

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 553**

51 Int. Cl.:

**B23B 27/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.08.2016 PCT/SE2016/050820**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.03.2018 WO18044216**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2016 E 16775000 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 3507040**

54 Título: **Conjunto giratorio y conjuntos de barras de mecanizado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.02.2021**

73 Titular/es:

**MAQ AB (100.0%)  
Fridensborgsvägen 148, lgh1003  
170 62 Solna, SE**

72 Inventor/es:

**FU, QILIN;  
NICOLESCU, CORNEL-MIHAI y  
RASHID, AMIR**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 804 553 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**

Conjunto giratorio y conjuntos de barras de mecanizado

5 **Campo técnico**

La presente divulgación se refiere generalmente a conjuntos giratorios, conjuntos de barras de mecanizado y procedimientos para los mismos. En particular, la presente invención se refiere a un conjunto giratorio de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, que comprende una masa de amortiguación soportada por una estructura de amortiguación dentro de una cavidad de un cuerpo principal.

Este conjunto giratorio se conoce a partir de US 3 447 402 A.

15 **Antecedentes**

Las vibraciones en los componentes mecánicos y estructuras durante el giro de los mismos pueden imponer un efecto adverso en su vida útil y rendimiento. Una solución conocida para suprimir las vibraciones de las estructuras giratorias es proporcionar un amortiguador de masa sintonizada de manera que la energía de vibración de la estructura giratoria se transmita a la masa añadida. De ese modo, la masa añadida vibra en lugar de la estructura giratoria y la estructura giratoria puede mantenerse estable durante el funcionamiento. Las herramientas de mecanizado son aplicaciones típicas que usan amortiguadores de masa sintonizada en estructuras de mecanizado con voladizo largo. Las máquinas herramientas se implementan generalmente como estructuras en voladizo y su rigidez disminuye sustancialmente con un aumento con la relación longitud-diámetro del voladizo.

25 El documento US 8020474 B2 divulga un portaherramientas para amortiguar las vibraciones. El portaherramientas comprende un eje destinado a disponerse en un portaherramientas en una máquina de fabricación, un cabezal sobre el cual se pretende disponer una cuchilla y un material viscoelástico dispuesto de manera que la cuchilla esté en contacto con la máquina de fabricación únicamente a través del material viscoelástico. El material viscoelástico se une sobre un material portador que se une a la superficie del eje.

30 **Sumario**

Uno de los objetos de la presente divulgación es proporcionar un conjunto giratorio que tenga una amortiguación de vibraciones mejorada.

35 Un objeto adicional de la presente divulgación es proporcionar un conjunto giratorio que tenga una amortiguación de vibraciones fiable a lo largo del tiempo.

Otro objeto adicional de la presente divulgación es proporcionar un conjunto giratorio que tenga una estructura simple para reducir las vibraciones.

Otro objeto adicional de la presente divulgación es proporcionar un conjunto giratorio que tenga un diseño barato.

40 Otro objeto adicional de la presente divulgación es proporcionar un conjunto giratorio que requiera un mantenimiento y/o ajustes reducidos, tal como sintonización.

Otro objeto adicional de la presente divulgación es proporcionar un conjunto giratorio con un simple mantenimiento y/o ajuste.

45 Otro objeto adicional de la presente divulgación es proporcionar un conjunto giratorio que tenga una vida útil más larga.

Otro objeto adicional de la presente divulgación es proporcionar un conjunto giratorio que se amortigüe eficazmente no solo en su primer modo de vibración, sino también en su segundo y mayor modos de vibración.

50 De acuerdo con la invención, se proporciona un conjunto giratorio de acuerdo con la reivindicación 1, que tiene un extremo adaptado para asegurarse a un soporte giratorio para girar el conjunto giratorio alrededor de un eje de rotación, el conjunto giratorio que comprende un cuerpo principal que tiene una cavidad; una masa de amortiguación dispuesta dentro de la cavidad y móvil en direcciones radiales, sustancialmente perpendicular al eje de rotación, en relación con el cuerpo principal; una estructura de amortiguación dispuesta para soportar la masa de amortiguación en relación con el cuerpo principal y dispuesta para amortiguar los movimientos vibratorios de la masa de amortiguación en relación con el cuerpo principal en las direcciones radiales; en el que la estructura de amortiguación comprende una pluralidad de elementos de resorte; y en el que cada elemento de resorte tiene un aspecto plano.

60 La estructura de amortiguación puede constituirse por una pila que comprende los elementos de resorte, pero sin masa de amortiguación. De modo que la estructura de amortiguación puede constituirse por una estructura laminada que comprende una pluralidad de elementos de resorte.

65 Los elementos de resorte pueden ensamblarse en la pila en ambiente al vacío, con el fin de evitar la formación de burbujas de aire en las áreas de unión de los elementos de resorte. Además, los elementos de resorte pueden disponerse sustancialmente concéntricos con el eje de rotación del conjunto giratorio.

A lo largo de la presente divulgación, la estructura de amortiguación puede denominarse alternativamente como un elemento de rigidez para la masa de amortiguación. La estructura de amortiguación y la masa de amortiguación pueden denominarse colectivamente amortiguador de masa sintonizada.

5 De acuerdo con una variante, el conjunto giratorio comprende solo una masa de amortiguación. La masa de amortiguación puede constituirse por una sola pieza rígida de material, por ejemplo, de metal.

10 La masa de amortiguación puede soportarse por dos estructuras de amortiguación en relación con el cuerpo principal, por ejemplo, una a cada lado de la masa de amortiguación a lo largo del eje de rotación. Cada masa de amortiguación puede disponer dentro de la cavidad del cuerpo principal. La masa de amortiguación puede soportarse en relación con el cuerpo principal solo por una o más estructuras de amortiguación de acuerdo con la presente divulgación.

15 La masa de amortiguación puede ubicarse de manera que su centro de masa se ubique en una región antinodo del segundo modo de vibración o mayor. Por ejemplo, la masa de amortiguación puede ubicarse de manera que su centro de masa se ubique en la región antinodo del segundo modo de vibración más cercano al extremo del conjunto giratorio adaptado para asegurarse al soporte giratorio, es decir, aproximadamente del 40 % al 50 % de la distancia desde este extremo a un extremo libre (por ejemplo, un extremo del cabezal de la herramienta) a lo largo del eje de rotación del conjunto giratorio.

20 Un ancho de cada elemento de resorte en una dirección radial puede ser al menos 30 veces, preferiblemente al menos 50 veces, tal como al menos 100 veces, un grosor del elemento de resorte a lo largo del eje de rotación. Esto proporciona un aspecto particularmente plano de cada elemento de resorte. El grosor de cada elemento de resorte puede ser inferior a 1 mm.

25 Uno o más de la pluralidad de elementos de resorte pueden tener una extensión variable en las direcciones radiales. Por ejemplo, un elemento de resorte puede extenderse una primera distancia desde el eje de rotación en una o más direcciones radiales y extenderse una segunda distancia, diferente de la primera distancia, desde el eje de rotación en una o más direcciones radiales. Cada elemento de resorte puede ser simétrico o asimétrico con respecto a una línea perpendicular al eje de rotación. En caso de que uno o más de la pluralidad de elementos de resorte tengan una extensión variable en las direcciones radiales y tengan una forma similar, los elementos de resorte pueden disponerse en diferentes orientaciones de rotación sobre el eje de rotación con el fin de proporcionar diferentes rigideces en diferentes direcciones radiales de la estructura de amortiguación. El uno o más elementos de resorte que tienen una extensión variable en las direcciones radiales pueden tener una extensión variable en las direcciones radiales en un estado descargado.

35 Uno o más de la pluralidad de elementos de resorte pueden tener una apariencia elíptica, triangular o poligonal, como se ve a lo largo del eje de rotación. Alternativamente, o, además, uno o más de la pluralidad de elementos de resorte pueden tener un perfil circunferencial irregular con respecto al eje de rotación.

40 De acuerdo con una variante, uno o más de los elementos de resorte tienen una forma elíptica, como se ve a lo largo del eje de rotación, en el que una longitud de un eje menor de la forma elíptica es del 70 % al 90 % de la longitud de un eje mayor de la forma elíptica.

45 La estructura de amortiguación puede tener una rigidez diferente en diferentes direcciones radiales. Dichas diferencias de rigidez pueden lograrse variando la extensión en direcciones radiales de uno o más de la pluralidad de elementos de resorte. Alternativamente, o, además, dichas diferencias de rigidez pueden lograrse variando el grosor de uno o más de la pluralidad de elementos de resorte, por ejemplo, proporcionando uno o más elementos de resorte circulares con un sector circular de grosor aumentado o reducido o un sector circular de un material más rígido o menos rígido.

50 Al proporcionar una estructura de amortiguación que tiene una rigidez diferente en diferentes direcciones radiales, también la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación difiere en las diferentes direcciones radiales. La estructura de amortiguación y la masa de amortiguación pueden configurarse de manera que la frecuencia de resonancia variada de la masa de amortiguación en diferentes direcciones radiales coincida con la frecuencia de vibración diferente del conjunto giratorio en diferentes direcciones. En otras palabras, esta solución puede usarse para conjuntos giratorios que son asimétricos con respecto al eje de rotación.

55 A lo largo de la presente divulgación, cada elemento de resorte puede constituirse por una placa elástica. Por ejemplo, los elementos de resorte pueden comprender o constituirse por un material viscoelástico, un caucho, un compuesto o un polímero.

60 Los elementos de resorte comprenden un material que tiene un módulo elástico dependiente de la frecuencia. De este modo la masa de amortiguación y los elementos de resorte se configuran de manera que la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación coincide con la frecuencia del cuerpo principal sobre un rango de frecuencia.

De este modo, al menos algunas frecuencias de vibración del cuerpo principal, un aumento/disminución de la frecuencia de vibración del cuerpo principal se compensa con un aumento/disminución de la rigidez en los elementos de resorte debido al módulo elástico dependiente de la frecuencia. Un aumento de la frecuencia de vibración del conjunto giratorio conducirá de ese modo a un aumento del módulo elástico (o módulo de cizalla) de los elementos de resorte que a su vez aumenta la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación para que coincida con el aumento de la frecuencia de vibración del conjunto giratorio, y viceversa. De esta manera, la estructura de amortiguación genera un efecto de autosintonización, es decir, cambia automáticamente la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación sin tener que cambiar la precarga de compresión en la estructura de amortiguación. Por lo tanto, la estructura de amortiguación puede dar una amplia gama de frecuencias resonantes de la masa de amortiguación.

Los polímeros viscoelásticos 3M ® 112' constituyen ejemplos de materiales que tienen un módulo elástico dependiente de la frecuencia.

Alternativamente, o, además, los elementos de resorte pueden comprender un material que tiene un módulo elástico dependiente de la temperatura. Por lo tanto, el módulo elástico de los elementos elásticos puede controlarse al controlarse la temperatura de los elementos de resorte para ajustar la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación para que coincida con la frecuencia de vibración del conjunto giratorio. Este control de temperatura puede realizarse controlando un suministro de refrigerante a los elementos de resorte, ya sea un suministro de refrigerante dedicado o un suministro de refrigerante ya existente, por ejemplo, un suministro de refrigerante a un cabezal de la herramienta de un conjunto de barra de mecanizado.

Por lo tanto, la presente divulgación también proporciona un procedimiento de control de la temperatura de los elementos de resorte que tienen un módulo elástico dependiente de la temperatura con el fin de controlar la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación para que coincida con la frecuencia de vibración del conjunto giratorio.

El conjunto giratorio puede configurarse de manera que pueda añadirse o retirarse al menos un elemento de resorte a la estructura de amortiguación con el fin de disminuir o aumentar, respectivamente, la rigidez de la estructura de amortiguación en las direcciones radiales.

La estructura de amortiguación puede comprender una pluralidad de placas metálicas, en la que las placas metálicas y los elementos de resorte se disponen de manera alterna. Las placas metálicas pueden ser de aluminio o acero.

El conjunto giratorio puede comprender además al menos una estructura auxiliar de soporte dispuesta para separar la masa de amortiguación y el cuerpo principal, en el que cada estructura auxiliar de soporte comprende capas de material elástico y capas de material metálico dispuestas alternativamente a lo largo del eje de rotación o en las direcciones radiales.

El ancho de cada elemento de resorte, a lo largo del eje de rotación, puede ser inferior a 1 mm, tal como 0,05 mm a 0,3 mm, como aproximadamente 0,1 mm. El ancho de cada placa metálica, a lo largo del eje de rotación, puede ser aproximadamente el doble del ancho de cada elemento de resorte, es decir, menos de 2 mm, como 0,1 mm a 0,6 mm, como aproximadamente 0,2 mm.

El conjunto giratorio puede comprender además un mecanismo de sujeción dispuesto para comprimir y descomprimir la estructura de amortiguación a lo largo del eje de rotación. El mecanismo de sujeción puede abrirse para añadir o retirar elementos de resorte a o desde la estructura de amortiguación.

El mecanismo de sujeción puede comprender un accionamiento helicoidal. El accionamiento helicoidal puede comprender un tornillo sin fin y una rueda helicoidal. El tornillo sin fin puede orientarse sustancialmente perpendicular a, y la rueda helicoidal puede ser sustancialmente concéntrica con el eje de rotación del conjunto giratorio. Por tanto, un operador puede atornillar el tornillo sin fin (por ejemplo, mediante un destornillador) para girar la rueda helicoidal para comprimir la estructura de amortiguación, por ejemplo, a través de una placa de compresión.

El conjunto giratorio puede comprender además una placa de compresión entre el mecanismo de sujeción y la estructura de amortiguación. La placa de compresión puede alinearse en el eje de rotación, y sustancialmente perpendicular a, de manera que la carga del mecanismo de sujeción se distribuya uniformemente sobre un área de contacto entre el mecanismo de sujeción y la placa de compresión. La placa de compresión también proporciona una carga distribuida sustancialmente uniforme sobre la estructura de amortiguación.

La placa de compresión puede comprender un rebaje o compartimiento que coincida con un contorno de al menos el componente externo de la estructura de amortiguación (por ejemplo, una placa metálica) de manera que este componente (y posiblemente otros componentes de la estructura de amortiguación) pueda recibirse en el rebaje.

Además, la placa de compresión puede bloquearse rotacionalmente con respecto al cuerpo principal, por ejemplo, bloqueando rotacionalmente la placa de compresión en relación con el miembro de enchufe.

5 El conjunto giratorio puede comprender, además, en adición de la masa de amortiguación, al menos una masa de amortiguación adicional, en el que cada masa de amortiguación tiene un peso único.

10 El conjunto giratorio puede comprender, además, además de la estructura de amortiguación, al menos una estructura de amortiguación adicional, en la que las masas de amortiguación y las estructuras de amortiguación se disponen alternativamente. Cada estructura de amortiguación adicional puede comprender una pluralidad de elementos de resorte de acuerdo con la presente divulgación, es decir, en la que cada elemento de resorte tiene un aspecto plano.

15 De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un conjunto giratorio que tiene un extremo adaptado para asegurarse a un soporte giratorio para girar el conjunto giratorio sobre un eje de rotación, el conjunto giratorio que comprende: un cuerpo principal que tiene una cavidad; un cabezal de la herramienta para sostener una cuchilla; una masa de amortiguación dispuesta dentro de la cavidad de manera que se establezca un espacio libre entre la masa de amortiguación y el cuerpo principal en direcciones radiales, sustancialmente perpendicular al eje de rotación; y una estructura de suministro de refrigerante para suministrar refrigerante al cabezal de la herramienta; en el que la estructura de suministro de refrigerante está parcialmente constituida por el espacio libre. Por lo tanto, el refrigerante puede usarse para enfriar un cabezal de la herramienta (y/o los elementos del resorte) y servir como un fluido viscoso a las vibraciones de amortiguación del cuerpo principal y la masa de amortiguación.

20 El conjunto giratorio de acuerdo con la presente divulgación puede constituirse por un conjunto de la barra de mecanizado y el cuerpo principal de acuerdo con la presente divulgación puede constituirse por un cuerpo de la barra de mecanizado. Sin embargo, los conjuntos giratorios alternativos y cuerpos principales son concebibles. Por ejemplo, el conjunto giratorio puede constituirse por otras estructuras de herramientas de mecanizado (por ejemplo, para perforación, fresado o trituración) o por estructuras mecánicas no necesariamente empleadas para mecanizar una pieza de trabajo.

30 De acuerdo con un aspecto adicional, se proporciona un conjunto de barra de mecanizado que tiene un extremo adaptado para asegurarse a un soporte giratorio para girar el conjunto de la barra de mecanizado sobre un eje de rotación, el conjunto de barra de mecanizado que comprende: un cuerpo de la barra de mecanizado; un cabezal de la herramienta; y una estructura de amortiguación entre el cabezal de la herramienta y el cuerpo de la barra de mecanizado; en el que la estructura de amortiguación se ubica en una región de nodo más cercana al cabezal de la herramienta del segundo o mayor modo de vibración del conjunto de barra de mecanizado. El conjunto de la barra de mecanizado puede constituirse tanto por herramientas de voladizo largo y herramientas de voladizo corto.

40 A lo largo de la presente divulgación, un conjunto de barra de mecanizado puede constituirse por un conjunto de barra de mandrinar y un cuerpo de la barra de mecanizado puede constituirse por un cuerpo de la barra de mandrinar.

45 En un primer modo de vibración de una estructura en voladizo, la estructura comprende un nodo (donde la estructura no se mueve) en su extremo fijo y un antinodo (donde la estructura sufre un desplazamiento máximo) en su extremo libre. En un segundo modo de vibración, la estructura comprende dos nodos y dos antinodos. En un tercer modo de vibración, el objeto vibratorio comprende tres nodos y tres antinodos, etc.

50 La tensión en la estructura vibratoria es típicamente más alta en los nodos y el desplazamiento es más alto en los antinodos. Además, la energía cinética se concentra en las regiones antinodo y la energía potencial se concentra en las regiones de los nodos.

55 Por ejemplo, la estructura de amortiguación puede ubicarse en una región de nodo más cercana al cabezal de la herramienta del segundo modo de vibración, el tercer modo de vibración o un nodo de vibración mayor del conjunto de barra de mecanizado. Una región de nodo del segundo modo de vibración más cercano al cabezal de la herramienta puede ubicarse a aproximadamente en el 25 % de la longitud del conjunto de la barra de mecanizado a lo largo del eje de rotación desde el cabezal de la herramienta. Una región de nodo del tercer modo de vibración más cercano al cabezal de la herramienta puede ubicarse a aproximadamente en el 20 % de la longitud del conjunto de la barra de mecanizado a lo largo del eje de rotación desde el cabezal de la herramienta. Una región de nodo del cuarto modo de vibración puede ubicarse a aproximadamente en el 14 % de la longitud del conjunto de la barra de mecanizado a lo largo del eje de rotación desde el cabezal de la herramienta, etc.

60 A lo largo de la presente divulgación, una relación sustancialmente perpendicular/paralela incluye una relación perfectamente perpendicular/paralela, así como desviaciones de una relación perfectamente perpendicular/paralela con hasta un 5 %, tal como hasta un 2 %. De manera similar, una distancia sustancialmente correspondiente como se usa en la presente memoria incluye una distancia perfectamente correspondiente, así como desviaciones de una distancia perfectamente correspondiente con hasta un 5 %, tal como hasta un 2 %.

**Breve descripción de los dibujos**

Los detalles adicionales, ventajas y aspectos de la presente divulgación se harán evidentes a partir de las siguientes realizaciones consideradas junto con los dibujos, en las que:

- 5 La Figura 1: representa esquemáticamente una vista en perspectiva de un conjunto giratorio en forma de un conjunto de barra de mandrinar;
- 10 La Figura 2: representa esquemáticamente una vista en perspectiva despiezada del conjunto de barra de mandrinar en la Figura 1;
- La Figura 3a: representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal del conjunto de barra de mandrinar a lo largo de la sección A-A en la Figura 1;
- 15 La Figura 3b: representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal del conjunto de barra de mandrinar a lo largo de la sección B-B en la Figura 1;
- La Figura 4a: representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal parcial del conjunto de barra de mandrinar en la Figura 1;
- 20 La Figura 4b: representa esquemáticamente una vista lateral parcial del conjunto de barra de mandrinar en la Figura 1;
- La Figura 5a: representa esquemáticamente una vista en sección transversal parcial del conjunto de barra de mandrinar en la Figura 1;
- 25 La Figura 5b: representa esquemáticamente una vista en sección transversal parcial del conjunto de barra de mandrinar en la Figura 1;
- 30 La Figura 5c: representa esquemáticamente una vista en sección transversal parcial del conjunto de barra de mandrinar en la Figura 1;
- La Figura 6a: representa esquemáticamente una vista frontal de una estructura de amortiguación;
- 35 La Figura 6b: representa esquemáticamente una vista lateral de la estructura de amortiguación en la Figura 6a;
- La Figura 6c: representa esquemáticamente una vista en perspectiva despiezada de la estructura de amortiguación en las Figuras. 6a y 6b;
- 40 La Figura 7: es un diagrama que muestra un ejemplo de una frecuencia de modo de vibración variable del conjunto de la barra de mandrinar en direcciones radiales;
- La Figura 8a: representa esquemáticamente una vista en perspectiva de una masa de amortiguación y dos estructuras de amortiguación;
- 45 La Figura 8b: representa esquemáticamente una vista frontal de la masa de amortiguación en la Figura 8a;
- La Figura 9a: representa esquemáticamente una vista frontal de una placa de compresión y una placa metálica;
- 50 La Figura 9b: representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal de la placa de compresión y la placa metálica en la Figura 9a;
- 55 La Figura 9c: representa esquemáticamente una vista trasera de la placa de compresión y la placa metálica en las Figuras. 9a y 9b;
- La Figura 10: representa esquemáticamente una vista en perspectiva de un accionamiento helicoidal;
- 60 La Figura 11: representa esquemáticamente una vista en perspectiva de una pluralidad de masas de amortiguación y una pluralidad de estructuras de amortiguación dispuestas de manera alterna;
- La Figura 12: es un diagrama que ilustra un procedimiento de selección del material más adecuado para los elementos de resorte y el número de elementos de resorte en la estructura de amortiguación;
- 65

- La Figura 13: es un diagrama que muestra el módulo elástico de un polímero con respecto a la frecuencia;
- La Figura 14a: representa esquemáticamente una vista en perspectiva de una variante de una masa de amortiguación soportada por dos estructuras de amortiguación y dos estructuras auxiliares de soporte;
- La Figura 14b: representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal del conjunto en la Figura 14a;
- La Figura 14c: representa esquemáticamente la sección A en la Figura 14b;
- La Figura 14d: representa esquemáticamente la sección B en la Figura 14c;
- La Figura 15a: representa esquemáticamente una vista en perspectiva de una variante adicional de una masa de amortiguación soportada por dos estructuras de amortiguación y dos estructuras auxiliares de soporte;
- La Figura 15b: representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal del conjunto en la Figura 15a;
- La Figura 15c: representa esquemáticamente la sección A en la Figura 15b; y
- La Figura 15d: representa esquemáticamente la sección B en la Figura 15c.

### **Descripción detallada**

A continuación, se describirá un conjunto giratorio que comprende una masa de amortiguación soportada por una estructura de amortiguación dentro de la cavidad de un cuerpo principal, un conjunto giratorio que comprende una masa de amortiguación dentro de la cavidad de un cuerpo principal y una estructura de suministro de refrigerante, y un conjunto de barra de mecanizado que comprende un cuerpo de la barra de mecanizado, un cabezal de la herramienta y una estructura de amortiguación entre el cabezal de la herramienta y el cuerpo de la barra de mecanizado. Los mismos números de referencia se usarán para denotar características estructurales iguales o similares.

La Figura 1 representa esquemáticamente una vista en perspectiva de un conjunto giratorio 10. En este ejemplo, el conjunto giratorio se constituye por un conjunto de barra de mecanizado en forma de un conjunto de barra de mandrinar 10.

El conjunto de barra de mandrinar 10 de este ejemplo comprende un extremo 12 constituido por una pieza de extremo 12 para asegurarse a un soporte giratorio (no se muestra). El conjunto de barra de mandrinar 10 comprende además una pieza de bloqueo de cola 14, un miembro de enchufe 16 y un cuerpo principal cilíndrico hueco 18 constituido por un cuerpo de la barra de mandrinar. El cuerpo de la barra de mandrinar 18 es un tipo de cuerpo de la barra de mecanizado.

La pieza de bloqueo de la cola 14 y el miembro de enchufe 16 se fijan rígidamente al cuerpo principal 18, por ejemplo, por medio de tornillos (no se muestra). Una porción de extremo de la pieza de bloqueo de la cola 14 se inserta en una abertura en el extremo 12 y la pieza de bloqueo de la cola 14 se conecta de manera fija al extremo 12 mediante tornillos o abrazaderas de expansión hidráulica.

Un cabezal de la herramienta 20 se conecta rígidamente al miembro de enchufe 16, en este ejemplo por medio de tres tornillos 22. El cabezal de la herramienta 20 se conecta al miembro de enchufe 16 a través de una estructura de amortiguación 24. El cabezal de la herramienta 20 sostiene una cuchilla 26 para mecanizar una pieza de trabajo (no se muestra) cuando se gira el conjunto de barra de mandrinar 10 sobre su eje de rotación 28. Los problemas de vibración en el conjunto de la barra de mandrinar 10 podrían reducir significativamente el tiempo de vida útil de la cuchilla 26.

La Figura 1 denota además las direcciones radiales 30 sustancialmente perpendiculares al eje de rotación 28. Durante el funcionamiento, los movimientos vibratorios del conjunto de barra de mandrinar 10 se producen sustancialmente en las direcciones radiales 30.

La estructura de amortiguación 24 comprende un elemento de resorte 32 y una placa metálica 34. En este ejemplo, el elemento de resorte 32 es de un material viscoelástico. La estructura de amortiguación 24 se ubica en una región de nodo del conjunto de barra de mandrinar 10. La estructura de amortiguación 24 suprime eficientemente las vibraciones con una frecuencia mayor que el primer modo de vibración del conjunto de barra de mandrinar 10.

La Figura 2 representa esquemáticamente una vista en perspectiva despiezada del conjunto de barra de mandrinar 10 en la Figura 1. El conjunto de barra de mandrinar 10 comprende además dos estructuras de amortiguación 36 para soportar cada extremo de una masa de amortiguación 38 proporcionada dentro de una cavidad 56 del cuerpo de la barra de mandrinar 18.

Cada estructura de amortiguación 36 comprende una pluralidad de elementos de resorte 40 de aspecto plano. Los elementos de resorte 40 de la estructura de amortiguación 36 constituyen una estructura laminada. En este ejemplo, la estructura de amortiguación 36 también comprende las placas metálicas 42 en la estructura laminada de la estructura de amortiguación 36. La estructura laminada de los elementos de resorte 40 facilita el movimiento de cizalla, es decir, en las direcciones radiales 30, de la estructura de amortiguación 36.

Las Figuras. 1 y 2 muestran además que el conjunto de barra de mandrinar 10 comprende un accionamiento helicoidal 44 que tiene un tornillo sin fin 46 y una rueda helicoidal 48, y una placa de compresión 50, que se describirá más adelante.

En soluciones de la técnica anterior, donde se ha comprimido un anillo de caucho grueso, puede iniciarse el deslizamiento y reducir la rigidez. Esto dará lugar a un desajuste de la frecuencia del amortiguador de masa sintonizada a la frecuencia de la herramienta.

Debido al aspecto plano de cada elemento de resorte 40 de acuerdo con la presente divulgación, se reduce el riesgo de deslizamiento en los elementos de resorte 40. Por lo tanto, la rigidez de los elementos de resorte 40 puede mantenerse mejor. Como resultado, el conjunto giratorio 10 tiene un funcionamiento más confiable.

La rigidez de la estructura de amortiguación 36 en las direcciones de cizalla (es decir, en las direcciones radiales 30) puede ajustarse añadiendo o retirando los elementos de resorte 40 hacia o desde la estructura de amortiguación 36. Un mayor número de elementos de resorte 40 en la estructura de amortiguación 36 da una rigidez más baja en la dirección de cizalla, y viceversa. La estructura de amortiguación 36 que comprende una pila de elementos de resorte 40 facilita y hace más preciso el ensamblaje.

Con el uso de un material dependiente de la frecuencia para los elementos de resorte 40, es decir, donde el módulo elástico de los elementos de resorte 40 cambia dependiendo de la frecuencia de vibración, puede realizarse un efecto de autosintonización. Es decir, la frecuencia de vibración cambiada de los elementos de resorte 40 alterna el módulo elástico de los elementos de resorte 40 de manera que cambie la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación 38.

Girando el tornillo sin fin 46, la rueda helicoidal 48 se mueve axialmente dentro del miembro de enchufe 16 para empujar la placa de compresión 50 a lo largo del eje de rotación 28. Girando el tornillo sin fin 46 en la dirección opuesta, la rueda helicoidal 48 se mueve en la dirección opuesta a lo largo del eje de rotación 28 (hacia el extremo libre del conjunto de la barra de mandrinar 10 donde se ubica el cabezal de la herramienta 20). Esta rotación puede continuar hasta que el tornillo sin fin 46 se desacople completamente del miembro de enchufe 16 y puedan añadirse o retirarse de la estructura de amortiguación 36 las placas metálicas adicionales 42 y/o los elementos de resorte 40.

Cuando se aplica una fuerza de compresión a la estructura de amortiguación 36, la fuerza de compresión se traduce esencialmente en un aumento de la presión de contacto entre las superficies de las placas metálicas 42 y los elementos de resorte 40, y no en una geometría cambiada de los elementos de resorte 40. El ajuste de la rigidez de la estructura de amortiguación 36 (además del autosintonización descrita en la presente divulgación) se realiza principalmente alternando el número de elementos de resorte 40 y, en segundo lugar, ajustando la precarga de compresión desde la placa de compresión 50 en la estructura de amortiguación 36.

La precarga de compresión en la segunda estructura de amortiguación 36 (a la derecha en la Figura 2) se ajusta mediante la pieza de bloqueo de la cola 14. La pieza de bloqueo de la cola 14 también comprende un rebaje para que coincida con el contorno externo del componente más externo de la estructura de amortiguación derecha (en la Figura 2) 36, por ejemplo, una placa metálica 42.

En este ejemplo, la placa de compresión 50 comprende una porción hexagonal en un extremo para establecer un bloqueo de rotación sobre el eje de rotación 28 en relación con el miembro de enchufe 16. Por supuesto, son posibles otras estructuras y formas de lograr un bloqueo de rotación entre la placa de compresión 50 y el miembro de enchufe 16. Se permite mover la placa de compresión 50 en relación con el miembro de enchufe 16 a lo largo del eje de rotación 28.

El segmento de herramientas de las herramientas de amortiguación de vibraciones de masas sintonizadas sigue siendo un nicho de mercado con altos márgenes de beneficio, pero bajos volúmenes de ventas. Algunas desventajas de las herramientas de la técnica anterior son los altos costos de fabricación debido a la complejidad de la construcción con el requisito de sellado hidráulico y el costo personal cuando se solicita a un experto que encuentre la sintonización correcta y que eduque a los operadores de la máquina para que aprendan el procedimiento de sintonización.

Algunos documentos de la técnica anterior describen elementos de soporte simétricos hechos de caucho o elastómeros para soportar una masa. Los elementos de soporte pueden comprimirse para alterar su sección transversal, geometría y/o el área superficial de contacto para ajustar la rigidez. Sin embargo, las herramientas de mecanizado suelen ser asimétricas con respecto al eje de rotación. Por lo tanto, una frecuencia de resonancia correctamente sintonizada de un amortiguador de masa sintonizada para una dirección radial en particular puede dar lugar a una frecuencia de resonancia erróneamente sintonizada en las otras direcciones radiales. Además, las herramientas de mecanizado se usan a menudo en condiciones de funcionamiento turbulentas y pueden vibrar a una frecuencia en el rango de  $\pm 20\%$  de la frecuencia de modo medida cuando se mide en condiciones libres. Esa es una de las razones por las que las soluciones de amortiguadores de masa sintonizada no se usan tan a menudo en herramientas giratorias, ya que la frecuencia de vibración se cambia constantemente.

Los amortiguadores de masa sintonizada de la técnica anterior generalmente se sintonizan para amortiguar las vibraciones del modo más elástico (es decir, el primer modo de vibración). Por lo tanto, los modos de vibración más altos generalmente constituyen el problema más destacado el cual limita sustancialmente la vida útil de la herramienta de inserción de corte debido a las vibraciones de alta frecuencia (por ejemplo,  $> 1.000$  Hz) y las vibraciones de alta aceleración.

La Figura 3a representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal del conjunto de la barra de mandrinar 10 a lo largo de la sección A-A en la Figura 1 y la Figura 3b representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal del conjunto de la barra de mandrinar 10 a lo largo de la sección B-B en la Figura 1.

Como puede verse en la Figura 3a, se forma un espacio libre entre la masa de amortiguación 38 y el cuerpo de la barra de mandrinar 18. Los canales de enfriamiento 52 se proporcionan en la masa de amortiguación 38. Los canales de enfriamiento 52 establecen una comunicación de fluido entre un canal de enfriamiento 54 en la pieza de bloqueo de cola 14 y la cavidad 56 y entre un canal de enfriamiento 58 en la placa de compresión 50 y la cavidad 56. El canal de enfriamiento 58 de la placa de compresión 50 está en comunicación de fluido con un canal de enfriamiento 60 en el miembro de enchufe 16 desde donde puede conducirse el refrigerante a la cuchilla 26 para que se enfríe.

El canal de enfriamiento 54 de la pieza de bloqueo de cola 14, los canales de enfriamiento 52 en la masa de amortiguación 38, el canal de enfriamiento 58 en la placa de compresión 50 y el canal de enfriamiento 60 en el miembro de enchufe 16 constituyen una estructura de suministro de refrigerante 62 para el suministro de refrigerante al cabezal de la herramienta 20. En este ejemplo, los canales de enfriamiento 52 de la masa de amortiguación 38 se inclinan aproximadamente  $45^\circ$  y se disponen en las porciones de extremo respectivas de la masa de amortiguación 38.

Debido a que la guía del refrigerante en el espacio libre entre la masa de amortiguación 38 y el cuerpo de la barra de mandrinar 18, el refrigerante puede usarse para enfriar un cabezal de la herramienta 20 (y/o los elementos de resorte 40) y servir como un fluido viscoso para las vibraciones de amortiguación del cuerpo de la barra de mandrinar 18 y la masa de amortiguación 38. La presión del refrigerante en la cavidad 56 puede ser de aproximadamente 6 bar, o menos de 6 bar.

Además, al controlar el flujo de refrigerante en la estructura de suministro de refrigerante 62, puede controlarse la temperatura de los elementos de resorte 40. En caso de que los elementos de resorte 40 comprendan un material con módulo elástico dependiente de la temperatura, también puede controlarse la frecuencia de resonancia del amortiguador de masa sintonizada (la estructura de amortiguación 36 y la masa de amortiguación 38) para que coincida con una frecuencia de vibración de la barra de mandrinar giratoria 10 variando la temperatura del refrigerante.

La configuración de la estructura de suministro de refrigerante 62 se ilustra además en las Figuras. 4a a 5c. La Figura 4a representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal parcial del conjunto de la barra de mandrinar 10 en la Figura 1. La Figura 4b representa esquemáticamente una vista lateral parcial del conjunto de la barra de mandrinar 10 en la Figura 1. La Figura 5a representa esquemáticamente una vista en sección transversal parcial del conjunto de la barra de mandrinar 10 en la Figura 1. La Figura 5b representa esquemáticamente una vista en sección transversal parcial del conjunto de la barra de mandrinar 10 en la Figura 1. La Figura 5c representa esquemáticamente una vista en sección transversal parcial del conjunto de la barra de mandrinar 10 en la Figura 1.

La Figura 6a representa esquemáticamente una vista frontal de una estructura de amortiguación 36, la Figura 6b representa esquemáticamente una vista lateral de la estructura de amortiguación 36 en la Figura 6a y la Figura 6c representa esquemáticamente una vista en perspectiva despiezada de la estructura de amortiguación 36 en las Figuras. 6a y 6b.

En el ejemplo de las Figuras. 6a a 5c, puede verse que la estructura de amortiguación 36 se constituye por una pila de cuatro elementos circulares de resorte 40 y tres placas metálicas circulares intermedias 42 dispuestas como una pila. Dos anillos de retención 64 se muestran en la Figura 6c que pueden usarse para mantener los elementos de

resorte 40 y las placas metálicas 42 juntos. La estructura de amortiguación 36 de acuerdo con las Figuras. 6a a 6c pueden usarse con un conjunto de barra de mandrinar 10 que es simétrico con respecto al eje de rotación 28.

5 Sin embargo, muchas estructuras giratorias son generalmente asimétricas sobre el eje de rotación y de ese modo ejercen diferentes frecuencias de vibración de primer modo sobre diferentes direcciones radiales. Las herramientas de mecanizado, por ejemplo, tienen frecuencias de vibración de primer modo variadas dependiendo de las direcciones del plano perpendicular al eje de rotación de la herramienta de mecanizado. En las soluciones de la técnica anterior donde una herramienta de mecanizado asimétrica se amortigua usando un elastómero o una pieza de caucho severamente comprimida, la frecuencia de resonancia del amortiguador de masa sintonizada en las direcciones radiales es la misma. Por lo tanto, el amortiguador de masa sintonizada solo se optimiza para una dirección, mientras que otras direcciones no se optimizan. Como consecuencia, el amortiguador de masa sintonizada podría añadir vibraciones a la herramienta de mecanizado en lugar de cancelar las vibraciones.

15 La Figura 7 es un diagrama que muestra un ejemplo de una frecuencia de modo de vibración variable del conjunto de la barra de mandrinar 10 en las direcciones radiales 30, es decir, en un plano perpendicular al eje de rotación 28 del conjunto de la barra de mandrinar 10. En el ejemplo de la Figura 7, puede verse que en una dirección de 30 grados en relación con la dirección radial que apunta hacia abajo 30, la frecuencia de vibración del conjunto de la barra de mandrinar 10 es 480 Hz, mientras que la frecuencia de vibración más alta del conjunto de la barra de mandrinar 10 se acerca a 520 Hz.

20 Una estructura de amortiguación circular (como se muestra en las Figuras 6a a 6c) proporcionará la misma frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación en todas las direcciones radiales. Por lo tanto, dicha estructura de amortiguación solo cancelará las vibraciones de una herramienta de mecanizado asimétrico en algunas direcciones radiales. En otras direcciones radiales, la estructura de amortiguación dará una amortiguación deficiente e incluso podría añadir vibraciones a la herramienta de mecanizado. Sin embargo, si la herramienta de mecanizado es simétrica sobre su eje de rotación, puede usarse una estructura de amortiguación simétrica.

25 La Figura 8a representa esquemáticamente una vista en perspectiva de una masa de amortiguación 38 y dos estructuras de amortiguación 36 que comprende los elementos de resorte 40. La Figura 8b representa esquemáticamente una vista frontal de la masa de amortiguación 38 en la Figura 8a.

30 En las Figuras. 8a y 8b, cada estructura de amortiguación 36 comprende una pila de elementos de resorte elípticos 40. Con esta estructura de amortiguación 36, las frecuencias resonantes de la masa de amortiguación 38 varían en diferentes direcciones radiales 30. De ese modo, pueden cancelarse las vibraciones en un conjunto giratorio asimétrico 10 (asimétrico con respecto al eje de rotación 28).

35 La forma elíptica en las Figuras. 8a y 8b es simplemente un ejemplo de una forma que tiene una extensión variable en las direcciones radiales 30. Las formas alternativas incluyen, por ejemplo, formas triangulares y rectangulares.

40 La Figura 9a representa esquemáticamente una vista frontal de una placa de compresión 50 y una placa metálica 42. La Figura 9b representa esquemáticamente una vista lateral en sección transversal de la placa de compresión 50 y la placa metálica 42 en la Figura 9a. La Figura 9c representa esquemáticamente una vista trasera de la placa de compresión 50 y la placa metálica 42 en las Figuras. 9a y 9b;

45 En las Figuras. 9a a 9c, puede verse que la placa de compresión 50 comprende un rebaje elíptico en su cara extrema opuesta a la porción hexagonal. El rebaje elíptico se configura para recibir la placa metálica elíptica más externa 42 de la estructura de amortiguación 36.

50 La Figura 10 representa esquemáticamente una vista en perspectiva de un accionamiento helicoidal 44. El accionamiento helicoidal 44 puede usar engranajes que tienen un ángulo de guía que tiene un valor tangencial menor que un coeficiente de fricción entre las superficies de contacto con o sin lubricantes. El accionamiento helicoidal 44 constituye una disposición compacta para suministrar una precarga de compresión a los elementos de resorte 40. El accionamiento helicoidal 44 también proporciona un aumento en la relación de transmisión de par y un efecto de autobloqueo, es decir, el accionamiento helicoidal 44 resiste la deriva de la precarga de compresión. Puede proporcionarse una escala para indicar la correspondencia entre la precarga de compresión en la estructura de amortiguación 36 y el número de vueltas del tornillo sin fin 46.

55 La Figura 11 representa esquemáticamente una vista en perspectiva de una pluralidad de masas de amortiguación 38, 66 y una pluralidad de estructuras de amortiguación 36, 68 dispuestas de manera alterna. Cada una de las tres masas de amortiguación 38, 66 en la Figura 11 tiene un peso único. Los pesos pueden seleccionarse para cancelar las vibraciones del conjunto giratorio 10 no solo en el primer modo de vibración, sino también en los modos de vibración más altos. Por lo tanto, cuando se emplean varias masas de amortiguación 38, 66 conectadas con estructuras de amortiguación 36, 24, el rendimiento de amortiguación del conjunto de la barra de mandrinar 10 puede mejorarse sobre una banda de frecuencia más amplia.

La Figura 12 es un diagrama que ilustra un procedimiento de selección del material más adecuado para los elementos de resorte y el número de elementos de resorte en las estructuras de amortiguación.

5 La Figura 13 es un diagrama que muestra el módulo elástico de un polímero viscoelástico 3M® 112' con respecto a la frecuencia.

La relación entre el módulo elástico y la frecuencia puede representarse por polinomios de alto orden. Cuando la relación polinómica entre el módulo elástico y la frecuencia es mayor a 2 y se ajusta a una condición matemática, existe una frecuencia a la que el aumento/disminución de la frecuencia de vibración del conjunto de la barra de mandrinar se compensa con un aumento/disminución de la rigidez de la estructura de amortiguación debido al módulo elástico dependiente de la frecuencia de los elementos de resorte.

Un enfoque para representar la relación entre el módulo elástico y la frecuencia como en la Figura 13 es usar la función polinómica:

15 
$$E(f) = \dots Df^3 + Cf^2 + Bf + A$$

Supongamos que la frecuencia de vibración estimada es  $f_n$  y la variación estimada de frecuencia es  $\Delta f_n$ , la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación es proporcional a la raíz cuadrada del módulo elástico del material viscoelástico del elemento de resorte y puede expresarse como:

20 
$$f_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\bar{k}}{m}} E(f) \quad (1)$$

donde  $k$  es el factor de rigidez determinado por la geometría y la construcción del elemento de resorte.  $m$  es la masa de la masa de amortiguación.

30 En la frecuencia de vibración estimada  $f_n$ , la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación satisface que:

35 
$$f_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\bar{k}}{m}} E(f_n) = f_n \quad (2)$$

El cambio de  $f_m$  expresado como  $\Delta f_m$  puede estimarse como:

40 
$$\Delta f_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\bar{k}}{m}} E(f_n + \Delta f_n) - \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\bar{k}}{m}} E(f_n) \quad (3)$$

45 
$$= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\bar{k}}{m}} (\sqrt{E(f_n + \Delta f_n)} - \sqrt{E(f_n)}) = \Delta f_n$$

Después de reemplazar el término  $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\bar{k}}{m}}$  con  $\frac{f_n}{\sqrt{E(f_n)}}$  la ecuación (3) puede reescribirse como:

55 
$$\sqrt{\frac{E(f_n + \Delta f_n)}{E(f_n)}} = 1 + \frac{\Delta f_n}{f_n} \quad (4)$$

60  $f_n$  puede expresarse como proporcional a  $f_n$  y puede reescribirse como  $\Delta f_n = \alpha f_n$  y la ecuación puede escribirse como:

5

$$\sqrt{\frac{E(f_n + \alpha f_n)}{E(f_n)}} = 1 + \alpha \quad (5)$$

10

A continuación, se trata de que un problema matemático encuentre la frecuencia en la cual el cambio de frecuencia de  $\Delta f_n$  del conjunto de la barra de mandrinar induce la misma cantidad de cambio de frecuencia  $\Delta f_m$  en la masa de amortiguación para que coincida con las dos frecuencias de nuevo.

15

El conjunto giratorio se configura de manera que si el cambio de frecuencia estimado es del  $\pm 5 \%$ , la solución de  $f_n$  en la ecuación (5) es 4.530 Hz mientras se usa el material de ejemplo en la Figura 13 para componer el elemento de resorte. A 4.530 Hz y si la frecuencia del conjunto de la barra de mandrinar cambia en 226 Hz (5 %), el polímero viscoelástico de ejemplo alterará su módulo elástico para cambiar la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación que luego coincidirá con la frecuencia de vibración cambiada del conjunto de la barra de mandrinar 10. Si es más probable que el conjunto de la barra de mandrinar vibre a otra frecuencia, se recomienda encontrar el material elástico más adecuado para componer el elemento de resorte a su efecto de autosintonización.

20

25

La Figura 14a representa esquemáticamente una vista en perspectiva de una variante de una masa de amortiguación 38 soportada por dos estructuras de amortiguación 36 como se describió anteriormente. Sin embargo, en la Figura 14a, la masa de amortiguación 38 no solo se soporta por las estructuras de amortiguación 36, sino también por dos estructuras auxiliares de soporte 70. En la variante de las Figuras. 14a a 14d, cada estructura auxiliar de soporte 70 comprende capas de material elástico 72 y capas de material metálico 74.

30

Las capas de material elástico 72 y las capas de material metálico 74 se disponen de manera alterna en las direcciones radiales 30. Las capas de material elástico 72 y las capas de material metálico 74 son por lo tanto sustancialmente paralelas al eje de rotación 28 de la masa de amortiguación 38.

35

La Figura 15a representa esquemáticamente una vista en perspectiva de una variante adicional de una masa de amortiguación 38 soportada por dos estructuras de amortiguación 36 como se describió anteriormente y también por dos estructuras auxiliares de soporte 76. En las Figuras. 15a a 15d, las estructuras auxiliares de soporte 76 comprende capas de material elástico 78 y capas de material metálico 80.

40

Las capas de material elástico 78 y las capas de material metálico 80 se disponen de manera alterna a lo largo del eje de rotación 28 de la masa de amortiguación 38. Las capas de material elástico 78 y las capas de material metálico 80 son, por lo tanto, sustancialmente paralelas a las direcciones radiales 30.

45

Para ambas variantes en las Figuras. 14a a 14d y las Figuras. 15a a 15d, las capas de material elástico 72, 78 separan la masa de amortiguación 38 del cuerpo principal 18. Particularmente en la variante mostrada en las Figuras. 14a a 14d, esto se logra al tener un pequeño desajuste entre las capas de material metálico 74 y las capas de material elástico 72. La masa de amortiguación 38 solo está en contacto físico con las capas de material elástico 72.

50

En una variante adicional, la disposición de las capas de material elástico 78 y las capas de material metálico 80 en las Figuras. Pueden cambiarse de 15a a 15d. En una variante adicional, las estructuras auxiliares de soporte 70, 76 son hechas de elementos anulares. Cada elemento anular puede comprender una capa de material elástico y una capa de material metálico. Estos elementos anulares pueden tener diferentes diámetros internos y externos y pueden montarse para formar una pila para soportar la masa de amortiguación 38. Estos conjuntos son especialmente beneficioso cuando predominan las formas del modo de vibración que no sea la flexión. Si bien la presente divulgación se ha descrito con referencia a las realizaciones ejemplares, se apreciará que la presente invención no se limita a lo que se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, se apreciará que las dimensiones de las partes pueden variarse a medida que sea necesario. En consecuencia, se pretende que la presente invención sólo pueda limitarse por el alcance las reivindicaciones adjuntas en la presente.

55

REIVINDICACIONES

1. Conjunto giratorio (10) que tiene un extremo (12) adaptado para asegurarse a un soporte giratorio para girar el conjunto giratorio (10) sobre un eje de rotación (28), comprendiendo el conjunto giratorio (10):  
 5 - un cuerpo principal (18) que tiene una cavidad (56);  
 - una masa de amortiguación (38) dispuesta dentro de la cavidad (56) y móvil en direcciones radiales (30), sustancialmente perpendicular al eje de rotación (28), en relación al cuerpo principal (18);  
 - una estructura de amortiguación (36) dispuesta para soportar la masa de amortiguación (38) en relación con el cuerpo principal (18) y dispuesta para amortiguar los movimientos vibratorios de la masa de amortiguación (38)  
 10 en relación con el cuerpo principal (18) en las direcciones radiales (30);  
 en el que la estructura de amortiguación (36) comprende una pluralidad de elementos de resorte (40);  
 en el que cada elemento de resorte (40) tiene un aspecto plano; y en el que los elementos de resorte (40) comprenden un material que tiene un módulo elástico dependiente de la frecuencia;  
 15 **caracterizado porque** el conjunto giratorio (10) se configura de manera que si cambia una frecuencia de vibración del conjunto giratorio (10) 5 % a partir de 4.530 Hz, el módulo elástico de los elementos de resorte (40) cambiará para que coincida con la frecuencia de vibración cambiada del conjunto giratorio (10).

2. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el ancho de cada elemento de resorte (40) en una dirección radial (30) es al menos 30 veces, preferiblemente al menos 50 veces, tal como al menos 100 veces, un grosor del elemento de resorte (40) a lo largo del eje de rotación (28).

3. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que uno o más de la pluralidad de elementos de resorte (40) tienen una extensión variable en las direcciones radiales (30).

4. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que uno o más de la pluralidad de elementos de resorte (40) tienen una apariencia elíptica, triangular o poligonal, como se ve a lo largo del eje de rotación (28).

5. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estructura de amortiguación (36) tiene una rigidez diferente en diferentes direcciones radiales (30).

6. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos de resorte (40) comprenden, o se constituyen por, un material viscoelástico, y en el que la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación (38) es proporcional a la raíz cuadrada del módulo elástico del material de los elementos de resorte (40).

7. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la frecuencia de resonancia de la masa de amortiguación (38) se expresa como:

$$f_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} E(f)$$

donde  $k$  es el factor de rigidez determinado por la geometría y la construcción de los elementos de resorte (40),  $m$  es la masa de la masa de amortiguación (38),  $E$  es el módulo elástico de los elementos de resorte (40) y  $f$  es la frecuencia de vibración del conjunto giratorio (10).

8. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto giratorio (10) se configura de manera que pueda añadirse o retirarse al menos un elemento de resorte (40) a la estructura de amortiguación (36) o eliminarlo de ella para disminuir o aumentar, respectivamente, la rigidez de la estructura de amortiguación (36) en las direcciones radiales (30).

9. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estructura de amortiguación (36) comprende una pluralidad de placas metálicas (42), en el que las placas metálicas (42) y los elementos de resorte (40) se disponen de manera alterna.

10. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además al menos una estructura auxiliar de soporte (70, 76) dispuesta para separar la masa de amortiguación (38) y el cuerpo principal (18), en el que cada estructura auxiliar de soporte (70, 76) comprende capas de material elástico (72, 78) y capas de material metálico (74, 80) dispuestas alternativamente a lo largo del eje de rotación (28) o en las direcciones radiales (30).

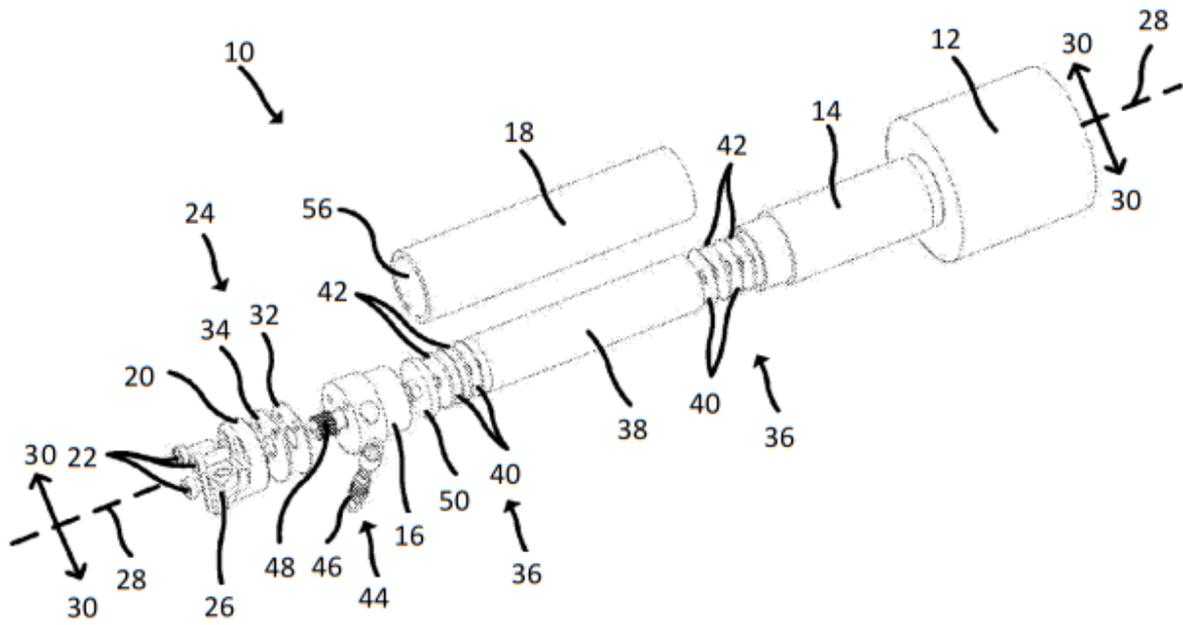
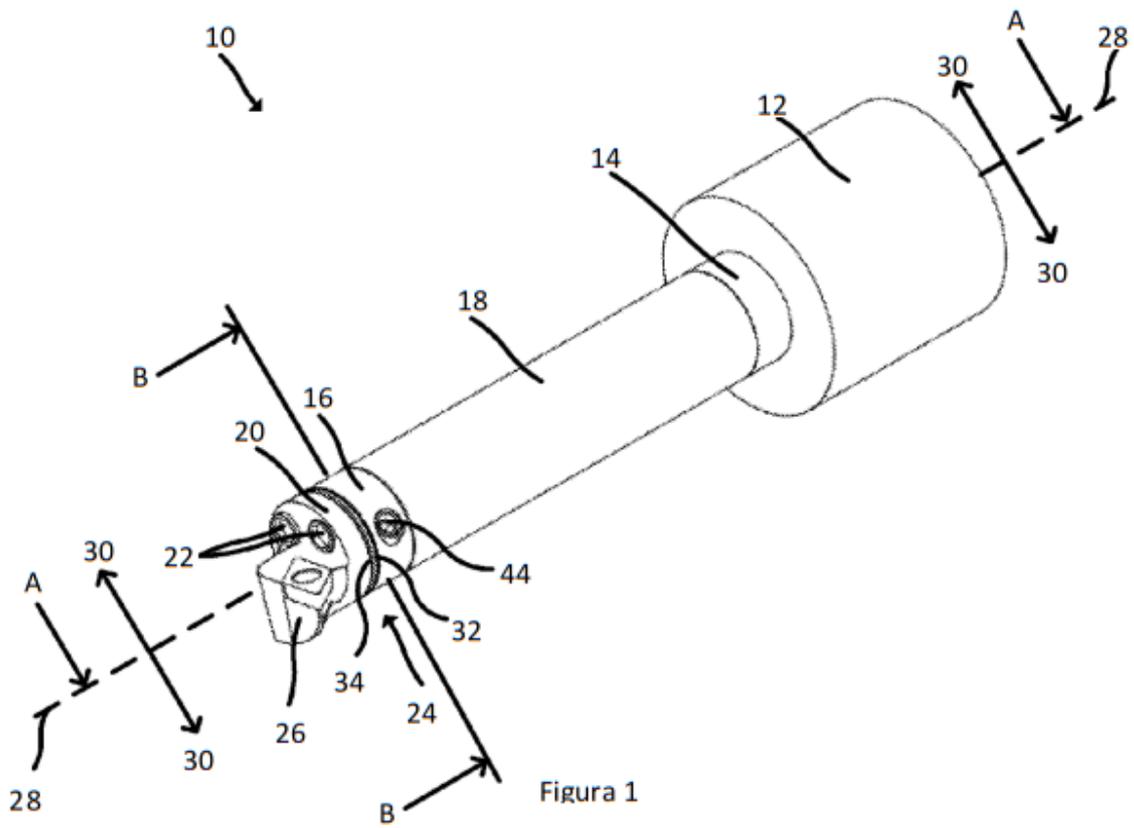
11. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un mecanismo de sujeción dispuesto para comprimir y descomprimir la estructura de amortiguación (36) a lo largo del eje de rotación (28).

12. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el mecanismo de sujeción comprende un accionamiento helicoidal (44).

5 13. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, adicional a la masa de amortiguación (38), al menos una masa de amortiguación adicional (66), en el que cada masa de amortiguación (38, 66) tiene un peso único.

10 14. El conjunto giratorio (10) de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende, además, adicional a la estructura de amortiguación (36), al menos una estructura de amortiguación adicional (68), en el que las masas de amortiguación (38, 66) y las estructuras de amortiguación (68) se disponen alternativamente.

15. El conjunto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto giratorio (10) es un conjunto de barra de mecanizado y el cuerpo principal (18) es un cuerpo de la barra de mecanizado.



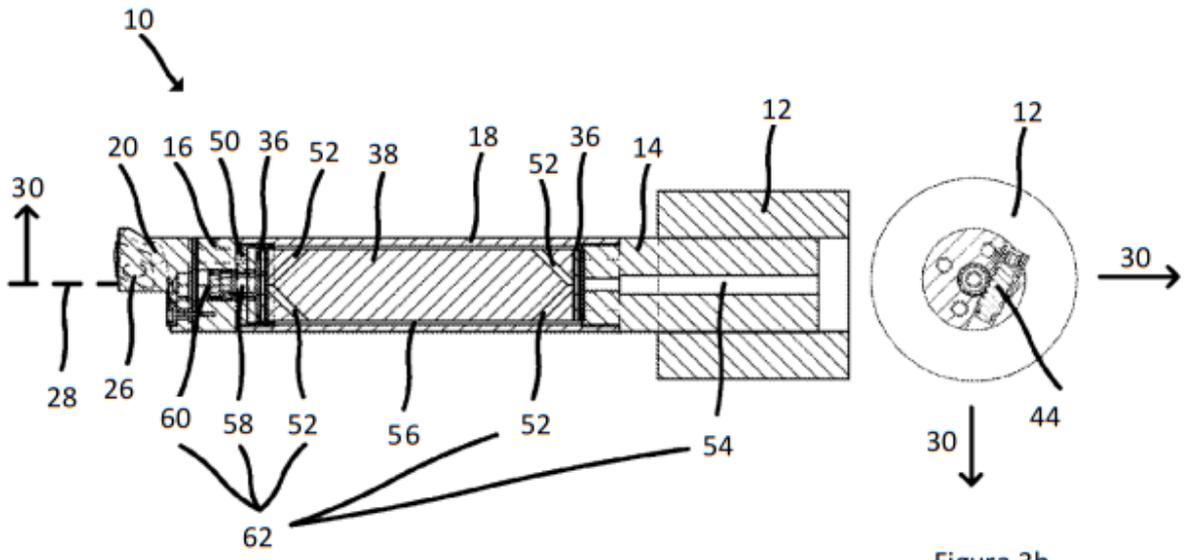


Figura 3a

Figura 3b

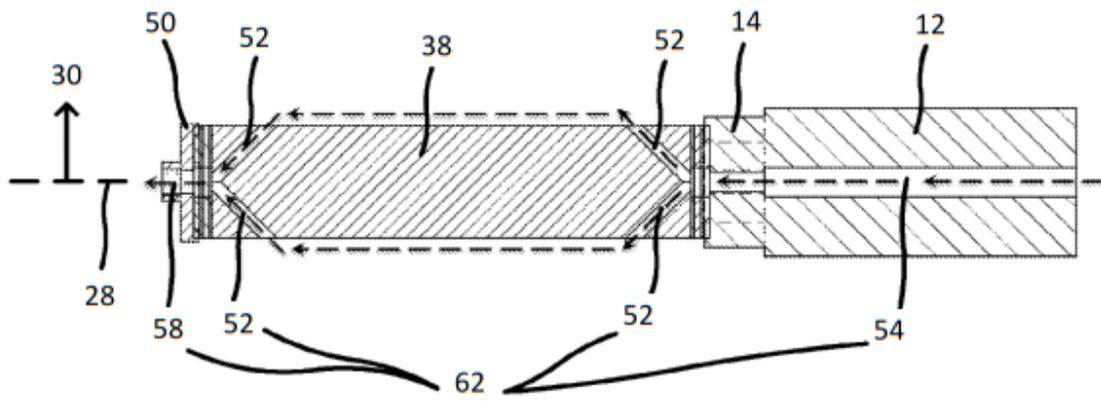


Figura 4a

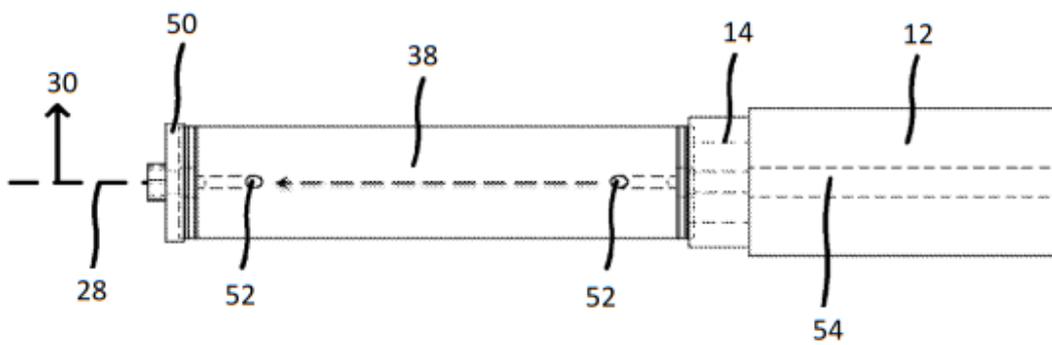


Figura 4b

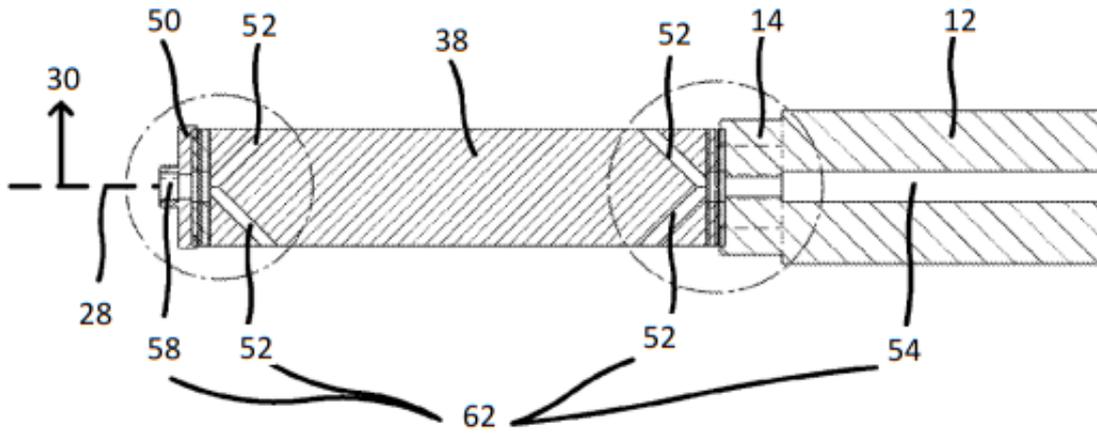


Figura 5a

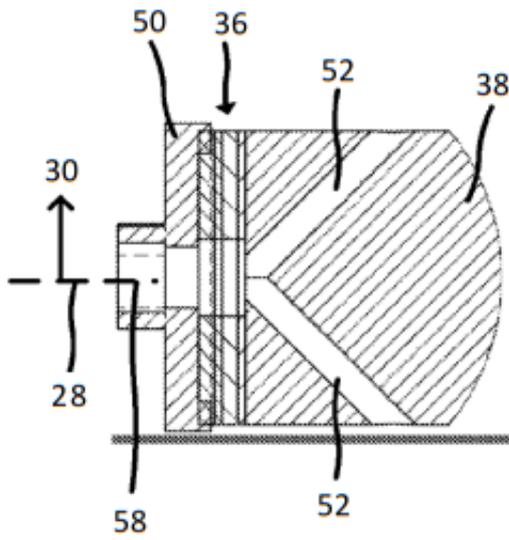


Figura 5b

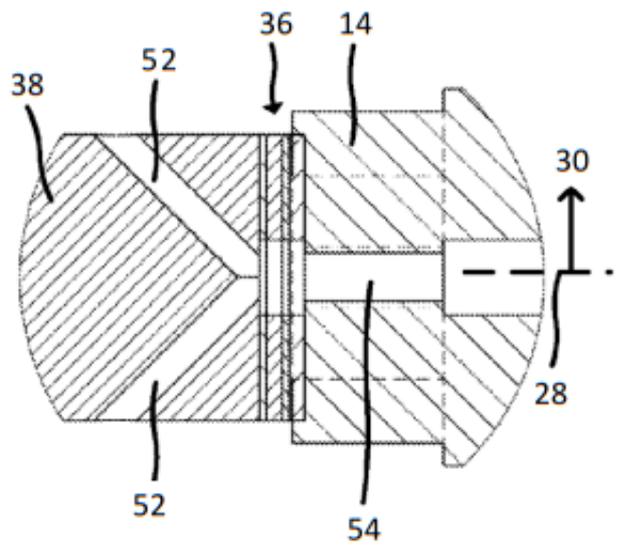


Figura 5c

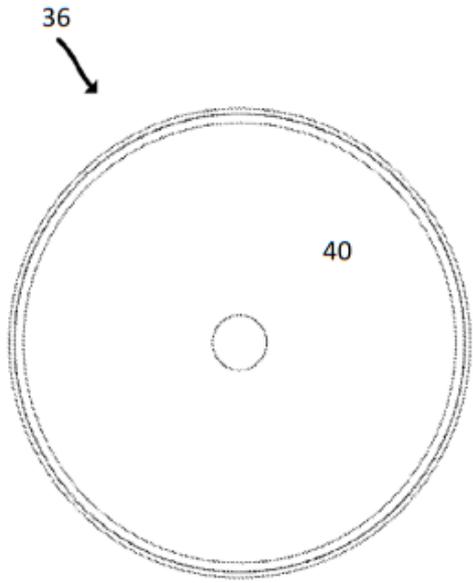


Figura 6a

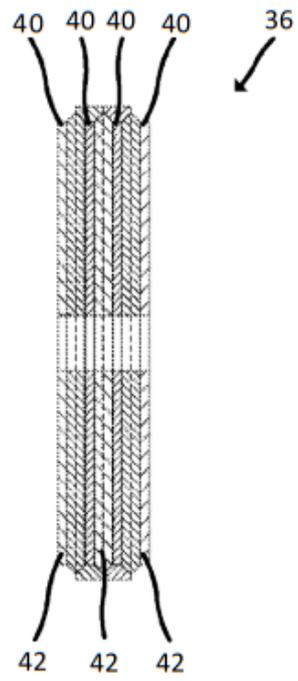


Figura 6b

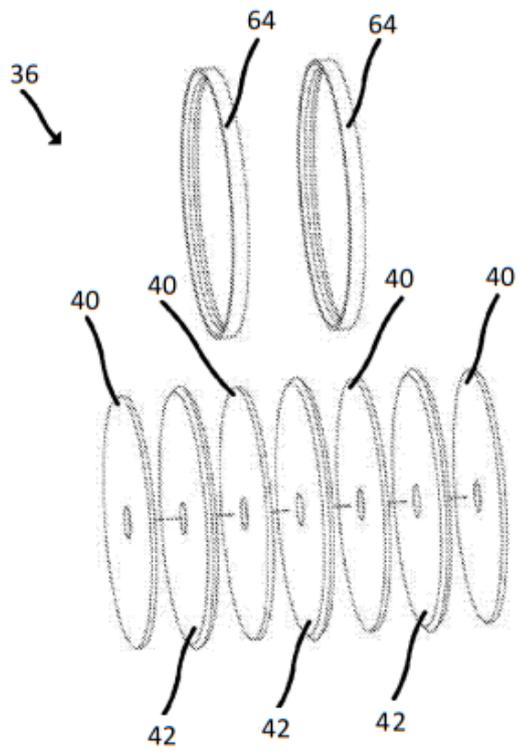


Figura 6c

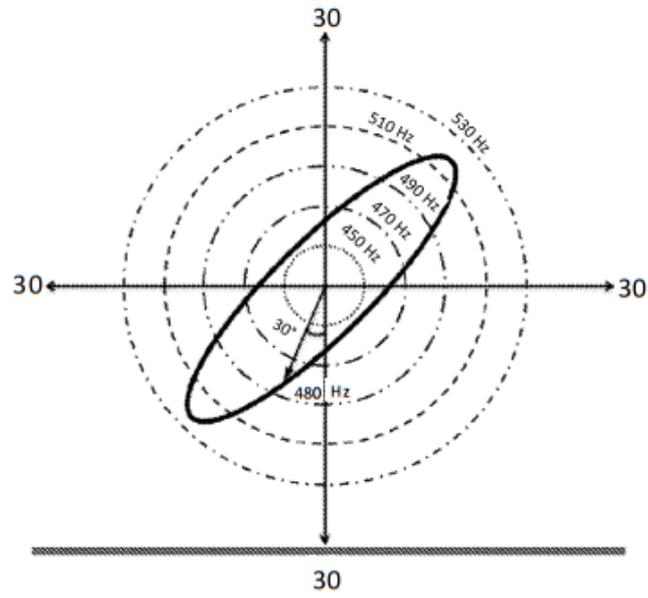


Figura 7

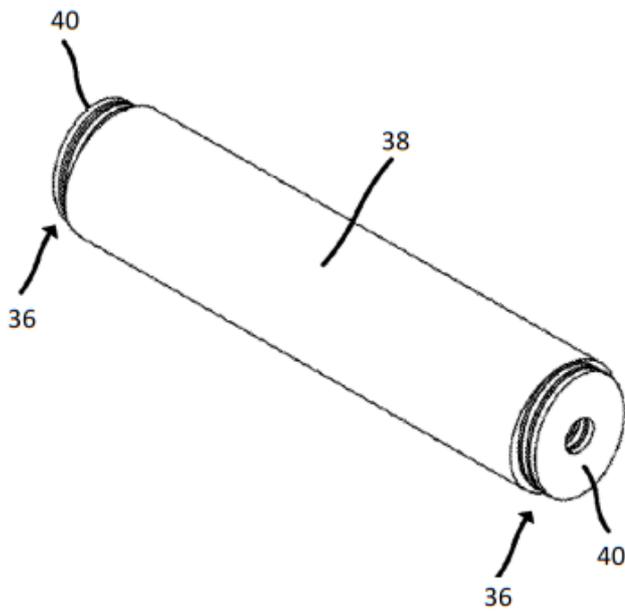


Figura 8a

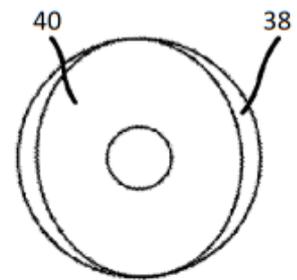


Figura 8b

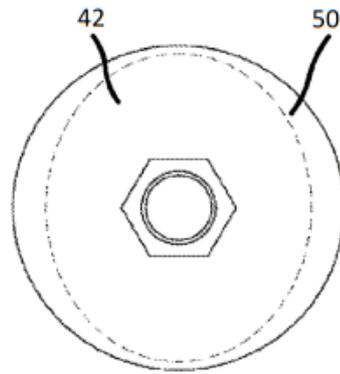


Figura 9a

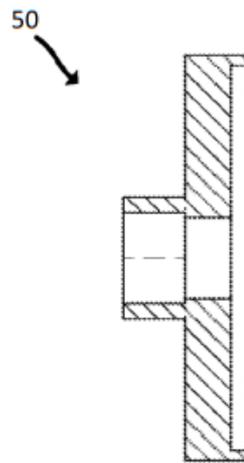


Figura 9b

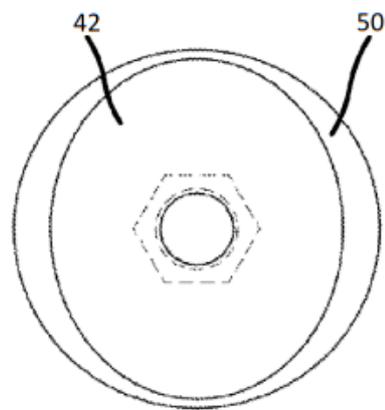


Figura 9c

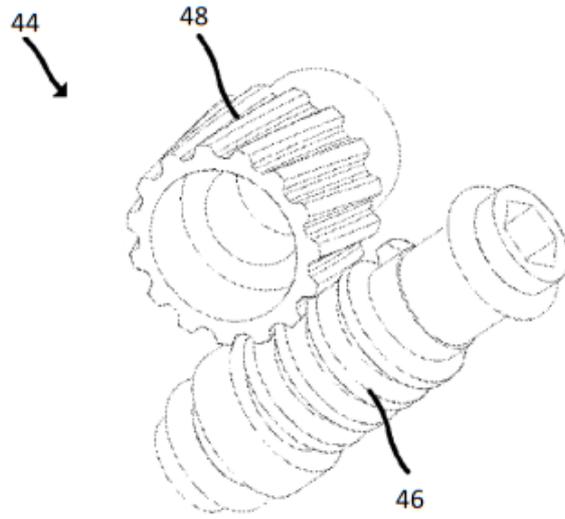


Figura 10

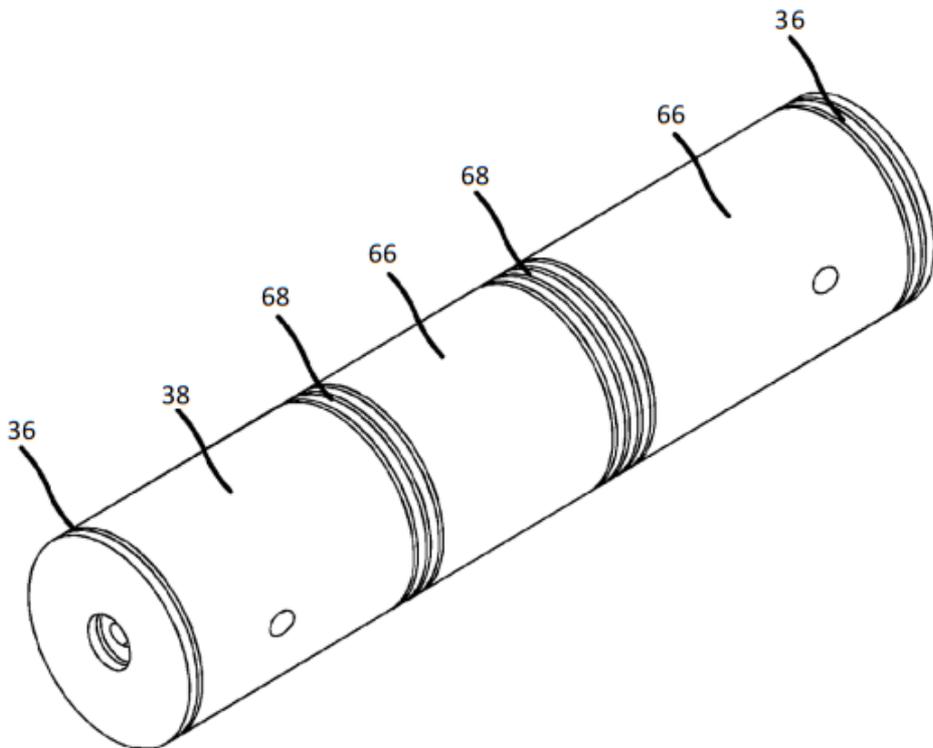


Figura 11

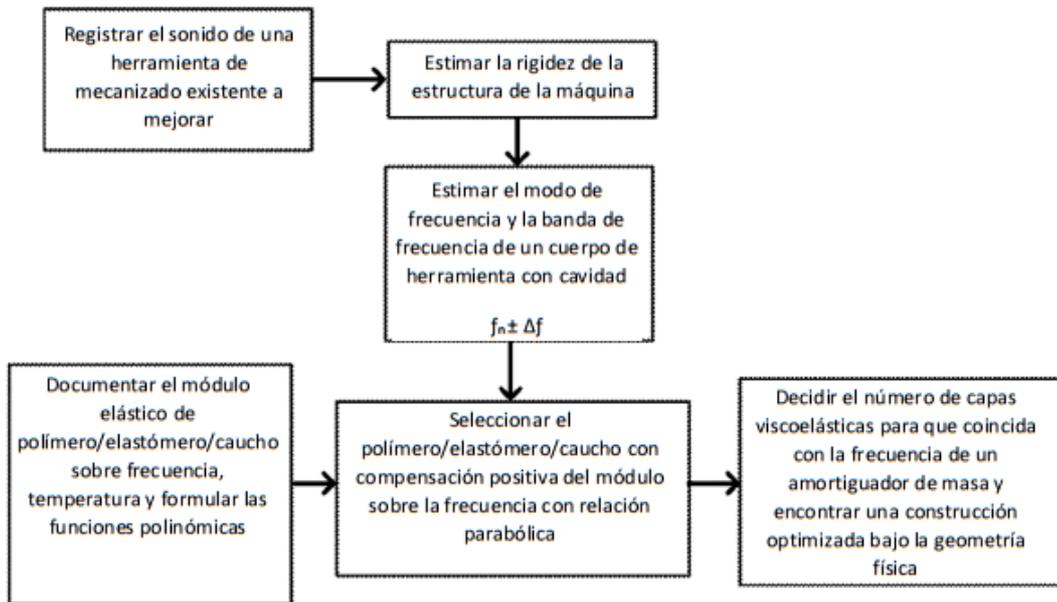


Figura 12

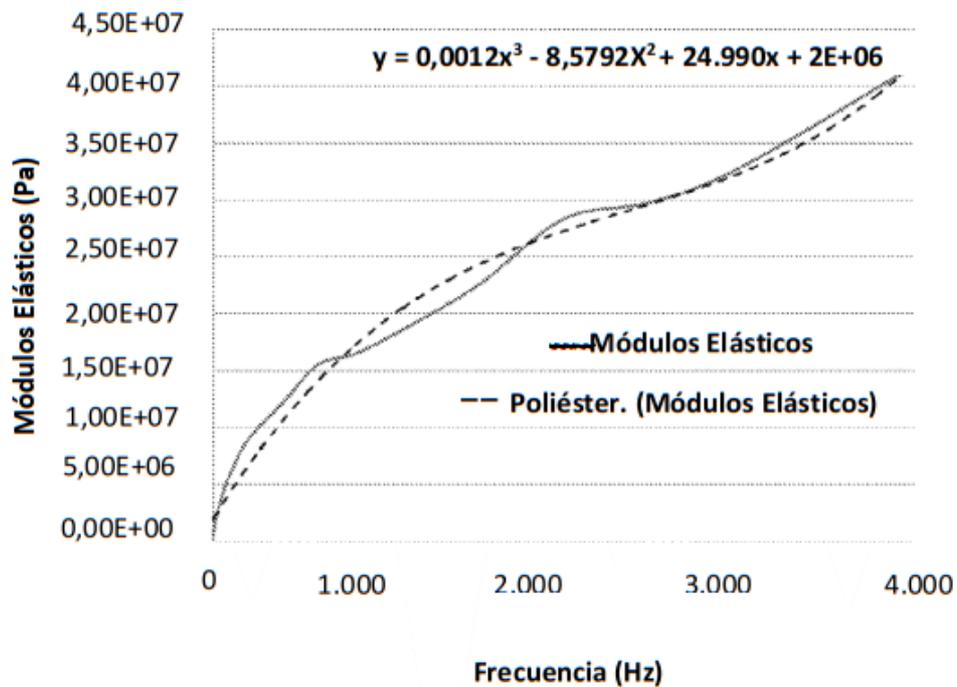


Figura 13

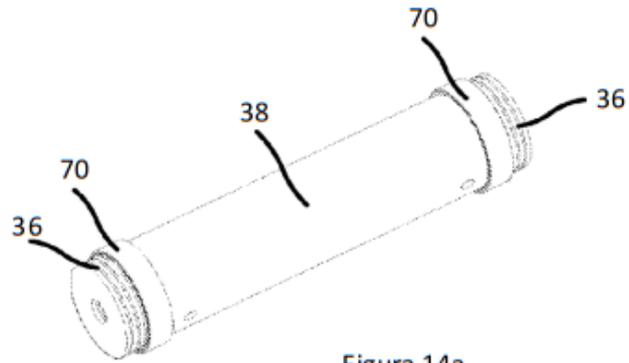


Figura 14a

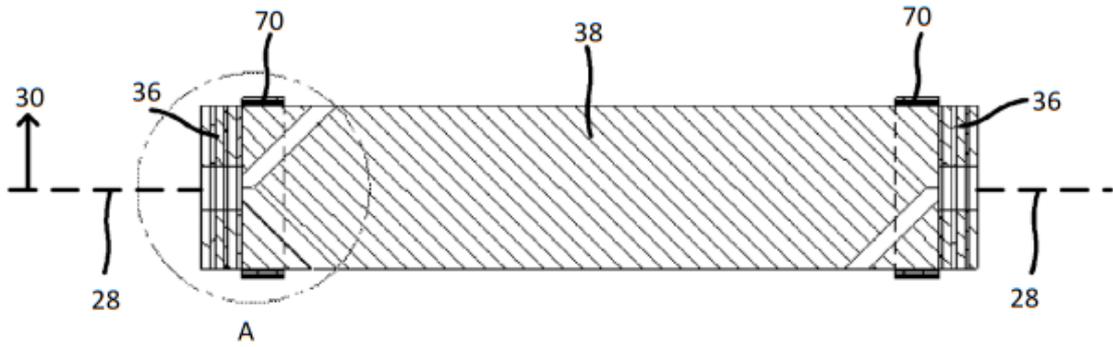


Figura 14b

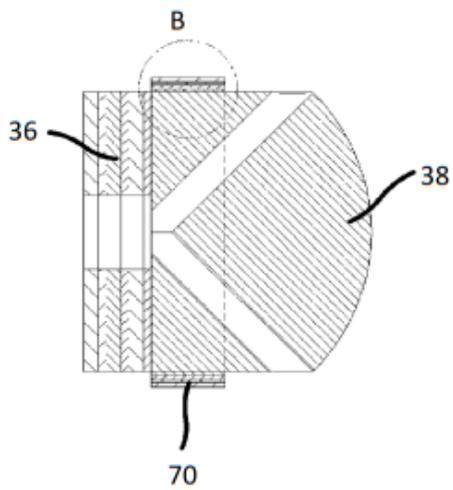


Figura 14c

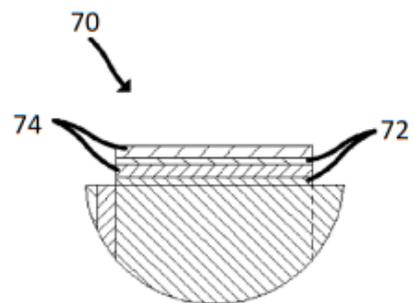


Figura 14d

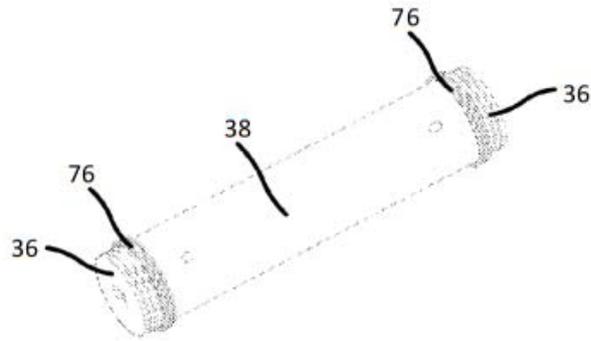


Figura 15a

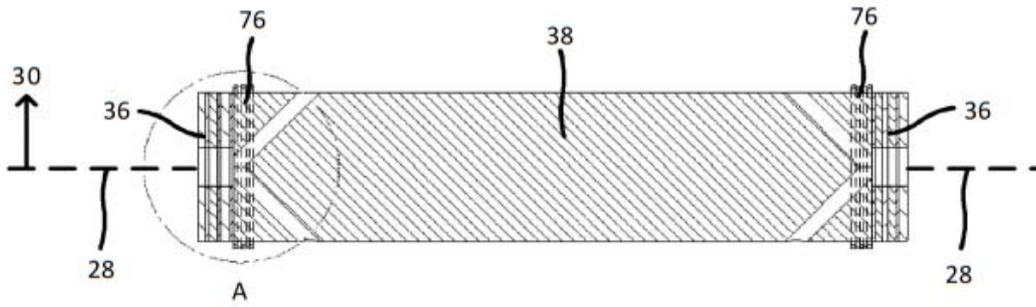


Figura 15b

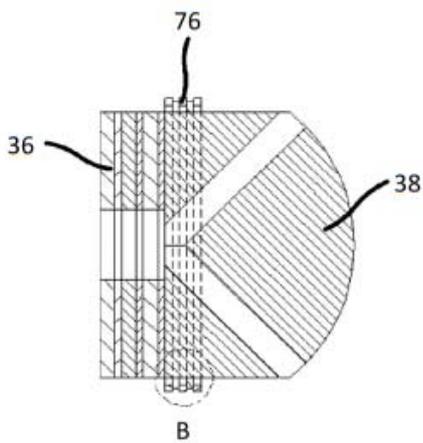


Figura 15c

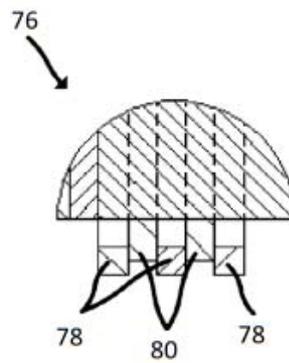


Figura 15d