

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 994 388**

51 Int. Cl.:

**B01J 19/00** (2006.01)

**B01J 19/24** (2006.01)

**B01J 8/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.02.2018 PCT/IB2018/050850**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.08.2018 WO18146647**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2018 E 18708484 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2024 EP 3579962**

54 Título: **Aparato y método para mejorar el contacto de fases y las reacciones químicas**

30 Prioridad:

**10.02.2017 IT 201700015144**

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

**23.01.2025**

73 Titular/es:

**BOB SERVICE SRL (100.00%)  
Via Ippolito Nievo N.25  
10153 Torino, IT**

72 Inventor/es:

**CAVAGLIA', GIULIANO**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 994 388 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Aparato y método para mejorar el contacto de fases y las reacciones químicas

Campo técnico

5 La invención se refiere a un aparato y un método para mejorar el contacto de fases y las reacciones químicas. Más precisamente, la invención se refiere a un aparato y a un método para mejorar el contacto de fases, y por tanto el transporte de materia y calor, y para mejorar la cinética de las reacciones químicas. El aparato y el método según la invención pueden abarcar diferentes tipos de fases, en particular fases sólido-líquido, gas-líquido, gas-líquido-sólido y líquido-líquido.

Técnica anterior

15 En operaciones que implican contacto de fases, los procesos de transferencia de propiedades, p. ej., materia y calor, se rigen principalmente por ecuaciones del tipo:

$$F_p = A \times K \times \Delta C,$$

dónde:

20  $F_p$  = flujo de propiedades (p. ej., materia, calor);

$A$  = área de interfase;

25  $K$  = coeficiente de intercambio de propiedades;

$\Delta C$  = fuerza de empuje.

30 La relación anterior muestra claramente que, para mejorar la transferencia de propiedades, para una fuerza  $\Delta C$  de empuje dada,  $A$ , es decir, el área de interfase, y  $K$ , es decir, el coeficiente de intercambio de propiedades, deben maximizarse. Los fenómenos conocidos que permiten aumentar el área de interfase y el coeficiente de intercambio de propiedades son principalmente la turbulencia, el esfuerzo cortante y la cavitación. Tales fenómenos provocan realmente un aumento considerable de las velocidades de deslizamiento relativas de las diferentes fases implicadas.

35 En la actualidad, el aparato más eficiente para mejorar el contacto de la fase gas-líquido es el contactor gas-líquido eyector. Utilizando tal aparato para poner en contacto un flujo gaseoso de  $O_3$  (ozono) con agua, se obtienen coeficientes de transferencia de materia volumétrica ( $kLa$ ) en el intervalo de 0,025 a 0,062  $s^{-1}$ .

40 También se sabe que en sistemas multifásicos las reacciones químicas se producen con mayor eficacia cuanto más eficaz es la mezcla de las fases reaccionantes y cuanto mayor es el área de interfase. Además, hay que tener en cuenta que la velocidad de reacción de las reacciones químicas está regida principalmente por la ecuación de Arrhenius:

$$K = k_0 \text{Exp}[-E_a/RT],$$

45 dónde

$K$  = Velocidad de reacción;

50  $K_0$  = Factor preexponencial (determinado experimentalmente);

$E_a$  = Energía de activación (determinada experimentalmente);

55  $R$  = Constante universal de los gases;

$T$  = Temperatura absoluta.

A su vez, la ecuación de Arrhenius se basa en la ecuación de Maxwell-Boltzmann, que describe la distribución  $F(E)$  de energías moleculares  $E$  en sistemas de equilibrio:

$$60 \quad F(E) = 2(E/\pi)^{1/2} (1/kT)^{3/2} \text{Exp}[-E/kT],$$

dónde  $k$  es la constante de Boltzmann.

La ecuación de Boltzmann muestra claramente que, a una temperatura dada, independientemente de lo baja que sea, existen moléculas cuya energía molecular supera la energía de activación, es decir,  $E > E_a$ , por lo que, en caso de colisión, se produce una reacción química. Como la ecuación de Arrhenius se obtiene integrando la ecuación de Maxwell-Boltzmann, la velocidad  $K$  de reacción depende exponencialmente de la energía  $E_a$  de activación y de la temperatura  $T$ .

Por tanto, de lo expuesto anteriormente se desprenden las siguientes consideraciones:

- la ecuación de Maxwell-Boltzmann implica que, para cada reacción, existe un número de moléculas que reaccionan incluso a baja temperatura, incluso si ese número es insignificante; y
- la naturaleza exponencial de la ecuación de Arrhenius implica que la velocidad de reacción se duplica (triplica, cuadruplica...) con cada aumento de 10 °C.

De tales consideraciones se desprende que, en la práctica convencional, el método para alcanzar velocidades de reacción química aceptables consiste en aumentar  $T$  hasta superar un nivel correspondiente a la energía  $E_a$  de activación de la reacción química deseada. Por esta razón, la mayoría de los aparatos en los que se llevan a cabo actualmente reacciones químicas se basan en el aumento de temperatura y en la colisión aleatoria entre moléculas, que a su vez se encuentran en un estado de agitación determinado por desplazamientos aleatorios en el espacio.

Se describen ejemplos de aparatos capaces de mejorar el contacto de fases y las reacciones químicas en los documentos WO 2005 039745 A1, WO 2013 191713 A1, WO 2016 001476 A1, US 2011 0151524 A1 y US 2014 0363855 A1.

Sin embargo, los resultados alcanzables con los sistemas convencionales son insatisfactorios para muchas aplicaciones, y así existe una fuerte necesidad de contar con aparatos y métodos que alcancen mejores resultados y un mayor rendimiento.

Así, un primer objeto de la presente invención es proporcionar un aparato y un método para mejorar el contacto de fases y mejorar las reacciones químicas, que superen los inconvenientes y los límites de la técnica anterior y permitan alcanzar un mayor rendimiento.

Otro objeto de la invención es proporcionar un aparato y un método del tipo mencionado anteriormente, que sean adecuados para una multiplicidad de aplicaciones y permitan satisfacer la creciente demanda en muchos campos y aplicaciones industriales.

Un objeto adicional, pero no el último, de la invención es proporcionar un aparato y un método para mejorar el contacto de fases y mejorar las reacciones químicas, que se puedan fabricar e implementar industrialmente a costes limitados.

Los objetos anteriores y otros se logran mediante el aparato y el método según se reivindica en las reivindicaciones adjuntas, que son parte integral de la enseñanza técnica proporcionada en la presente descripción con respecto a la invención.

#### Descripción de la invención

El aparato para mejorar el contacto de fases y las reacciones químicas según la invención comprende principalmente al menos dos etapas de mezcla de alta turbulencia y al menos una etapa de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación. Dichas etapas están ventajosamente adaptadas para provocar un aumento en las velocidades de deslizamiento relativas de las fases implicadas en un flujo multifásico que pasa a través de dichas etapas. Según la invención, el flujo multifásico puede formarse en modo contracorriente.

Ventajosamente, según la invención, cada etapa de mezcla de alta turbulencia y cada etapa de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación incluyen un rotor y un estator correspondiente que rodea el rotor. Los rotores de las etapas de mezcla incluyen un árbol giratorio ubicado en el centro de la cámara definida por el estator correspondiente, y al menos dos pasadores radiales, dispuesto para provocar un movimiento turbulento en la sustancia presente en la cámara definida por el estator y que rodea al rotor. Además, las etapas de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación tienen rotores provistos de superficies periféricas dentadas y estatores correspondientes también provistos de superficies periféricas dentadas orientadas hacia los dientes de los rotores respectivos.

Según la invención, cada rotor de las etapas de mezcla de alta turbulencia y de las etapas de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación está asociado a un mismo árbol de rotor que pasa centralmente a través de todas las etapas del aparato.

La primera y la última etapa de la pluralidad de etapas pertenecientes al aparato están provistas de al menos un puerto correspondiente para la entrada y la salida, respectivamente, de la sustancia que se va a tratar.

5 Según la invención, el aparato funciona en modo contracorriente, el aparato comprende una primera etapa de mezcla de alta turbulencia provista de un primer puerto para la entrada de una primera sustancia que está en un primer estado físico y un segundo puerto para la salida de una segunda sustancia que está en un segundo estado físico, y una segunda etapa de mezcla de alta turbulencia provista de un primer puerto para la entrada de una sustancia que está en dicho segundo estado físico y un segundo puerto para la salida de una sustancia que está en dicho primer estado físico.

10 Todavía según la invención, dichos primer y segundo estados físicos son preferiblemente diferentes entre sí, y pueden incluir el estado líquido, el estado sólido y el estado gaseoso.

15 Dichas dos etapas de mezcla de alta turbulencia provistas de dichos puertos están ubicadas en extremos opuestos de la sucesión de etapas de mezcla alternas de alta turbulencia y etapas de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación.

20 Además, dichas dos etapas de mezcla de alta turbulencia provistas de dichos puertos son la primera y la última etapa por donde pasan las sustancias tratadas por el aparato. Por lo tanto, el aparato funciona en modo contracorriente y dichas dos etapas de mezcla de alta turbulencia provistas de dichos puertos son la primera y la última etapa atravesadas por una primera de dichas sustancias y la última y la primera etapa atravesadas por una segunda de dichas sustancias tratadas por el aparato, respectivamente.

25 El método para mejorar el contacto de fases y las reacciones químicas según la invención explota preferiblemente el aparato anterior y comprende someter un flujo multifásico en modo contracorriente a al menos dos etapas de mezcla de alta turbulencia y a al menos una etapa de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación, provocando de este modo un aumento en las velocidades de deslizamiento relativas de las fases implicadas en dicho flujo multifásico que pasa a través de las etapas.

30 Una primera ventaja de la invención resulta de la acción combinada de los tres fenómenos que rigen los procesos de transferencia de propiedades en un flujo multifásico. En realidad, el aparato según la invención prevé someter el flujo multifásico a al menos dos etapas de mezcla de alta turbulencia y a al menos una etapa de alto esfuerzo cortante y de cavitación controlada.

35 Siempre gracias a la acción en serie de las etapas del aparato sobre el flujo multifásico, el aparato multietapa según la invención es particularmente eficaz en la creación de un área de interfase y en la mejora de la mezcla de fases.

40 A modo de ejemplo, al poner en contacto un flujo gaseoso de O<sub>3</sub> (ozono) con agua, se obtienen coeficientes de transferencia de materia volumétrica (kLa) que oscilan entre aproximadamente 0,45 y 0,95 s<sup>-1</sup> y en consecuencia el 99% en masa del ozono alimentado se transfiere a la fase líquida.

45 Según la invención, en caso de que el contacto de fases en contracorriente sea beneficioso, como ocurre por ejemplo en operaciones unitarias de eliminación, extracción, lixiviación, etc., las fases pueden ser alimentadas en modo contracorriente, permitiendo de este modo formar un número de etapas de equilibrio muy superior al número de etapas reales.

50 Por ejemplo, en el caso de un aparato fabricado según la invención y que comprende dos etapas de mezcla turbulenta alternadas con dos etapas de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación controlada, al alimentar una matriz vegetal sólida en una dirección y una fase líquida de extracción en modo contracorriente, se alcanza un rendimiento de extracción que es equivalente al rendimiento alcanzable con una serie de más de 15 etapas de equilibrio teórico.

55 Según la invención, la fase líquida de extracción también puede ser alimentada a través de boquillas laterales que pasan a través de las paredes del estator en las etapas de mezcla de alta turbulencia, si el funcionamiento del aparato según la invención en régimen de flujo cruzado es beneficioso.

60 Todavía según la invención, también se puede alimentar una fase gaseosa a través de las boquillas laterales que conducen a las cámaras de mezcla de las etapas de mezcla de alta turbulencia, si esa fase es beneficiosa para alcanzar los mejores resultados, como ocurre, por ejemplo, en el caso de "extracción asistida por gas", "mezcla sólido-líquido asistida por gas", "funcionamiento asistido por gas", "cavitación asistida por gas", etc.

65 Siempre según la invención, también una fase gaseosa o líquida, destinada a actuar como reactivo alimentado bajo demanda en la corriente continua que pasa axialmente por el aparato, puede ser alimentada a través de las boquillas laterales, en caso de aplicación como reactor gas-líquido o como reactor gas-líquido-sólido.

Siempre según la invención, a través de las boquillas laterales también se puede alimentar una fase gaseosa o líquida para fines de acondicionamiento térmico, si esto resulta ventajoso para el funcionamiento unitario que se está realizando.

5 El aparato según la invención ofrece ventajosamente la posibilidad de realizar reacciones químicas en un volumen de reacción caracterizado por:

- 10 – grupos de burbujas, con tamaños de burbuja que pueden oscilar entre 0,05 y 5 micrones, en evolución continua (vida media de la burbuja que oscila entre 0,1 y 2,5 microsegundos), donde la temperatura de la burbuja, en el momento de la implosión, aumenta hasta 1.000-2.000 °K, sin aumentar la temperatura media del fluido dentro del volumen de reacción, y la presión de la burbuja aumenta hasta 1.000-2.000 bares, sin aumentar la presión media dentro del volumen de reacción;
- 15 – regiones con un flujo unidireccional a muy alta velocidad (sección estrecha resultante de la superposición de los dientes parabólicos del estator sobre los dientes parabólicos del rotor), determinando velocidades de colisión para el fluido contenido en las cavidades de rotor-estator de cavitación controlada, contiguas a las secciones estrechas, del orden de 100 a 750 m/s.

20 La invención prevé disponer de dientes de estator y de rotor con perfil parabólico, siendo la ecuación parabólica lo más próxima posible a la curvatura tomada por las líneas de corriente al aproximarse al estrechamiento de la sección.

Ventajosamente, los dientes con perfil parabólico se aproximan lo más posible al perfil curvado tomado por las líneas de corriente del fluido cerca del estrechamiento de la sección, para minimizar las disipaciones de energía (es decir, las caídas de presión) asociadas con la "región de separación" y la "vena contracta".

25 Las disipaciones asociadas con la formación de la "región de separación" y con la "vena contracta" son disipaciones poco beneficiosas para el objetivo de generación de superficie y para el aumento de las velocidades relativas de deslizamiento y, por tanto, de los coeficientes de transporte de materia y de calor. Por el contrario, son disipaciones que tienen un impacto negativo en cuanto al aumento (no deseado) de la temperatura del fluido que se va a tratar y, por tanto, del consumo energético total de la operación.

30 El perfil parabólico debe tener tangente horizontal en el punto de mínimo separación en la superposición diente del estator - diente del rotor, de modo que el flujo de fluido ingrese a la siguiente cámara de sedimentación a muy alta velocidad en una sola dirección, ortogonal al plano radial de la misma cámara de sedimentación. De esta manera, se impide que la fuerza del chorro se propague en abanico direccional, en beneficio de la unidireccionalidad, lo que incrementa la probabilidad de ocurrencia de eventos dependientes de colisiones de moléculas, tales como reacciones químicas y transporte de propiedades (es decir, materia y calor).

35 En la práctica, en cada cámara de sedimentación que sigue a un acoplamiento diente de estator - diente de rotor, se produce un fenómeno de cavitación debido a la caída de presión debida al ensanchamiento abrupto. La cavitación genera continuamente grupos de burbujas que viven durante algunos microsegundos y luego implosionan generando altas temperaturas/altas presiones (dentro de las burbujas individuales) y chorros de muy alta velocidad. Los chorros de cavitación generados continuamente colisionan continuamente con los chorros incidentes que surgen de las regiones de alto corte donde se superponen los dientes de estator/rotor con perfil parabólico. La cavitación, el esfuerzo cortante y la colisión de los chorros de cavitación y de los chorros debido al acoplamiento de los dientes provocan una mejora del contacto de fases y de las reacciones químicas.

40 Ventajosamente, de esta manera, el aparato según la invención permite obtener reacciones químicas incluso a bajas temperaturas, de tal manera que no se produciría ninguna reacción cuando se utilizan sistemas convencionales. Además, siempre gracias al aparato según la invención, es posible aumentar la velocidad de reacción de uno a dos órdenes de magnitud, funcionando a temperaturas a las que, con los sistemas convencionales, apenas empieza a detectarse la aparición de las reacciones químicas.

45 Los principales factores que permiten alcanzar tal resultado son el aumento de temperatura y de presión dentro de las burbujas individuales en los grupos generados por cavitación en las regiones cavitadas dentro de las etapas de alto esfuerzo cortante y de cavitación controlada, y la alta velocidad de colisión de moléculas debido a la colisión del fluido fuertemente acelerado en las secciones estrechas entre los dientes del estator/rotor en la etapa de alto esfuerzo cortante y de cavitación controlada con los microchorros de muy alta velocidad resultantes de la implosión de las burbujas de cavitación. Además, la unidireccionalidad de las regiones de flujo de alta velocidad es un factor adicional que provoca el logro de los resultados mencionados anteriormente.

50 El aumento de la velocidad de reacción depende del hecho de que las moléculas que experimentan colisiones a velocidades muy altas (normalmente en el intervalo de aproximadamente 100 a 750 m/s), resultantes de la acción combinada de los microchorros resultantes de la implosión de las burbujas de cavitación y de la aceleración del flujo unidireccional en las estrechas secciones de alto esfuerzo cortante entre los dientes del estator y del rotor, tienen

una energía molecular global, obtenida añadiendo el componente cinético  $E(v)$  y el componente térmico  $E(T)$ , que supera la energía  $E_a$  de activación.

Es decir, se aplica la siguiente relación:

5

$$E(v) + E(T) \geq E_a$$

Imaginando dos moléculas en colisión con masas  $M_1$  y  $M_2$ , respectivamente, se determina que:

10

$$E(v) = M_1 v^2/2 + M_2 v^2/2.$$

Suponiendo entonces que  $M_1 = M_2 = M$  (lo que sucede por ejemplo en las reacciones de craqueo y disociación), entonces:

15

$$M v^2 + E(T) \geq E_a,$$

y por lo tanto:

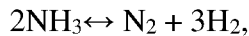
20

Funcionando a bajas temperaturas,  $E(T)$  se vuelve insignificante y por lo tanto:

$$v = [E_a/M]^{1/2}.$$

Considerando por ejemplo la reacción de disociación del amoniaco:

25



que es una reacción endotérmica que demanda 46,4 kJ/mol y se caracteriza por una energía de activación  $E_a = 190$  kJ/mol, se puede observar que para que la reacción se produzca es suficiente hacer colisionar las moléculas de  $\text{NH}_3$  ( $M = 17,031$  kg/mol) a una velocidad:

30

$$V = [190,000/17.031]^{1/2} \approx 110 \text{ m/s}.$$

La acción combinada de alto esfuerzo cortante y de cavitación, con los picos resultantes de T y P dentro de las burbujas durante la fase de implosión, hace que el aparato según la invención sea además muy eficiente para operaciones de desinfección microbiana en fases líquidas y para operaciones de recuperación de enzimas y proteínas al final de procesos biológicos.

35

El número de cavitación se puede expresar como:

40

$$\sigma = (p_r - p_v)/(1/2 \rho v^2),$$

dónde:

45

$\sigma$  = número de cavitación;

$p_r$  = presión de referencia (Pa);

$p_v$  = presión de vapor del fluido (Pa);

50

$\rho$  = densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ );

$v$  = velocidad del fluido (m/s).

55

La cavitación se produce cuando el número  $\sigma$  de cavitación es mayor o igual a 1.

Según la invención, funcionando con números de cavitación en el intervalo de aproximadamente 0,2 a 0,3, se pueden lograr recuperaciones de enzimas y proteínas superiores al 90%.

60

En resumen, la aplicación de un aparato según la invención a un sistema multifásico permite alcanzar las siguientes ventajas principales:

- (a) transferencia de masa o transferencia de calor con una cinética que supera en dos órdenes de magnitud la cinética de los sistemas convencionales, gracias a las mayores áreas de interfase y a los coeficientes de intercambio más elevados;
- (b) reacción química con cinética superior en uno - dos órdenes de magnitud con respecto a los sistemas convencionales y a temperaturas significativamente inferiores con respecto a los sistemas convencionales, gracias a las mayores áreas de interfase y al hecho de que, según la invención, la energía cinética proporciona una contribución significativa a la obtención de la energía de activación de la reacción, al restar el papel de protagonista absoluto al componente térmico.

10 Descripción de las figuras

Se proporcionarán algunas realizaciones preferidas de la invención a modo de ejemplo no limitativo con referencia a las Figuras adjuntas, en las que:

- 15 – La Fig. 1 es una vista en perspectiva, en sección parcial, de una realización preferida de un aparato según la invención;
- La Fig. 2A es una vista en sección de las etapas del aparato mostrado en la Fig. 1;
- La Fig. 2B es una vista en sección transversal de las etapas del aparato mostrado en la Fig. 1, en la que se ponen en evidencia las boquillas;
- 20 – La Fig. 3A es una vista esquemática de los dientes del rotor y del estator de una etapa de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación del aparato mostrado en la FIG. 1;
- La Fig. 3B es una vista esquemática en planta de un rotor;
- La Fig. 3C es una vista ampliada de los dientes que se muestran en la Fig. 3B;
- 25 – La Fig. 4A es una vista en perspectiva posterior, en sección parcial, de un aparato según la invención, con tres etapas de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación;
- La Fig. 4B es una vista en planta frontal, en sección parcial, del aparato mostrado en la FIG. 4A;
- La Fig. 4C es una vista en perspectiva frontal, en sección parcial, del aparato mostrado en la Fig. 4A.

30 En todas las figuras, se han utilizado los mismos números de referencia para indicar componentes iguales o funcionalmente equivalentes.

Descripción de algunas realizaciones preferidas de la invención

35 Con referencia a las Figs. 1 a 3, el aparato según la invención ha sido indicado generalmente con el número de referencia 11. El aparato 11 ilustrado está fabricado según una realización preferida de la invención y comprende principalmente una pluralidad de etapas dispuestas en serie para mejorar el contacto de fases y las reacciones químicas. Más particularmente, el aparato 11 comprende etapas 13 de mezcla de alta turbulencia alternadas con etapas 15 de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación. Como se hará más evidente a partir de la siguiente descripción, las etapas 13, 15 del aparato 11 están adaptadas para someter un flujo multifásico que pasa a través de dichas etapas 13, 15 a un aumento de las velocidades de deslizamiento relativas de las fases implicadas.

40 En la realización ilustrada, se proporcionan tres etapas 13 de mezcla de alta turbulencia en el conjunto y se proporcionan dos etapas de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación en el conjunto. Son posibles otras realizaciones que comprenden al menos una etapa 13 de mezcla de alta turbulencia y al menos una etapa 15 de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación.

45 Siempre con referencia a la realización preferida ilustrada, las etapas 13 comprenden un rotor 17 giratorio dentro de una cámara 19 de mezcla rodeada por un estator 21. Además, según la invención, el rotor 17 comprende al menos dos pasadores radiales 23 integrales con dicho rotor 17 que gira dentro de la cámara 19 de mezcla. Dichos pasadores 23 se extienden radialmente desde el eje de rotación del árbol 39 del rotor 17, sobre una longitud tal que el diámetro de la circunferencia externa descrita por el pasador 23 esté en el intervalo de  $0,3 \times D$  a  $0,9 \times D$ , siendo D el diámetro de la cámara 19 de mezcla. En la realización ilustrada, se prevén cuatro pasadores 23 en cada etapa 13 de mezcla, pero se pueden prever realizaciones con cualquier número de pasadores. Además, los pasadores 23 asociados con una misma etapa 13 de mezcla están dispuestos en planos paralelos perpendiculares al eje de rotación del rotor 17, como se ha ilustrado. Además, en la realización ilustrada, las etapas 13 de mezcla son sustancialmente idénticas y tienen todas el mismo número de pasadores 23. Sin embargo, según la invención se pueden prever realizaciones con etapas 13 de mezcla diferentes entre sí, donde además el número de pasadores 23 es diferente en las diferentes etapas. En la realización ilustrada, los pasadores 23 tienen una sección transversal circular, sustancialmente constante sobre el eje longitudinal del pasador, pero es posible proporcionar pasadores con una forma de sección transversal diferente de la forma circular, p. ej. una forma ovalada u otra, o pasadores con una sección transversal variable a lo largo del eje longitudinal. Preferiblemente, según la invención, la etapa 13 de mezcla está adaptada para someter el flujo multifásico a un régimen de alta turbulencia con número de Reynolds (Re) > 500.000.

5 Las etapas 15 comprenden un rotor 25 provisto de dientes radiales 27 y alojado en una cámara 29 de cavitación rodeada por un estator 31 provisto de dientes radiales 33. Preferiblemente, el número de dientes radiales 27 en el rotor 25 y de dientes radiales 33 en el estator 31 es el mismo. Además, según la invención, las superficies enfrentadas 35, 37 de los dientes 27, 33 del rotor 25 y del estator 31, respectivamente, tienen un perfil parabólico en dirección circunferencial.

10 Como se puede apreciar mejor en las Figs. 3B y 3C, los dientes 27 del rotor tienen un perfil parabólico 27a en dirección circunferencial. Según la invención, el perfil 27a del diente 27 se sitúa a lo largo de la curva de una parábola Pr cuyo vértice Vr está situado en el borde trasero 27b del diente 27, con respecto a la dirección de rotación del rotor 25 (flecha F1), y a lo largo del radio Rr que conecta dicho borde 27b al centro Cr del rotor 25. El foco de la parábola Pr también se encuentra en dicho radio Rr.

15 Correspondientemente, como se puede apreciar en particular a partir de las Figs. 3B y 3C, los dientes 33 del estator tienen un perfil parabólico 33a que preferiblemente es idéntico y es la imagen especular del perfil de los dientes 27. Más precisamente, según la invención, el perfil 33a del diente 33 se sitúa a lo largo de la curva de una parábola Ps cuyo vértice Vs está ubicado en el borde trasero 33b del diente 33 del estator, con respecto a la dirección de rotación del rotor 25, a lo largo del radio Rs que une dicho borde 33b al centro Cs del estator, coincidiendo con el centro Cr del rotor 25. El foco de la parábola Ps también se encuentra en dicho radio Rs.

20 En una realización preferida de la invención, la ecuación de la parábola del perfil de los dientes del rotor y/o del estator es  $Y = 0,0062974 X^2$ .

25 La separación 51 entre los dientes 27 del rotor y los dientes 33 del estator es mínima en los bordes 27b, 33b de los dientes 27, 33, cuando dichos bordes están sustancialmente alineados a lo largo de los radios correspondientes Rr, Rs del rotor y del estator.

Según la invención, el rotor 17 y el rotor 25 son integrales con un árbol giratorio común 39. Preferiblemente, el árbol 39 se hace girar mediante un motor eléctrico 41 asociado de manera constante a una estructura 43 de soporte.

30 En la realización ilustrada, las etapas 13 de mezcla tienen un puerto 45a de entrada y un puerto 45b de salida, ambos desembocando en una cámara 19 de mezcla correspondiente. Los puertos 45a y 45b están asociados con los conductos 47a, 47b para transportar la sustancia o mezcla de sustancias dentro o fuera de la cámara 19.

35 Además, las etapas 13 de mezcla pueden estar provistas de boquillas 49a, 49b de inyección adaptadas para inyectar una sustancia o una mezcla de sustancias en la cámara 19 de mezcla. En cada etapa 13 de mezcla se puede prever al menos una boquilla 49a, 49b de inyección, y además una o más etapas 13 de mezcla pueden carecer de boquillas. En el ejemplo ilustrado, se supone que dos etapas consecutivas 13 están provistas de una boquilla correspondiente 49a, 49b.

40 El aparato 11 según la invención tiene:

- diámetro de los rotores dentados 25 que oscila entre aproximadamente 50 y 500 mm y preferiblemente entre aproximadamente 100 y 300 mm;
- separación mínima entre los dientes 27 del rotor y los dientes 33 del estator que oscila entre aproximadamente 0,2 y 5,0 mm y preferiblemente entre aproximadamente 0,5 y 2,5 mm;
- longitud axial de los rotores dentados 25 que oscila entre aproximadamente 0,05 y 2,5 veces el diámetro del rotor 25, y que oscila preferiblemente entre aproximadamente 0,1 y 1,0 veces el diámetro del rotor 25;
- diámetro interno de las cámaras 19 de mezcla y de las cámaras 29 de cavitación que oscila entre aproximadamente 50 y 500 mm, y que oscila preferiblemente entre aproximadamente 100 y 300 mm;
- longitud axial de las etapas 13 de mezcla de alta turbulencia que oscila entre aproximadamente 0,1 y 2,5 veces el diámetro interno de la cámara 19 de mezcla correspondiente, y que oscila preferiblemente entre aproximadamente 0,25 y 1,5 veces el diámetro interno de la cámara 19;
- velocidad de rotación que oscila entre 500 y 5.000 rpm, preferiblemente entre 1.000 y 3.000 rpm.

55 Con referencia a las Figs. 4A, 4B y 4C, se muestra un aparato 111 según una realización preferida de la invención, que comprende cuatro etapas 13 de mezcla alternadas con tres etapas 15 de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación. La realización ilustrada del aparato 111 está configurada para funcionamiento contracorriente. La flecha F2 en la Fig. 4C indica la dirección de flujo predominante de la fase líquida en las etapas 13, 15, y la flecha F3 indica la dirección de flujo predominante de la fase sólida.

60 El aparato 111 está equipado con una tolva 161 de entrada para la matriz sólida fresca. La configuración ilustrada incluye, aguas abajo de la tolva 161, un dispositivo 163 de compresión accionado por motor adaptado para transferir el material de la matriz sólida introducida en la tolva 161 a la primera etapa 13 de mezcla, proximal en relación con el motor 41. El dispositivo 163 de compresión puede comprender, por ejemplo, un tornillo cónico o una barrena cónica

accionada por un motor eléctrico 163a. El dispositivo 163 de compresión se comunica con la primera etapa 13 de mezcla proximal a través de un puerto 165 previsto en el estator 21. Además, se prevé un segundo puerto 167 en la primera etapa 13 de mezcla proximal para la salida de la fase líquida de la etapa 13 de mezcla proximal. Dicho segundo puerto 167 está equipado preferiblemente con una rejilla 167a para impedir que la fase sólida sea evacuada, junto con la fase líquida, de la etapa 13 de mezcla proximal a través del puerto 167. El puerto 167 se comunica con un conducto 169 de evacuación de la fase líquida, comunicándose, por ejemplo, con un depósito colector ubicado aguas abajo de dicho conducto 169.

En la realización preferida pero no exclusiva ilustrada, el puerto 165 de entrada para la entrada de la fase sólida y el puerto 167 de salida para la salida de la fase líquida están ubicados diametralmente opuestos y en la parte superior e inferior del aparato 111, respectivamente, cuando este último está en configuración de funcionamiento.

Siempre con referencia a la realización ilustrada, la etapa 13 de mezcla proximal incluye además una cuchilla giratoria 171, conectada de forma fija al rotor 17 por medio de un par de brazos paralelos 171a, 171b que se extienden radialmente desde el rotor 17. La finalidad de la cuchilla 171 es impedir que la rejilla 167a que separa la etapa 13 del conducto 169 de evacuación se obstruya debido a la acumulación de material sólido, lo que impediría la evacuación de la fase líquida a través del conducto 169. La cuchilla 171 mantiene libre dicha rejilla 167a principalmente gracias al movimiento de vórtice circunferencial impartido a la sustancia mixta líquido-sólido presente en la etapa proximal 13.

Según la invención, en el aparato 111 que funciona en modo contracorriente, la cantidad de sustancia en fase líquida evacuada de la etapa 13 de mezcla proximal prevalece con respecto a la cantidad de sustancia en fase sólida evacuada a través de la rejilla que separa el conducto de evacuación de la misma etapa 13 de mezcla proximal.

En la configuración ilustrada, la etapa 13 de mezcla distal en relación con el motor eléctrico 41 está provista de un primer puerto 173 para la entrada de la fase líquida y un segundo puerto 175 para la evacuación de la fase sólida. En la realización ilustrada, los puertos 173 y 175 están ubicados diametralmente opuestos y en la parte superior e inferior del aparato 111, respectivamente, cuando este último está en configuración de funcionamiento.

Un conducto 177 para alimentar la fase líquida, p. ej. agua, está previsto aguas arriba del puerto 173. Por ejemplo, el conducto 177 puede estar conectado, aguas arriba del puerto 173, a un circuito que entrega la sustancia líquida procedente de un depósito adecuado. Siempre con referencia a la realización preferida, pero no exclusiva, ilustrada, una prensa 179 de tornillo, adaptada para separar las fases sólida y líquida contenidas en la sustancia evacuada de la etapa 13 de mezcla distal, está prevista aguas abajo del puerto 175. La prensa 179 de tornillo tiene un primer puerto 179a para la evacuación de la fase sólida o matriz sólida agotada y un segundo puerto 179b para la salida de la fase líquida. Según la invención, en el aparato 111 que funciona en modo contracorriente, la cantidad de sustancia en fase sólida evacuada de la etapa 13 de mezcla distal predomina con respecto a la cantidad de sustancia en fase líquida evacuada de la misma etapa 13 de mezcla distal.

Preferiblemente, el aparato 111 está equipado con una bomba 181 de recirculación para recuperar la fase líquida residual evacuada de la prensa 179 de tornillo a través del puerto 179b. Dicha bomba 181 está conectada, en su lado aguas arriba, a la prensa 179 de tornillo a través de un primer conducto 183a para transportar la fase líquida desde la prensa 179 de tornillo a la bomba 181, y, en su lado aguas abajo, por medio de una T 177a de tubería, al conducto 177 de alimentación a través de un segundo conducto 183b para transportar la fase líquida hacia la etapa 13 de mezcla distal.

En lo sucesivo, se darán algunos ejemplos de aplicación del aparato 11 realizado según la invención.

#### Ejemplo 1

El aparato según la invención se ha utilizado para el tratamiento previo de paja en un método de obtención de azúcares a bajo coste a partir de biomasa residual.

En la última década, ha habido un interés considerable en los procesos de conversión de biomasa lignocelulósicas en biocombustibles y productos intermedios de refinería, con el objetivo de identificar una alternativa viable para sustituir los combustibles fósiles. El concepto de biocombustibles de segunda generación y biorrefinería de segunda generación prevé partir de una materia prima perteneciente al campo de las biomasa residuales, y obtener a partir de ella una corriente de azúcares (C<sub>5</sub> y C<sub>6</sub>, es decir con 5 o 6 átomos de carbono). Sin embargo, la complejidad estructural de las paredes celulares de las plantas hace que la misma biomasa sea altamente refractaria al ataque químico o biológico. Existen diferentes procesos de tratamiento previo (con diferentes enfoques químicos, a diferentes niveles de temperatura y de presión) para reducir la refractariedad de las plantas al ataque químico o biológico. Entre tales procesos, los tratamientos previos en solución ácida diluida se reconocen actualmente como los procesos más eficaces para hacer que la biomasa sea accesible al ataque enzimático con enzimas de tipo celulasa. En este contexto, para una determinada rigurosidad de las condiciones de funcionamiento, el tipo de

5 reactor o aparato en el que se realiza el tratamiento previo tiene un efecto considerable sobre las propiedades del material tratado previamente y, en consecuencia, sobre el rendimiento de la hidrólisis enzimática posterior. Esto se debe a las peculiaridades del reactor o aparato en términos de capacidad de generación de área de interfase y de aumento del tamaño total y del volumen global de los poros, y por tanto en términos de capacidad de devastación de las paredes celulares en la biomasa.

10 La "explosión de vapor" es un tratamiento hidrotermal conocido que permite una separación más fácil y menos severa desde el punto de vista medioambiental de las tres fracciones que forman los sustratos vegetales comunes (hemicelulosa, celulosa y lignina). El método consiste en utilizar vapor saturado a alta presión para calentar rápidamente la biomasa en un reactor continuo o discontinuo. El material se mantiene a la temperatura deseada (180 - 230 °C) durante un período corto (1 - 10 minutos), durante el cual la hemicelulosa se hidroliza y se vuelve soluble. Al final de este período de tiempo, la presión se lleva rápidamente de nuevo a la presión atmosférica, obteniendo de este modo una descompresión explosiva que desgasta aún más la biomasa.

15 Se han comparado los resultados alcanzables con el aparato según la invención y con un aparato para "explosión de vapor" en el caso de un tratamiento previo en solución ácida diluida de paja de trigo que tiene las siguientes características (% en peso):

Contenido de humedad	10%
Celulosa	38,2%
Hemicelulosa	24,1%
Lignina	7,3%
Proteínas	3,4%
Cenizas	7%

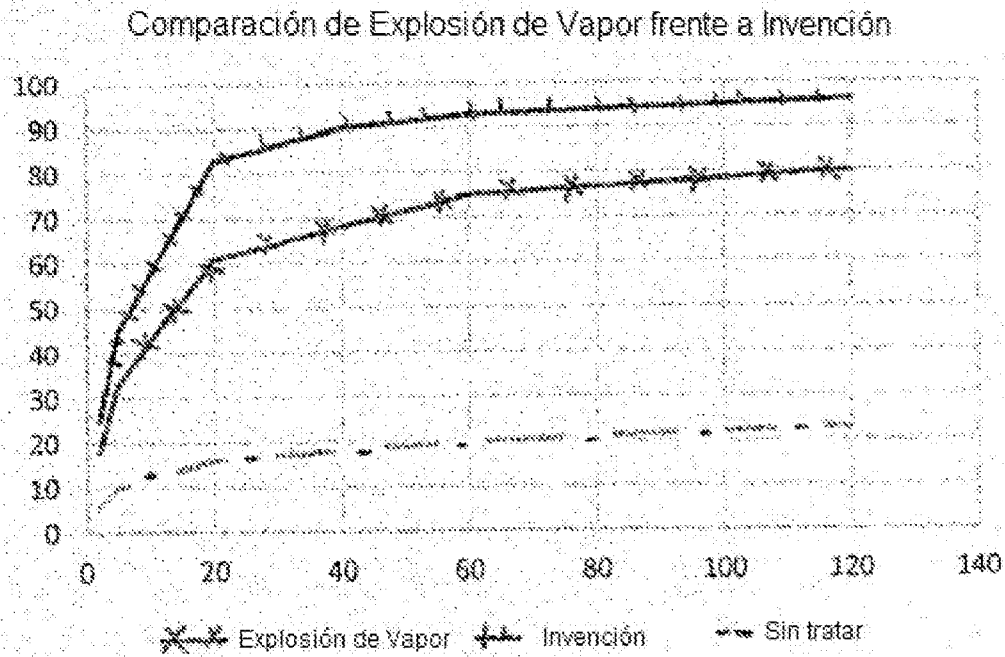
20 Para el aparato de la técnica anterior se han adoptado las siguientes condiciones de funcionamiento: relación L/S = 10; temperatura = 150 °C; tiempo = 6 min; concentración de ácido = 2% en peso H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, siendo L/S la relación entre el caudal de la fase líquida y el caudal de la fase sólida.

25 Para el aparato según la invención se han adoptado las mismas condiciones de funcionamiento, con la excepción de que la temperatura era de 30 °C. El aparato empleado tenía además las siguientes características:

- Número de cámaras de mezcla turbulenta: 2;
- Número de etapas rotor-estator: 2 (elementos de rotor y de estator que tienen dientes con perfil parabólico);
- Diámetro interno de los estator: 195 mm;
- 30 - Separación entre rotor y estator: 1 mm (1ª etapa) y 0,75 mm (2ª etapa);
- Velocidad de rotación: 2.100 rpm.

35 Posteriormente, las muestras de biomasa pretratada se han sometido a un método de digestión enzimática mediante la utilización de un complejo enzimático tipo celulasa (en una concentración de 18 mg de enzima GC 220 producida por Genenco/Danisco por gramo de glucancelulosa, a pH = 5 y en un recipiente agitado a 120 rps), y se ha dibujado un diagrama de la conversión del sustrato de celulosa en función del tiempo.

Tiempo [h] de incubación	Conversión de celulosa [% p.c.]		
	Explosión de vapor	Invención	Material sin tratar
2	18	25	6
5	33	45	10
10	43	58	12
20	61	83	16
40	68	90	18
60	75	93	20
120	80	96	23



Ejemplo 2

5 En este segundo ejemplo de aplicación, el aparato según la invención se ha utilizado para un tratamiento de inactivación bacteriana sobre leche cruda altamente contaminada. El aparato empleado tenía las siguientes características (la numeración de las cámaras de mezcla está referida a la dirección de avance de la fase que se va a procesar):

- Número de cámaras de mezcla turbulenta: 2;
- 10 – Número de etapas de rotor-estator: 2 (elementos rotor y de estator que tienen dientes con perfil parabólico);
- Diámetro de las cámaras de mezcla: 206 mm (D);
- Longitud axial de las cámaras de mezcla: 70 mm (es decir, 0,29 x D);
- 15 – Pasadores de la primera cámara de mezcla: 4 pasadores dispuestos en planos paralelos para formar una espiral con empuje hacia delante cuando el árbol gira. Pasadores con un tamaño radial de 59,75 mm, es decir, un tamaño tal que la circunferencia descrita por los pasadores durante la rotación sea de 0,58 x D;
- Pasadores de la segunda cámara de mezcla: 6 pasadores dispuestos en planos paralelos para formar una espiral con empuje hacia delante cuando el árbol gira. Pasadores con un tamaño radial de 59,75 mm, es decir, un tamaño tal que la circunferencia descrita por los pasadores durante la rotación sea de 0,58 x D;
- Diámetro interno de los estatores: 195 mm;
- 20 – Separación entre rotor y estator (es decir, distancia mínima entre rotor y estator): 1 mm (1ª etapa) y 0,75 mm (2ª etapa);
- Longitud axial de rotores y estatores: 40 mm;
- Velocidad de rotación: 1.500 rpm;
- Accionamiento del motor: motor eléctrico trifásico con potencia instalada de 15 kW.

25 La muestra de leche cruda de vaca con alta contaminación bacteriana tenía las siguientes características:

Grasas	6,6% v/v
Proteínas	4,0% p/p
Lactosa	3,7% p/p
Sólidos totales	17,25% p/p
pH	6,36
Cenizas	0,83% p/p

y tenía el siguiente contenido microbiológico:

30 Recuento total de bacterias aeróbicas mesófilas (CT)	6,35 log ufc/ml
Endosporas bacteriana (EB)	2,62 log ufc/ml
Lactobacilos (LAB)	5,04 log ufc/ml

Coliformes (CF)	3,36 log ufc/ml
Escherichia coli (EC)	1,89 log ufc/ml
Estafilococo áureo (SA)	2,34 log ufc/ml

5 La etapa de configuración o puesta en marcha del método, aguas arriba del aparato, incluía un depósito para la fase líquida que se va a procesar (en el caso concreto, leche contaminada, con las características anteriores), una bomba centrífuga para alimentar la leche al aparato, en cuya línea de entrega se conectaba una válvula de ajuste del caudal, y un caudalímetro o medidor de flujo de flotador (del tipo Asametro®). Se ha previsto una línea de salida para la leche procesada aguas abajo del aparato, cuya línea fue equipada con una válvula de muestreo seguida de una válvula de tres vías para dirigir la leche procesada al depósito de recogida de leche o a una línea de recirculación (en caso de tratamientos que impliquen varias pasadas por el aparato). Un intercambiador de placas (alimentado con agua refrigerada en modo contracorriente, en lo que respecta al fluido refrigerante: temperatura de entrada 2 °C y temperatura de salida 7 °C) estaba ubicado en la línea de recirculación y estaba adaptado para llevar de nuevo la leche, al final de cada pasada a la temperatura de 10 °C programada para el punto de alimentación del aparato.

15 Se han realizado tres tipos de tratamiento:

- (a) Una sola pasada por el aparato (tiempo de permanencia dentro del aparato: 15 s; temperatura de inicio del tratamiento: 10 °C; temperatura de finalización del tratamiento: 15 °C);
- (b) Cinco pasadas por el aparato con refrigeración interna entre pasadas sucesivas (tiempo de permanencia dentro del aparato: 15 s/pasada, 75 s en total; temperatura de inicio del tratamiento: 10 °C; temperatura de finalización del tratamiento: 15 °C);
- (c) Pasada única por el aparato con inyección de CO<sub>2</sub> en la primera cámara de mezcla (tiempo de permanencia dentro del aparato: 15 s; temperatura de inicio del tratamiento: 10 °C; temperatura de finalización del tratamiento: 15 °C; dosis de CO<sub>2</sub>: 20 g/l).

25 En todos los tratamientos descritos, el caudal de la fase líquida (es decir, la leche contaminada) alimentada al aparato fue de 15 l/min.

Se midió el contenido bacteriano al final del tratamiento (valores expresados en log ufc/ml):

	Inicial	Después (a)	Después (b)	Después (c)
Recuento total de bacterias aeróbicas mesófilas (TC)	6,35	3,12	1,91	2,21
Endosporas bacterianas (EB)	2,62	1,95	0,79	1,17
Lactobacilos (LAB)	5,04	2,47	1,02	1,56
Coliformes (CF)	3,36	1,23	0,51	0,65
Escherichia coli (EC)	1,89	0,32	≈ 0	0,25
Estafilococo áureo (SA)	2,34	2,32	1,44	0,66

30 Se ha confirmado así la eficacia del aparato (con y sin la ayuda de inyección de CO<sub>2</sub>) en tratamientos de inactivación bacteriana.

35 Ejemplo 3

En este ejemplo se ha empleado como extractor el aparato según la invención.

El aparato utilizado tenía las siguientes características:

- 40 – Número de cámaras de mezcla turbulenta: 3;
- Número de etapas de rotor-estator: 2 (elementos de rotor y de estator que tienen dientes con perfil parabólico);
- Cámaras de mezcla turbulenta alternadas con etapas de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación;
- Diámetro interno de los estatores: 195 mm;
- 45 – Separación entre rotor y estator de 1 mm (1ª etapa) y 0,75 mm (2ª etapa);
- Velocidad de rotación: 2.000 rpm.

50 Se ha realizado una extracción de carotenos (principalmente licopeno) de pieles de tomate por medio de aceite de oliva virgen extra.

El aceite de oliva virgen extra (AOVE) empleado tenía las siguientes características:

Densidad (20 °C)	910 kg/m <sup>3</sup>
------------------	-----------------------

Viscosidad (20 °C)	82 cP
Contenido de grasas monoinsaturadas	71,7% p/p
Contenido de grasas poliinsaturadas	15,5% p/p
Acidez libre	0,221%
Índice de peróxido	3,905 meq O <sub>2</sub> /kg
Carotenos totales	3 mg/kg (de los cuales 0 mg/kg de Licopeno)

Las pieles de tomate tratadas tenían las siguientes características:

Morfologías	Copos
Tamaño	1 - 3 mm
Humedad	10% p/p
Contenido de licopeno	1.140 mg/kg

5 Se han realizado dos tipos de tratamiento:

- (a) Única pasada por el aparato (tiempo de permanencia en el interior del aparato: 5 s; temperatura de inicio del tratamiento: 25 °C; temperatura de finalización del tratamiento: 28 °C) con alimentación equicorriente de pieles de tomate y AOVE en una proporción 1:5 p/p;
- 10 (b) Única pasada por el aparato (tiempo de permanencia dentro del aparato: 5 s; temperatura de inicio del tratamiento: 25 °C; temperatura de finalización del tratamiento: 28 °C) con alimentación contracorriente de pieles de tomate y AOVE en proporción 1:5 p/p.

15 Se ha medido el contenido de carotenos totales y licopeno sobre el AOVE enriquecido obtenido al final del tratamiento de extracción /valores expresados en log mg/Kg):

	Inicial	Después (a)	Después (b)
Carotenos totales	3	94	173
Licopeno	0	73	148

20 Se ha demostrado que la eficacia del aparato según la invención como extractor y sobre todo la posibilidad de obtener un rendimiento de extractor multietapa si la fase sólida y la fase líquida extractora se alimentan en modo contracorriente.

#### Ejemplo 4

25 En este ejemplo se ha empleado el aparato según la invención como extractor.

El aparato empleado tenía las siguientes características:

- Número de cámaras de mezcla turbulenta: 4;
- Número de etapas de rotor-estator: 3 (elementos de rotor y de estator que tienen dientes con perfil parabólico);
- Cámaras de mezcla turbulenta alternadas con etapas de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación;
- Diámetro de las cámaras de mezcla: 206 mm;
- Longitud axial de las cámaras de mezcla: 70 mm;
- Pasadores de la 1ª cámara de mezcla: 6 pasadores dispuestos en planos paralelos para formar una espiral con empuje hacia delante cuando el árbol gira. Pasadores con tamaño radial de 75 mm, es decir, un tamaño tal que la circunferencia descrita por los pasadores durante la rotación sea 0,73 x D, siendo D el diámetro de las cámaras de mezcla;
- Pasadores de la 2ª cámara de mezcla: 6 pasadores dispuestos en planos paralelos para formar una espiral con empuje hacia delante cuando el árbol gira. Pasadores con tamaño radial de 75 mm, es decir, un tamaño tal que la circunferencia descrita por los pasadores durante la rotación sea 0,73 x D;
- Pasadores de la 3ª cámara de mezcla: 6 pasadores dispuestos en planos paralelos para formar una espiral con empuje hacia delante cuando el árbol gira. Pasadores con tamaño radial de 75 mm, es decir, un tamaño tal que la circunferencia descrita por los pasadores durante la rotación sea 0,73 x D;
- Pasadores de la 4ª cámara de mezcla: 4 pasadores dispuestos en planos paralelos para formar una espiral con empuje hacia delante cuando el árbol gira. Pasadores con un tamaño radial de 59,75 mm, es decir, un tamaño tal que la circunferencia descrita por los pasadores durante la rotación sea de 0,58 x D;
- Diámetro interno de los estatores: 195 mm;
- Separación mínima entre rotor y estator: 2,5 mm (1ª etapa), 1,25 mm (2ª etapa) y 0,75 mm (3ª etapa);
- Longitud axial de rotores y de estatores: 35 mm;

- Velocidad de rotación: 2.250 rpm;
- Accionamiento del motor: motor eléctrico trifásico con potencia instalada de 22 kW.

5 El aparato ha funcionado en modo equicorriente, que no es un modo de funcionamiento de la presente invención, y en modo contracorriente según la presente invención:

- Modo equicorriente: alimentando la fase sólida a la 1ª cámara de mezcla por medio de un alimentador de barrena, y alimentando también la fase líquida a la 1ª cámara de mezcla por medio una bomba peristáltica de desplazamiento positivo con caudal constante en el tiempo; extrayendo la suspensión final de la última cámara de mezcla (es decir, la 4ª cámara de mezcla) y sometiéndola luego a una separación líquido-sólido mediante decantación, seguida de un prensado final. Posteriormente se ha realizado una centrifugación en centrífuga de discos y una filtración en un filtro de bolsa de poliéster con grado de retención absoluta de 50 micras sobre la fase líquida, para luego llevar a cabo una deshidratación de la fase líquida extraída por medio de un evaporador al vacío del tipo "rotovapor", seguido de un secador de cabina al vacío, por lo que se ha obtenido un extracto seco en forma de polvo.
- Modo contracorriente: alimentando la fase sólida a la 1ª cámara de mezcla por medio de un alimentador de barrena, y alimentando la fase líquida de extracción a la 4ª cámara de mezcla por medio de una bomba peristáltica de desplazamiento positivo con caudal constante en el tiempo; extrayendo la fase sólida agotada de la 4ª cámara de mezcla por medio de un extractor-exprimidor de barrena con recirculación de la fase líquida exprimida en la 4ª cámara de mezcla, y extrayendo la fase líquida extraída de la 1ª cámara de mezcla a través de un tubo coronado por una rejilla de malla, con luz de malla que tiene un tamaño de 0,5 x 0,5 mm, adaptada para dejar salir la fase líquida y retener la fase sólida, en donde dicha rejilla se mantuvo limpia por medio de un flujo turbulento de una corriente de fase líquida movida por una cuchilla acoplada sobre el árbol de la máquina, teniendo la circunferencia descrita por la cuchilla un diámetro de 0,9 x D. La fase líquida extraída se centrifugó en una centrífuga de discos, se filtró en un filtro de bolsa de poliéster con un grado de retención absoluto de 50 micras y luego se sometió a deshidratación por medio de un evaporador al vacío del tipo "rotovapor", seguido de un secador de cabina al vacío, por lo que se ha obtenido un extracto seco en forma de polvo.

30 Se ha realizado la extracción de polifenoles (principalmente oleuropeína) de hojas de olivo (fase sólida), utilizando agua como fase líquida extractora.

El agua alimentada al extractor TURBEX tenía las siguientes características:

pH	7,7
Residuo fijo a 180 °C	143 mg/l
Dureza	21 °F
Conductividad	362 microsiemens/cm a 20 °C
Temperatura	25 °C

35 Las hojas de olivo alimentadas como fase sólida tenían las siguientes características:

Morfología	Copos
Tamaño	1 - 2 mm
Humedad	10% p/p
Contenido de oleuropeína	76 g/kg
Contenido de sustancias extraíbles en agua distintas de la oleuropeína	512 g/kg
Temperatura	5 °C

40 Las condiciones de funcionamiento de los dos tipos de tratamiento son las siguientes:

- Modo equicorriente: Única pasada por el aparato (tiempo de permanencia dentro del aparato: 36 s; temperatura de inicio del tratamiento: 25 °C; temperatura de finalización del tratamiento: 30 °C), con alimentación equicorriente de hojas de olivo y agua en una proporción de 1:7 p/p [Caudal de la fase líquida (agua) 700 kg/h – Caudal de la fase sólida (hojas de olivo) 100 kg/h].
- Modo contracorriente: Única pasada por el aparato (tiempo de permanencia dentro del aparato: 36 s; temperatura de inicio del tratamiento: 25 °C; temperatura de finalización del tratamiento: 30 °C), con alimentación contracorriente de hojas de olivo y agua en una proporción de 1:7 p/p [Caudal de la fase líquida (agua) 700 kg/h – Caudal de la fase sólida (hojas de olivo) 100 kg/h].

50 El extracto sólido obtenido se ha pesado, se ha analizado el contenido de oleuropeína en el extracto sólido por medio de la técnica HPLC (High Performance Liquid Chromatography) y se ha calculado el rendimiento de extracción de oleuropeína.

Resultado del tratamiento equicorriente:

Cantidad de extracto sólido total obtenido:	305 g/kg
de los cuales	
Contenido de oleuropeína:	16,7% p/p (correspondiente a 50,9 g)
Contenido de otras sustancias extraíbles:	83,3% p/p (correspondiente a 254,1 g)
Rendimiento de extracción de oleuropeína:	$50,9/76 = 67\% \text{ p/p}$
Rendimiento de extracción de otras sustancias extraíbles	$254,1/512 = 49,6\% \text{ p/p}$

5 Resultado del tratamiento contracorriente:

Cantidad de extracto sólido total obtenido:	375 g/kg
de los cuales	
Contenido de oleuropeína:	20,05% p/p (correspondiente a 75,2 g)
Contenido de otras sustancias extraíbles:	79,95% w/w (correspondiente a 299,8 g)
Rendimiento de extracción de oleuropeína:	$75,2/76 = 98,9\% \text{ p/p}$
Rendimiento de extracción de otras sustancias extraíbles	$299,8/512 = 58,6\% \text{ p/p}$

10 Los resultados obtenidos con el aparato descrito en esta cuarta realización ejemplar de la invención prueban la eficacia del aparato como extractor, y sobre todo la posibilidad de obtener un rendimiento de extractor multietapa si la fase sólida y la fase líquida extractora se alimentan en modo contracorriente.

Aplicabilidad industrial

15 El aparato según la invención encuentra aplicaciones ventajosas en varios campos industriales, p. ej., como extractor, mezclador, homogeneizador, reactor, aparato de tratamiento previo de biomasa para biorrefinerías e instalaciones de biocombustibles, etc.

20 El aparato se puede utilizar, por ejemplo, como separador y reactor en el campo del tratamiento de aguas primarias y secundarias para obtener la eliminación de  $\text{NH}_3$  y mejorar el rendimiento de las técnicas de oxidación avanzadas para la eliminación de COD. Además, el aparato según la invención se puede utilizar como reactor para oxidar paraxileno a ácido tereftálico y como reactor para polimerizar poliéster, permitiendo alcanzar la energía de activación de la reacción principalmente o exclusivamente por medio del componente cinético, y en consecuencia realizar las reacciones a temperaturas más bajas que en la práctica convencional, además de alcanzar, por supuesto, una  
 25 reducción drástica de los tiempos de reacción gracias a la mejora de la generación del área de interfase y de los coeficientes de transporte de propiedades, con el consiguiente ahorro en costes de inversión y explotación.

## REIVINDICACIONES

1. Aparato (11) para mejorar el contacto de fases y las reacciones químicas en un flujo multifásico, que comprende:

- 5 i) al menos dos etapas (13) de mezcla de alta turbulencia que comprenden cada una un rotor (17) giratorio dentro de una cámara (19) de mezcla, rodeado por un estator (21) y provisto de al menos dos pasadores radiales (23) integrales con dicho rotor (17) y que se extienden radialmente desde el eje de rotación del árbol (39) del rotor (17) sobre una longitud tal que el diámetro de la circunferencia exterior descrita por dichos pasadores (23) está en el intervalo de  $0,3$  a  $0,9 \times D$ , siendo  $D$  el diámetro de la cámara (19) de mezcla correspondiente, estando dispuestos dichos pasadores en planos paralelos perpendiculares al eje de rotación del rotor (17);
- 10 ii) al menos una etapa (15) de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación adaptada para someter el flujo multifásico a un régimen de cavitación que tiene un número de cavitación  $\sigma < 1$  y que comprende un rotor provisto de una superficie periférica dentada y un estator correspondiente provisto también de una superficie periférica dentada orientada hacia los dientes del rotor respectivo, estando alojado dicho rotor (25) provisto de dientes radiales (27) dentro de una cámara (29) de cavitación rodeada por dicho estator (31) provisto de dientes radiales (33), teniendo las superficies enfrentadas (35, 37) de dichos dientes radiales (27, 33) del rotor (25) y del estator (31) un perfil parabólico en una dirección circunferencial que se extiende a lo largo de la curva de una parábola ( $Pr$ ,  $Ps$ ) cuyo vértice ( $Vr$ ,  $Vs$ ) está dispuesto en el borde trasero (27b, 33b) del diente correspondiente (27, 33), con respecto a la dirección ( $F1$ ) de rotación del rotor (25), y a lo largo del radio ( $Rr$ ) que conecta dicho borde (27b, 33b) al centro ( $Cr$ ) del rotor (25) o del estator (27) correspondiente, respectivamente, estando ubicado también el foco de la parábola ( $Pr$ ,  $Ps$ ) sobre dicho radio ( $Rr$ );
- 15 iii) en donde dichas etapas (13, 15) están dispuestas en serie y de forma alternada entre sí, estando la cámara (19) de mezcla y la cámara (29) de cavitación en comunicación entre sí;
- 20 iv) en donde el rotor dentado (25) tiene un diámetro que varía entre  $50$  y  $500$  mm;
- v) en donde la separación mínima entre los dientes (27) del rotor y los dientes (33) del estator varía entre  $0,2$  y  $5,0$  mm;
- 25 vi) en donde la longitud axial de los rotores dentados (25) varía entre aproximadamente  $0,05$  y  $2,5$  veces el diámetro del rotor dentado correspondiente (25);
- vii) en donde el diámetro interno de la cámara (19) de mezcla y de la cámara (29) de cavitación varía entre aproximadamente  $50$  y  $500$  mm;
- viii) en donde la longitud axial de la etapa (13) de mezcla de alta turbulencia varía entre aproximadamente  $0,1$  y  $2,5$  veces el diámetro interno de la cámara (19) de mezcla correspondiente;
- 30 ix) en donde la velocidad de rotación varía entre  $500$  y  $5.000$ ;
- x) en donde el rotor de las etapas de mezcla de alta turbulencia y de las etapas de alto esfuerzo cortante y de alta cavitación está asociado con un mismo árbol (39) de rotación común que pasa centralmente por todas las etapas del aparato;
- 35 xi) en donde una de dichas al menos dos etapas (13) de mezcla de alta turbulencia ubicadas en el primer extremo dicha serie de etapas están provistas de un primer puerto (165) para la entrada de una primera sustancia que está en un primer estado físico y de un segundo puerto (167) para la salida de una segunda sustancia que está en un segundo estado físico, y en donde otra de dichas al menos dos etapas (13) de mezcla de alta turbulencia ubicada en el extremo opuesto de dicha serie de etapas está provista de un primer puerto (173) para la entrada de una sustancia que está en dicho segundo estado físico y de un segundo puerto (175) para la salida de una sustancia que está en dicho primer estado físico;
- 40 xii) en donde, cuando dicho árbol común (39) se hace girar en dicha dirección ( $F1$ ) de rotación a una velocidad de rotación que varía entre  $500$  y  $5.000$  rpm y se hace que una sustancia en un primer estado físico entre en la etapa (13) de mezcla de alta turbulencia ubicada en dicho primer extremo de dicha serie de etapas a través de dicho puerto (165) de entrada correspondiente, y se hace que una sustancia en un segundo estado físico entre en la etapa (13) de mezcla de alta turbulencia ubicada en dicho extremo opuesto de dicha serie de etapas a través de dicho puerto (173) de entrada correspondiente, una sustancia en dicho segundo estado físico sale de la etapa (13) de mezcla de alta turbulencia ubicada en dicho primer extremo de dicha serie de etapas a través de dicho puerto (167) de salida correspondiente y una sustancia en dicho primer estado físico sale de la etapa (13) de mezcla de alta turbulencia ubicada en dicho extremo opuesto de dicha serie de etapas a través de dicho puerto (175) de salida correspondiente, por lo que dicho aparato funciona en modo contracorriente y se obtiene un aumento de las velocidades de deslizamiento relativas de las fases implicadas en el flujo multifásico que pasa por dichas etapas (13, 15).

2. Aparato según la reivindicación 1, en donde las etapas (13) de mezcla comprenden boquillas (49a, 49b) de inyección adaptadas para inyectar un flujo de una sustancia o mezcla de sustancias en la cámara (19) de mezcla.

3. Aparato según la reivindicación 1 o 2, en donde dichas al menos dos etapas (13) de mezcla están adaptadas para someter el flujo multifásico a un régimen de alta turbulencia con  $Re > 500.000$ .

4. Aparato según la reivindicación 1, en donde los dientes (33) del estator tienen un perfil parabólico (33a) que es idéntico al perfil de los dientes (27) del rotor y es la imagen especular del mismo.
- 5 5. Aparato según la reivindicación 1 o 4, en donde la ecuación de la parábola del perfil de los dientes (27) del rotor y/o de los dientes (27) del estator es  $Y = 0,0062974 X^2$ .
- 10 6. Aparato según la reivindicación 1 o 4 o 5, en donde hay previsto una separación (51) entre los dientes (27) del rotor y los dientes (33) del estator, separación que es mínima en los bordes traseros (27b, 33b) de los dientes (27, 33) del rotor y del estator cuando dichos bordes están sustancialmente alineados a lo largo de los radios correspondientes (Cr, Cs) del rotor (25) y del estator (27).
- 15 7. Aparato según la reivindicación 1 o 2 o cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en donde los rotores dentados (25) tienen un diámetro que varía entre 100 y 300 mm.
- 15 8. Aparato según la reivindicación 1 o 2 o cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en donde la longitud axial de los rotores dentados (25) varía entre 0,1 y 1,0 veces el diámetro del rotor.
- 20 9. Aparato según la reivindicación 1 o 2 o cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, en donde la separación mínima entre los dientes (27) del rotor y los dientes (33) del estator varía entre 0,5 y 2,5 mm.
- 20 10. Aparato según la reivindicación 1, en donde el diámetro interno de las cámaras (19) de mezcla y de las cámaras (29) de cavitación es de 100 a 300 mm.
- 25 11. Aparato según la reivindicación 1 o 10, en donde la longitud axial de las etapas (13) de mezcla de alta turbulencia varía entre 0,25 y 1,5 veces el diámetro interno de la cámara (19) de mezcla.
- 30 12. Aparato según la reivindicación 1, en donde la velocidad de rotación del rotor (17) varía entre 1.000 a 3.000 rpm.
- 30 13. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en donde dicho primer y dicho segundo estado físico son diferentes entre sí.
- 35 14. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en donde dichos primer y segundo estados físicos son iguales entre sí.
- 35 15. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en donde dichos primer y segundo estados físicos comprenden el estado líquido, el estado sólido y el estado gaseoso.
- 40 16. Un método para mejorar el contacto de fases y las reacciones químicas en flujo multifásico, que comprende las etapas de:
- 40
- proporcionar un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15,
  - hacer que dicho árbol común (39) gire en dicha dirección (F1) de rotación,
  - hacer que una sustancia en un primer estado físico entre en la etapa (13) de mezcla de alta turbulencia ubicada en el primer extremo de dicha serie de etapas a través de dicho puerto (165) de entrada correspondiente,
  - hacer que una sustancia en un segundo estado físico entre en la etapa (13) de mezcla de alta turbulencia ubicada en dicho extremo opuesto de dicha serie de etapas a través de dicho puerto (173) de entrada correspondiente,
- 45
- 50 haciendo de este modo que una sustancia en dicho segundo estado físico salga de la etapa (13) de mezcla de alta turbulencia ubicada en dicho primer extremo de dicha serie de etapas a través de dicho puerto (167) de salida correspondiente y que una sustancia en dicho primer estado físico salga de la etapa (13) de mezcla de alta turbulencia ubicada en dicho extremo opuesto de dicha serie de etapas a través de dicho puerto (175) de salida correspondiente, por lo que dicho aparato funciona en modo contracorriente, por lo que se obtiene un aumento de
- 55 las velocidades de deslizamiento relativas de las fases implicadas en el flujo multifásico que pasa por de dichas etapas (13, 15).

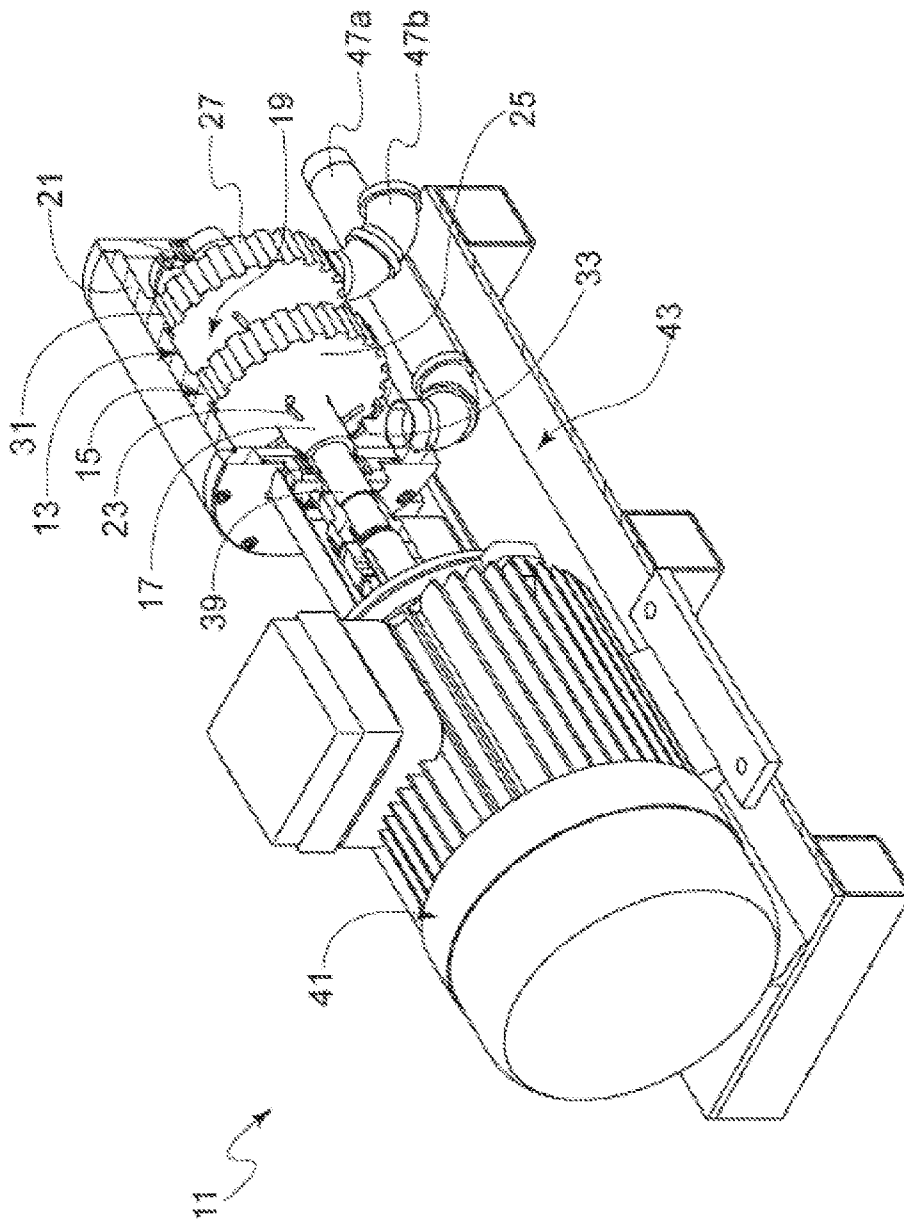


Fig. 1

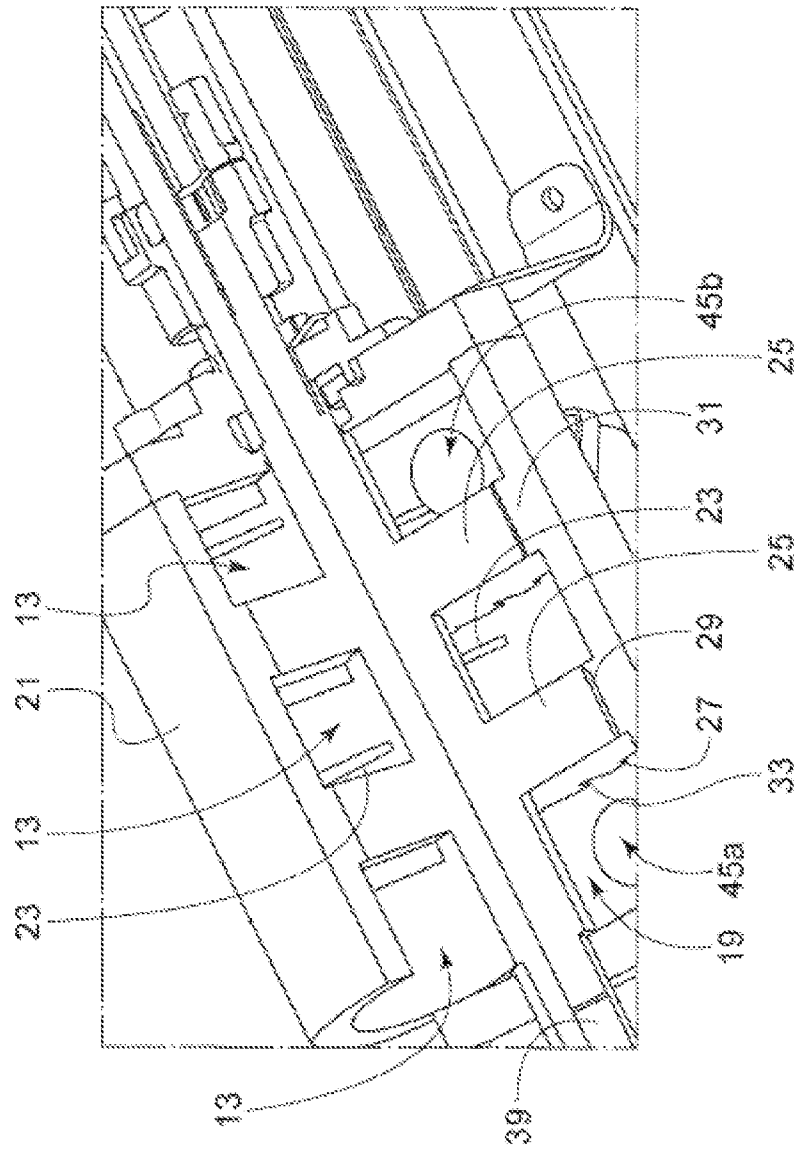
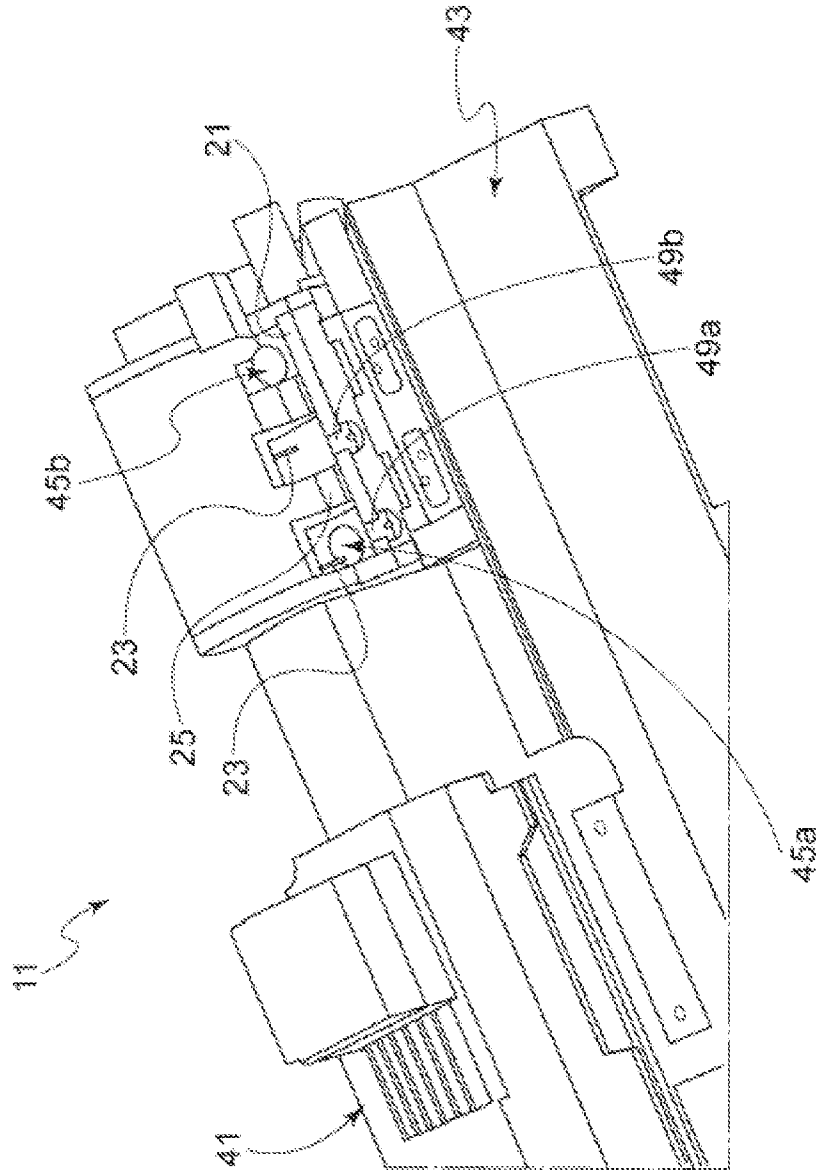


Fig. 2A



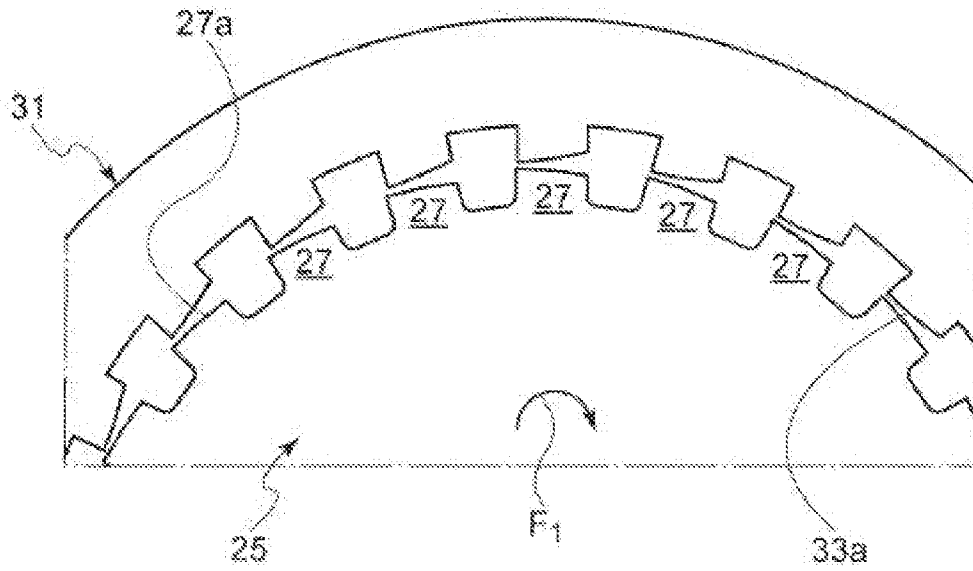


Fig. 3A

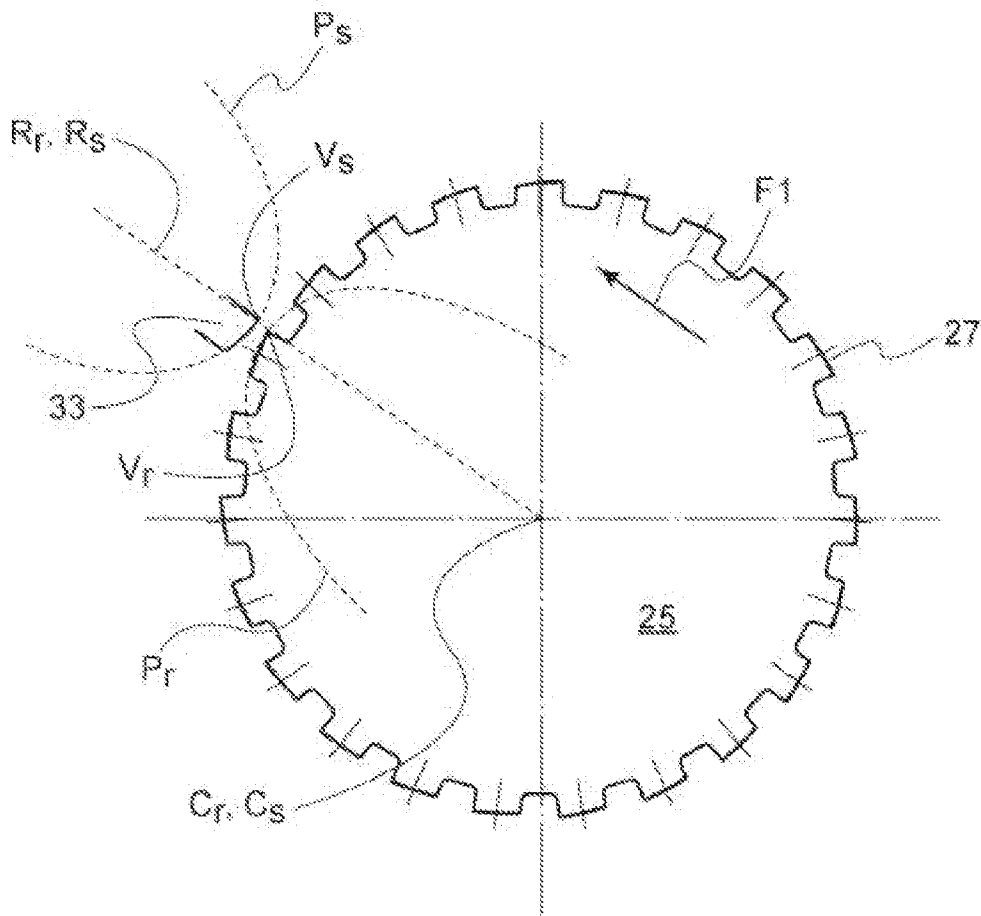


Fig. 3B

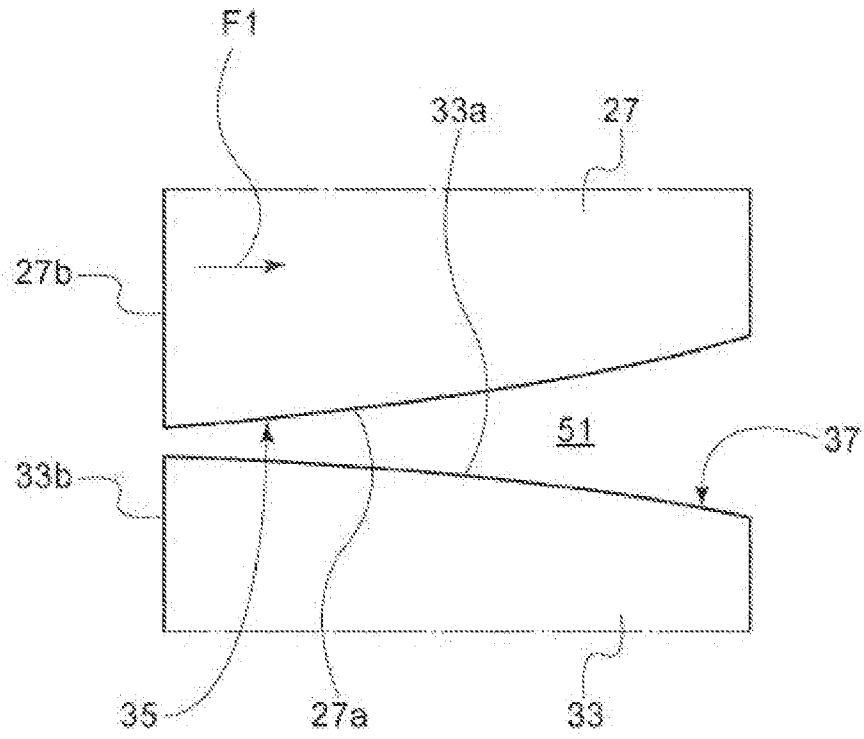


Fig. 3C

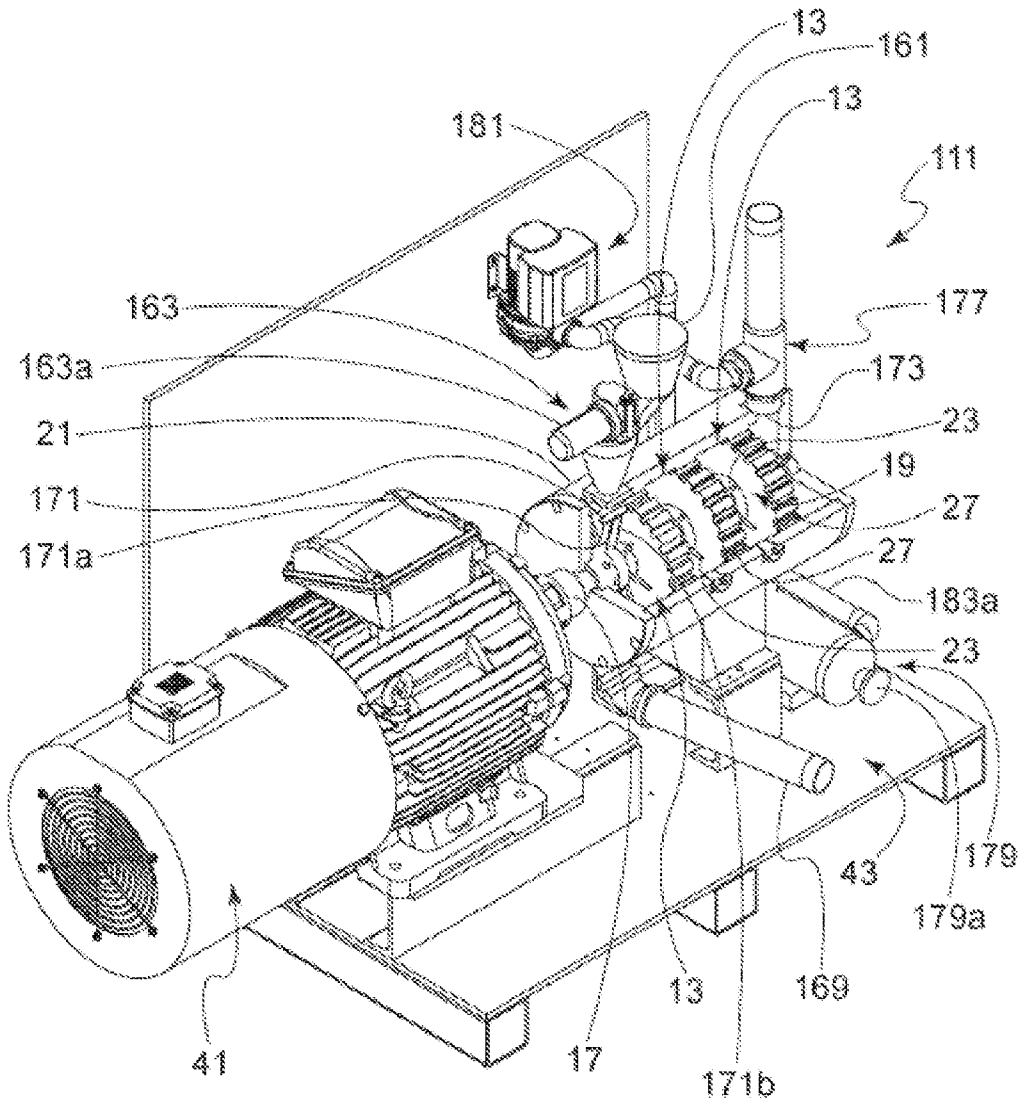


Fig. 4A

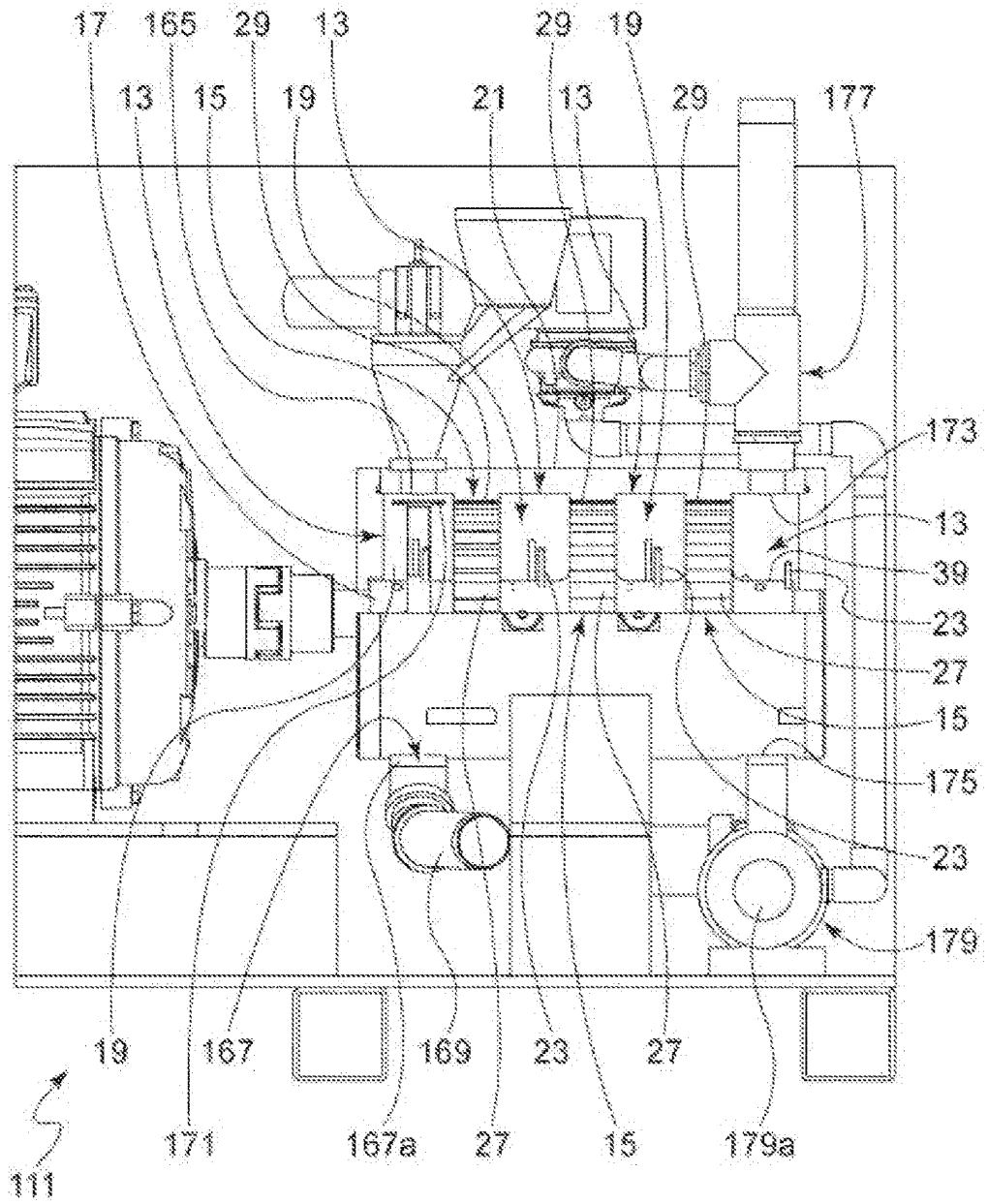


Fig. 4B

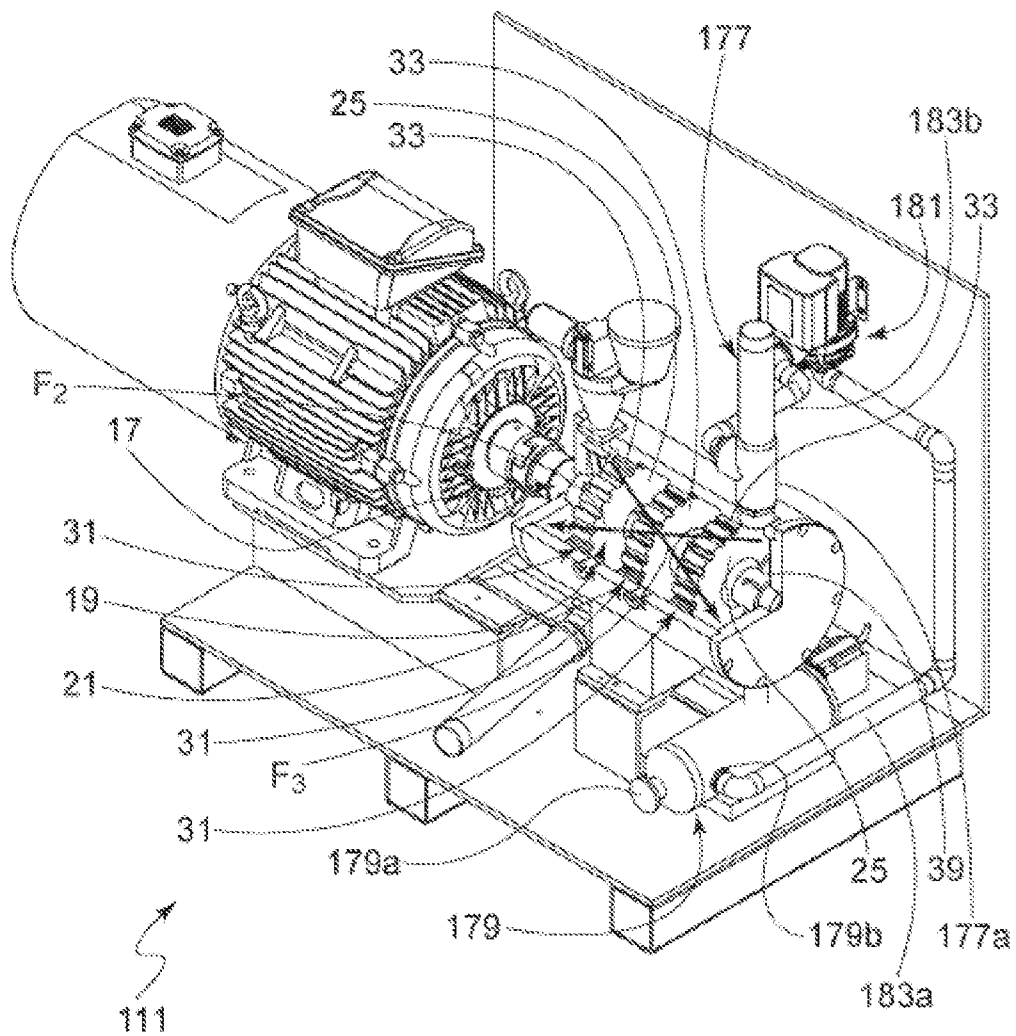


Fig. 4C