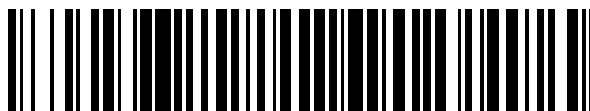


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 481**

51 Int. Cl.:

B01F 11/00 (2006.01)

B06B 1/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.01.2007 PCT/US2007/000953**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.07.2008 WO08088321**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.01.2007 E 07835660 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019 EP 2112952**

54 Título: **Mezclado resonante-vibratorio**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.07.2019

73 Titular/es:
**RESODYN ACOUSTIC MIXERS, INC. (100.0%)
130 North Main Street, Suite 600
Butte, MT 59701, US**

72 Inventor/es:
**HOWE, HAROLD W.;
WARRINER, JEREMIAH J.;
COOK, AARON M.;
COGUILL, SCOTT L. y
FARRAR, LAWRENCE C.**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 719 481 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

Mezclado resonante-vibratorio

Antecedentes de la invención

5 La presente invención se refiere, en general, al mezclado y al transporte de masas. En particular, la invención se refiere a un aparato y a un procedimiento para un mezclado resonante-vibratorio.

10 El mezclado de fluidos implica la creación de un movimiento o agitación de fluidos que resulta en la distribución uniforme de los materiales heterogéneos u homogéneos iniciales para formar un producto de salida. Los procedimientos de mezclado son necesarios para conseguir una distribución uniforme de: fluidos miscibles, tales como alcohol en agua; fluidos inmiscibles tales como la emulsificación de aceite en agua; de material particulado tal como la suspensión de partículas de pigmento en un fluido portador; mezclas de materiales secos con fluidos tales como arena, cemento y agua; fluidos tixotrópicos (pseudoplásticos) con partículas sólidas; los ingredientes químicos de los productos farmacéuticos; y muestras biológicas, tales como bacterias, mientras crecen en un medio de cultivo sin incurrir en daños físicos.

15 El mezclado puede ser realizado de diversas maneras: uno o varios impulsores giratorios montados en uno o varios ejes sumergidos en la mezcla de fluidos agitan el fluido y/o los materiales sólidos a mezclar, o una placa perforada con movimiento de desplazamiento realiza la agitación, o el propio recipiente que contiene los materiales es agitado, sacudido o se hace vibrar. El mezclado puede ser continuo (como cuando se usa un impulsor giratorio o se hace vibrar el recipiente de contención) o intermitente, como cuando el mecanismo de accionamiento se activa y se detiene en una o varias direcciones.

20 Con un mezclador vibratorio convencional, la amplitud puede ser variada dentro de límites muy estrechos, y la frecuencia se establece generalmente a la frecuencia de la fuente de alimentación de corriente alterna (CA). Incluso cuando se usa un controlador de motor con control de frecuencia, la frecuencia de vibración de un mezclador vibratorio convencional puede ser variada solo dentro de límites relativamente estrechos. Generalmente, se evita el mezclado a la frecuencia de resonancia natural del mecanismo debido a las altas cargas y al desgaste asociado de los mecanismos.

25 Cuando se cultiva tejido biológico, todas las células deben estar suspendidas en el caldo de nutrientes; es decir, las células no deberían asentarse en el fondo del recipiente en el que están siendo cultivadas. Sin embargo, al agitar las células vivas con el fin de minimizar la sedimentación, el efecto mecánico del alto esfuerzo cortante causado por el agitador no debería comprometer la integridad de las células. En el caso de los agitadores giratorios, bastante frecuentemente, el medio de cultivo crea un vórtice turbulento al que son succionadas las células. Bajo condiciones de vórtice turbulento, las células tienen un mayor riesgo de resultar dañadas mecánicamente y el suministro continuo de oxígeno a las células no está asegurado de manera consistente.

30 La técnica antecedente está caracterizada por las patentes US N° 2.091.414, 3.162.910, 2.353.492, 2.636.719, 3.498.384, 3.583.246, 3.767.168, 4.619.532, 4.972.930, 5.979.242, 6.213.630, 6.250.792, 6.263.750 y 6.579.002;

35 Newport et al. en la patente US N° 2.091.414 describen un aparato para aplicar vibraciones. Esta invención está limitada en el sentido de que solo describe un sistema de una única masa.

Behnke et al. en la patente US N° 3.162.910 describen un aparato para agitar matraces de fundición. Esta invención está limitada en el sentido de que solo se proporciona un sistema de una única masa y un único conjunto de muelles.

40 La presente invención supera las limitaciones de las patentes US N° 2.353.492 y 2.636.719 emitidas a John C. O'Connor (las "patentes de O'Conner") y 6.213.630 emitidas a Olga Kossman (la "patente de Kossman"). Las patentes de O'Conner describen dispositivos que permiten una compactación vibratoria de materiales secos y la alimentación de material por medio de un transporte vibratorio. La patente de Kossman reivindica un control electrónico de los motores para un control de la vibración de un dispositivo de compactación.

45 Las patentes de O'Conner describen mecanismos vibratorios compuestos por dos masas. Un medio para aplicar una fuerza cíclica está fijado a la primera masa. La segunda masa, que contiene o que incluye el material a ser afectado, está montada de manera elástica a la primera masa. A continuación, el conjunto es sostenido por miembros elásticos en una posición fija en el suelo. Este mecanismo puede ser ajustado de manera efectiva mediante selecciones de miembros elásticos apropiados para reducir sustancialmente las fuerzas transmitidas a la posición del suelo, pero está limitado en su capacidad para reducir las aceleraciones impuestas sobre la primera masa. Las aceleraciones sobre la primera masa, que incluyen la inducción de fuerzas cíclicas por parte del accionamiento, inducen fuerzas elevadas que, a su vez, conducen a fallos prematuros. Para reducir las tasas de fallo del accionamiento, deben reducirse las fuerzas inducidas o debe limitarse severamente la masa del material

afectado. Ambos casos limitan las aplicaciones disponibles del dispositivo. Además, se afirma que las condiciones operativas preferidas están entre los modos primero y segundo de vibraciones máximas. Esto limita adicionalmente la efectividad del dispositivo debido a la energía adicional requerida para operar en este intervalo para conseguir las aceleraciones y las amplitudes de mezclado óptimas. Si el dispositivo debe ser operado en uno de los modos de pico, solo se requeriría energía suficiente para superar la amortiguación inherente del dispositivo para conseguir una aceleración y una amplitud máximas en la masa dos.

La patente de Kossman describe un procedimiento de control del motor o de los motores de un dispositivo vibratorio similar a la patente de O'Conner. El dispositivo descrito carece de la capacidad de operar en los picos de frecuencia naturales y adolece también de una carencia de capacidad para limitar las fuerzas transmitidas a las posiciones del accionamiento o del suelo.

Ogura, en la patente US N° 3.498.384, describe un dispositivo de impacto vibratorio. Esta invención está limitada en el sentido de que solo se describe un sistema de dos masas. No es posible conseguir altas aceleraciones de carga útil, cancelación de fuerzas y bajas aceleraciones del accionamiento con un sistema de dos masas.

Stahle et al., en la patente US N° 3.583.246 describen un dispositivo de vibración accionado por al menos un generador de desequilibrio. Esta invención está limitada en el sentido de que solo describe un sistema de una única masa.

Dupre et al., en la patente US N° 3.767.168 describen un aparato de agitación mecánica. Esta invención está limitada en el sentido de que solo describe un sistema de una única masa.

Schmidt, en la patente US N° 4.619.532, describe un agitador para recipientes de pintura. Esta invención está limitada en el sentido de que solo describe un sistema de doble masa.

Davis, en la patente US N° 4.972.930, describe un agitador de desequilibrio rotativo, ajustable dinámicamente. Esta invención está limitada en el sentido de que solo describe un sistema de una única masa. Además, el accionamiento vibratorio está fijado directamente a la masa única y esta masa está fijada a tierra mediante muelles neumáticos. Las altas aceleraciones del accionamiento son un resultado inevitable de dicho dispositivo.

Hobbs, en la patente US N° 5.979.242, describe un sistema de prueba de vibración multinivel con atributos de vibración controlables. Esta invención está limitada en el sentido de que describe un sistema multi-accionamiento con un accionamiento fijado a cada una de las masas en el sistema. No se proporciona ninguna descripción de los medios para conseguir bajas aceleraciones del accionamiento o bajas fuerzas de transmisión al suelo.

Krush et al., en la patente US N° 6.250.792, describe un dispositivo adaptador vibratorio integrado. Esta invención está limitada en el sentido de que solo describe un sistema de una única masa.

Maurer et al., en la patente US N° 6.263.750 describe un dispositivo para generar vibraciones dirigidas. Esta invención está limitada en el sentido de que solo describe un sistema de una única masa.

Bartick et al., en la patente US N° 6.579.002 describe un agitador de laboratorio programable de alto rendimiento, con oscilación rápida, de gran rango y gran capacidad de carga. Esta invención está limitada en el sentido de que solo describe un sistema de una única masa. Esta invención no es capaz de operar en un estado resonante ya que es accionada por desplazamiento en lugar de por vibración.

El documento US 2 653 521 A describe un aparato para aplicar un tratamiento húmedo a sustancias fibrosas, particularmente tratamiento de colado, eliminación de agua, lavado y similares de suspensiones líquida de fibras, tales como pasta de papel.

En resumen, la técnica anterior no describe un sistema de tres masas que tiene una estructura que es capaz de conseguir bajas frecuencias de 0-1.000 Hercios (Hz), altas aceleraciones de 2-75 veces la aceleración causada por la gravedad (g) y grandes amplitudes de desplazamiento de 0,254-12,7 mm (0,01-0,5 pulgadas). Lo que se necesita es un aparato y un procedimiento para mezclar fluidos y/o sólidos de una manera que pueda ser variada desde una manera en la que se mantenga la integridad de los materiales biológicos y moleculares frágiles en el recipiente de mezclado hasta una manera en la que homogeneice el material agregado pesado mediante el suministro de grandes cantidades de energía.

Breve resumen de la invención

El propósito de la invención es proporcionar un procesamiento profundo y minucioso, por ejemplo, el mezclado de una pluralidad de fluidos, por ejemplo, el mezclado minucioso de un gas en un líquido, o de un líquido en otro líquido, o más de dos fases. Una aplicación es el mezclado y la dispersión de sólidos en líquidos, en particular sólidos duros a húmedos y partículas pequeñas. Otras aplicaciones incluyen la preparación de emulsiones para

aplicaciones químicas y farmacéuticas, la gasificación de líquidos para purificación y para reacciones químicas, la aceleración de reacciones físicas y químicas y la suspensión de partículas finas en fluidos. Los fluidos a los que se hace referencia en la presente memoria pueden incluir o no partículas sólidas atrapadas.

5 La presente invención proporciona un aparato para aplicar agitación según la reivindicación 1 y un procedimiento de mezclado según la reivindicación 15. En las reivindicaciones dependientes se describen aspectos adicionales de la invención. El aparato y el procedimiento proporcionan un exquisito control sobre el mezclado en un amplio rango de aplicaciones. El rango de aplicaciones abarca desde la agitación de trabajo pesado o uso intensivo para la preparación de hormigón hasta el mezclado delicado y preciso requerido para la preparación de productos farmacéuticos y el procesamiento de cultivos biológicos en los que los organismos vivos deben permanecer viables a lo largo del procedimiento de mezclado. En una realización preferida, la presente invención proporciona un
10 mezclador vibratorio, accionado por un motor o unos motores controlables electrónicamente, adaptados para permitir un control virtualmente ilimitado del procedimiento de mezclado.

15 La presente invención está compuesta por tres masas, con una fuerza lineal cíclica aplicada a una de las masas. La fuerza lineal aplicada a la primera masa produce un movimiento vibratorio que es transmitido a través de unos miembros elásticos a una segunda masa de acoplamiento y, a continuación, a una tercera masa. Con la adición de una segunda masa, es posible ajustar la respuesta del sistema de manera que las fuerzas transmitidas se cancelen. Un recipiente puede estar fijado a las masas segunda o tercera con el propósito de mezclar dos o más constituyentes. Las tres masas están acopladas entre sí con miembros elásticos que están optimizados para transferir la gran mayoría de la fuerza al recipiente de mezclado y para minimizar la fuerza transmitida al suelo y a
20 la estructura de soporte. La minimización de la transmisión de la fuerza al suelo y la maximización de la fuerza transmitida al recipiente afectan de manera más eficiente al trabajo realizado sobre el contenido del recipiente y reducen el desgaste en el transductor de fuerza lineal. Se consigue una operación más eficiente mediante la operación a las frecuencias de resonancia del mecanismo o a frecuencias cercanas a las mismas. Empleando el sistema resonante descrito en la presente memoria se consiguen con facilidad niveles de intensidad que son casi
25 imposibles con los procedimientos de mezclado vibratorio convencionales.

Un objeto de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar el mezclado de dos o más líquidos. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar el mezclado de uno o más líquidos y uno o más gases. Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar el mezclado de uno o más líquidos y uno o más gases. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar el mezclado de uno o más
30 líquidos con una o más partículas sólidas. Un objeto adicional de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar el mezclado de uno o más líquidos con una o más partículas sólidas con uno o más gases. Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar el mezclado de dos o más sólidos. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar el mezclado de dos o más materiales no newtonianos. Un objeto adicional de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar el mezclado de uno o más materiales no
35 newtonianos con una o más partículas sólidas.

Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar la gasificación de líquidos. Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar la desgasificación de líquidos. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es acelerar las reacciones físicas y químicas. Un objeto adicional de las realizaciones preferidas de la invención es acelerar la transferencia de calor. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es acelerar la transferencia de masa. Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es suspender y distribuir partículas. Un objeto adicional de las realizaciones preferidas de la invención es suspender nanopartículas y distribuir partículas. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es causar un micromezclado. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es crear inestabilidades newtonianas. Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es causar altas
40 tasas de transferencia de masa gas-líquido y líquido-gas. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es causar la dispersión de burbujas de vapor en la superficie y que se dispersen en el líquido. Un objeto adicional de las realizaciones preferidas de la invención es causar que las burbujas se muevan hacia abajo al interior de un líquido. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es causar que las burbujas se suspendan en un líquido. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es causar que el vapor cavite en un líquido.
45

Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es facilitar el mezclado mediante una frecuencia, una amplitud o una aceleración seleccionadas. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es dispersar partículas finas de una manera uniforme en un medio líquido newtoniano o no newtoniano. Un objeto adicional de las realizaciones preferidas de la invención es causar que los líquidos migren a sólidos porosos. Otro
50 objeto de las realizaciones preferidas de la invención es causar que los líquidos migren a través de sólidos porosos. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es causar que los líquidos migren a sólidos porosos y se filtren desde los materiales. Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es reducir las capas límite que impiden el transporte de masa y la transferencia de calor. Otro objeto de las

realizaciones preferidas de la invención es emplear una operación resonante para mejorar la eficiencia del mezclado. Un objeto adicional de las realizaciones preferidas de la invención es combinar tres o más masas de manera que proporcionen un modo de operación de cancelación de fuerza. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es producir bajas frecuencias de 0-1.000 Hercios (Hz), altas aceleraciones de 2-75 veces la aceleración causada por la gravedad (g) y grandes amplitudes de desplazamiento de 0,254-12,7 mm (0,01-0,5 pulgadas). Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar un sistema autónomo para colocar los fluidos y sólidos a ser mezclados en una plataforma y un mecanismo para asegurar el sistema a la plataforma. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar un medio para forzar la cancelación de la base del dispositivo.

Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es reducir la aceleración en el oscilador, aumentando de esta manera la vida útil del cojinete y prolongando la vida útil de los componentes del dispositivo. Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar mecanismos para una operación a la frecuencia de resonancia del dispositivo para conseguir una mayor eficiencia y eficacia. Otro objeto de la realización preferida de la invención es emplear la cancelación de las fuerzas internas y reducir las fuerzas transmitidas al entorno del dispositivo. Un objeto adicional de la invención es transferir de manera eficiente las fuerzas aplicadas y las aceleraciones relacionadas a la masa de carga útil y reducir la aceleración del oscilador. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es permitir un ajuste automático y/o manual de la fuerza oscilatoria durante la operación. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar un sistema de tres o más masas, en el que los parámetros operativos (frecuencia y desplazamiento) sean menos sensibles a los cambios de la masa de carga útil y que proporcione una operación consistente en una diversidad de situaciones.

Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es un dispositivo que tenga tres modos de vibración y opere a la máxima capacidad, permitiendo de esta manera el uso de muelles más compatibles, lo que reduce la amortiguación intrínseca y aumenta la eficiencia. Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar un transporte másico elevado de gases, líquidos y nutrientes a células con bajo esfuerzo cortante. Otro objeto de las realizaciones preferidas es proporcionar un transporte másico elevado de gases y productos de desecho desde las células con bajo esfuerzo cortante. Un objeto adicional de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar un transporte másico elevado de gases, líquidos y nutrientes hacia y a microportadores con bajo esfuerzo cortante mientras se causan un mínimo de colisiones de microportadores. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar un transporte másico elevado de gases desde y de los microportadores con bajo esfuerzo cortante mientras se causan un mínimo de colisiones de microportadores.

Todavía otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar un dispositivo vibratorio que pueda ser ajustado para producir frecuencias y desplazamientos que causen que los fluidos (sistemas gas-líquido, gas-líquido-sólido y combinaciones de estos sistemas) en el recipiente de carga útil desarrollen un estado de resonancia/de mezclado que establezca altos niveles de contacto gas-líquido, una onda acústica estacionaria y patrones de flujo axial que resulten en altos niveles de transporte másico gas-líquido y mezclado. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar un dispositivo vibratorio que pueda ser ajustado para desplazar una carga útil, tal como un recipiente lleno de una diversidad de sólidos que están altamente cargados, por ejemplo, muy cerca de la densidad teórica, a una frecuencia y una amplitud que causan que el material se fluidice y se mezcle profundamente. Un objeto adicional de la invención es proporcionar un dispositivo vibratorio que pueda ser ajustado para desplazar una carga útil, tal como un recipiente lleno de diversos sólidos y líquidos que están altamente cargados, por ejemplo, muy cerca de la densidad teórica, a una frecuencia y una amplitud que causan que el material se fluidice y se mezcle profundamente. Otro objeto de las realizaciones preferidas de la invención es proporcionar un dispositivo vibratorio compuesto por dos o más masas, un vibrador sustancialmente lineal y un procedimiento de control, que permita la cancelación de fuerzas variables durante la operación, en el que las masas estén conectadas por miembros elásticos con el fin de transferir las fuerzas generadas por el vibrador al recipiente y en el que la cancelación de fuerzas es controlable de manera que puedan generarse fuerzas sustancialmente lineales en cualquier dirección.

Aspectos adicionales de la invención serán evidentes a partir de la consideración de los dibujos y de la descripción posterior de las realizaciones preferidas de la invención.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

Las características de la invención se entenderán mejor con referencia a los dibujos adjuntos, que ilustran realizaciones actualmente preferidas de la invención. En los dibujos:

La Fig. 1 es una vista en alzado frontal del reactor resonante de placa plana construido según una primera realización preferida de la invención con algunos elementos omitidos en aras de la claridad.

La Fig. 2 es una vista en sección lateral derecha del reactor resonante de placa plana de la Fig. 1.

La Fig. 3 es una vista en perspectiva de la realización preferida de las Figs. 1 y 2 con algunos elementos omitidos en aras de la claridad.

5 La Fig. 4 es una vista en alzado frontal de la realización preferida de las Figs. 1-4 con algunos elementos omitidos en aras de la claridad.

La Fig. 5 es un diagrama que representa el comportamiento de respuesta de la fuerza de transmisión de la realización preferida de las Figs. 1-4.

La Fig. 6 es un diagrama que representa el comportamiento de respuesta de fase de la realización preferida de las Figs. 1-4.

10 La Fig. 7 es una vista en perspectiva de un sistema de tres masas alternativo con una unidad de vibración montada en el lateral.

La Fig. 8 es una vista en perspectiva de un sistema de tres masas alternativo con un dispositivo de vibración de montaje bajo.

15 La Fig. 9 es una vista lateral o frontal (son las mismas) de un sistema de tres masas alternativo con una unidad de vibración montada en el centro.

La Fig. 10 es un gráfico que muestra las diferencias de rendimiento entre un sistema de dos masas y una realización preferida de un sistema de tres masas.

La Fig. 11 es un diagrama esquemático de cuerpo libre de una realización preferida de la invención.

La Fig. 12 es una vista en perspectiva de una segunda realización preferida de la invención.

20 La Fig. 13 es una vista en perspectiva del sistema resonante de la segunda realización preferida de la invención.

La Fig. 14 es una vista en perspectiva del conjunto de base de la segunda realización preferida de la invención.

La Fig. 15 es una vista en perspectiva de un conjunto de masa de reacción de la segunda realización preferida de la invención.

25 La Fig. 16 es una vista en perspectiva del conjunto de accionamiento de la segunda realización preferida de la invención.

La Fig. 17 es una vista en perspectiva del conjunto de carga útil de la segunda realización preferida de la invención.

La Fig. 18 es una vista en perspectiva del conjunto de bloque de motor de la segunda realización preferida de la invención.

30 La Fig. 19 es una vista en perspectiva de un conjunto de motor de la segunda realización preferida de la invención.

En los dibujos, se usan los siguientes números de referencia para indicar las partes y el entorno de la invención:

- 10 dispositivo, aparato
- 11 masa intermedia
- 12 masa de oscilador
- 13 carga útil, masa de carga útil
- 24 muelles de masa de carga útil a tierra
- 25 muelles de oscilador a masa intermedia
- 26 muelles de masa de carga útil a masa intermedia
- 27 muelles de masa intermedia a suelo
- 30 paradas

ES 2 719 481 T3

37	bastidor de suelo, base, estructura rígida
38	accionamientos de osciladores, servomotores, transductores de fuerza
39	puntales de alineación de masa de carga útil a suelo
40	retenedores
41	tuercas de bloqueo
43	puntales de alineación de oscilador a masa intermedia
53	puntales de alineación de masa intermedia a tierra
55	puntales de masa de carga útil a masa intermedia
56	masas excéntricas, pesos excéntricos, excéntricas
57	ejes motores, ejes
60	cámara de mezclado
70	sistema resonante
72	conjunto de base
74	conjunto de carga útil
76	conjunto de controlador
78	conjunto de masa de reacción
80	patas de la base
82	conjuntos de conector de pata
84	soporte de muelle inferior
86	soporte de muelle superior
88	pata de la base
100	tramos
102	montantes
104	peso de ajuste
106	conector base
108	muelles de masa de reacción a base
110	muelles de masa de reacción a carga útil
120	ensamble de bloque motor
122	soportes de accionamiento a eje
124	ejes de muelle de accionamiento
126	brida de muelle superior
128	muelles de accionamiento a carga
130	soportes verticales de carga útil
132	placa superior de carga útil
134	placa inferior de carga útil

136	muelles de carga útil a base
138	orificios de eje de muelle del accionamiento
140	conjuntos de motor
142	soportes de motor
144	disipador de calor
146	conector de alimentación
148	conector de retroalimentación
150	orificios de acceso
160	carcasa de estator de motor
162	cojinete de auto-alineación
164	muelles ondulados
166	estator de motor
168	rotor de motor
170	eje de motor
172	chavetas
174	contrapeso
176	separador de contrapeso
178	cojinete de bolas de contacto angular
180	rotor de resolver
182	carcasa de peso de motor
184	estator de resolver
190	anillo de retención

Descripción detallada de la invención

Con referencia a las Figs. 1-4, se presenta una realización preferida de la presente invención. El dispositivo 10 comprende tres masas móviles independientes (masa 11 intermedia, masa 12 de oscilador y carga 13 útil) y cuatro lechos de muelles o sistemas de muelle distintos (muelles 24 de masa de carga útil a suelo, muelles 25 de masa de oscilador a masa intermedia, muelles 26 de masa intermedia a carga útil y muelles 27 de masa intermedia a suelo) que están alojados en estructura 7 rígida. La masa 12 de oscilador está situada preferiblemente entre las otras dos masas. La masa 11 intermedia está situada preferiblemente por debajo de la masa 12 de oscilador. La carga 13 útil está situada preferiblemente por encima de la masa 12 de oscilador. Preferiblemente, todas las masas están construidas en acero o alguna aleación comparable.

La masa 12 de oscilador está conectada de manera rígida a dos accionamientos 38 del oscilador (por ejemplo, dos servomotores de corriente continua (CC)) y está conectada de manera móvil a la masa 11 intermedia por medio de los puntales 43 de alineación de oscilador a masa intermedia (en el que preferiblemente dos de ellos están conectados de manera rígida a la masa 12 de oscilador), muelles 25 de oscilador a masa intermedia (que comprenden cuatro muelles compatibles), dos retenedores 40 y dos tuercas 41 de bloqueo. La masa 11 intermedia está conectada de manera móvil a la estructura 37 rígida por medio de puntales 53 de alineación de masa intermedia a suelo (en el que preferiblemente cuatro de ellos están conectados de manera rígida a la estructura 37 rígida), muelles 27 de masa intermedia a suelo (que comprenden ocho muelles compatibles), cuatro retenedores 40 y cuatro tuercas 41 de bloqueo. La carga 13 útil está conectada de manera móvil a la masa 11 intermedia por medio de puntales 55 de masa de carga útil a masa intermedia (en el que preferiblemente dos de ellos están conectados de manera rígida a la masa 13 de carga útil), muelles 26 de masa de carga útil a masa intermedia (que comprenden cuatro muelles compatibles), dos retenedores 41 y dos tuercas 40 de bloqueo. Un extremo de los

5 muelles 26 de masa de carga útil a masa intermedia se apoya en los topes 30 que están preferiblemente conectados de manera rígida a los puntales 55 de masa de carga útil a masa intermedia. La carga 13 útil está conectada también de manera móvil a la estructura 37 rígida por medio de puntales 39 de alineación de masa de carga útil a suelo (en el que preferiblemente cuatro de ellos están conectados de manera rígida a la carga 13 útil), muelles 24 de masa de carga útil a suelo (que comprenden ocho muelles compatibles), cuatro retenedores 40 y cuatro tuercas 41 de bloqueo.

10 La Fig. 2 es una vista lateral derecha de la realización de la invención presentada en la Fig. 1 que muestra detalles adicionales. Es evidente que la masa 11 intermedia soporta la masa 13 de carga útil y la masa 12 de oscilador en paralelo. Además, la masa 12 de oscilador no está conectada directamente a la masa 13 de carga útil. En esta figura, no se muestra una parte de la cubierta de uno de los servomotores 38, de manera que uno de los ejes 57 de motor y una de las masas 56 excéntricas sean visibles.

15 En otra realización preferida, el dispositivo 10 comprende además una cámara 60 de mezclado. Preferiblemente, la cámara 60 de mezclado está fijada a la masa 11 intermedia o la carga 13 útil. La masa que no tiene la cámara 60 de mezclado fijada a la misma puede ser dividida también en múltiples masas, cada una con sus propios medios de fijación de miembros elásticos para fijar la masa a la masa que no tiene la cámara 60 de mezclado fijada a la misma.

20 Con referencia a las Figs. 3 y 4, la realización preferida de las Figs. 1 y 2 se ilustra con elementos eliminados desde la esquina del dispositivo 10 que está más cerca del observador en la Fig. 3. En estas vistas, ambas unidades 38 de oscilador son visibles.

25 En todavía otra realización preferida, pueden añadirse servomotores 38 adicionales al dispositivo 10 para permitir variabilidad de la fuerza de impulso mientras el dispositivo 10 está en funcionamiento. Con la adición de dos servomotores 38 más con masas 56 excéntricas idénticas, puede conseguirse una cancelación total de las fuerzas. Esto se consigue estableciendo que todos los ejes del motor sean paralelos entre sí, con dos motores que giran en sentido horario y dos motores que giran en sentido antihorario. Preferiblemente, las masas 56 excéntricas se seleccionan de manera que cancelen todas las fuerzas en el arranque ajustando el ángulo de fase a 180 grados para pares de motores de rotación contraria. Cuando los motores han alcanzado la frecuencia de rotación deseada, las masas 56 excéntricas son desplazadas fuera de fase, creando de esta manera una fuerza de impulso. El movimiento del ángulo de fase se consigue desacelerando dos de los motores durante una fracción de una revolución y a continuación restableciendo la frecuencia de rotación seleccionada de manera que las masas excéntricas ya no se opongan entre sí. La deceleración de los motores es realizada mediante una unidad de control de movimiento de servomotor.

35 La operación de la realización de la presente invención ilustrada en las Figs. 1-4 se consigue mediante la rotación sincronizada por parte de los servomotores 8 de pesos 56 excéntricos de masa y propiedades de inercia iguales que está fijados a cada extremo de los ejes 57 de los servomotores 38. La sincronización de la rotación de los dos ejes 57 es realizada mediante controles electrónicos. Los ejes 57 giratorios de los dos servomotores 38 están orientados paralelos entre sí y son operados en direcciones de rotación opuestas con sus pesos 56 excéntricos opuestos entre sí en el eje horizontal y coincidentes en el eje vertical. Esta disposición produce fuerzas lineales sustancialmente verticales con cancelación de las fuerzas horizontales.

40 El eje de la línea central de cada uno de los ejes 57 y el centroide de las masas 56 excéntricas fijadas forman un plano de masas. En el transcurso de una revolución, la posición inicial tiene los planos de masas paralelos entre sí con las masas 56 excéntricas en cada eje por encima del plano del motor definido por los dos ejes 57 de motor paralelos. En un cuarto de vuelta, los planos de masa coinciden con el plano de motor y los pesos 56 excéntricos de cada uno de los ejes 57 están más próximos entre sí. Las fuerzas centrífugas creadas por las masas 56 excéntricas son trasladadas en el plano motor. Esta fuerza tiene la misma magnitud, pero dirección opuesta, para cada uno de los ejes 57. Esto cancela de manera efectiva la fuerza en el plano de motor. En una media revolución, los planos de masas son de nuevo perpendiculares al plano motor y las masas 56 excéntricas están todas por debajo del plano motor. La fuerza centrífuga que actúa sobre cada uno de los ejes 57 es en la misma dirección, perpendicular al plano motor. En las tres cuartas partes de una revolución, los planos de masas y el plano motor coinciden de nuevo, pero las masas 56 excéntricas de cada uno de los ejes 57 están orientadas alejándose una de la otra. Aquí, una vez más, las fuerzas centrífugas creadas por las masas 56 excéntricas son trasladadas en el plano motor. Una vez más, esta fuerza es de la misma magnitud, pero de dirección opuesta, para cada uno de los ejes 57. Esto cancela de manera efectiva la fuerza en el plano del motor. En una revolución completa, los planos de masas son de nuevo perpendiculares al plano motor y las masas 56 excéntricas están todas ellas por encima del plano motor. La fuerza centrífuga que actúa sobre cada uno de los ejes tiene la misma dirección, perpendicular al plano motor. La fuerza que actúa perpendicular al plano del motor es trasladada verticalmente a través de los muelles de conexión a la masa 11 intermedia. Entonces, se consigue una traslación adicional a través de guías lineales y los muelles desde la masa 11 intermedia a la masa 13 de carga útil. Los muelles que comprenden lechos

24, 25, 26 y 27 de muelles son seleccionados para optimizar la transmisión de fuerza a través de la masa 11 intermedia a la masa 13 de carga útil y para minimizar la transmisión a la estructura 37 de soporte y al entorno circundante.

5 La operación en resonancia se determina cuando se maximiza la disparidad entre el nivel de vibración de la masa de carga útil y el nivel de vibración de la masa de accionamiento. Este estado resonante depende del sistema muelle/masa seleccionado. Preferiblemente, las características de los muelles y los pesos de las masas se eligen de manera que el estado resonante pueda conseguirse para el peso de carga útil anticipado.

10 La operación en el estado resonante no siempre es necesaria para conseguir el nivel de mezclado deseado. La operación cerca de la resonancia proporciona una amplitud y aceleraciones sustanciales para producir un mezclado significativo. Los niveles de mezclado deseados se establecen satisfaciendo los requisitos de tiempo con los requisitos de dispersión. Para mezclar más rápida o más vigorosamente, la amplitud es aumentada operando más cerca de la resonancia. La operación está típicamente dentro de 10 Hz de la resonancia. A medida que la frecuencia se acerca al estado resonante, pequeños cambios producen grandes resultados (la pendiente de la curva frecuencia frente a amplitud cambia rápidamente a medida que se acerca al estado resonante).

15 El recipiente 60 de mezclado (en el que se colocan los materiales para el mezclado) es fijado preferiblemente a la masa 3 de carga útil. Se consigue un mezclado vigoroso cuando la fuerza transmitida se convierte en una aceleración y en una amplitud de desplazamiento que empujan los componentes de la mezcla hacia arriba y hacia abajo, produciendo un flujo toroidal con remolinos secundarios.

20 En una realización preferida adicional, se añaden dos servomotores 38 adicionales al mecanismo mostrado en las Figs. 1-4. Los dos servomotores 38 adicionales están equipados con pesos 56 excéntricos que tienen las mismas características físicas que las indicadas anteriormente. Con estos motores 38 adicionales, es posible un control de la fuerza de impulso. Esto se consigue controlando el ángulo de fase relativo entre los dos conjuntos de motores 38. De una manera similar a la descrita anteriormente, los dos conjuntos de servomotores 38 son controlados eléctricamente para conseguir una cancelación total de las fuerzas en todas las frecuencias. Una vez conseguida la frecuencia deseada, el ángulo de fase relativo entre los dos conjuntos de motores es cambiado hasta que se consigue la fuerza de impulso deseada. Esta disposición tiene la ventaja añadida de producir una fuerza y una frecuencia variables.

25 En otra realización preferida, los miembros elásticos variables son sustituidos por muelles 24, 25, 26 y/o 27 para permitir cambios en la frecuencia de resonancia. Esta adición permite también una mayor variabilidad en la carga útil sin sacrificar el rendimiento. Los miembros elásticos variables pueden ser controlados mecánica o electrónicamente. Los ejemplos de dichos dispositivos son fuelles llenos de aire, muelles de hoja de longitud variable, cuñas de muelles helicoidales, muelles bimetálicos piezoeléctricos o cualquier otro miembro que pueda ser usado como un miembro elástico que tenga también la capacidad de que su índice de elasticidad cambie o si no se vea afectado.

30 En lugar de un mezclado mediante una inducción de flujo de fluido a granel, tal como es el caso para una agitación mediante impulsor, la agitación ResonantSonic[®] producida por la presente invención realiza el mezclado induciendo turbulencia a microescala mediante la propagación de ondas acústicas a través del medio. Es diferente de la agitación ultrasónica, ya que la frecuencia de la energía acústica es más baja y la escala del mezclado es mayor. Otra diferencia distintiva con respecto a la tecnología ultrasónica es que los dispositivos ResonantSonic[®] son agitadores simples, accionados mecánicamente, que pueden hacerse lo suficientemente grandes para realizar tareas a escala industrial a un coste razonable.

35 Una diferencia entre la tecnología de agitación acústica descrita en la presente memoria y la agitación con impulsor convencional es la escala a la que se produce el mezclado completo. En la agitación con impulsor, el mezclado se produce mediante la creación de remolinos de gran escala que se reducen a remolinos de menor escala cuando la energía es disipada por fuerzas viscosas. Con la agitación acústica, el mezclado se produce mediante transmisión acústica, que es el flujo de fluido independiente del tiempo inducido por un campo de sonido. Es causada por la conservación del momento disipado por la absorción y la propagación del sonido en el fluido. La transmisión acústica transporta remolinos a "microescala" a través del fluido, que se estima que son del orden de 100-200 μm . Aunque los remolinos son a microescala, todo el reactor se mezcla bien en un tiempo extremadamente corto debido a que la transmisión acústica causa que los vórtices a microescala sean transmitidos de manera uniforme a lo largo del fluido.

40 El dispositivo 10 en las Figs. 1-4 es operado preferiblemente en resonancia para producir un desplazamiento y una aceleración intensos para proporcionar un potencial mezclado vigoroso. La Fig. 5 muestra un aspecto de la respuesta de la realización preferida de la invención presentada en las Figs. 1-4 a la operación en varias frecuencias de oscilador. El gráfico muestra la fuerza transmitida al suelo por el dispositivo 10 cuando es operado en cada frecuencia indicada. La operación en la primera frecuencia armónica del dispositivo 10 (punto A) y en la

segunda frecuencia armónica del dispositivo 10 (punto B) se indican mediante los picos de fuerza mostrados en el gráfico. Durante la operación, un usuario selecciona una frecuencia operativa en o cerca del tercer modo (es decir, en o cerca de la tercera frecuencia armónica del dispositivo 10 o punto C) según sea apropiado para el nivel de mezclado deseado.

5 La Fig. 6 muestra otro aspecto de la respuesta de la realización preferida de la invención presentada en las Figs. 1-4 para a la operación en varias frecuencias de oscilador. Se ilustra la fase de movimiento de la masa 13 de carga útil y la masa de reacción (por ejemplo, la masa 11 intermedia). Por encima de una frecuencia de aproximadamente 40 Hercios (Hz), la diferencia de fase entre la masa 13 de carga útil y la masa de reacción es de aproximadamente 180 grados, lo que indica que se están moviendo en direcciones opuestas.

10 Las Figs. 7, 8 y 9 son realizaciones alternativas del sistema de tres masas de las Figs. 1-4, pero difieren de esas realizaciones preferidas en el tipo de transductores 38 de fuerza usados. Estas figuras representan un dispositivo 10 que es excitado por transductores 38 de fuerza electromagnéticos lineales en oposición a los servomotores 38 en la realización preferida de las Figs. 1-4. Todas las demás funciones del dispositivo 10 son equivalentes a la realización preferida descrita anteriormente.

15 Con referencia a la Fig. 7, un único transductor 38 de fuerza electromagnético lineal está fijado de manera rígida a un lado de la masa 12 de oscilador. La masa 12 de oscilador está conectada de manera móvil a la masa 11 intermedia por medio de muelles 25 de oscilador a masa intermedia. La masa 13 de carga útil está conectada de manera móvil a la masa 11 intermedia por medio de muelles 26 de carga útil a masa intermedia. La masa 11 intermedia está conectada de manera móvil a la base 37 por medio de muelles 27 de masa intermedia a suelo.

20 Con referencia a la Fig. 8, la masa 12 de oscilador y la masa 13 de carga útil están situadas aproximadamente a la misma elevación y ambas están por encima de la masa 11 intermedia. Esto ilustra que las ubicaciones relativas de las masas pueden variar entre las realizaciones.

25 Con referencia a la Fig. 9, un único transductor 38 de fuerza electromagnético lineal está fijado de manera rígida a la mitad de la masa 12 de oscilador. La masa 12 de oscilador está conectada de manera móvil a la masa 11 intermedia por medio de muelles 25 de oscilador a masa intermedia. La masa 13 de carga útil está conectada de manera móvil a la masa 11 intermedia por medio de muelles 26 de carga útil a masa intermedia. La masa 11 intermedia está conectada de manera móvil a la base 37 por medio de muelles 27 de masa intermedia a suelo.

30 Con referencia a la Fig. 10, las aceleraciones producidas por los sistemas de tres masas del tipo descrito en la presente memoria son comparadas con las aceleraciones producidas por los sistemas de dos masas descritos en la técnica antecedente. Los puntos en la línea F representan las aceleraciones de la masa del oscilador producidas por las entradas de fuerza asociadas y los puntos en la línea G representan las aceleraciones de la masa de carga útil producidas por las entradas de fuerza asociadas en un sistema de dos masas. Los puntos en la línea H representan las aceleraciones de la masa de oscilador producidas por las entradas de fuerza asociadas y los puntos en la línea I representan las aceleraciones de la masa de carga útil producidas por las entradas de fuerza asociadas en un sistema de tres masas.

35 Con referencia a la Fig. 11, se presenta un diagrama de cuerpo libre de la realización preferida de la invención de las Figs. 1-4. Las siguientes son las ecuaciones de movimiento del dispositivo 10:

$$m_1 a_1 = -k_1 x_1 - c_1 v_1 + k_2(x_2 - x_1) + k_3(x_3 - x_1) + c_2(v_2 - v_1) + c_3(v_3 - v_1)$$

$$m_2 a_2 = -k_2(x_2 - x_1) - c_2(v_2 - v_1) + F$$

40 $m_3 a_3 = -k_3(x_3 - x_1) - c_3(v_3 - v_1) - k_4 x_3 - c_4 v_3$

donde

m_x = masa x

k_x = índice de elasticidad del muelle x

c_x = coeficiente de amortiguamiento del amortiguador x

45 x_x = posición de la masa x

v_x = velocidad de la masa x

a_x = aceleración de la masa x

F = fuerza aplicada

Resolviendo estas ecuaciones simultáneamente, pueden seleccionarse los pesos apropiados para las masas y los índices de elasticidad y los coeficientes de amortiguamiento apropiados para los muelles para las realizaciones preferidas de la invención. Una persona con conocimientos ordinarios en la técnica sería capaz de escribir ecuaciones similares para otras realizaciones de la invención.

5 Hay un número infinito de soluciones a las tres ecuaciones de movimiento anteriores que describen el movimiento del sistema de tres masas del dispositivo 10. La optimización del sistema depende de la operación deseada del sistema. En general, la selección de la masa y los tamaños de muelle está sujeta a maximizar la amplitud de la carga útil, minimizar las fuerzas transmitidas al suelo y minimizar la amplitud del accionamiento. Una realización preferida usa los índices de elasticidad como sigue; $k_1/k_1 = 1$, $k_2/k_1 = 4,6$, $k_3/k_1 = 3,9$, $k_4/k_1 = 1,3$, y relaciones de masa de; $m_1/m_1 = 1$, $m_2/m_1 = 1,17$, $m_3/m_1 = 0,6$. Las constantes de amortiguación son el resultado de la amortiguación natural en la realización preferida y no son componentes reales. Por lo tanto, los valores de las constantes de amortiguación son determinadas preferiblemente mediante ensayos después de la fabricación de una realización.

10 Con referencia a las Figs. 12-19, se presenta otra realización preferida del dispositivo 10. Tal como se muestra en la Fig. 12, el sistema 70 resonante está esencialmente encerrado por el conjunto 72 de base en esta realización.

15 Con referencia a la Fig. 13, el conjunto 72 de base está retirado del dispositivo 10 para mostrar solo una realización preferida del sistema 70 resonante. En esta realización, el conjunto 70 resonante comprende el conjunto 74 de carga útil, el conjunto 76 de accionamiento y el conjunto 78 de masa de reacción.

20 Con referencia a la Fig. 14, el sistema 70 resonante está retirado del dispositivo 10 para mostrar solo una realización preferida del conjunto 70 de base. El conjunto 70 de base comprende cuatro patas 80 de base con cada par adyacente de las patas 80 de base conectadas por dos conjuntos 82 de conector de pata. Un soporte 84 de muelle inferior y un soporte 86 de muelle superior están fijados a cada una de las patas 80 de base. Preferiblemente, una pata 88 de base está fijada a la parte inferior de cada una de las patas 80 de base.

25 Con referencia a la Fig. 15, se presenta una realización preferida del conjunto 78 de masa de reacción. En una realización preferida, se incluyen cuatro conjuntos de masa de reacción en el sistema 70 resonante. En esta realización, el conjunto 78 de masa de reacción comprende dos tramos 100 que están conectados por montantes 102. En una realización preferida, un peso 104 de ajuste está fijado a cada uno de los montantes 102. Los conectores 106 de base soportan cada una de las dos masas de reacción a los muelles 108 de base. En una realización preferida, los muelles 108 de masa de reacción a base son la Parte N° RHL 200 - 400 de Moeller Manufacturing Company de Plymouth, Michigan. Los muelles 110 de masa de reacción a carga útil conectan de manera móvil el conjunto 78 de masa de reacción al conjunto 74 de carga útil. En una realización preferida, los muelles 110 de masa de reacción a carga útil son la Parte N° RHL 250 - 450 de Moeller Manufacturing Company de Plymouth, Michigan.

30 En una realización preferida, un sistema de tres masas es ajustado de manera que minimice las fuerzas transmitidas al suelo. Esto se consigue seleccionando una masa de reacción (masa m_3) de manera que las fuerzas al suelo se cancelen. A partir de la Fig. 6, es evidente que la masa m_1 (masa de carga útil) y la masa m_3 (masa de reacción) están desfasadas 180 grados (moviéndose en direcciones opuestas). Si los pesos de las masas son iguales, o están ligeramente modificados por las constantes de amortiguamiento naturales, las fuerzas se cancelarán para que se transfiera al suelo una fuerza neta nula.

35 Con referencia a la Fig. 16, se presenta una realización preferida del conjunto 76 de accionamiento. En esta realización, el conjunto 76 de accionamiento comprende un conjunto 120 de bloque motor al que se fijan dos soportes 122 de accionamiento a eje. Dos ejes 124 de muelle de accionamiento están fijados a los extremos de cada uno de los soportes 122 de eje. Una brida 126 de muelle superior está fijada a la parte superior de cada uno de los ejes 124 de muelle de accionamiento. En una realización preferida, ocho muelles 128 de accionamiento a carga útil están fijados a cada extremo de cada uno de los soportes 122 de accionamiento a eje y a cada brida de muelle superior. Los muelles 128 de accionamiento a carga útil conectan de manera móvil el conjunto 76 de accionamiento al conjunto 74 de carga útil. En una realización preferida, los muelles 128 de accionamiento a carga útil son la Parte N° RHL 125 - 450 de Moeller Manufacturing Company de Plymouth, Michigan.

40 Con referencia a la Fig. 17, se presenta una realización preferida del conjunto 74 de carga útil. En esta realización, el conjunto 76 de accionamiento comprende ocho soportes 130 verticales de carga útil a los cuales están fijadas una placa 132 superior de carga útil y una placa 134 inferior de carga útil. Tanto la placa 132 superior de carga útil como la placa 134 inferior de carga útil tienen cuatro orificios 138 de eje de muelle de accionamiento a través de los cuales pasan los ejes 124 de muelle de accionamiento cuando se ensambla el dispositivo 10. Preferiblemente, ocho muelles 136 de carga útil a base están fijados a la placa 132 superior de carga útil y ocho muelles 136 de carga útil a base están fijados a la placa 134 inferior de carga útil. Los muelles 136 de carga útil a base conectan de manera móvil el conjunto 74 de carga útil al conjunto 72 de base. En una realización preferida, los muelles 136

de carga útil a base son la parte N° RHL 200 - 400 de Moeller Manufacturing Company de Plymouth, Michigan.

Con referencia a la Fig. 18, se presenta una realización preferida del conjunto 120 de bloque motor. En esta realización, el conjunto 120 de bloque motor comprende cuatro conjuntos 140 de motor, dos soportes 142 de motor y un disipador 144 de calor. Preferiblemente, cada uno de los conjuntos 140 de motor está conectado a un conector 146 de alimentación (preferiblemente de tres clavijas) y a un conector 148 de retroalimentación (preferiblemente de siete clavijas). Un extremo del eje 170 de motor de cada uno de los cuatro conjuntos 140 de motor es preferiblemente visible a través de dos orificios 150 de acceso en cada uno de los soportes 142 de motor. Dos de los conjuntos 140 de motor están orientados hacia uno de los soportes 142 de motor y dos de los conjuntos 140 de motor están orientados hacia el otro de los soportes 142 de motor.

Con referencia a la Fig. 19, se presenta una realización preferida de cada uno de los conjuntos 140 de motor. En esta realización, cada uno de los conjuntos 140 de motor comprende preferiblemente una carcasa 160 de estator de motor, un cojinete 162 de autoalineación, dos muelles 164 ondulados, un estator 166 de motor, un rotor 168 de motor, un eje 170 de motor, chavetas 172, un contrapeso 174, un separador 176 de contrapeso, un cojinete 178 de bolas de contacto angular, un rotor 180 de resolver, una carcasa 182 de peso de motor, un estator 184 de resolver y un anillo 190 de retención. En una realización preferida, el resolver es el Modelo N° JSSB-15-J-05K, Frameless Resolver, fabricado por Northrop Grumman, Poly-Scientific, Blacksburg, VA.

Durante la operación, los conjuntos 140 de motor de la realización de las Figs. 12-19 son activados mediante un controlador (no mostrado) que causa que dos de los ejes 170 de motor giren en un sentido horario y que dos giren en sentido antihorario. Tal como se ha indicado anteriormente, los ejes 107 de motor están orientados paralelos entre sí y los pares son operados en direcciones de rotación opuestas con pares 174 de contrapesos opuestos entre sí en el eje horizontal y coincidentes en el eje vertical. Al igual que con las otras realizaciones, esta disposición produce fuerzas lineales sustancialmente verticales con cancelación de las fuerzas horizontales.

La variación en la manera del mezclado se consigue usando un controlador de motor o un controlador de movimiento (no mostrado) para generar señales para controlar la frecuencia y la amplitud de los conjuntos 140 de motor para producir un movimiento vibratorio lineal. En una realización alternativa, el motor puede ser un servomotor, un motor paso a paso, un motor lineal o un motor continuo de corriente continua (CC). Colocando un acelerómetro (no mostrado) en el conjunto 74 de carga útil y/o el conjunto 120 de bloque motor para proporcionar control de retroalimentación del motor de mezclado, las características de agitación en el fluido o el sólido pueden ser ajustadas para optimizar el grado de mezclado y para producir un mezclado de calidad. En una realización preferida, el controlador de motor es el Modelo N° 6K4, Controlador de 4 Ejes 6K, fabricado por Parker Hannifin Corporation, Compumotor Division, Rohnert Park, CA. En una realización preferida, el acelerómetro es un modelo N° 793, Acelerómetro, fabricado por Wilcoxon Research, Gaithersburg, MD.

El control de un sistema de tres masas incluye dos aspectos primarios. El primer aspecto incluye el control del ángulo de fase o la posición relativa de cada uno de los servomotores, unos con respecto a otros. Los sensores para esto son los resolvers que están fijados al eje de cada motor. Estos dispositivos envían una señal de posición absoluta al controlador de movimiento que realiza un seguimiento del error de posición de un motor a otro. A su vez, a continuación, el controlador de movimiento calcula y envía una señal de corrección de vuelta a los motores. Esto mantiene los ángulos de fase de los motores dentro de una tolerancia que es establecida en el código de control.

El segundo aspecto del sistema de control es el establecimiento y el mantenimiento de una amplitud de vibración deseada. Esto se consigue supervisando la amplitud de los movimientos de la masa de la carga útil (m_1) con un acelerómetro. Las señales desde el acelerómetro son enviadas al controlador de movimiento y son comparadas con un valor establecido por el operador. A continuación, se calcula una señal de corrección de error y se envía a los motores para aumentar o disminuir su frecuencia y su ángulo de fase para lograr la amplitud deseada.

El control del ángulo de fase del control de los motores tiene también dos aspectos. El primer aspecto es mantener la posición motor a motor y el segundo aspecto es controlar la magnitud de la entrada de fuerza al sistema. El mantenimiento de la posición motor a motor es necesario de manera que la entrada de fuerza resultante al sistema esté orientada en una única dirección. Esto se consigue controlando la posición de los pares de motores. Los motores están emparejados en parejas o conjuntos de manera que cada conjunto tenga ángulos de fase idénticos. A continuación, los pares de motores se ponen en movimiento de manera que tengan frecuencias de rotación iguales, pero opuestas. A continuación, la posición de fase es controlada de manera que sume las fuerzas resultantes de las masas excéntricas en una dirección singular que es paralela a la orientación de los ejes de muelle. La magnitud de la fuerza es controlada mediante el control del ángulo de fase entre pares de motores. Si los pares de motores están desfasados 180 grados entre sí, la fuerza neta resultante es cero. Cuando el ángulo de fase entre pares de motores es cero grados, la fuerza neta resultante es el 100 por cien de la suma de las cuatro masas excéntricas. Los ángulos de fase entre estos extremos resultan en fuerzas que son más bajas que el

máximo.

En resumen, los solicitantes han descubierto sistemas y procedimientos para la aplicación de energía acústica a un volumen de reactor que pueden conseguir un alto nivel de uniformidad de mezclado. El micromezclado que se consigue y los efectos en las combinaciones de intervalos de frecuencia, intervalos de desplazamiento e intervalos de aceleración descritos en la presente memoria producen mezcladores de muy alta calidad. El procedimiento descrito en la presente memoria puede ser llevado a la práctica con los sistemas preferidos descritos en la presente memoria y con vibradores de una única masa, vibradores de masa dual y transductores piezoeléctricos y magnetostrictivos.

El mezclado de líquido a líquido es mejorado cuando una composición que comprende una pluralidad de líquidos es expuesta a un entorno vibratorio que es preferiblemente operativo para hacer vibrar la composición a una frecuencia comprendida entre aproximadamente 15 Hz y aproximadamente 1.000 Hz con una amplitud comprendida entre aproximadamente 0,508 y aproximadamente 12,7 mm (entre aproximadamente 0,02 pulgadas y aproximadamente 0,5 pulgadas). Los líquidos que no son miscibles son mezclados fácilmente cuando son sometidos a esta condición. Las capas límite normales que previenen el mezclado se rompen y los líquidos se distribuyen libre y uniformemente entre sí. En este entorno vibratorio, se consigue un micromezclado con la generación de gotas de 10 micrómetros a 100 micrómetros. Este procedimiento vibratorio mejora la uniformidad del tamaño y de la distribución de las gotas, permitiendo de esta manera un mayor transporte de masa, pero la mezcla se separa fácilmente cuando se elimina la agitación vibratoria. El ajuste del procedimiento entre una frecuencia preferida entre aproximadamente 15 Hz y aproximadamente 1.000 Hz con una amplitud preferida entre aproximadamente 0,508 y aproximadamente 12,7 mm (entre aproximadamente 0,02 pulgadas y aproximadamente 0,5 pulgadas) optimiza la transferencia de energía acústica al fluido. Entonces, esta energía genera una distribución uniforme de gotas (más grandes que las generadas con los procedimientos relacionados típicos) que chocan entre sí para efectuar una transferencia de masa de una gota a otra. Tras eliminar la energía acústica, los líquidos se separan fácil y rápidamente, efectuando de esta manera una alta transferencia de masa sin crear una emulsión.

El mezclado de una composición que comprende un líquido, un gas y un sólido es mejorado cuando se produce en un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar la composición a una frecuencia preferida entre aproximadamente 15 Hz y aproximadamente 1.000 Hz con una amplitud preferida entre aproximadamente 0,508 y aproximadamente 12,7 mm (entre aproximadamente 0,02 pulgadas y aproximadamente 0,5 pulgadas). Se causa que los fluidos (sistemas gas-líquido, gas-líquido-sólido y múltiplos de estos sistemas) en el recipiente de carga útil desarrollen un estado resonante/de mezclado que establece altos niveles de contacto gas-líquido, una onda acústica y patrones de flujo axial que resultan en altos niveles de transporte de masa gas-líquido y de mezclado.

Típicamente, los fluidos no newtonianos o tixotrópicos (pseudo plásticos) son difíciles de mezclar. Al colocar una composición que comprende estos fluidos en un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar la composición a una frecuencia preferida entre aproximadamente 15 Hz y 1.000 Hz con una amplitud preferida entre 0,508 y 12,7 mm (entre 0,02 pulgadas y 0,5 pulgadas), se fluidifican y se mezclan fácilmente. Bajo estas condiciones, es posible mezclar dichos fluidos que contienen uno o más sólidos, uno o más gases y uno o más líquidos.

El mezclado de una composición que comprende un líquido y un gas es mejorado cuando se produce en un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar la composición a una frecuencia preferida entre aproximadamente 15 Hz y 1.000 Hz con una amplitud preferida entre aproximadamente 0,508 y aproximadamente 12,7 mm (entre aproximadamente 0,02 pulgadas y aproximadamente 0,5 pulgadas) para producir un medio gasificado. Las capas límite se rompen fácilmente y el gas es atrapado en el fluido. Las burbujas de tamaño del orden de micrómetros quedan atrapadas en el líquido durante largos períodos de tiempo. Este procedimiento es particularmente efectivo para la gasificación de líquidos usados para suministrar gases a biorreactores. Las pequeñas burbujas sometidas a la energía acústica producen "bombeo de burbujas". Este es el efecto de comprimir y expandir una burbuja atrapada en el fluido mediante energía acústica. Esta inestabilidad causa que las burbujas sean envueltas completamente por el fluido en las condiciones operativas preferidas. La transferencia de masa del gas atrapado en las burbujas al líquido se ve afectada también por el aumento de la presión sobre la burbuja a medida que las ondas acústicas pasan a través del líquido. La ley de Henry establece que la transferencia de masa de gas a líquido es proporcional a la presión del gas en la burbuja. Este efecto depende del espacio de la cabeza o del volumen de gas en relación al volumen de fluido en el recipiente de mezclado. Un volumen relativamente pequeño de gas producirá burbujas muy pequeñas con una mayor presión de las burbujas de gas y la retención de las burbujas se consigue durante períodos de tiempo más prolongados después de eliminar la agitación acústica.

El mezclado con el fin de eliminar un gas de una composición que comprende un líquido y un gas (desgasificación) es mejorado cuando la composición es expuesta a un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar la

- 5 composición a una frecuencia preferida más baja de aproximadamente 10 Hz a aproximadamente 100 Hz y un desplazamiento preferido de menos de aproximadamente 0,635 mm (0,025 pulgadas). La reducción del desplazamiento y de la frecuencia a estos niveles más bajos es particularmente útil para expulsar el gas atrapado en los fluidos. Estas condiciones son efectivas tanto para líquidos ligeros, tal como agua, como para líquidos altamente viscosos y cargados con sólidos.
- 10 Las reacciones físicas, tales como la transferencia de calor, la transferencia de masa y la suspensión de partículas, son aceleradas enormemente exponiendo los reactivos a un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar los reactivos a una frecuencia preferida entre aproximadamente 15 Hz y aproximadamente 1.000 Hz con una amplitud preferida entre aproximadamente 0,508 y aproximadamente 12,7 mm (entre aproximadamente 0,02 pulgadas y aproximadamente 0,5 pulgadas). Al colocar medios que contienen los reactivos en dicho entorno, las fuerzas físicas que generan estas reacciones son accionadas a tasas más altas. De manera similar, la velocidad de las reacciones químicas aumenta debido a un contacto mejorado y al micromezclado. El aumento de la velocidad de contacto de los medios y la ruptura o reducción de las capas límite hace que las reacciones se produzcan a mayores velocidades.
- 15 La intrusión o infusión de líquidos o gases atrapados en líquidos en un medio poroso sólido es mejorada colocando los medios porosos en un entorno operativo para hacer vibrar los medios porosos a una frecuencia preferida de aproximadamente 5 Hz a aproximadamente 1.000 Hz con una amplitud preferida entre aproximadamente 0,508 y aproximadamente 12,7 mm (entre aproximadamente 0,02 pulgadas y aproximadamente 0,5 pulgadas). Las capas límite se rompen y los fluidos y los gases son forzados a entrar a, salir de y a través de la estructura porosa.
- 20 Las aplicaciones de mezclado con baja esfuerzo cortante son necesarias para prevenir daños a los cultivos biológicos para reducir el daño a los medios. Esto se consigue colocando los cultivos en un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar los cultivos a una frecuencia preferida de aproximadamente 5 Hz a aproximadamente 1.000 Hz con una amplitud preferida entre aproximadamente 0,254 y aproximadamente 5,08 mm (entre aproximadamente 0,01 pulgadas y aproximadamente 0,2 pulgadas). Los cultivos celulares se mezclan físicamente con gases, sólidos y líquidos en un entorno de bajo esfuerzo cortante y un mínimo de colisiones entre células. Los nutrientes y los productos de desecho son transportan a y desde los cultivos celulares con muy bajo esfuerzo cortante. Este procedimiento produce también una morfología de cultivo celular más propicia debido al bajo esfuerzo cortante. Se previene que las células se aglomeren en grandes masas que bloquean la transferencia de masa a y desde las células individuales.
- 25 La incorporación de un sólido en un líquido es mejorada exponiendo el sólido y el líquido a un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar la combinación a una frecuencia preferida entre aproximadamente 15 Hz y aproximadamente 1.000 Hz con una amplitud preferida entre 0,508 y 12,7 mm (entre 0,02 pulgadas y 0,5 pulgadas). La incorporación puede ser tan completa que se acerca al máximo teórico. Al colocar el fluido y los sólidos en un entorno vibratorio y, como resultado, proporcionando energía acústica al medio, el efecto es fluidizar la mezcla. En el procedimiento, el micromezclado se realiza en todo el recipiente mientras se macromezcla el producto. Se consigue un mezclado completo y profundo mediante el uso de energía acústica en cargas de sólidos que no podían alcanzarse previamente.
- 30 De manera similar al mezclado de líquidos, los sólidos son mezclados añadiendo energía acústica para conseguir el micromezclado. Un entorno vibratorio que opera a una frecuencia preferida entre aproximadamente 15 Hz y aproximadamente 1.000 Hz con una amplitud preferida entre aproximadamente 0,508 y aproximadamente 12,7 mm (entre aproximadamente 0,02 pulgadas y aproximadamente 0,5 pulgadas) proporciona la energía acústica requerida para mezclar sólidos. El tamaño de los sólidos puede ser desde un tamaño nanométrico a partículas mucho más grandes. La energía acústica proporcionada a las partículas actúa directamente sobre los medios para producir el mezclado. Otros procedimientos usan componentes tales como hélices para producir un movimiento de fluido a través de remolinos que, a continuación, mezclan los medios. Estos remolinos son amortiguados por los medios y, de esta manera, el mezclado se localiza cerca del componente que los crea. La energía acústica suministrada a los medios no está sujeta a la localización de la entrada porque todo el volumen del recipiente de mezclado es sometido a la energía al mismo tiempo.
- 35 Las personas con conocimientos en la materia idearán muchas variaciones de la invención. Algunas variaciones incluyen realizaciones en las que la masa del oscilador está conectada a la masa intermedia mediante muelles y la masa intermedia está conectada a la masa de carga útil mediante muelles. Otras variaciones requieren realizaciones en las que la masa del oscilador está conectada a la masa de la carga útil mediante muelles y la masa de la carga útil está conectada a la masa intermedia mediante muelles.
- 40 Aunque se muestra que algunas realizaciones incluyen ciertas características, los solicitantes contemplan específicamente que cualquier característica descrita en la presente memoria pueda ser usada junto con, o en combinación con, cualquier otra característica en cualquier realización de la invención.
- 45
- 50
- 55

REIVINDICACIONES

1. Aparato (10) para generar agitación que comprende:

una base (37);

5 una primera masa (12) móvil, en el que dicha primera masa móvil es móvil en una primera dirección lineal y en una dirección lineal opuesta;

dos medios para hacer girar una masa excéntrica, en el que cada una de dichas masas excéntricas tiene un centroide, cada uno de dichos medios de rotación está conectado de manera rígida a dicha primera masa (12) móvil y está adaptado para girar su masa excéntrica en un primer plano que es paralelo a un segundo plano en el que se encuentran dicha primera dirección y dicha dirección opuesta;

10 una segunda masa (11) móvil, en el que dicha segunda masa móvil es móvil en las mismas direcciones que dicha primera masa móvil y está conectada de manera móvil a dicha primera masa móvil mediante un primer medio (25) elástico y está conectada de manera móvil a dicha base (37) mediante un segundo medio (27) elástico; y

15 una tercera masa (13) móvil, en el que dicha tercera masa (13) móvil es móvil en las mismas direcciones que dicha primera masa (12) móvil y está conectada de manera móvil a dicha segunda masa (11) móvil mediante un tercer medio (26) elástico;

20 en el que cada una de dichas masas excéntricas tiene sustancialmente el mismo peso y las mismas propiedades inerciales, y en el que las masas excéntricas son capaces de girar sustancialmente a la misma velocidad de rotación en direcciones de rotación opuestas y alrededor de ejes que se encuentran en el mismo plano y, durante la rotación, están operativas para producir una primera fuerza sobre dicha primera masa (12) móvil en dicha primera dirección y una segunda fuerza sobre dicha primera masa (12) móvil en dicha dirección opuesta y sustancialmente ninguna otra fuerza sobre dicha primera masa (12) móvil.

2. Aparato según la reivindicación 1, que comprende, además:

25 una cámara (60) de mezclado que está conectada de manera rígida a dicha segunda masa (11) móvil o a dicha tercera masa (13) móvil.

3. Aparato según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende, además:

medios electrónicos o electromecánicos para controlar la frecuencia a la que dicha segunda masa (11) o dicha primera masa (12) se mueven cíclicamente y/o el desplazamiento de dicha primera masa (12) a medida que se mueve cíclicamente.

30 4. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dichos medios (25, 26, 27) elásticos tienen índices elásticos que son ajustables.

5. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además:

35 medios electrónicos o electromecánicos para ajustar automáticamente las características de dichos medios (25, 26, 27) elásticos, las magnitudes de las fuerzas y la frecuencia a la que se aplican las fuerzas, permitiendo de esta manera el control de la frecuencia de vibración o del desplazamiento de una carga útil para proporcionar una operación consistente y/o controlada del aparato en una diversidad de situaciones.

6. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tercer medio móvil está conectado a dicha base (37) mediante un cuarto medio elástico.

7. Aparato según la reivindicación 6, en el que:

40 dicha base (37) comprende un conjunto (72) de base que comprende una pluralidad de patas (80) de base en el que cada par de patas adyacentes están conectadas mediante al menos un conjunto (82) de conector de patas, en el que cada una de dichas patas (80) de base tiene un soporte (84) de miembro elástico inferior y un soporte (86) de miembro elástico superior fijados a la misma;

45 dicha primera masa (12) móvil comprende un conjunto (76) de accionamiento, en el que dicho conjunto (76) de accionamiento comprende una pluralidad de ejes (124) de miembro elástico que tienen extremos, cada uno de cuyos ejes (124) de miembro flexible tiene un miembro (128) elástico de accionamiento a carga útil fijado a cada extremo del mismo;

dichos medios para girar una masa excéntrica comprenden conjuntos (140) de motor que comprenden un motor (5) que tiene un eje (170) de motor al que está fijada una masa excéntrica;

5 dicha segunda masa (11) móvil comprende un conjunto (74) de carga útil, dichos primeros medios (25) elásticos comprenden los miembros elásticos de accionamiento a carga útil y dichos segundos medios (27) elásticos comprenden una pluralidad miembros elásticos de carga útil a base que conectan dicho conjunto (74) de carga útil al soporte (84) de miembro elástico inferior y al soporte (86) de miembro elástico superior de dicho conjunto (72) de base; y

10 dicha tercera masa (13) móvil comprende una pluralidad de conjuntos (78) de masa de reacción, en el que cada conjunto (78) de masa de reacción es móvil en las mismas direcciones que dicho conjunto (76) de accionamiento, dicho tercer medio (26) elástico comprende una pluralidad de miembros elásticos de masa de reacción a carga útil, y dicho cuarto medio elástico comprende una pluralidad de miembros elásticos de masa de reacción a base.

8. Aparato según la reivindicación 7, que comprende:

cuatro patas (80) base;

15 cuatro ejes de miembros elásticos;

cuatro conjuntos (140) de motor; y

cuatro conjuntos (78) de masa de reacción.

9. Aparato según la reivindicación 7, que comprende, además:

un controlador que está operativo para controlar la rotación de los ejes del motor.

20 10. Aparato según la reivindicación 8, que comprende, además:

un controlador de motor que está operativo para hacer que dos de los ejes de motor giren en sentido horario y dos de los ejes de motor giren en sentido antihorario.

11. Aparato según la reivindicación 10, que comprende, además:

25 un transductor de posición polar que está fijado a cada eje de motor, en el que cada transductor de posición polar está operativo para producir una segunda señal que caracteriza la posición absoluta del eje de motor al que está fijado.

12. Aparato según la reivindicación 1, en el que la segunda masa (11) comprende una pluralidad de masas adicionales, en el que cada una de las masas adicionales está conectada a la tercera masa (13) mediante un medio elástico adicional.

30 13. Aparato según la reivindicación 1, en el que la tercera masa (13) comprende una pluralidad de masas adicionales, en el que cada una de las masas adicionales está conectada a la segunda masa (11) mediante un medio elástico adicional.

14. Aparato según la reivindicación 1, que comprende, además:

35 cuatro o más accionamientos ajustables y controlables de manera independiente que pueden ser ajustados para controlar la fuerza de vibración, la amplitud de vibración y/o la frecuencia de vibración de dicha segunda masa o dicha tercera masa (13).

15. Procedimiento de mezclado que comprende:

proporcionar el aparato (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores; y

40 causar que las masas excéntricas giren sustancialmente a la misma velocidad de rotación en direcciones de rotación opuestas y alrededor de los ejes que se encuentran en el mismo plano.

16. Procedimiento según la reivindicación 15, cuando depende de la reivindicación 2, que comprende, además:

colocar una composición a mezclar en dicha cámara (60) de mezclado.

17. Procedimiento de mezclado según la reivindicación 16, en el que dicha composición comprende un primer líquido o un gas atrapado en un segundo líquido y un medio sólido poroso que tiene una capa límite y en el que

dicho mezclado comprende, además:

exponer los medios sólidos porosos y el primer líquido o el gas atrapado en el segundo líquido a un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar la composición a una frecuencia comprendida entre 5 Hercios y 1.000 Hercios y a una amplitud de entre 0,51 mm (0,02 pulgadas) y 12,7 mm (0,5 pulgadas);

5 rompiendo de esta manera la capa límite y forzando el primer líquido o el gas atrapado en un segundo líquido a, desde y a través de los medios sólidos porosos.

18. Procedimiento de mezclado según la reivindicación 16, en el que dicha composición comprende un cultivo que comprende un medio nutriente y un microorganismo y en el que dicho mezclado comprende, además:

10 exponer el cultivo a un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar la composición a una frecuencia comprendida entre 5 Hercios y 1.000 Hercios y a una amplitud de entre 0,25 mm (0,01 pulgadas) y 5,1 mm (0,2 pulgadas);

consiguiendo de esta manera un mezclado con bajo esfuerzo cortante de dicha composición.

19. Procedimiento de mezclado según la reivindicación 16, en el que dicha composición comprende un sólido y un líquido y en el que dicho mezclado comprende, además:

15 exponer el sólido y el líquido a un entorno vibratorio que es operativo para hacer vibrar dicha composición a una frecuencia comprendida entre 15 Hercios y 1.000 Hercios y a una amplitud de entre 0,51 mm (0,02 pulgadas) y 12,7 mm (0,5 pulgadas), en el que dicho entorno vibratorio tiene un volumen que tiene partes;

sometiendo de esta manera todas las partes del volumen a una cantidad sustancialmente igual de energía acústica durante sustancialmente el mismo tiempo e incorporando el sólido en el líquido.

20 20. Procedimiento de mezclado según la reivindicación 15, en el que la segunda masa (11) móvil o la tercera masa (13) móvil vibra en el tercer armónico y es operativa para producir un efecto de cancelación de fuerzas, reduciendo o eliminando de esta manera las fuerzas transmitidas al entorno circundante. y aumentando la eficiencia de mezclado.

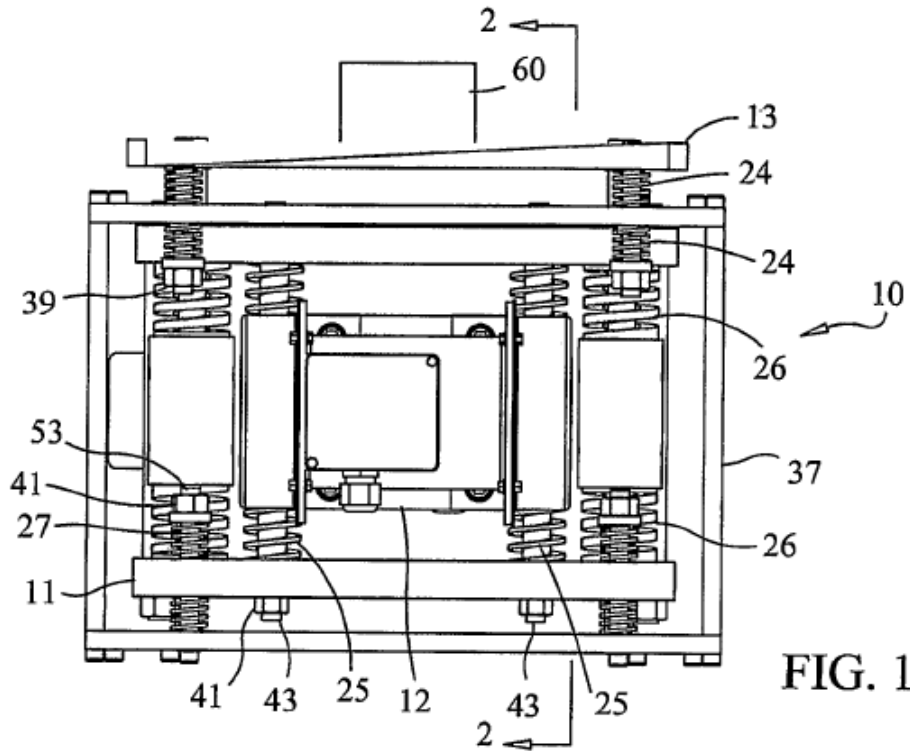


FIG. 1

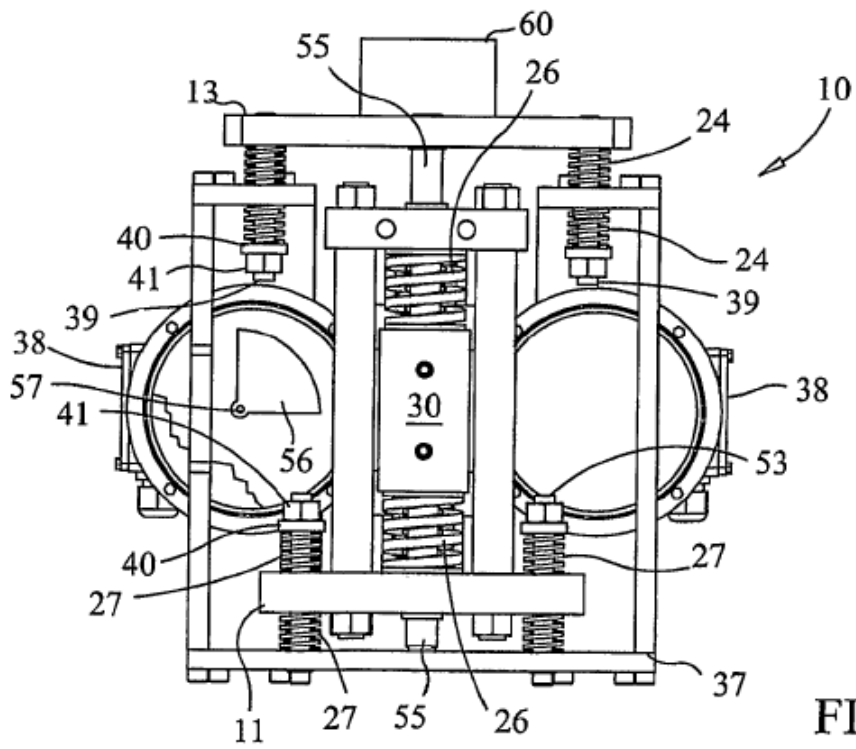


FIG. 2

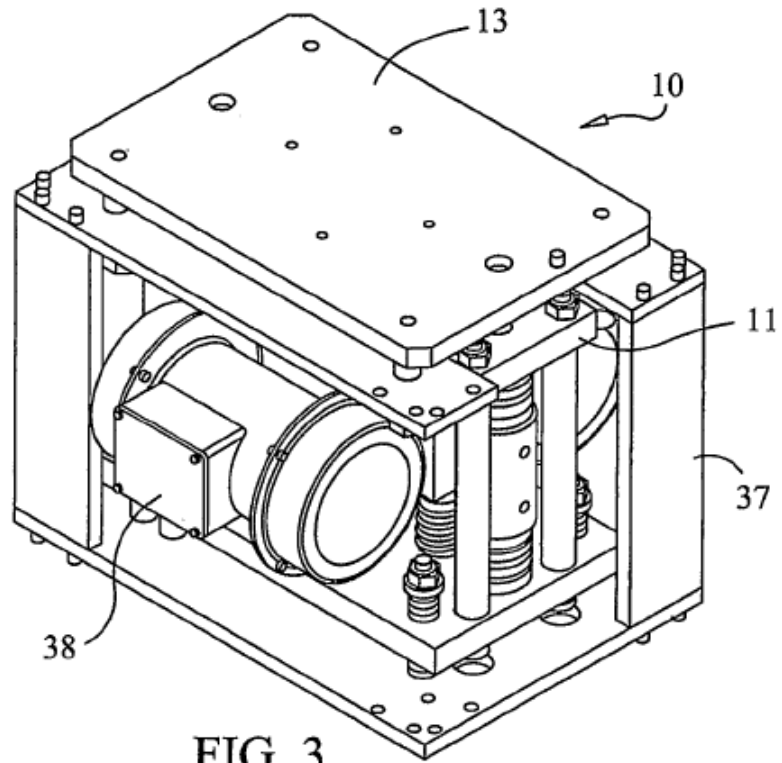


FIG. 3

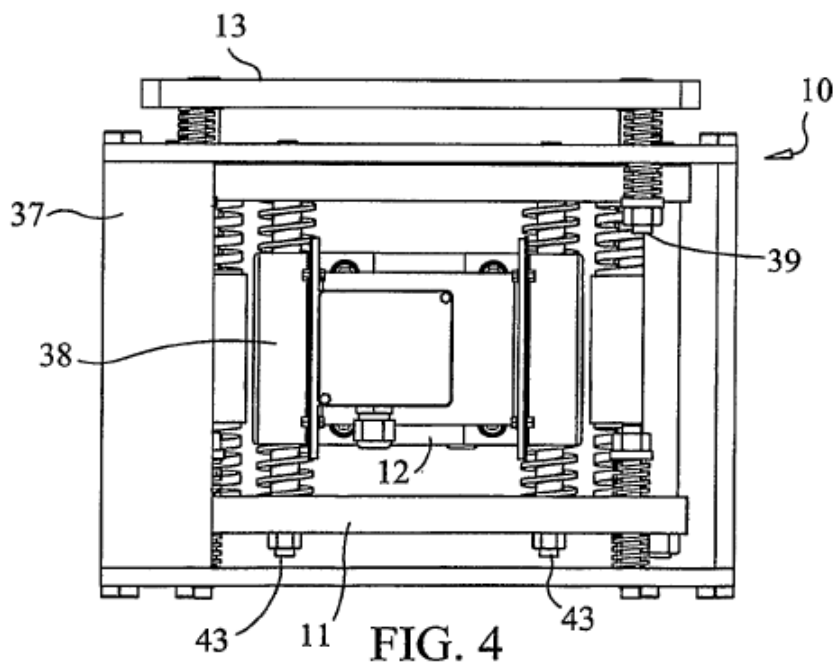


FIG. 4

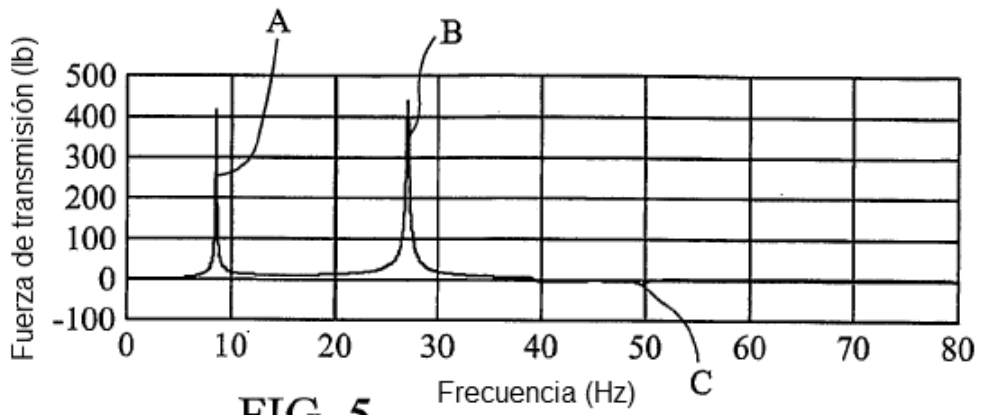


FIG. 5

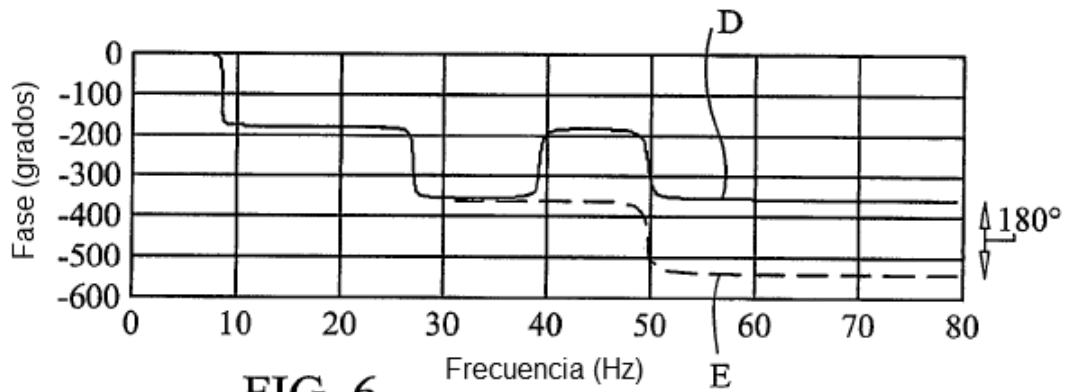


FIG. 6

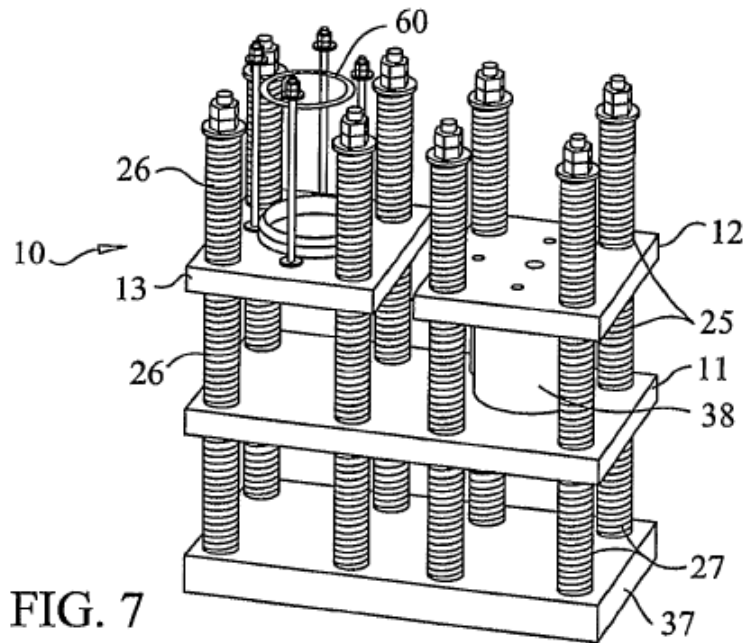


FIG. 7

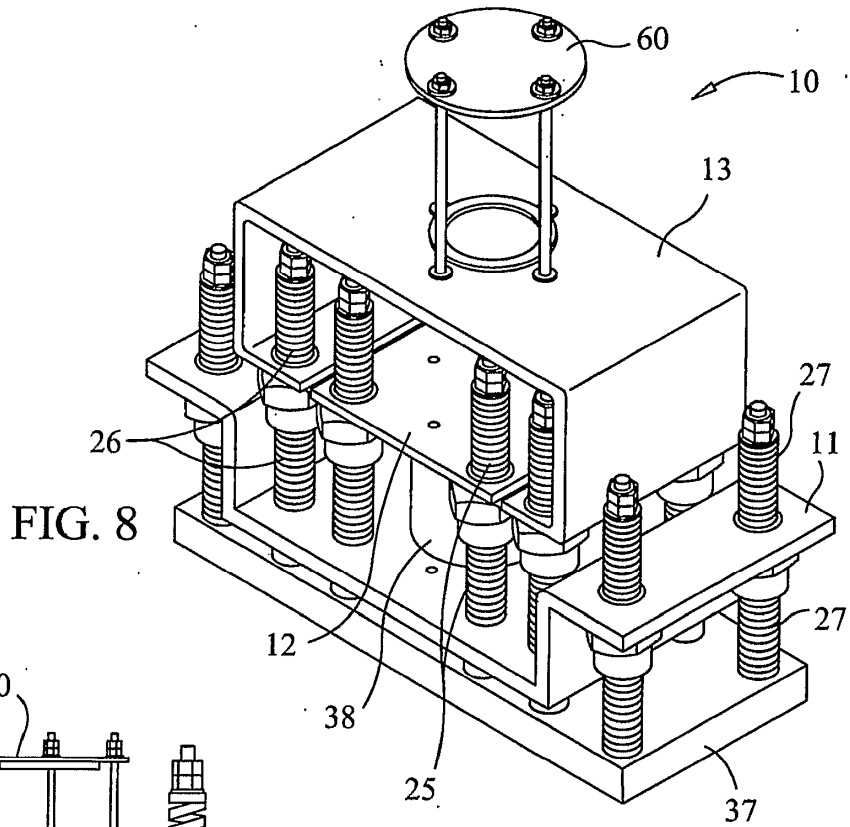


FIG. 8

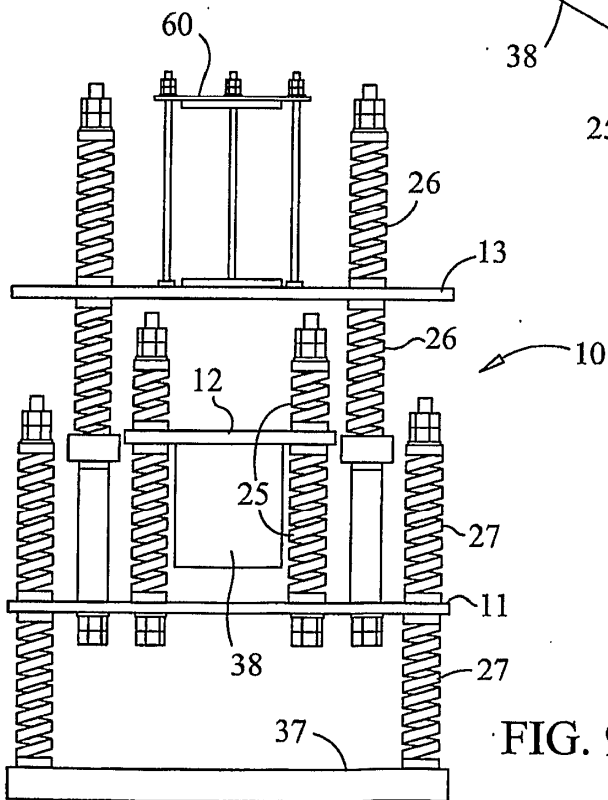


FIG. 9

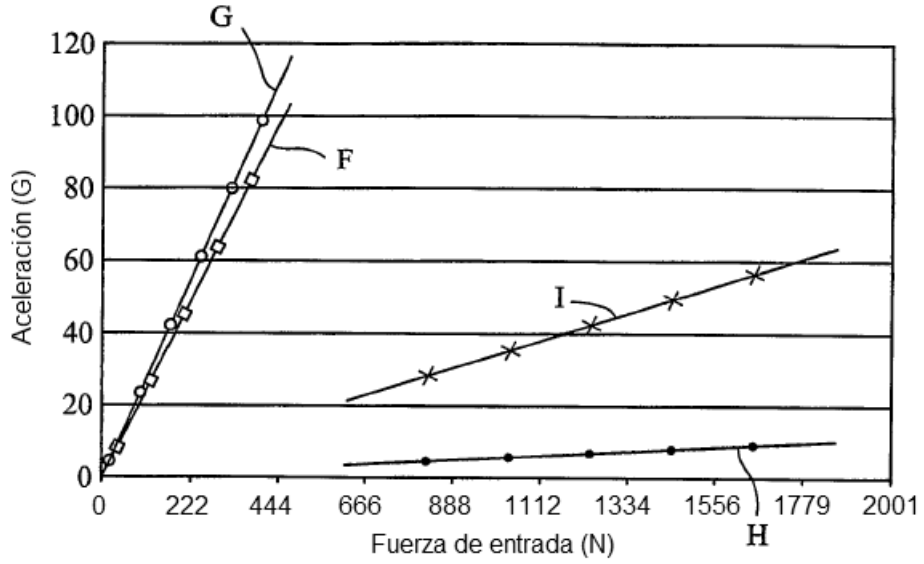


FIG. 10

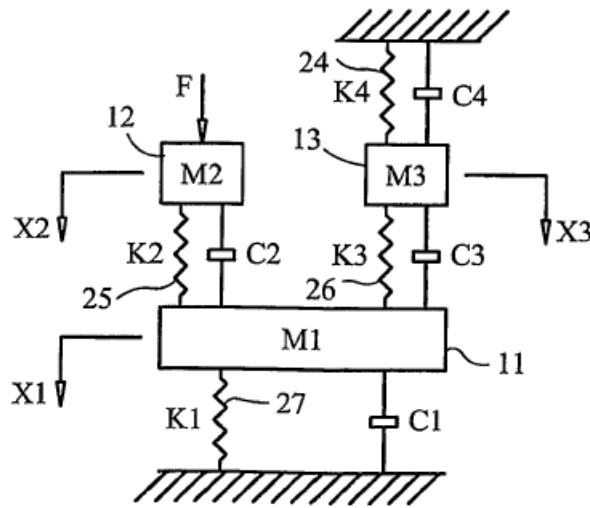


FIG. 11

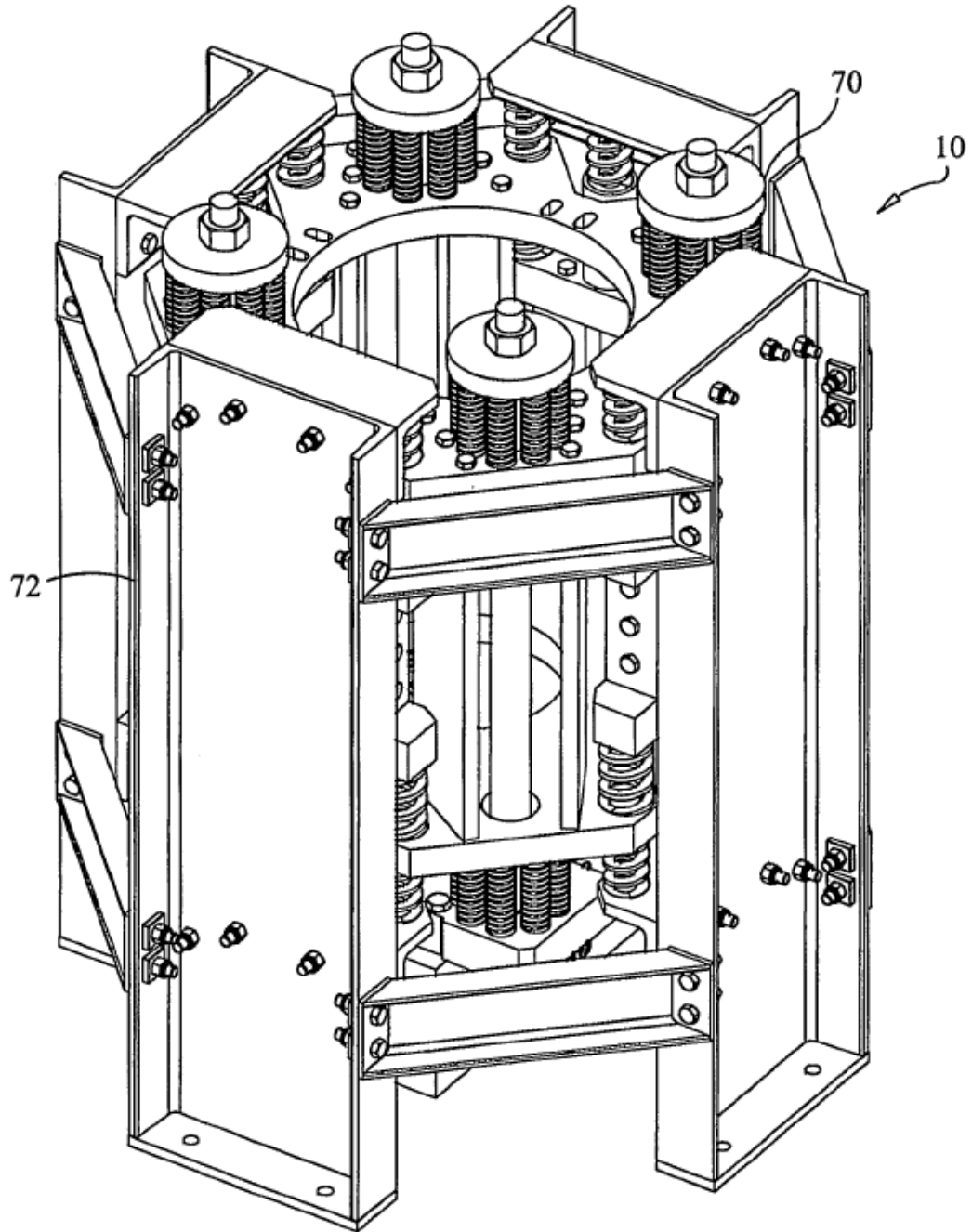


FIG. 12

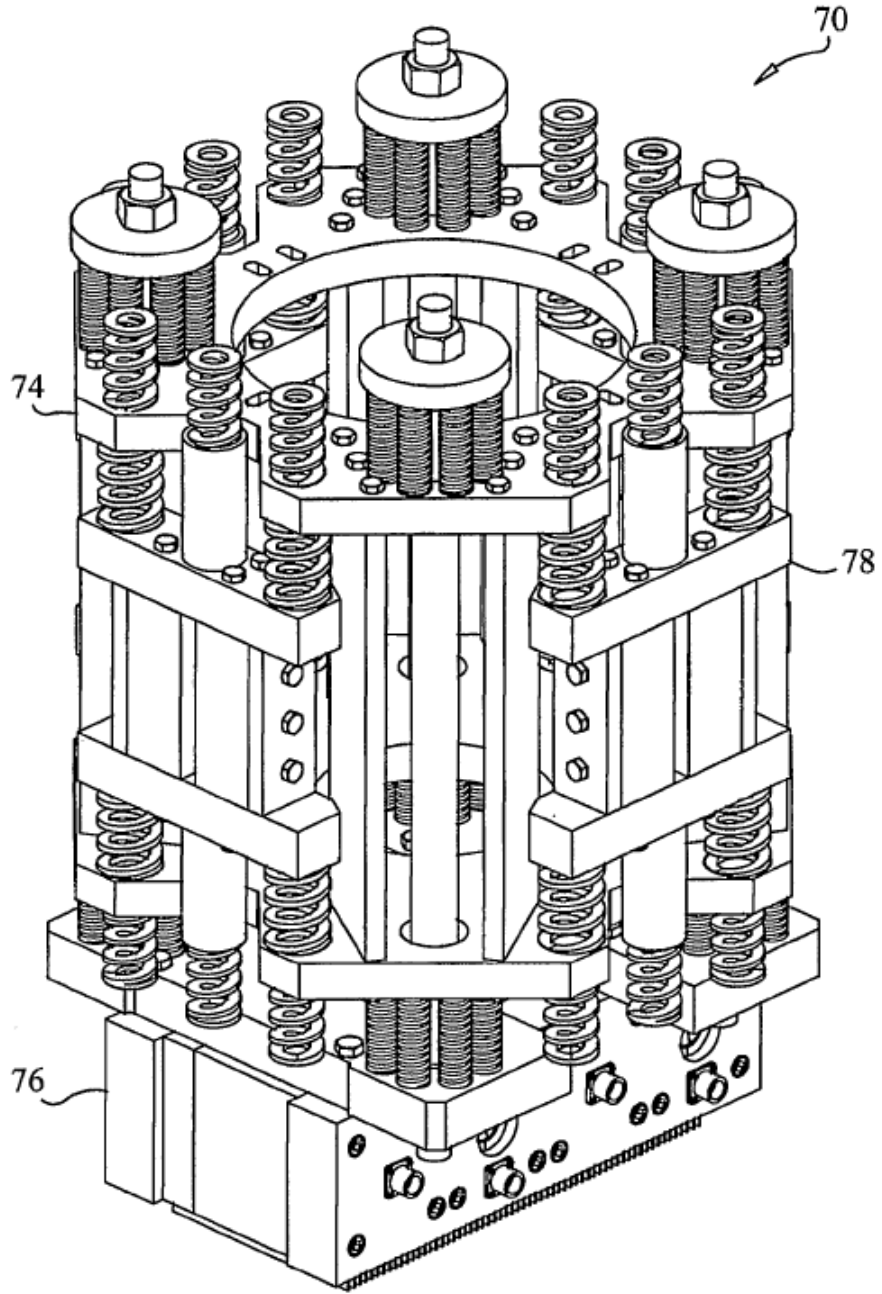


FIG. 13

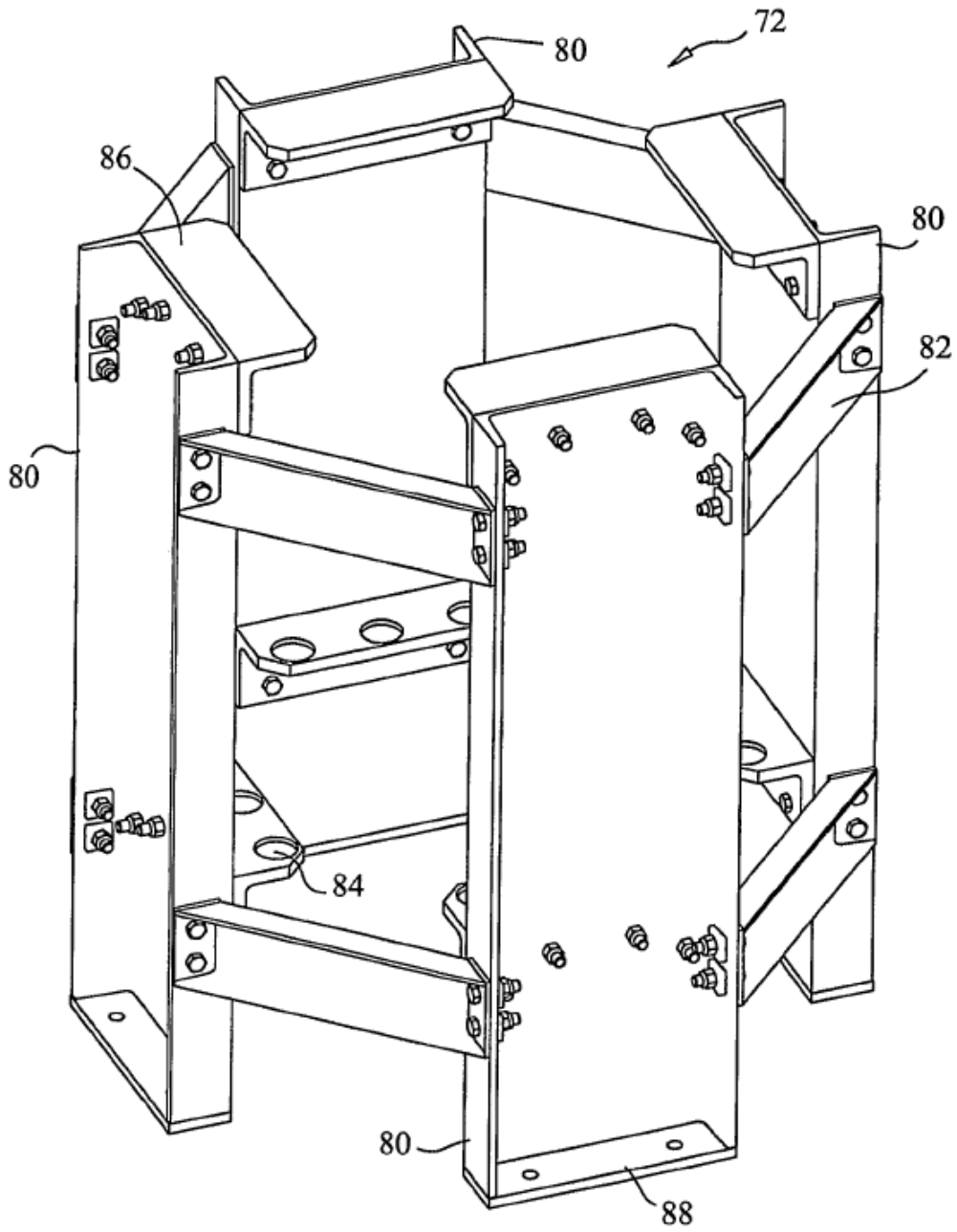


FIG. 14

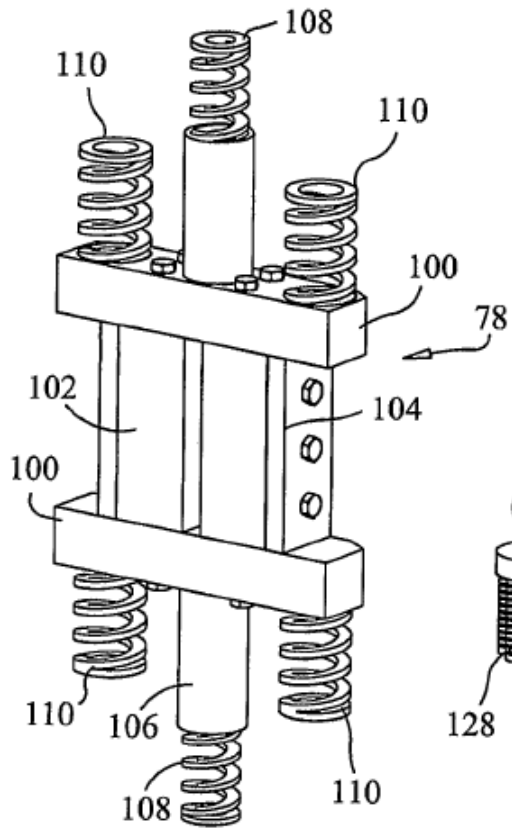


FIG. 15

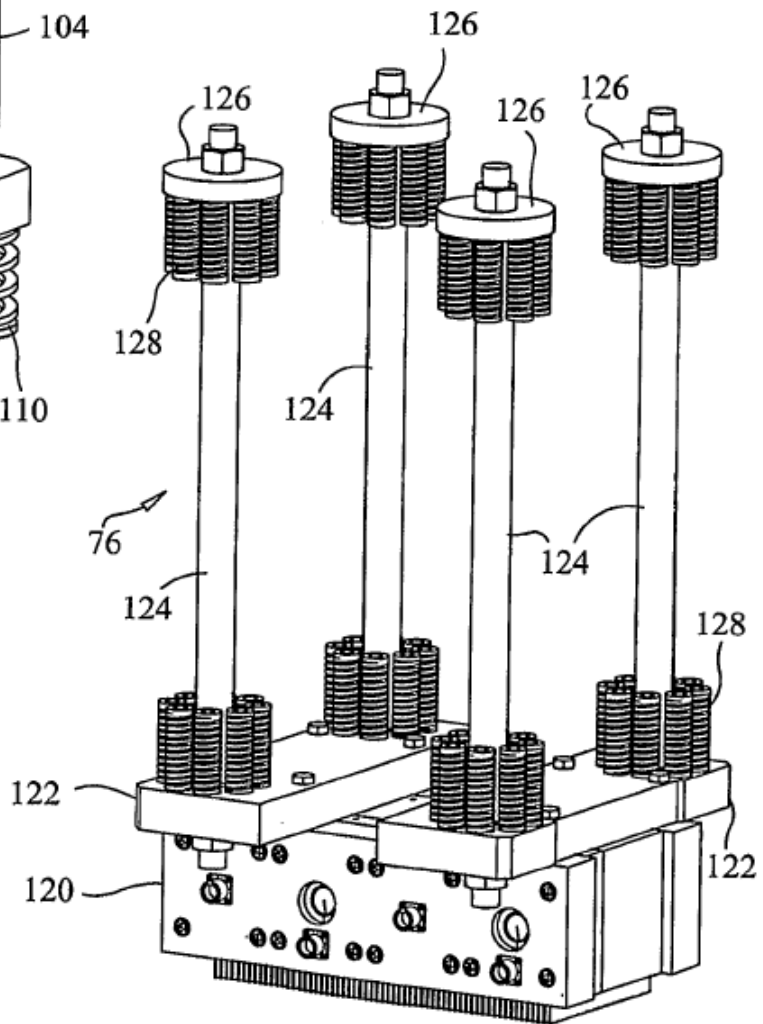


FIG. 16

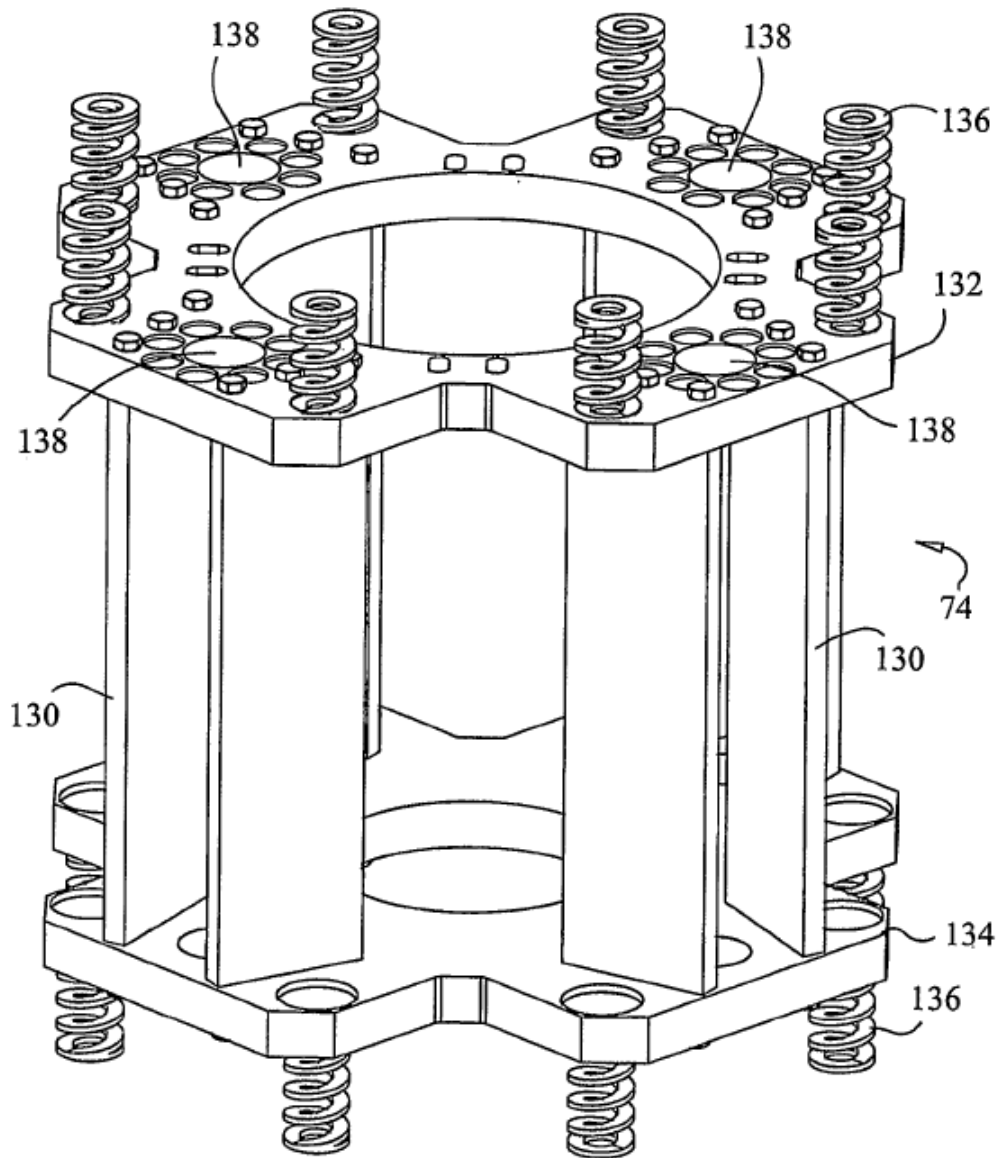


FIG. 17

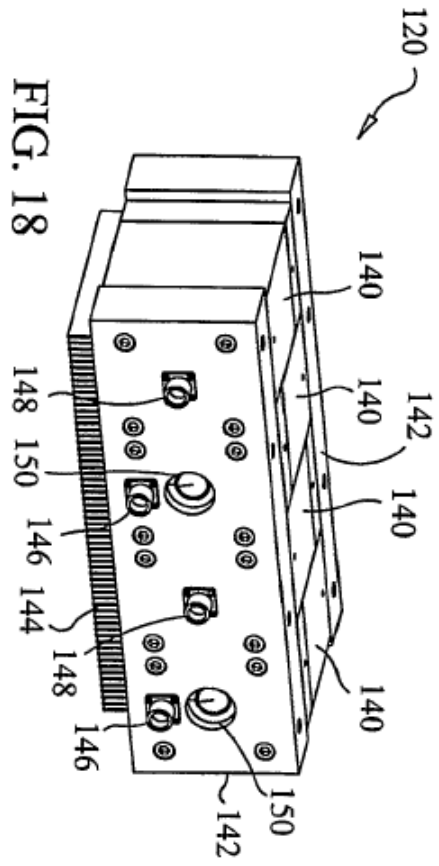


FIG. 18

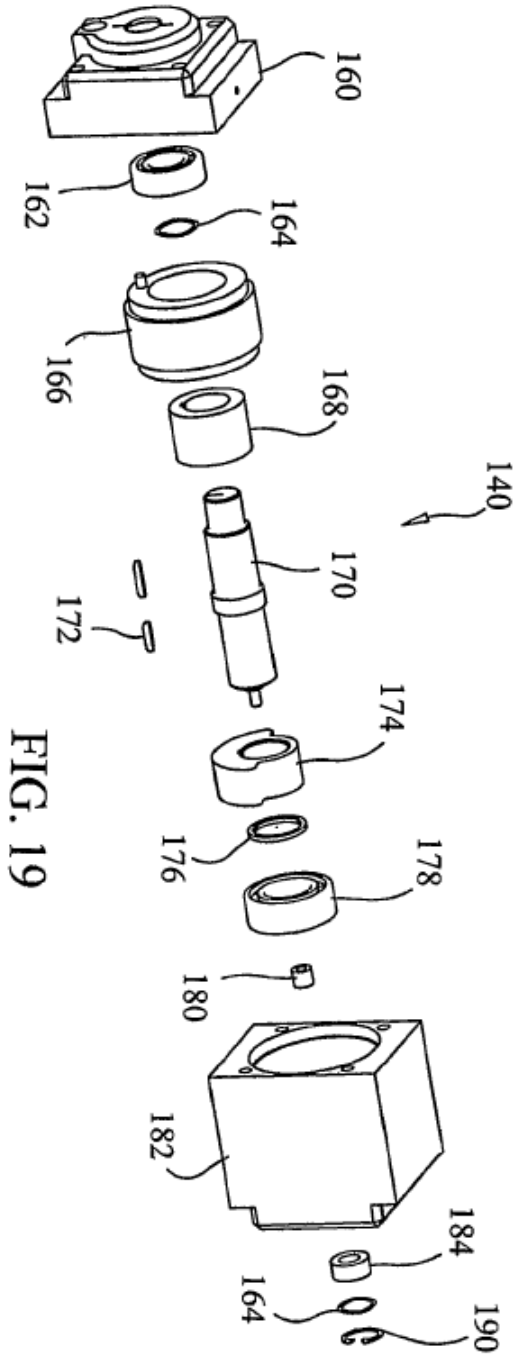


FIG. 19