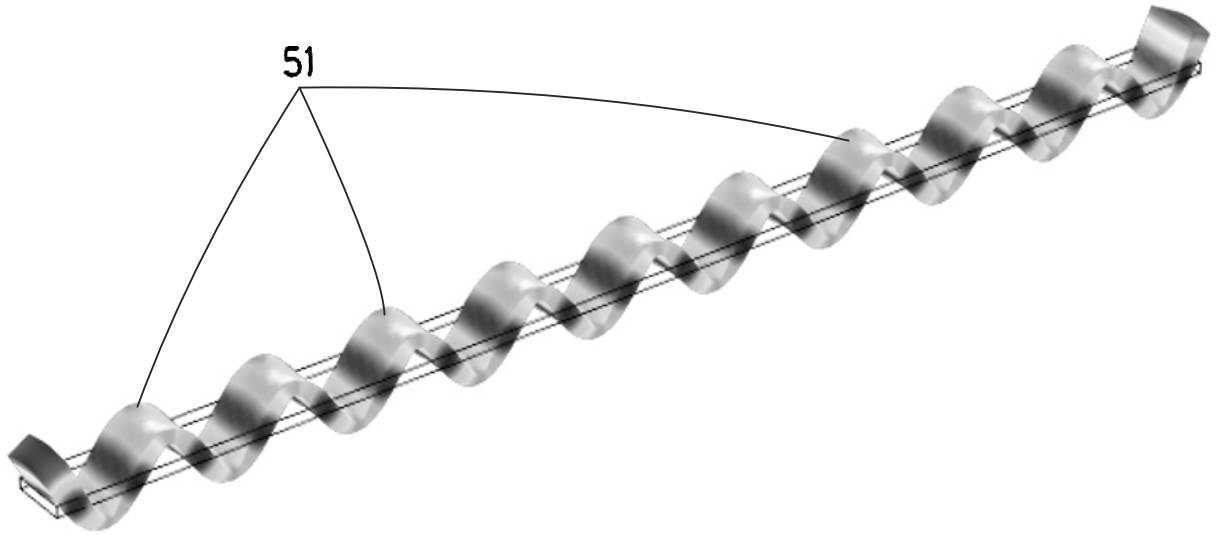
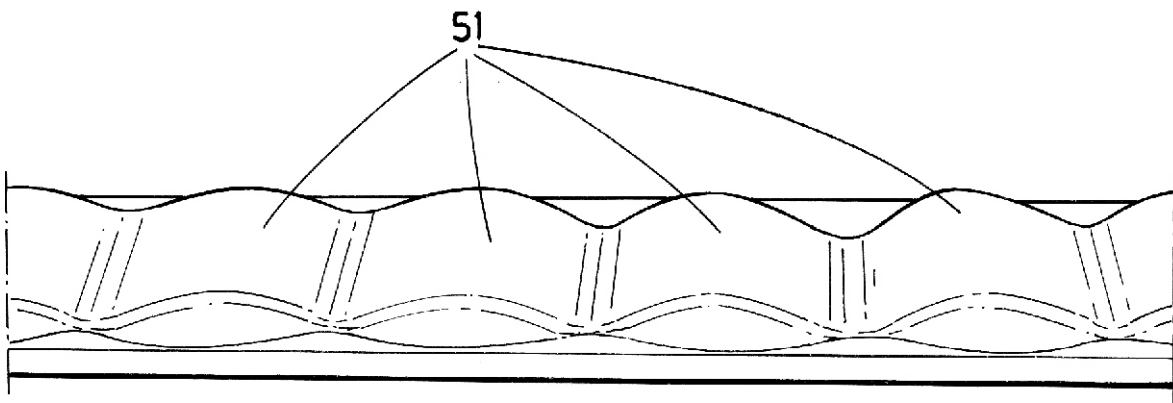


FIG. 4



**FIG. 5**



**FIG. 6**

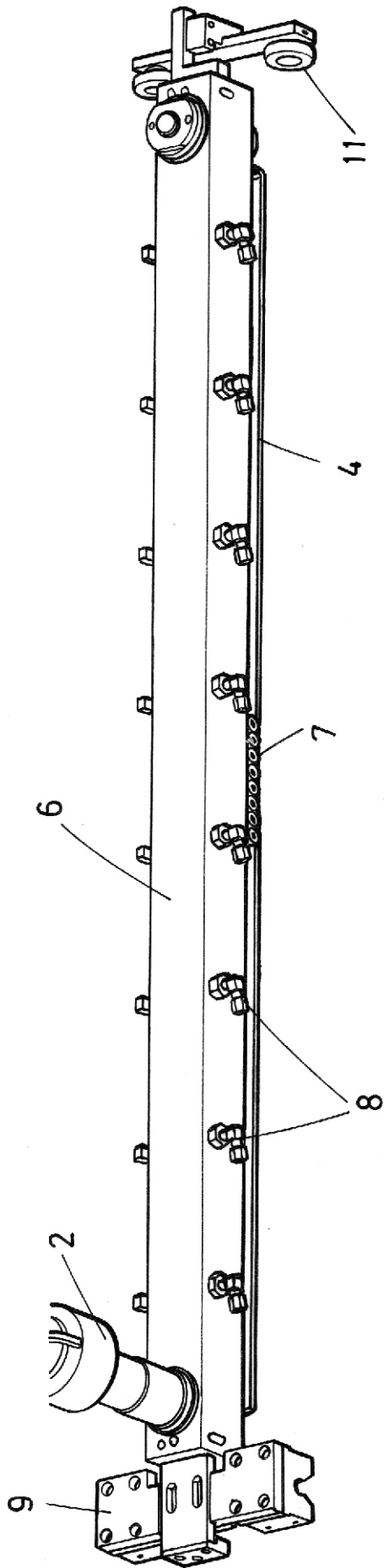


FIG. 7a

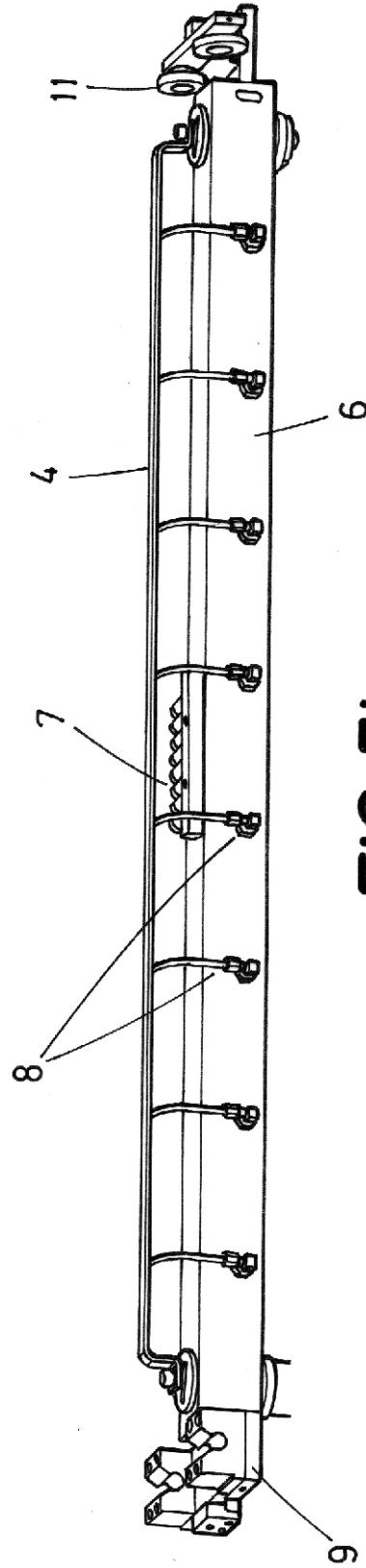
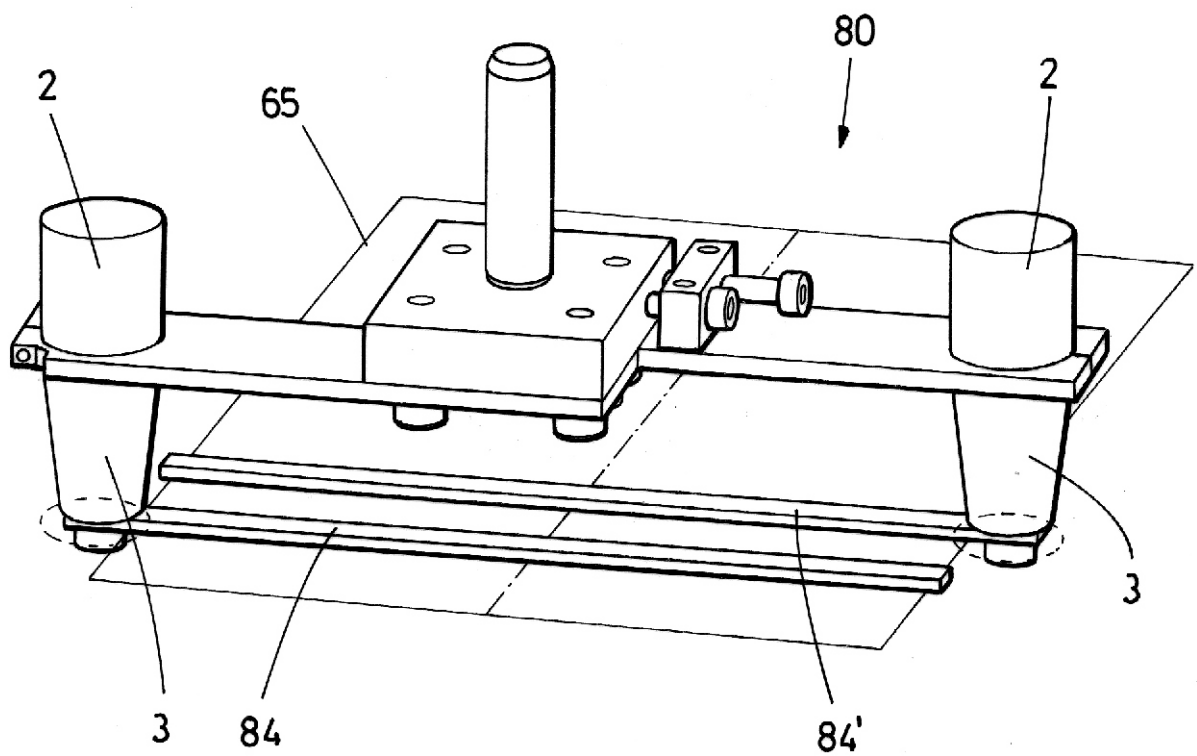


FIG. 7b





**FIG.8**

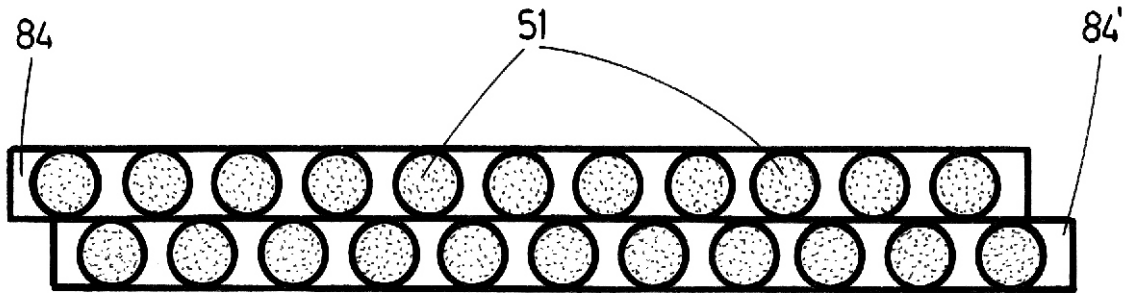


FIG. 9

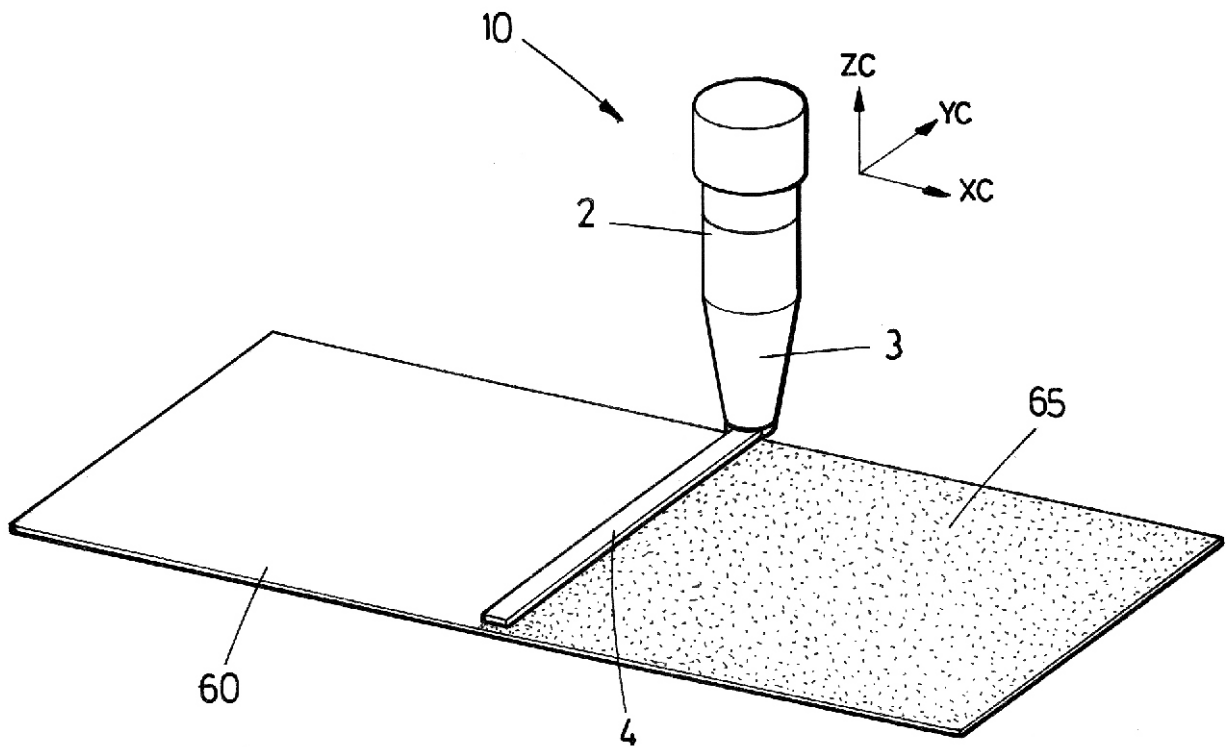


FIG. 10

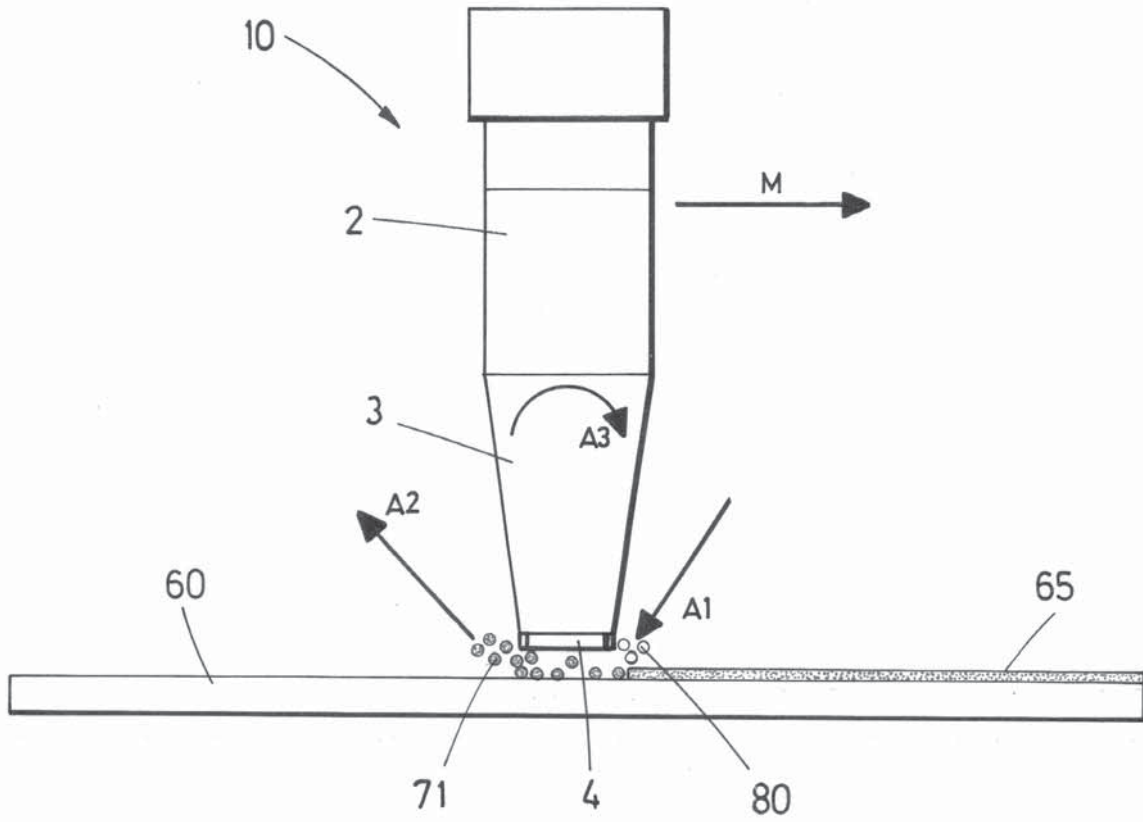
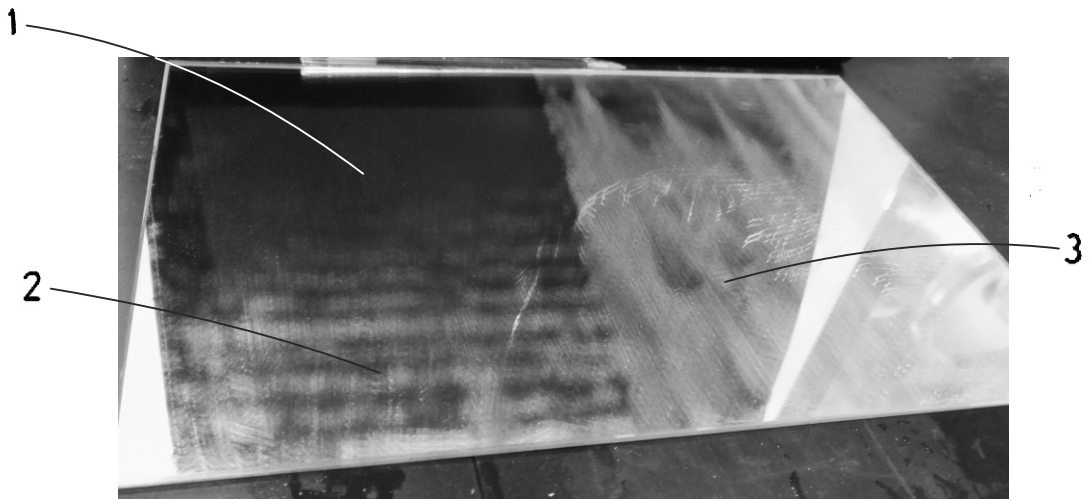
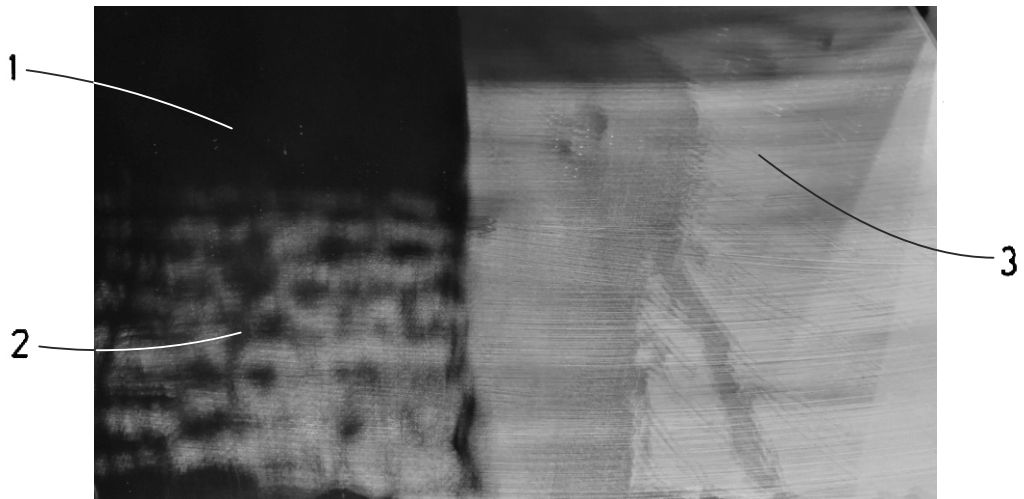


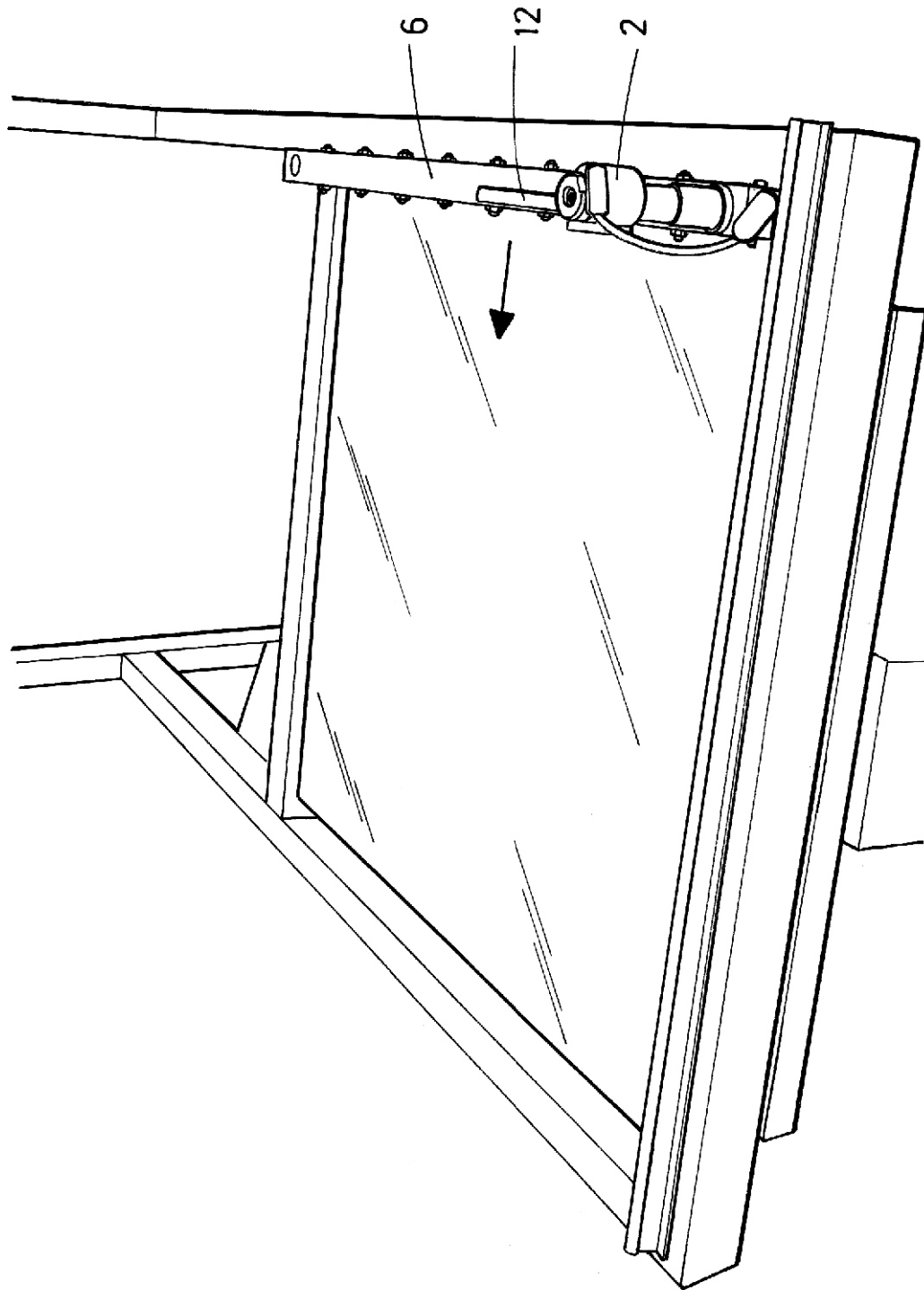
FIG.11



**FIG.12**



**FIG.13**



**FIG.14**



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201730981

②② Fecha de presentación de la solicitud: 26.07.2017

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **B08B3/12** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 2003101532 A1 (DESINGER KAI et al.) 05/06/2003, Todo el documento.	1-4,6-15
A	EP 1681383 A1 (ELECTROLUX HOME PROD CORP) 19/07/2006, &#160; Párrafos [0019 - 0037]; figuras 1A - 5.	1,7
A	WO 0136118 A1 (PROCTER & GAMBLE et al.) 25/05/2001, Resumen; figuras 1 - 4.	1,7
A	ES 2227806T T3 (HIELSCHER GMBH) 01/04/2005, Todo el documento.	1
A	US 2004250843 A1 (HIELSCHER HOLGER) 16/12/2004, resumen; figura 1.	1

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  
15.11.2017

Examinador  
O. G. Rucián Castellanos

Página  
1/2

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

B08B

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

INVENES, EPODOC, WPI