

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 952**

51 Int. Cl.:

**B23Q 11/00** (2006.01)

**F16F 7/10** (2006.01)

**G05B 19/404** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.11.2014 E 14380034 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 3017911**

54 Título: **Máquina herramienta dinámicamente estable**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.08.2017**

73 Titular/es:

**IDEKO, S.COOP. (100.0%)  
Polígono Industrial de Arriaga, 2  
20870 Elgoibar, Gipuzkoa, ES**

72 Inventor/es:

**MERINO HERNÁNDEZ, RUBÉN y  
LIZARRALDE DORRONSORO, RAFAEL**

74 Agente/Representante:

**VEIGA SERRANO, Mikel**

ES 2 630 952 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**

Máquina herramienta dinámicamente estable

**5 Sector de la técnica**

La presente invención está relacionada con la supresión, o atenuación, de las vibraciones producidas durante los procesos de mecanizado en máquinas herramientas que incorporan un elemento móvil en voladizo portador de la herramienta de trabajo. La invención propone concretamente una máquina herramienta, tal como una fresadora, mandrinadora, o un torno vertical, que incorpora un sistema de amortiguación activo inercial integrado en el carnero.

**Estado de la técnica**

Las estructuras mecánicas de las máquinas herramientas tienden a vibrar durante las operaciones de mecanizado, a determinadas frecuencias con diferentes amplitudes, apareciendo vibraciones auto excitadas conocidas como "chatter" o retemblado, que pueden resultar perjudiciales para la calidad superficial de la pieza final y para la integridad de la propia máquina, provocando el desgaste prematuro de la herramienta de corte, o incluso su rotura, y reduciendo la vida útil de los componentes mecánicos de la máquina.

Las máquinas herramientas equipadas con elementos móviles en voladizo, como por ejemplo las fresadoras, mandrinadoras, o tornos verticales, que incorporan un carnero (RAM), tienen una respuesta dinámica fuertemente variable. La inercia y flexibilidad del carnero provoca que la respuesta de la máquina varíe en función de la posición en la que se encuentre el carnero, de manera que el reparto de masas de la máquina y la rigidez, tanto estática como dinámica, varían al moverse el carnero. Siendo así, al interactuar la herramienta contra la pieza durante el proceso de corte, la máquina se comporta de forma muy diferente en función de la posición del carnero, produciendo fuertes variaciones en la capacidad de corte de la máquina.

Para amortiguar las vibraciones indeseadas que se producen durante el mecanizado, se conoce el empleo de amortiguadores tanto activos como pasivos. Los amortiguadores pasivos consisten en una masa que se une a la estructura a amortiguar mediante una unión flexible amortiguada. La frecuencia natural del amortiguador pasivo se sintoniza para que coincida con la frecuencia natural de la estructura a amortiguar. Sin embargo, estos amortiguadores pasivos pierden efectividad cuando los parámetros dinámicos de la estructura a amortiguar varían, resultando así poco efectivos para máquinas herramienta con elementos móviles, como por ejemplo el carnero.

Sin embargo, los amortiguadores activos son capaces de adaptarse a medios dinámicamente cambiantes. Estos se componen de sensores que miden la vibración producida y actuadores que permiten introducir una fuerza. En el caso de los amortiguadores activos inerciales, esta fuerza se obtiene acelerando una masa móvil que se encuentra suspendida en la estructura a amortiguar, de manera que cuando la masa móvil oscila en la dirección requerida se genera una fuerza inercial que reduce la amplitud de las vibraciones mecánicas producidas en la máquina herramienta. Así por ejemplo, el artículo de Cowley y Boyle publicado el año 1970, da a conocer el empleo de un actuador inercial con un acelerómetro para introducir un amortiguamiento activo sobre la estructura de una máquina herramienta. "Cowley, A.; Boyle, A.; *Active dampers for machine tools; Annals of the CIRP, vol. 18, pp. 213-222, 1970*".

Los actuadores inerciales bidireccionales son un tipo de amortiguadores activos capaces de generar dos fuerzas independientes y ortogonales entre sí. Debido a su tamaño, la integración de este tipo de actuadores en el carnero resulta complicada. Alojarse interiormente un actuador bidireccional implica abrir grandes alojamientos en el carnero, lo que supone reducir su rigidez, o implica aumentar las dimensiones generales del carnero, lo que supone un aumento del coste y un rediseño de la máquina. Otra alternativa es alojar el actuador bidireccional fuera del carnero, sin embargo, las posibilidades de interferencia entre el carnero y la pieza aumentan considerablemente.

La patente española ES2425994 del mismo solicitante que la presente invención, da a conocer una máquina herramienta fresadora que incorpora un actuador inercial en el cabezal de corte. Aunque esta solución permite mejorar el comportamiento dinámico de trabajo de la máquina, ya que la amortiguación de las vibraciones se produce muy próxima al punto de corte en donde se encuentra el foco de origen de las vibraciones, al ser el cabezal de corte una parte móvil que gira con respecto al carnero, el paso de las señales de alimentación y control necesarias para el actuador inercial resulta complicado y costoso.

La patente de Estados Unidos US6296093, tal y como se observa en su figura 3, da a conocer una máquina herramienta con un elemento móvil en voladizo (carnero) que incorpora dos actuadores inerciales unidireccionales. Los actuadores inerciales se sitúan en el extremo del carnero que se encuentra más próximo a la herramienta de corte, sobre dos caras laterales contiguas del carnero. Cada actuador inercial está especialmente adaptado para generar una fuerza perpendicular a la superficie de la cara lateral del carnero sobre la que se dispone, siendo las dos fuerzas generadas por ambos actuadores ortogonales entre sí. Aunque esta solución permite obtener, con dos actuadores unidireccionales, el mismo efecto que se obtiene con un actuador inercial bidireccional, al ser las fuerzas generadas perpendiculares a las superficies de las caras laterales del carnero, obliga a tener que disponer los

actuadores inerciales en la parte exterior del carnero, de manera que se aumentan las dimensiones del carnero, y por tanto se aumentan también las posibilidades de que se produzcan interferencias entre el carnero y la pieza durante el mecanizado.

- 5 Por todo ello, se hace necesaria una máquina herramienta con un sistema de amortiguación de vibraciones que pueda ser incorporado en el carnero de la máquina ocupando el mínimo espacio posible, resultando así una alternativa sencilla y eficaz a las soluciones existentes.

### Objeto de la invención

10 De acuerdo con la presente invención se propone una máquina herramienta que incorpora un sistema de amortiguación activo inercial integrado en el propio carnero de la máquina, con lo que se consigue una adecuada amortiguación de las vibraciones, ocupando el sistema de amortiguación un mínimo espacio y sin la necesidad de aumentar las dimensiones generales habituales del carnero. La invención es aplicable a cualquier tipo de máquina  
15 herramienta que incorpore un elemento en voladizo, como es el carnero (RAM), como por ejemplo una máquina fresadora, mandrinadora, un torno vertical, o un centro de mecanizado.

La máquina herramienta de la invención comprende:

- 20 – un carnero que incorpora un cabezal de mecanizado portador de una herramienta de corte, en el que se producen vibraciones durante el mecanizado según, al menos, dos direcciones principales de flexión del carnero,
- unos sensores adaptados para medir la magnitud de las vibraciones con las que oscila el carnero en las  
25 direcciones principales de flexión, y
- al menos dos actuadores inerciales de forma sustancialmente plana, donde cada actuador inercial está adaptado para generar una fuerza en una de las direcciones principales de flexión de carnero, integrándose cada actuador inercial en una cara lateral del carnero según una disposición sustancialmente paralela a dicha cara lateral, y donde la fuerza generada por cada actuador inercial es paralela a la cara lateral del carnero en donde se  
30 encuentra integrado el actuador inercial, y sustancialmente perpendicular a la sección longitudinal del carnero, siendo las fuerzas generadas por los, al menos dos, actuadores inerciales ortogonales entre sí.

La forma sustancialmente plana de los actuadores inerciales y su disposición paralela a las caras laterales del carnero permite que los actuadores no sobresalgan exteriormente del cuerpo del carnero, quedando estos  
35 incorporados en las propias caras laterales del carnero, con lo que se evitan colisiones indeseadas con la pieza, u otros elementos, durante el mecanizado, asimismo, esta configuración permite ocupar un mínimo espacio en el carnero, dejando libre el interior del carnero para el paso del husillo de accionamiento de la herramienta de corte.

Se ha previsto que los actuadores inerciales se dispongan en el extremo de carnero más próximo al cabezal de  
40 mecanizado portador de la herramienta de corte, puesto que cuanto más próximo se encuentre el actuador inercial al punto de corte en donde se generan las vibraciones, menor será la fuerza que se requiera para amortiguarlas, y por tanto menor será el tamaño del actuador inercial.

Según un ejemplo de realización de la invención, el carnero incorpora dos actuadores inerciales que se disponen  
45 integrados en caras laterales contiguas del carnero, en donde uno de los actuadores inerciales está adaptado para generar una fuerza en una de las direcciones principales de flexión del carnero, y el otro actuador inercial está adaptado para generar otra fuerza en la otra dirección principal de flexión del carnero.

Según otro ejemplo de realización de la invención, el carnero incorpora cuatro actuadores inerciales, cada uno  
50 integrado en una respectiva cara lateral del carnero, donde dos de dichos actuadores inerciales están adaptados para generar una respectiva fuerza en una de las direcciones principales de flexión del carnero, y los otros dos actuadores inerciales están adaptados para generar otra respectiva fuerza en la otra dirección principal de flexión de carnero.

Según otro ejemplo de realización de la invención, el carnero incorpora tres actuadores inerciales, cada uno  
55 integrado en una respectiva cara lateral del carnero, y donde dos de dichos actuadores inerciales están adaptados para generar una respectiva fuerza en una de las direcciones principales de flexión del carnero, y el otro actuador inercial está adaptado para generar otra fuerza en la otra dirección principal de flexión de carnero.

60 Cada actuador inercial está constituido por una placa superior y una placa inferior de forma sustancialmente plana que se disponen enfrentadas entre sí por sus caras mayores, donde las placas se encuentran suspendidas por sus extremos respecto del carnero en una de las direcciones principales de flexión de carnero.

Según un ejemplo de realización de la invención, los sensores adaptados para medir la magnitud de las vibraciones  
65 con las que oscila el carnero son dos acelerómetros uni-axiales, cada uno de los cuales mide, en tiempo real, la

magnitud de la vibración con la que oscila el carnero en una de sus direcciones principales de flexión. Según otro ejemplo de realización, los sensores son un acelerómetro tri-axial que mide en tiempo real la magnitud de la vibración con la que oscila el carnero en las, al menos dos, direcciones principales de flexión.

5 Se ha previsto que los sensores se dispongan en el carnero próximos a los actuadores inerciales. Es particularmente relevante la posición de los sensores lo más próxima posible a los actuadores inerciales, ya que el objetivo de los actuadores inerciales es precisamente oscilar con una fuerza sustancialmente idéntica y de sentido contrario a las vibraciones que se producen en el carnero de acuerdo a sus, al menos dos, direcciones principales de flexión.

10 Adicionalmente, se ha previsto que cada actuador inercial incorpore un acelerómetro en una de las placas que se encuentra suspendida respecto del carnero, de manera que se pueda medir la fuerza que está siendo introducida por dicho actuador inercial. De esta manera, los datos obtenidos por dicho acelerómetro pueden utilizarse en técnicas de control avanzadas o en la medición de la flexibilidad dinámica (receptancia) mediante la obtención de funciones de respuesta en frecuencia.

15 Se obtiene así una máquina herramienta que por sus características constructivas y funcionales resulta en una máquina dinámicamente estable que permite una amortiguación efectiva de las vibraciones que se producen en el carnero durante los procesos de mecanizado.

#### 20 **Descripción de las figuras**

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de una fresadora dinámicamente estable de acuerdo con la presente invención.

25 La figura 2 muestra una vista en perspectiva de los actuadores inerciales integrados en el extremo del carnero más próximo al cabezal de mecanizado.

La figura 3 es una vista esquemática en alzado de la disposición de uno de los actuadores inerciales representados en la figura 2.

30 La figura 4 es una vista esquemática en perfil de la disposición del otro actuador inercial representado en la figura 2.

La figura 5 es una vista en sección de dos actuadores inerciales integrados en dos caras laterales contiguas del carnero.

35 La figura 6 es una vista en sección de cuatro actuadores inerciales integrados en las cuatro caras laterales del carnero.

La figura 7 muestra una vista en perspectiva de un torno vertical dinámicamente estable de acuerdo con la presente invención.

#### 40 **Descripción detallada de la invención**

45 En la figura 1 se muestra un ejemplo de realización de una máquina herramienta dinámicamente estable de acuerdo con la presente invención. La máquina herramienta representada en la figura 1 es una fresadora que comprende una mesa de trabajo (1) sobre la que generalmente se coloca la pieza a mecanizar, una base (2) sobre la que dispone una columna (3), y un carnero (4) que va dispuesto en la columna (3) y que en su extremo incorpora un cabezal de mecanizado (5) en donde se ubica la herramienta de corte (6) para la mecanización de la pieza.

50 La columna (3) es susceptible de trasladarse sobre la base (2) según una primera dirección horizontal representada mediante el eje (X), mientras que el carnero (4) es susceptible de trasladarse respecto de la columna (3) según una dirección vertical representada mediante el eje (Y) y según una segunda dirección horizontal representada mediante el eje (Z). Para ello, el carnero (4) va montado en un carro de traslación (no representado) respecto del que el carnero (4) puede moverse horizontalmente en el eje (Z), mientras que a su vez el carro de traslación puede moverse respecto de la columna (3) en el eje (Y), pudiéndose por tanto trasladar el carnero (4) verticalmente en el eje (Y).

60 Así, el carnero (4) puede ubicarse en cualquier posición espacial mediante la interpolación de movimientos en los tres ejes (X, Y, Z). En cualquier caso, y sin carácter limitativo, la columna (3) podría estar fija a la base (2), siendo en tal caso la pieza a mecanizar, que se dispone sobre la mesa de trabajo (1), la que se desplace horizontalmente según el eje (X).

65 El carnero (4) es un elemento oblongo (más largo que ancho) que se dispone en voladizo respecto de la columna (3), por ello, y debido a su inercia y flexibilidad, es la parte de la máquina que más influencia tiene en la respuesta dinámica de la misma, de manera que el proceso de mecanizado se comporta de forma muy diferente en función de la posición espacial en la que se encuentre el carnero (4) respecto de la columna (3).

Experimentalmente se ha comprobado que los modos de vibración críticos del carnero (4) se corresponden con sus modos de flexión, de manera que el carnero (4) tiende a oscilar principalmente en dos direcciones paralelas a los ejes (X) y (Y), por ello, para amortiguar las vibraciones producidas en el carnero (4) es especialmente relevante aplicar fuerzas de amortiguación que se encuentren alineadas con las direcciones principales de flexión en la que oscila el carnero (4).

Para amortiguar estas vibraciones, se disponen, al menos dos, actuadores inerciales (7) integrados en el carnero (4), cada uno de los cuales ejerce una fuerza (F) de amortiguación unidireccional y de sentido contrario a una de las direcciones principales de flexión en las que oscila el carnero (4), de manera que los actuadores inerciales (7) vibran transmitiendo al carnero (4) unas fuerzas inerciales que reducen la amplitud de las vibraciones mecánicas ocurridas.

Para garantizar una correcta disipación de las vibraciones, los actuadores inerciales (7) se disponen en el extremo del carnero (4) más próximo a la herramienta de corte (6). Este factor es especialmente relevante, ya que cuanto más alejados se encuentran los actuadores inerciales (7) del punto de corte, mayor será la fuerza que se tenga que realizar para amortiguar las vibraciones, y por tanto, el tamaño del actuador, y el espacio requerido para integrarlo en el carnero (4), deberá ser mayor.

El carnero (4) tiene una forma prismática de sección rectangular con cuatro caras laterales (4.1, 4.2, 4.3, 4.4), de manera que los, al menos dos, actuadores inerciales (7) se ubican integrados en dos caras laterales (4.1, 4.2) del carnero (4). Es decir, los actuadores inerciales (7) se incorporan en las propias caras laterales (4.1, 4.2, 4.3, 4.4) del carnero, de manera que el espesor del actuador inercial (7) es sustancialmente idéntico al espesor de la cara lateral del carnero en el que se incorpora.

Así, como se observa en detalle en las figuras 2 a 5, un primer actuador inercial (7.1) se dispone integrado en la primera cara lateral (4.1) del carnero (4), y un segundo actuador inercial (7.2) se dispone integrado en la segunda cara lateral (4.2) del carnero (4) contigua a la primera cara lateral (4.1).

Los actuadores inerciales (7) presentan una forma sustancialmente plana que permite su integración en las caras laterales (4.1, 4.2, 4.3, 4.4) del carnero (4) ocupando un espacio mínimo, y dejando libre el interior del carnero (4) para el paso del husillo de accionamiento del cabezal de mecanizado (6) y de la herramienta de trabajo (7), así como cualquier otro sistema necesario para el mecanizado.

Cada uno de los actuadores inerciales (7) está especialmente adaptado para generar una fuerza (F) paralela a la cara lateral del carnero (4) sobre la que se dispone, de manera que el primer actuador inercial (7.1) genera una primera fuerza (F1) paralela a la primera cara lateral (4.1) del carnero (4), y el segundo actuador inercial (7.2) genera una segunda fuerza (F2) paralela a la segunda cara lateral (4.2) del carnero (4). La primera fuerza (F1) es paralela al eje (X) y la segunda fuerza (F2) es paralela al eje (Y), y ambas son perpendiculares a la sección longitudinal del carnero (4), que discurre a lo largo del eje (Z), siendo por tanto la primera fuerza (F1) y la segunda fuerza (F2) ortogonales entre sí.

Según el ejemplo de realización mostrado en la figura 6, el carnero (4) incorpora cuatro actuadores inerciales (7), cada uno de ellos se dispone embebido en una respectiva cara lateral (4.1, 4.2, 4.3, 4.4) del carnero (4). Así, adicionalmente al primer y segundo actuadores inerciales (7.1, 7.2), se dispone un tercer actuador inercial (7.3) que genera una tercera fuerza (F3) paralela a la tercera cara lateral (4.3) del carnero (4), y un cuarto actuador inercial (7.4) que genera una cuarta fuerza (F4) paralela a la cuarta cara lateral (4.4) del carnero (4), donde la tercera fuerza (F3) es paralela al eje (X) y la cuarta fuerza (F4) es paralela al eje (Y), y ambas son perpendiculares a la sección longitudinal del carnero (4). De esta manera, al emplear cuatro actuadores inerciales (7), la fuerza requerida para amortiguar las vibraciones es menor que en el caso de emplear únicamente dos actuadores inerciales (7), aproximadamente, la fuerza requerida se reduce a la mitad, y por tanto el tamaño de los actuadores inerciales (7) y el espacio requerido para integración en el carnero (4) es menor.

Otra posible configuración se basa en emplear tres actuadores inerciales (7) situados en tres caras laterales del carnero (4), por ejemplo, el primer y tercer actuadores inerciales (7.1, 7.3) ejerciendo unas fuerzas (F1, F3) paralelas al eje (X) y el segundo actuador inercial (7.2) ejerciendo una fuerza (F2) paralela al eje (Y).

La cantidad de fuerza requerida para cada actuador inercial (7) dependerá de la masa, la rigidez y la amortiguación inherente del carnero (4), por lo tanto, la cantidad de fuerza se seleccionará en función de las características de diseño de cada máquina y con el objetivo de alcanzar la amortiguación requerida.

La máquina dispone de unos sensores que miden la magnitud de las vibraciones ocurridas en el carnero (4). Concretamente, mediante uno o más acelerómetros se realiza una medida indirecta de la velocidad con la que vibra el carnero (4). Se ha previsto emplear dos acelerómetros uni-axiales para medir las vibraciones del carnero (4) paralelas al eje (X) y al eje (Y), si bien pudiese emplearse un único acelerómetro tri-axial que miden las vibraciones del carnero (4) en los tres ejes (X, Y, Z). Es particularmente relevante que los sensores se sitúen en una parte fija del carnero (4) colocados a los actuadores inerciales (7), es decir que los sensores y los actuadores inerciales (7) se sitúan sustancialmente en el mismo punto, ya que el objetivo de los actuadores inerciales (7) es precisamente

oscilar con una fuerza sustancialmente idéntica y de sentido contrario a las vibraciones que se producen en el carnero (4).

5 Se ha previsto la posibilidad de que cada actuador inercial (7) disponga asociado un acelerómetro, de modo que se pueda determinar la fuerza que está introduciendo el actuador inercial (7). Así, los datos obtenidos por dicho acelerómetro pueden utilizarse en técnicas de control avanzadas o en la medición de la flexibilidad dinámica (receptancia) mediante la obtención de funciones de respuesta en frecuencia.

10 Con todo ello así, cuando la herramienta de corte (6) está mecanizando una pieza, el carnero (4) tiende a vibrar principalmente según dos direcciones principales de flexión, que son paralelas a los ejes (X) y (Y). Mediante los sensores se detecta, en tiempo real, la velocidad con la que está vibrando el carnero (4) en cada una de sus direcciones principales de flexión, de manera que al detectarse esa vibración, se hace oscilar a los actuadores inerciales (7) con una fuerza sustancialmente idéntica y de sentido contrario a las vibraciones que se están produciendo en el carnero (4), amortiguándolas y mejorando la respuesta dinámica de la máquina, mientras que  
15 mediante el acelerómetro asociado al actuador inercial (7) se puede controlar la fuerza con la que está oscilando el actuador inercial (7).

La invención se ha descrito para el caso del carnero (4) de una fresadora, si bien como se observa en la figura 7, la invención puede resultar igualmente aplicable al carnero (4) de un torno vertical. El torno vertical presenta una base (1) sobre la que se dispone la pieza a mecanizar, un pórtico (8) sobre el que va montado un carro (9), y el cual a su vez comporta el carnero (4) que incorpora el cabezal de mecanizado (5) y la herramienta de corte (6).  
20

El carro (9) es capaz de trasladarse según una dirección horizontal representada mediante el eje (X), mientras que el carnero (4) se traslada respecto del carro (9) en la dirección vertical representada mediante el eje (Z). De manera que el carnero (4) es capaz de trasladarse según dos ejes (X, y Z), pudiendo darse el caso de disponer de un tercer movimiento de traslación horizontal a lo largo del eje (Y).  
25

En este caso, durante el mecanizado de la pieza, también se producen vibraciones en el carnero (4) según al menos sus dos direcciones principales de flexión, las cuales son respectivamente paralelas a los ejes (X) y (Y). Por ello, para amortiguar estas vibraciones se integran igualmente en las caras laterales del carnero (4) unos actuadores inerciales (7) que producen fuerzas (F) paralelas a las caras laterales del carnero (4) y sustancialmente perpendiculares a la sección longitudinal del carnero (4), representada por el eje (Z), siendo las fuerzas (F) generadas de una magnitud sustancialmente idéntica y de sentido contrario a las vibraciones que se producen en el carnero (4) según sus direcciones principales de flexión.  
30

Aunque en los ejemplos de realización mostrados en las figuras se ha representado un carnero (4) de sección rectangular, resultará evidente para un experto en la materia que la invención puede ser aplicada igualmente a carneros (4) con una forma prismática diferente, como por ejemplo una forma prismática de sección hexagonal.  
35

**REIVINDICACIONES**

1.- Máquina herramienta dinámicamente estable, comprendiendo:

- 5     – un carnero (4) que incorpora un cabezal de mecanizado (5) portador de una herramienta de corte (6), en el que se producen vibraciones durante el mecanizado según, al menos, dos direcciones principales de flexión del carnero (4),
- 10    – unos sensores adaptados para medir la magnitud de las vibraciones con las que oscila el carnero (4) en las direcciones principales de flexión, y
- al menos dos actuadores inerciales (7), estando caracterizada dicha máquina herramienta dinámicamente estable porque los actuadores inerciales (7) son sustancialmente planos,
- 15     donde cada actuador inercial (7) está adaptado para generar una fuerza (F) en una de las direcciones principales de flexión de carnero (4), integrándose cada actuador inercial (7) en una cara lateral del carnero (4) según una disposición sustancialmente paralela a dicha cara lateral, y donde la fuerza (F) generada por cada actuador inercial (7) es paralela a la cara lateral del carnero (4) en donde se encuentra integrado y sustancialmente perpendicular a la sección longitudinal del carnero (4), siendo las fuerzas (F) generadas por los, al menos dos, actuadores inerciales (7) ortogonales entre sí.
- 20

2.- Máquina herramienta dinámicamente estable, según la primera reivindicación, en donde los actuadores inerciales (7) se disponen integrados en caras laterales contiguas del carnero (4).

25    3.- Máquina herramienta dinámicamente estable, según la primera reivindicación, en donde los actuadores inerciales (7) se disponen en el extremo de carnero (4) más próximo al cabezal de mecanizado (5) portador de la herramienta de corte (6).

30    4.- Máquina herramienta dinámicamente estable, según la primera reivindicación, en donde el carnero (4) incorpora cuatro actuadores inerciales (7), cada uno integrado en una respectiva cara lateral del carnero (4), y donde dos de dichos actuadores inerciales (7) están adaptados para generar una respectiva fuerza (F) en una de las direcciones principales de flexión del carnero (4), y los otros dos actuadores inerciales (7) están adaptados para generar otra respectiva fuerza (F) en la otra dirección principal de flexión de carnero (4).

35    5.- Máquina herramienta dinámicamente estable, según la primera reivindicación, en donde el carnero (4) incorpora tres actuadores inerciales (7), cada uno integrado en una respectiva cara lateral del carnero (4), y donde dos de dichos actuadores inerciales (7) están adaptados para generar una respectiva fuerza (F) en una de las direcciones principales de flexión del carnero (4), y el otro actuador inercial (7) está adaptado para generar otra fuerza (F) en la otra dirección principal de flexión de carnero (4).

40

6.- Máquina herramienta dinámicamente estable, según la primera reivindicación, en donde los sensores son dos acelerómetros uni-axiales, cada uno de los cuales mide en tiempo real la magnitud de la vibración con la que oscila el carnero (4) en una de las direcciones principales de flexión.

45    7.- Máquina herramienta dinámicamente estable, según la primera reivindicación, en donde los sensores son un acelerómetro tri-axial, que mide en tiempo real la magnitud de la vibración con la que oscila el carnero (4) en las direcciones principales de flexión.

50    8.- Máquina herramienta dinámicamente estable, según la primera reivindicación, en donde los sensores se disponen en el carnero (4) próximos a los actuadores inerciales (7).

9.- Máquina herramienta dinámicamente estable, según la primera reivindicación, en donde cada actuador inercial (7) incorpora un acelerómetro.

55

60

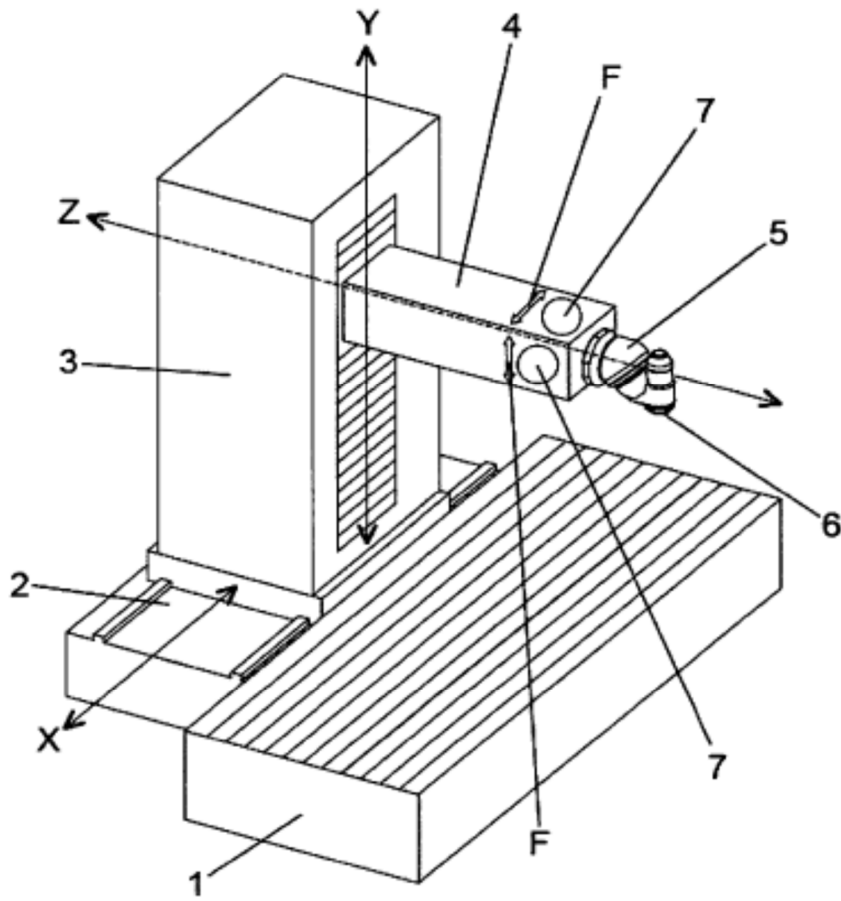


FIG. 1



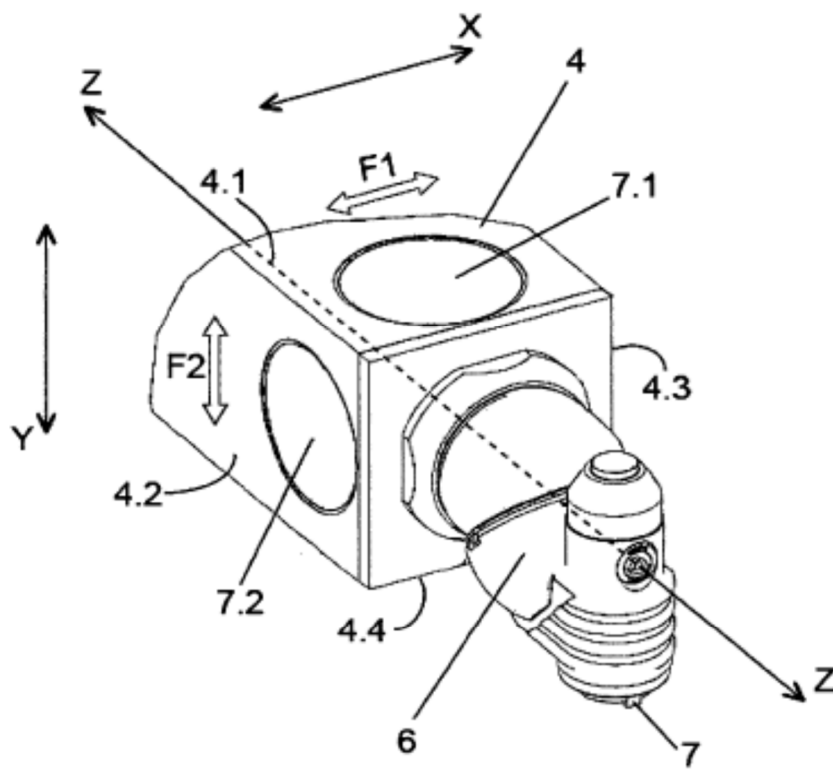
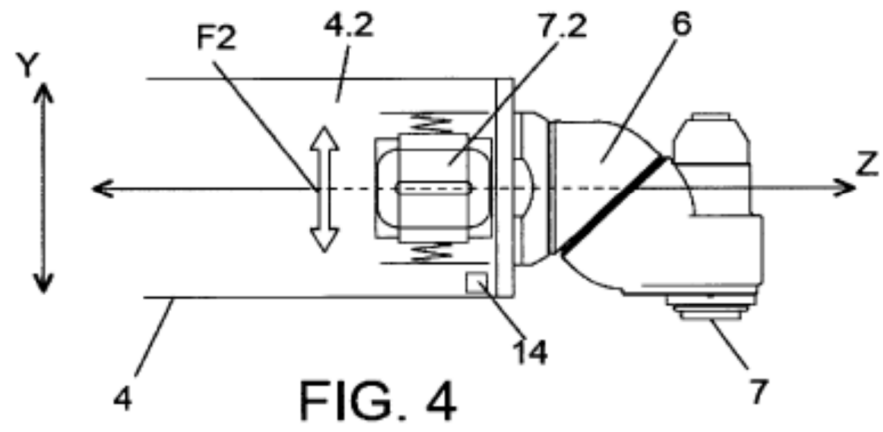
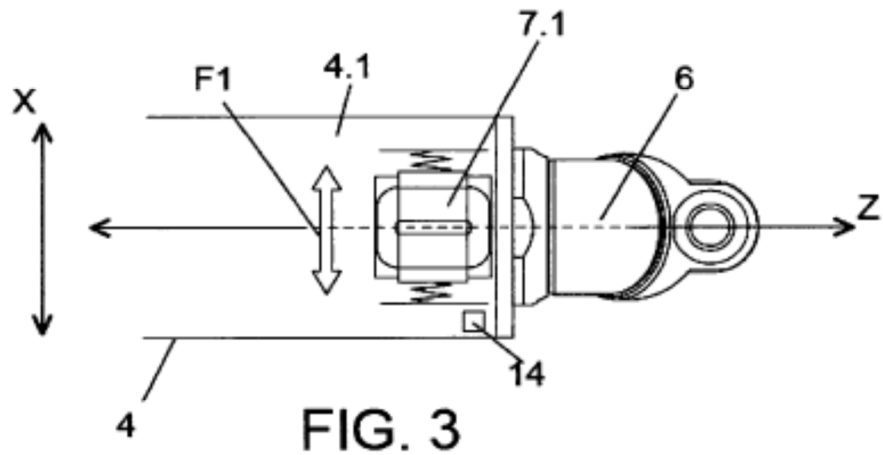
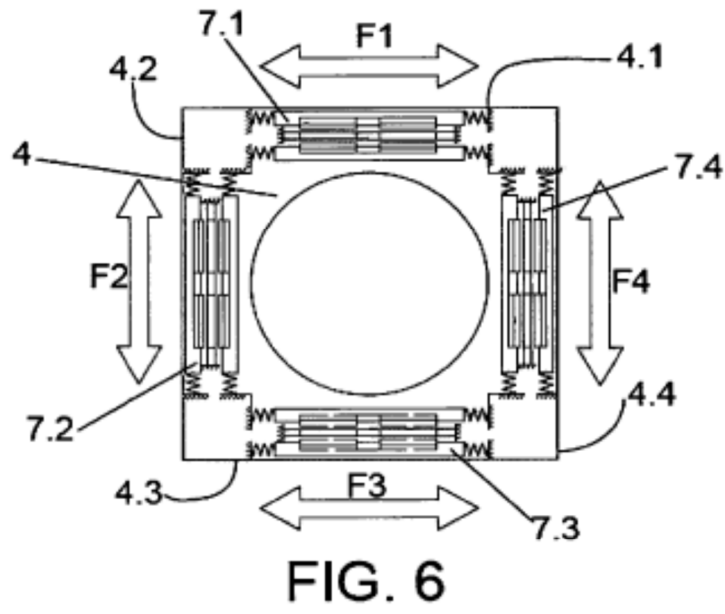
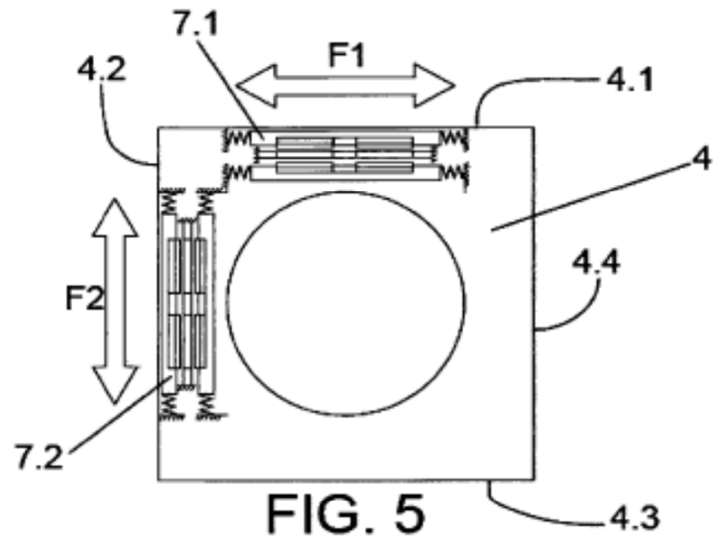


FIG. 2





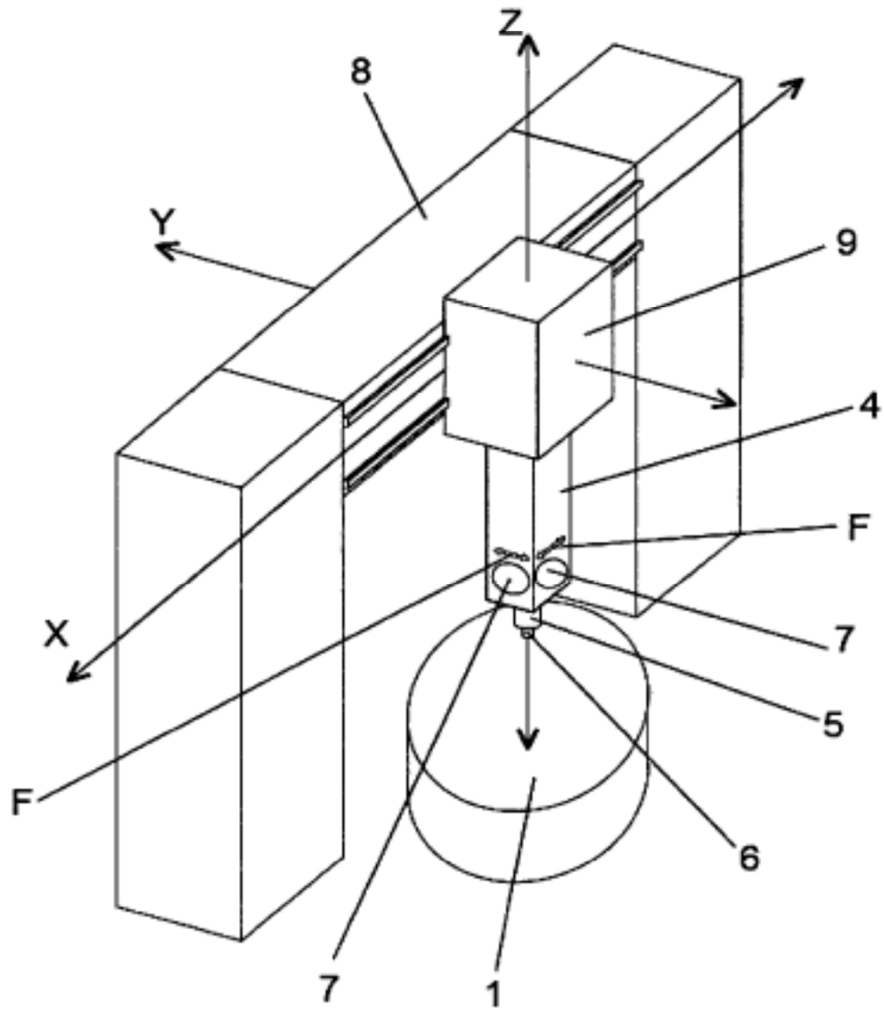


FIG. 7