

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 393**

51 Int. Cl.:

F16M 11/00	(2006.01)
B64G 1/66	(2006.01)
E02B 17/04	(2006.01)
F16F 7/00	(2006.01)
F16M 13/00	(2006.01)
G02B 27/64	(2006.01)
G01C 19/72	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.12.2014 PCT/CA2014/000912**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015 WO15095951**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2014 E 14874655 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 3105492**

54 Título: **Sistema de estabilización de plataforma**

30 Prioridad:

24.12.2013 US 201314140130

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.12.2019

73 Titular/es:

**PV LABS LTD. (100.0%)
1074 Cooke Blvd.
Burlington, ON L7T 4A8, CA**

72 Inventor/es:

LEWIS, MICHAEL D.

74 Agente/Representante:

DÍAZ NUÑEZ, Joaquín

ES 2 734 393 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

Sistema de estabilización de plataforma

5 Campo técnico

[0001] La presente exposición se refiere a los sistemas de estabilización de plataforma, y más particularmente, a los sistemas de estabilización de plataforma para aislar una carga útil de los movimientos angulares y vibraciones de traslación y angulares de una estructura de soporte.

10

Antecedentes

[0002] Los sistemas de estabilización de plataforma han existido durante muchos años, y se utilizan para aislar una carga útil sostenida por la plataforma del movimiento de la estructura que transporta la plataforma. La estructura puede ser un vehículo como un avión, un helicóptero o un automóvil, o una estructura relativamente estática que sigue estando sujeta a algún movimiento, como un poste alto que puede oscilar con el viento. Prácticamente no hay límite a lo que se puede transportar como carga útil de un sistema de estabilización de plataforma, y los sistemas de estabilización de plataforma pueden ser utilizados en una variedad de aplicaciones para cargas útiles, incluidas, pero no limitadas a, cámaras fotográficas y de video (incluyendo cine), dispositivos de imagen electro-ópticos e infrarrojos, espectrómetros, antenas, láseres, e incluso sistemas de armamento. Lo que distingue a esta categoría de tecnología de estabilización de otras es que la plataforma que transporta la carga útil está siendo estabilizada y dirigida en un espacio inercial. La patente estadounidense No. 4.796.090 a nombre de Fraier proporciona una descripción detallada de la necesidad de estabilización de plataforma en sistemas de vigilancia de largo alcance y alta resolución, en combinación con el beneficio de tiempos de integración reducidos.

15

20

25

[0003] Se conocen varias tecnologías para compensar el movimiento de la estructura que soporta una carga útil de sensor, cada una con sus inconvenientes y limitaciones.

[0004] Una aproximación para cargas útiles para captura de imágenes, tales como sistemas de cámaras, es tratar de estabilizar digitalmente la imagen capturada por la carga útil, en vez de estabilizar la propia carga útil. La Publicación de la Solicitud de Patente estadounidense No. 20120019660A1 a nombre de Golán describe el uso del análisis de imágenes secuenciales, ventanas digitales y técnicas de desplazamiento de píxeles como un medio para estabilizar la imagen de manera digital y luego computar las señales de maniobra de la cámara para dirigir un sistema de cardán grueso de balanceo horizontal/vertical. La Patente estadounidense No. 7.876.359 a nombre de VonFlotow describe una técnica de estabilización digital similar, y la Patente estadounidense No. 6.720.994 a nombre de Grottodden et ál. describe una técnica para ajustar el tiempo de muestreo entre líneas individuales de píxeles en la matriz del detector a medida que se captura la imagen. El problema con estas técnicas de estabilización digital es que no se hace nada para compensar el movimiento de la línea de visión de la carga útil durante el período de integración de los píxeles que componen la imagen. Esto puede dar lugar a un desenfoque debido al movimiento en la imagen capturada.

30

35

40

[0005] Otras aproximaciones buscan estabilizar la carga útil en relación a la estructura de soporte mediante la estabilización de la plataforma que soporta la carga útil. Dentro de esta categoría de "sistema de estabilización de plataforma" se encuentran los sistemas pasivos y activos. Un ejemplo de un sistema de estabilización pasivo es el sistema STEADICAM® descrito en las Patentes estadounidense No. 4,017,168 y 4,156,512 a nombre de Brown y la Patente estadounidense No. 5,435,515 a nombre de DiGiulio et ál. Otro sistema pasivo se describe en la Patente estadounidense No. 5,243,370 a nombre de Slater. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de estabilización de plataformas utilizan servomotores, sensores inerciales y un sistema de control para aumentar la inercia inherente de la plataforma, por lo que se denominan sistemas activos.

45

50

[0006] Los sistemas de estabilización de plataformas fueron desarrollados inicialmente para montar instrumentos de navegación en vehículos en movimiento, tales como barcos y aeronaves. Los compases giroscópicos y los giroscopios verticales, como los descritos en la Patente estadounidense No. 2.551.069 a nombre de Strother et ál., son ejemplos tempranos de sistemas de estabilización de plataformas. Eventualmente, las cámaras fotográficas fueron montadas sobre estas plataformas estables para eliminar el movimiento no deseado de los vehículos durante la captura de la imagen, por ejemplo, como se describe en la Patente estadounidense No. 2.490.628 a nombre de Issertedt, la Patente estadounidense No. 2.523.267 a nombre de Aschenbrenner et al, la Patente estadounidense No. 2,883,863 a nombre de Karsten et ál., la Patente estadounidense No. 3.060.824 a nombre de Brenner et ál. y la Patente estadounidense No. 3.775.656 a nombre de Romanos. Sin embargo, las cámaras de cine requerían algo más que estabilidad durante la captura de la imagen; también necesitaban un control de dirección suave entre las imágenes.

55

60

[0007] Se desarrollaron nuevos montajes aislantes, como los enseñados en la Patente estadounidense No. 2.506.095 a nombre de Mantz, para permitir que la cámara fuese dirigida manualmente mientras se atenuaba parte de la vibración del vehículo. Se añadieron giroscopios fijos a las cámaras para mejorar aún más la estabilidad y la

65

suavidad de la dirección. El operador de cámara normalmente se sentaba en la puerta abierta de un helicóptero con la cámara, unida a un soporte aislador con giroscopios fijos que añadían estabilidad, colocada sobre un hombro. El operador de cámara se coordinaba cuidadosamente con el piloto para dirigir la cámara. Esto evidentemente dificultaba bastante encuadrar el sujeto de la película filmada y lograr un control de cámara visualmente agradable.

[0008] A finales de la década de 1960, Westinghouse Canadá desarrolló el sistema de estabilización de plataforma WESCAM® para abordar estos problemas. Este fue el primer sistema de cámara de dirección remota estabilizado por giroscopio disponible en el mercado y es objeto de la Patente estadounidense No 3.638.502 a nombre de Leavitt et ál. Este tipo de tecnología de estabilización se basa en el momento angular generado en tres giróscopos ortogonales de alta velocidad mecánica (volantes de inercia en cardán) para aumentar la inercia natural de la plataforma de la cámara. Esta masa artificial o inercia sintética se utiliza pasivamente para mantener una plataforma estable, ligeramente pendular, con la carga útil (una cámara) siendo dirigida en relación a esa plataforma estabilizada. Un servosistema activo utiliza entonces las velocidades angulares medidas por la precesión de los giroscopios para cancelar cualquier perturbación mediante servomotores. Una armazón domo mantiene fuera el viento y el clima, y un sistema pasivo interno para el aislamiento de vibraciones minimiza la entrada de vibraciones al sistema.

[0009] El previo estado de la técnica para la tecnología de estabilización activa de plataformas puede clasificarse en cuatro tipos generales o "generaciones": sistemas estabilizados por giroscopios (primera generación), sistemas clásicos de cardán activo (segunda generación), sistemas de desplazamiento limitado con seguimiento activo (tercera generación) y sistemas de actuador libre con seguimiento activo (cuarta generación). Dentro de cada generación puede haber diferencias sutiles en los métodos de implementación y las ventajas, sin embargo, las técnicas básicas son las mismas. La tecnología original del sistema de estabilización de plataforma WESCAM® descrita en la patente estadounidense No. 3.638.502 está clasificada como tecnología de estabilización de plataforma de primera generación. Se mejoró aún más y se agregó una ventana esclava verticalmente, como se describe en la Patente estadounidense No. 4.821.043 a nombre de Leavitt, para mejorar el rendimiento óptico del sistema. Otros sistemas de estabilización de plataforma de primera generación se describen en la Patente estadounidense Nº 4.989.466 a nombre de Goodman y en las Patentes estadounidense Nº 5.184.521 y 5.995.758 a nombre de Tyler. Si bien los sistemas de estabilización de plataforma de primera generación alcanzaron una estabilidad significativa, sufrían de un ancho de banda de dirección insuficiente, lo que los hacía incompatibles con los sistemas de seguimiento por vídeo y requerían un operador altamente cualificado para compensar este pobre rendimiento de la dirección.

[0010] Se desarrolló una segunda generación de tecnología de estabilización activa de plataforma para hacer frente al bajo rendimiento de la dirección de los sistemas de estabilización de plataforma de primera generación. Estos sistemas de estabilización de plataforma de segunda generación, denominados "sistemas clásicos de cardán activo", interponen una pluralidad de cardanes entre la estructura y la plataforma y bucles de velocidad cerrados directamente alrededor de cada eje de cardán. Los sensores de velocidad inerciales, como los pequeños giroscopios de detección mecánicos, se utilizan para detectar la velocidad angular de la plataforma en relación con el espacio inercial. Dichas velocidades se suman con los comandos de dirección para estabilizar y dirigir cada eje. La Patente estadounidense No. 3.986.092 a nombre de Tijmsa et ál., la Patente estadounidense No. 5.868.031 a nombre de Kokush et ál., la Patente estadounidense No. 6.396.235 a nombre de Ellington et ál., la Patente estadounidense No. 7.000.883 a nombre de Mercadal et ál., la Patente estadounidense No. 8.100.591 a nombre de Chapman et ál. y la Patente estadounidense No. 8.564.499 a nombre de Bateman et ál. son todos ejemplos de sistemas clásicos de cardán activo. Aunque cada documento de patente describe métodos y ventajas sutilmente diferentes, todos utilizan un sistema de cardanes para soportar una plataforma, mientras se cierran bucles de velocidad directamente alrededor de cada eje de cardán utilizando sensores de velocidad inerciales. El actuador puede ser un motor de accionamiento directo o un motorreductor. El uso de un actuador con engranaje incrementará sustancialmente las fuerzas de acoplamiento, introducirá holguras y limitará el ancho de banda de dirección del sistema. La estructura entre cada uno de los sucesivos ejes del cardán está sometida a los pares de alta frecuencia de los actuadores. El cumplimiento de esta estructura de restricciones limitará el ancho de banda del sistema de control. Por esta razón, los sistemas clásicos de cardán activo son generalmente incapaces de ofrecer un alto rendimiento de ancho de banda con grandes cargas útiles. La Patente estadounidense No. 6.198.452 a nombre de Beheler presenta una geometría de cardán alternativa, no ortogonal, para un sistema de cardán activo clásico, y la Patente estadounidense No. 6.609.037 a nombre de Bless et ál. describe un sistema de control para un sistema de cardán clásico que utiliza bucles retroalimentados de control de velocidad y bucles de control anticipado combinados con la retroalimentación de posición y los bucles de control anticipado para cada uno de los ejes con el fin de mejorar aún más el rendimiento de la dirección. Se mejoró el sistema de cardán activo clásico mediante la adición de un cardán exterior independiente en forma de una cúpula con una ventana esclava verticalmente, como se describe en la Patente estadounidense No. 4.821.043 mencionada arriba, y un aislador pasivo interpuesto entre la cúpula y el sistema de estabilización de plataforma interior. La fricción entre los grandes cojinetes del cardán y las escobillas del motor, combinada con las resonancias estructurales del sistema de restricción del cardán, limitó el rendimiento de estabilización alcanzable con este sistema.

[0011] Con el fin de mejorar aún más la estabilidad de la plataforma con respecto a la lograda por los sistemas clásicos de cardán activo, se desarrolló una tercera generación de sistemas activos de estabilización de plataforma. Dicha generación emplea un cardán interno de mayor ancho de banda y desplazamiento limitado montado en un aislador pasivo, que a su vez está montado sobre la etapa final de un sistema de cardán de seguimiento externo de bajo ancho de banda y gran desplazamiento. Como tal, este tipo de sistema de estabilización de plataforma se conoce como sistema de "desplazamiento limitado - seguimiento activo". El cardán interno proporciona una estabilización de gran ancho de banda y un buen rendimiento de dirección, mientras que el cardán externo proporciona la dirección gruesa sobre un amplio campo de visión. El cardán interno utiliza actuadores de transmisión directa de alto rendimiento y el cardán externo utiliza actuadores de engranaje. Sin embargo, los pares de alta frecuencia transmiten aún a través de la estructura restrictiva de los cardanes internos, pero los cojinetes de los cardanes internos son mucho más pequeños y los motores son típicamente sin escobillas. Mientras que con cargas útiles más pequeñas, y con el uso de giroscopios de fibra óptica, el rendimiento de estabilización de este tipo de sistema de cardán interno/externo es satisfactorio, con cargas útiles grandes el cumplimiento de la estructura de anillo de cardán grande limita el ancho de banda del sistema de estabilización. La Publicación de la Solicitud de Patente estadounidense No. 2010/0171377A1 a nombre de Aicher et al. y la Patente estadounidense No. 8,385,065 a nombre de Weaver et al. son ejemplos recientes de sistemas de estabilización de plataforma de "desplazamiento limitado - seguimiento activo".

[0012] Para abordar las limitaciones de ancho de banda producidas por las resonancias estructurales del sistema de restricción en el sistema de estabilización de plataforma "desplazamiento limitado - seguimiento activo", se desarrolló una cuarta generación de sistemas activos de estabilización de plataforma. Este tipo de sistema, denominado en el presente documento como "actuador libre - seguimiento activo", evita la limitación del ancho de banda del sistema "desplazamiento limitado - seguimiento activo" mediante el uso de un proceso de torsión a lo largo de la estructura de restricción en lugar de a través de ella. Los pares de alta frecuencia se aplican directamente desde el cardán externo a la plataforma. En combinación con una unidad de medición inercial de alto rendimiento basada en giroscopios de fibra óptica, este sistema elevó significativamente el ancho de banda de la dirección, manteniendo al mismo tiempo la estabilidad. Ejemplos de sistemas de estabilización de plataformas de "desplazamiento limitado - seguimiento activo" se describen en las Patentes estadounidense No. 4.033.541 y 4.498.038 a nombre de Malueg, la Patente estadounidense No. 4.828.376 a nombre de Padera, la Patente estadounidense No. 5.368.271 a nombre de Kiunke et al., la Patente estadounidense No. 5.897.223 a nombre de Tritchew et al, la Patente estadounidense No. 6.196.514 a nombre de Kienholz, la Patent estadounidense No. 6.263.160 a nombre de Lewis, las Patentes estadounidense No. 6.454.229 y 6.484.978 a nombre de Voigt et al., y la Patente estadounidense No. 6.849.980 a nombre de Voigt et al. Aunque cada Patente describe métodos y ventajas sutilmente diferentes, todas:

- utilizan un sistema de cardanes intermedios para sostener una plataforma sobre una estructura de soporte, mientras los cardanes limitan el movimiento de la plataforma a una rotación limitada en tres ejes;
- utilizan un conjunto de actuadores de bobina de voz configurados para aplicar pares a lo largo del sistema de restricción del cardán, en lugar de a través de él (a veces en serie sobre el cardán y el conjunto de aisladores); y
- utilizan un conjunto de sensores angulares e inerciales para accionar los motores de bobina de voz para estabilizar y dirigir la plataforma y así controlar la línea de visión de la carga útil.

[0013] Se presenta una configuración de cardán interno alternativa, no ortogonal, en la Patente estadounidense No. 4.733.839 a nombre de Gehris. El espacio limitado disponible entre las armazones alrededor de los pivotes sugiere que su uso previsto sea como un "cardán libre", cabeza buscadora de misiles, o un sistema de estabilización de plataforma de actuador no restringido - seguimiento activo. La Patente estadounidense No. 4.645.320 de la técnica previa revela medios de compensación del movimiento que comprenden, en combinación, medios de soporte estático que acoplan un aparato a una estructura de soporte en una dirección de traslación que incluye un elemento adaptable, elástico, medios de corrección dinámica que incluyen un actuador paralelo a dicho elemento elástico, medios detectores de movimiento, acoplados al aparato para señalar el movimiento del aparato en una dirección de rotación predeterminada, y medios de control de retroalimentación conectados a dichos medios detectores de movimiento y dichos medios de corrección dinámica para generar señales de salida para accionar dichos medios de corrección dinámica de acuerdo con una función predeterminada de dicha salida de los medios detectores de movimiento, por lo cual dicho actuador aplica pares restauradores al aparato para contrarrestar los pares aplicados en la dirección de rotación predeterminada. La Patente estadounidense No. 5.419. 528, la cual se considera el estado de la técnica más cercana, describe un sistema para montar un dispositivo y aislar fuerzas relacionadas con el movimiento del mismo, el sistema comprendiendo un soporte sobre el cual se monta dicho dispositivo, una base, un conjunto de enlaces, un conjunto de medios de conexión para conectar de manera rotativa dicha base y dicho conjunto de enlaces, dicho conjunto de medios de conexión resistiendo el relativo movimiento rotativo entre sí, un conjunto de soportes conectados de manera rotativa a dicho conjunto de enlaces, un anillo externo conectado de manera rotativa a dicho conjunto de soportes, un anillo interno posicionado dentro de dicho anillo externo, dicho soporte posicionado dentro de dicho anillo interno, un primer conjunto de resortes interconectando dichos anillos interno y externo, dicho primer conjunto de resortes permitiendo un grado deseado de movimiento relativo entre dichos anillos interno y externo y un segundo conjunto de resortes interconectando dicho anillo interno y dicho soporte, dicho segundo conjunto de resortes permitiendo un grado deseado de movimiento relativo entre dicho anillo interno y dicho soporte.

[0014] Los principales problemas con el estado actual de la técnica en la tecnología activa de estabilización de plataformas son el coste, la complejidad y la fiabilidad. Los complejos sistemas mecánicos de cardán de las tecnologías existentes están dominados por los costes recurrentes. Estos incluyen tolerancias ajustadas de mecanizado para las zonas de contacto de los cojinetes, la necesidad de realizar inspecciones y pruebas complejas, una alineación precisa y precarga de los cojinetes de los cardanes durante el montaje, y la inspección y el mantenimiento continuos.

Resumen

[0015] La presente memoria describe sistemas de aislamiento de plataforma en los que un conjunto de aislamiento sostiene la plataforma directamente dentro del bastidor de soporte, sin el uso de cardanes intermedios, anillos u otras restricciones de rotación, para proporcionar el aislamiento lineal y permitir que la plataforma gire en relación con el bastidor de soporte.

[0016] Un sistema de estabilización de plataforma para aislar una carga útil del movimiento de una estructura de soporte comprende un bastidor de soporte, una plataforma para transportar una carga útil y una pluralidad de aisladores, cada uno de los cuales se extiende directamente entre el bastidor de soporte y la plataforma. Cada aislador permite el movimiento lineal de la plataforma en relación con el bastidor de soporte con tres grados de libertad y cada aislador permite el movimiento rotativo de la plataforma en relación con el bastidor de soporte con tres grados de libertad. Los aisladores cooperan para formar una matriz de aislamiento que sostiene la plataforma directamente dentro del bastidor de soporte y el conjunto de aislamiento separa la plataforma del bastidor de soporte. El conjunto de aislamiento permite un movimiento lineal limitado de la plataforma en relación con el bastidor de soporte con tres grados de libertad a lo largo de tres ejes ortogonales de la plataforma y el conjunto de aislamiento permite un movimiento rotativo limitado de la plataforma en relación con el bastidor de soporte con tres grados de libertad sobre los tres ejes de plataforma. El conjunto de aislamiento es sustancialmente más resistente al movimiento lineal de la plataforma en relación con el bastidor de soporte que al movimiento rotativo de la plataforma en relación con el bastidor de soporte, y la plataforma no está restringida rotativamente por el conjunto de aislamiento.

[0017] Preferiblemente, el conjunto de aislamiento tiene una frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma que es por lo menos dos veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma. Más preferiblemente, la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma es al menos tres veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma en torno a los ejes de plataforma. Aún más preferiblemente la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma es al menos cinco veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma en torno a los ejes de plataforma, e incluso más preferiblemente la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma es al menos diez veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma en torno a los ejes de plataforma.

[0018] En un modo de realización, cada aislador comprende al menos un resorte de compresión que tiene un eje de resorte respectivo, y para formar el conjunto de aislamiento, los resortes de compresión están dispuestos con sus respectivos ejes de resorte que se extienden sustancialmente hacia afuera desde un punto común dentro de la plataforma, siendo el punto común el barricentro de la masa de la plataforma, y los resortes de compresión están precargados axialmente para producir una baja flecha lateral del resorte. En un modo de realización particular, el conjunto de aislamiento comprende ocho resortes de compresión dispuestos sustancialmente en las esquinas de un cubo teórico y el punto común es un barricentro del cubo teórico. En otro modo de realización particular, el conjunto de aislamiento comprende al menos un conjunto de cuatro resortes de compresión dispuestos sustancialmente en las esquinas de un tetraedro regular teórico y el punto común es un barricentro del tetraedro regular teórico. En otro modo de realización particular, el conjunto de aislamiento comprende seis resortes de compresión que se extienden hacia fuera desde un barricentro de un cubo teórico sustancialmente a través de los barricentros de las seis caras del cubo teórico.

[0019] En ciertos modos de realización, el conjunto de aislamiento comprende una matriz simétrica de resortes de compresión.

[0020] Cuando se utilizan resortes de compresión para los aisladores, los resortes de compresión son preferiblemente resortes de compresión helicoidales, de entradas múltiples y mecanizados.

[0021] En otro modo de realización, cada aislador comprende un elemento pivotante de flexión. Cada elemento pivotante de flexión puede comprender tres pivotes de flexión de un solo eje dispuestos en serie y cada pivote de flexión tiene un eje de pivote. Para cada elemento de pivote de flexión, los ejes pivotantes de cada pivote de flexión se encuentran sustancialmente en un barricentro de la masa de la plataforma y los elementos pivotantes de flexión

están dispuestos en una matriz sustancialmente simétrica para formar el conjunto de aislamiento. Preferentemente, cada elemento pivotante de flexión es de construcción monolítica.

5 [0022] En otro modo de realización, cada aislador es un aislador basado en diafragma. Cada aislador basado en diafragma puede comprender dos diafragmas opuestos, una primera armazón sostenida por el bastidor de soporte, una segunda armazón sostenida por la plataforma, cada armazón teniendo un receptáculo de diafragma definido en el mismo y siendo los receptáculos de diafragma opuestos entre sí. Cada diafragma es sostenido en su periferia por uno de las armazones y se extiende a lo largo del receptáculo de diafragma de dicho armazón de modo que para cada aislador, uno de los diafragmas está acoplado al bastidor de soporte y el otro diafragma está acoplado a la plataforma. Los diafragmas están acoplados entre sí por un elemento de flexión torsional que se extiende entre los centros radiales de los diafragmas. El elemento de flexión torsional es preferentemente elástico axialmente, y puede ser un resorte helicoidal. Los diafragmas pueden ser, por ejemplo, estructuras elastoméricas moldeadas o estructuras metálicas "bellophragm". Cada aislador basado en diafragma puede comprender además un tope sostenido por el elemento de flexión torsional para limitar el desplazamiento lateral del elemento de flexión torsional.

15 [0023] En un modo de realización particular, cada diafragma es impermeable al fluido y cada armazón coopera con su respectivo diafragma para formar un depósito de amortiguación, estando cada depósito de amortiguación en comunicación fluida con su respectivo depósito sumidero para amortiguar el movimiento axial del diafragma respectivo desplazando el fluido de amortiguación del respectivo depósito de amortiguación al respectivo depósito sumidero. En una implementación particular de este modo de realización, cada armazón coopera con su diafragma respectivo para formar un recinto y un tabique se extiende a lo largo cada recinto para dividir el recinto respectivo en el depósito de amortiguación y el depósito sumidero, con cada depósito de amortiguación estando en comunicación fluida con el depósito sumidero respectivo a través de al menos un orificio en el tabique respectivo.

20 [0024] El sistema de estabilización de plataforma comprende preferiblemente un sistema de accionamiento activo que actúa directamente entre el bastidor de soporte y la plataforma y un sistema de control acoplado al sistema de accionamiento activo para recibir la entrada del sensor y controlar el sistema de accionamiento activo en respuesta a la entrada del sensor. El sistema de control puede utilizar la entrada del sensor para controlar el sistema de accionamiento activo para un movimiento estable de la plataforma y/o controlar el sistema de accionamiento activo para una amortiguación activa de la plataforma.

25 [0025] En un modo de realización, el sistema de accionamiento activo comprende un conjunto de al menos tres actuadores magnéticos de bobina de voz. Cada actuador magnético de bobina de voz comprende una primera parte sostenida por el bastidor de soporte y una segunda parte sostenida por la plataforma. Cada actuador de bobina de voz magnético actúa directamente entre el bastidor de soporte y la plataforma para aplicar una primera fuerza de posicionamiento de plataforma a la plataforma a lo largo de un primer eje motor y para aplicar una segunda fuerza de posicionamiento de plataforma a la plataforma a lo largo de un segundo eje motor, permitiendo al mismo tiempo el libre movimiento lineal de la plataforma a lo largo de un tercer eje motor y permitiendo la libre rotación de la plataforma en torno a los tres ejes motor, siendo el primero, el segundo y el tercer ejes motor sustancialmente ortogonales entre sí. Los actuadores magnéticos de bobina de voz están dispuestos en relación con la plataforma para accionar selectivamente el movimiento lineal de la plataforma en relación con el bastidor de soporte a lo largo de los ejes de plataforma, y para accionar selectivamente la rotación de la plataforma en relación con el bastidor de soporte en torno a los ejes de plataforma, y el sistema de control controla la energización de los actuadores de bobina de voz para aplicar momentos y fuerzas lineales controladas a la plataforma. En un modo de realización particular, el sistema de accionamiento activo comprende cuatro actuadores magnéticos de bobina de voz dispuestos aproximadamente a 90 grados sobre la circunferencia de un círculo teórico.

35 [0026] En otro modo de realización, el sistema de accionamiento activo comprende un conjunto de al menos seis actuadores magnéticos de bobina de voz. Cada actuador magnético de bobina de voz comprende una primera parte sostenida por el bastidor de soporte y una segunda parte sostenida por la plataforma. Cada actuador magnético de bobina de voz actúa directamente entre el bastidor de soporte y la plataforma para aplicar una primera fuerza de posicionamiento de plataforma a la plataforma a lo largo de un primer eje motor mientras que permite el movimiento lineal libre de la segunda porción a lo largo del segundo y tercer ejes motor, así como la libre rotación de la segunda porción alrededor del segundo y tercer ejes motor, siendo el primer, segundo y tercer ejes sustancialmente ortogonales entre sí. Los actuadores magnéticos de bobina de voz están dispuestos en relación con la plataforma para accionar selectivamente el movimiento lineal de la plataforma en relación con el bastidor de soporte a lo largo de los ejes de plataforma y para accionar selectivamente la rotación de la plataforma en relación con el bastidor de soporte en torno a los ejes de plataforma, y el sistema de control controla la energización de los actuadores de bobina de voz para aplicar momentos y fuerzas lineales controladas a la plataforma.

40 [0027] El sistema de estabilización de plataforma puede comprender además un sistema de sensor angular para detectar y proporcionar una señal indicativa de una posición angular de la plataforma en relación con el bastidor de soporte en torno a los ejes de plataforma, con el sistema de sensor angular acoplado al sistema de control.

[0028] El sistema de estabilización de plataforma puede comprender además un sistema de sensor de posición lineal para detectar y proporcionar una señal indicativa de la posición lineal de la plataforma en relación con el bastidor de soporte sobre los ejes de plataforma, con el sistema de sensor de posición lineal acoplado al sistema de control.

5 [0029] En un modo de realización, la plataforma lleva por lo menos tres sensores de velocidad inerciales para detectar y proporcionar una señal indicativa del movimiento angular de la plataforma alrededor de los ejes de plataforma, con los sensores de velocidad inerciales acoplados al sistema de control. Los sensores de velocidad inerciales pueden ser giroscopios de fibra óptica.

10 [0030] En un modo de realización, la plataforma incluye por lo menos tres sensores de aceleración inerciales para detectar y proporcionar una señal indicativa del movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma, con los sensores de aceleración inerciales acoplados al sistema de control.

15 [0031] El sistema de estabilización de plataforma puede comprender además una unidad de medición inercial para detectar y proporcionar señales indicativas del movimiento lineal y angular de la plataforma en torno a los ejes de plataforma, con la unidad de medición inercial acoplada al sistema de control.

20 [0032] El sistema de estabilización de plataforma puede comprender además un receptor GPS acoplado al sistema de control, y el sistema de control puede contener instrucciones para un sistema de navegación inercial para calcular la posición geográfica en la que una línea de visión de la plataforma intersecta la superficie de la tierra. El sistema de control puede contener instrucciones para cerrar los bucles de control de dirección basados en la geografía para mantener la línea de visión de la plataforma apuntando a una posición geográfica. El sistema de control puede contener instrucciones para calcular los parámetros para graduar y fijar la línea de visión de una carga útil transportada por la plataforma, dentro de su rango de movimiento limitado, a fin de limitar, durante un período de integración de imágenes de la carga útil, el movimiento de rotación relativo de la línea de visión de la carga útil con respecto a la tierra causado por el movimiento de rotación de una aeronave en órbita que lleva el sistema de estabilización de plataforma.

30 [0033] El bastidor de soporte del sistema de estabilización de la plataforma puede ser transportado por un conjunto de cardán exterior.

[0034] Un método para aislar una carga útil del movimiento de una estructura de soporte consiste en permitir un movimiento lineal limitado de la plataforma en relación con el bastidor de soporte con tres grados de libertad a lo largo de tres ejes ortogonales de la plataforma, permitir un movimiento rotativo limitado de la plataforma en relación con el bastidor de soporte con tres grados de libertad en torno a los tres ejes de plataforma, y proporcionar una resistencia sustancialmente mayor al movimiento lineal de la plataforma en relación con el bastidor de soporte que al movimiento rotativo de la plataforma en relación con el bastidor de soporte sin que se restrinja la plataforma de manera rotativa.

40 Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características se harán más evidentes en la siguiente descripción, en la que se hace referencia a los dibujos adjuntos en los que:

45 La FIGURA 1 es una vista en perspectiva explosionada de un sistema de estabilización de plataforma ejemplar;

50 FIGURA 2a es una vista transversal frontal del sistema de estabilización de plataforma de la Figura 1 sin el conjunto de sensores;

La FIGURA 2b es una vista transversal angular del sistema de estabilización de plataforma de la Figura 1 sin el conjunto de sensores;

55 La FIGURA 3a muestra un modelo matemático simplificado de un resorte;

La FIGURA 3b es un gráfico que muestra el fenómeno de inestabilidad columnar de un resorte de compresión adecuado para el uso en el conjunto de aislamiento del sistema de estabilización de plataforma de la Figura 1;

60 La FIGURA 3c es un gráfico que muestra las características rotativas de un modo de realización ejemplar del conjunto de aislamiento del sistema de estabilización de plataforma de la Figura 1; la FIGURA 3d muestra un modelo matemático simplificado para un aislador basado en diafragma;

65 La FIGURA 4a es una representación esquemática de un primer conjunto de aislamiento cúbico;

La FIGURA 4b es una representación esquemática de un conjunto de aislamiento tetraédrico;

La FIGURA 4c muestra dos vistas en perspectiva de un aislador de elemento pivotante de flexión ejemplar;

La FIGURA 4d es una vista transversal de un aislador basado en diafragma;

La FIGURA 4e es una representación esquemática de un conjunto de aislamiento tetraédrico ejemplar que comprende una pluralidad de aisladores de elementos pivotantes de flexión de la Figura 4c;

La FIGURA 4f es una representación esquemática de un conjunto de aislamiento tetraédrico ejemplar que comprende una pluralidad de los aisladores basados en diafragma de la Figura 4d;

La FIGURA 4g es una representación esquemática que muestra cómo el conjunto de aislamiento cúbico mostrado en la Figura 4a puede considerarse que está compuesto de dos conjuntos de aislamiento tetraédricos de igual tamaño como los de la Figura 4b, superpuestos el uno al otro con uno de los conjuntos de aislamiento tetraédricos rotado 180 grados con respecto al otro;

La FIGURA 4h es una representación esquemática de un segundo conjunto de aislamiento cúbico;

La FIGURA 5a muestra las posiciones y orientaciones relativas de los actuadores de la bobina de voz en un sistema de accionamiento activo ejemplar que comprende cuatro actuadores de bobina de voz de dos ejes;

La FIGURA 5b muestra las posiciones y orientaciones relativas de los actuadores de la bobina de voz en un sistema de accionamiento activo ejemplar que comprende seis actuadores de bobina de voz de un eje;

La FIGURA 5c muestra las posiciones y orientaciones relativas de los actuadores de la bobina de voz en un sistema de accionamiento activo ejemplar que comprende tres actuadores de bobina de voz de dos ejes;

FIGURA 6a es una vista en perspectiva detallada de un actuador de bobina de voz de dos ejes ejemplar;

FIGURA 6b es una vista detallada del actuador de bobina de voz de la Figura 6a integrado en una estructura de montaje ejemplar que está posicionada de acuerdo con las proyecciones de montaje de la estructura de soporte del sistema de estabilización de plataforma de la Figura 1;

La FIGURA 7 es un gráfico que compara sistemas de aislamiento ejemplares no amortiguados y amortiguados pasivamente con un sistema de aislamiento ejemplar amortiguado activamente tal y como se describe en el presente documento;

La FIGURA 8 es un diagrama esquemático del sistema de estabilización de plataforma de la Figura 1 que incluye el sistema de accionamiento activo y el sistema de control;

La FIGURA 9a muestra el sistema de estabilización de plataforma de la Figura 1 instalado en un primer conjunto de cardán exterior de dos ejes;

La FIGURA 9b muestra el sistema de estabilización de plataforma de la Figura 1 instalado en un conjunto de cardán exterior de tres ejes;

La FIGURA 9c muestra el sistema de estabilización de plataforma de la Figura 1 instalado en un segundo conjunto de cardán exterior de dos ejes; y

La FIGURA 10 es un diagrama de bloques que muestra un sistema informático ejemplar que puede ser utilizado en la implementación de aspectos de la tecnología actual.

Descripción detallada

[0036] La presente memoria describe varios modos de realización ejemplares de un sistema de estabilización de plataforma para aislar una carga útil del movimiento de una estructura de soporte, como una aeronave u otro vehículo o un emplazamiento fijo sujeto a movimiento, por ejemplo causado por el viento. El sistema de estabilización de plataforma consta generalmente de un bastidor de soporte, una plataforma adaptada para soportar una carga útil y una pluralidad de aisladores, cada uno de los cuales se extiende directamente entre el bastidor de soporte y la plataforma, y también comprende preferentemente un sistema de accionamiento activo que actúa directamente entre el bastidor de soporte y la plataforma. Tal como se utiliza en el presente documento, el término "aislador" significa un dispositivo que conecta dos masas y cuya estructura actúa para desacoplar los movimientos

vibratorios de cada masa. Como tal, un único aislador puede comprender un elemento de aislamiento o una pluralidad de elementos de aislamiento acoplados entre sí para operar sincronizados. Los aisladores cooperan para formar un conjunto de aislamiento, preferiblemente un conjunto de aislamiento independiente de la inclinación, que soporta la plataforma directamente dentro del bastidor de soporte y en el que la plataforma no está restringida rotativamente por el conjunto de aislamiento. El término "conjunto de aislamiento", tal como se utiliza en el presente documento, se refiere a un conjunto de aisladores separados espacialmente y configurados para soportar una masa montada sobre otra masa de forma que los movimientos vibratorios de las masas se desacoplen entre sí. El término "directamente entre el bastidor de soporte y la plataforma" y términos similares, tal como se utilizan en el presente documento en referencia a los aisladores y al sistema de accionamiento activo y sus componentes, significa que, aparte de los aisladores y los componentes activos del sistema de accionamiento, no hay cardanes, anillos u otras estructuras que limiten el movimiento entre la plataforma y la estructura de soporte. Del mismo modo, el término "que soporta la plataforma directamente dentro del bastidor de soporte", tal como se utiliza en referencia al conjunto de aislamiento, significa que es el conjunto de aislamiento solo el que soporta la plataforma dentro del bastidor de soporte, sin el uso de cardanes, anillos u otras restricciones de rotación intermedias; es decir, sólo los aisladores soportan la plataforma dentro del bastidor de soporte y la plataforma, por lo demás, no está soportada dentro del bastidor de soporte. Por ejemplo, mientras que el cableado eléctrico puede extenderse entre la plataforma y el bastidor de soporte, dicho cableado no soporta la plataforma dentro del bastidor de soporte. Aunque la plataforma y el bastidor de soporte incluirán elementos para montar los aisladores y los componentes activos del sistema de accionamiento, cuando se monta el sistema de estabilización de plataforma, estos elementos son generalmente fijos en relación con la plataforma y el bastidor de soporte, respectivamente. Por lo tanto, al interpretar los términos "directamente entre el bastidor de soporte y la plataforma" y "que soporta la plataforma directamente dentro del bastidor de soporte", estos elementos de montaje pueden considerarse parte de la plataforma y del bastidor de soporte, respectivamente. Además, los términos "plataforma" y "bastidor de soporte", tal como se utilizan en el presente documento, no abarcan las estructuras que incluyen los cardanes, anillos u otras restricciones de rotación como parte de un acoplamiento mecánico entre el bastidor de soporte y la plataforma. Además, el término "restringido a la rotación", tal como se utiliza en el presente documento, se refiere a una condición en la que el movimiento de un cuerpo en relación con otro se limita a la rotación en torno a uno o más ejes sin un movimiento lineal significativo; la disposición mecánica que hace que un cuerpo esté sujeto a restricción a la rotación en relación con otro se denomina en el presente documento "restricción a la rotación". En este contexto, el término "movimiento lineal significativo" significa movimiento lineal más allá de lo permitido por las tolerancias inherentes a la restricción de rotación. Los cardanes y anillos utilizados en los sistemas de estabilización de plataformas convencionales son ejemplos de restricciones a la rotación. Cuando un cuerpo no está sujeto a restricciones a la rotación en relación con otro cuerpo, puede decirse que está "sin restricciones a la rotación". El término "restricción a la rotación" se refiere al acto de imponer una restricción a la rotación. Así, los sistemas de soporte de plataforma tal y como se describen en el presente documento evitan el arreglo convencional en el que se dispone una restricción rotativa en serie con una estructura de aislamiento lineal; en cambio los conjuntos de aislamiento descritos en el presente documento soportan la plataforma directamente dentro del bastidor de soporte y no restringen la plataforma de manera rotativa.

[0037] Ahora se hace referencia a la Figura 1, en la cual un primer sistema de estabilización de plataforma ejemplar se indica generalmente con la referencia 100. El sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100 consta de un bastidor de soporte 102 y una plataforma 104 que soporta una carga útil en forma de un conjunto de sensores 106, cuatro estructuras de montaje 108 fijadas al conjunto de sensores 106 a intervalos de 90 grados aproximadamente, y una unidad de medición inercial 110 colocada en la plataforma 104. Por lo tanto, las estructuras de montaje 108 y la unidad de medición inercial 110 forman parte de la plataforma 104 al estar montadas en el conjunto de sensores 106. Uno o más sensores dentro del conjunto de sensores 106 pueden ser dirigibles independientemente en relación con el conjunto de sensores 106 y, por lo tanto, pueden ser dirigibles independientemente en relación con la plataforma 104. Aunque el mecanismo de dirección dentro del conjunto de sensores 106, u otros elementos de la carga útil, pueden incluir restricciones a la rotación como parte de sus mecanismos, estas restricciones a la rotación no formarían parte de un acoplamiento mecánico entre el bastidor de soporte y la plataforma.

[0038] En los campos aeroespacial y de navegación se utiliza normalmente el sistema de coordenadas "NED", en el que los ejes X, Y y Z se asignan al Norte, Este y Abajo. Esto se extiende a una aeronave como X, Y y Z, donde la dirección positiva del eje X es a lo largo del fuselaje hacia el morro, el eje Y es perpendicular al eje X y positivo en la dirección del ala derecha y el eje Z es perpendicular a los ejes X e Y positivo en la dirección descendente durante el vuelo nivelado. Este marco de referencia de coordenadas se extiende a un sistema de estabilización de plataforma, siendo el eje X generalmente la línea de visión de la carga útil, el eje Y hacia el lado derecho de la carga útil en relación con la línea de visión, y el eje Z hacia la parte inferior de la carga útil en relación con la línea de visión. Esto significa que el eje X es el eje de balanceo, el eje Y es el eje de cabeceo y el Z es el eje de guiñada. Los términos "eje de plataforma" y "ejes de plataforma", tal como se utilizan en el presente documento, se refieren a estos ejes de balanceo (X), cabeceo (Y) y guiñada (Z), que se mantienen fijos en relación con el bastidor de soporte para proporcionar un marco de referencia de coordenadas para el movimiento de la plataforma en relación con el bastidor de soporte, y las designaciones X_p , Y_p y Z_p se utilizan para indicar los ejes de balanceo (X), cabeceo (Y) y guiñada (Z), respectivamente. Un experto en la técnica apreciará que al implementar un sistema de control 142, se puede utilizar un marco de referencia diferente; por ejemplo, los ejes de balanceo (X), cabeceo (Y) y guiñada (Z) pueden mantenerse fijos en relación con la plataforma.

[0039] La estructura portante a la que se fija el bastidor de soporte 102 puede ser transportada por un vehículo como una aeronave o una estructura fija suficientemente alta, y el conjunto de sensores 106 puede ser, por ejemplo, un sistema de formación de imágenes u otro conjunto de sensores. Los accesorios delanteros y traseros 112, 114, respectivamente, pueden ser montados en el bastidor de soporte 102 para proporcionar un recinto aislado del ambiente. En el cuerpo ilustrado, los componentes electrónicos para un sistema de control 142, que se describe más adelante, se colocan dentro de los conjuntos electrónicos de estabilización de plataforma superior e inferior 116A y 116B en el bastidor de soporte 102. En los modos de realización alternativos el sistema de control puede colocarse fuera del recinto, o parcialmente dentro y parcialmente fuera del recinto. Todo el sistema de estabilización de plataforma 100 puede asegurarse a una estructura de soporte como un conjunto de cardán externo, como es conocido en la técnica, que se configura para permitir al bastidor de soporte 102 una gran cantidad de movimiento angular relativo al mismo sobre al menos uno, pero preferentemente dos o tres ejes ortogonales. La Figura 9a muestra el sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100 instalado en un primer conjunto de cardán externo de guiñada/cabeceo (o acimut/elevación) de dos ejes 118a, la Figura 9b muestra el sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100 instalado en un conjunto de cardán externo de guiñada/balaneo/cabeceo de tres ejes 118b, y la Figura 9c muestra el sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100 instalado en un segundo conjunto de cardán externo de guiñada/cabeceo de dos ejes 118c, que es una configuración de cardán externo de balanceo/cabeceo de dos ejes que "mira hacia abajo". Así, en ciertos modos de realización preferidos, el bastidor de soporte 102 es sostenido por un conjunto de cardán externo 118a, 118b, 118c. En particular, los conjuntos de cardanes externos se utilizan para la dirección menos precisa del sistema de estabilización de plataforma 100 y, por lo tanto, de la plataforma estabilizada 104, y no es necesario que proporcionen ninguna función de estabilización.

[0040] La plataforma 104 es sostenida por el bastidor de soporte 102 a través de una pluralidad de aisladores 120. En el ejemplo mostrado en la Figura 1, los aisladores 120 son resortes de compresión dispuestos con sus respectivos ejes de resorte 120A que se extienden sustancialmente hacia el exterior desde un punto común A dentro de la plataforma 104 y que se extienden directamente entre el bastidor de soporte 102 y la plataforma 104. El punto común A es el barricentro de masa de la plataforma 104, que incluye la masa del conjunto de sensores 106. Los ejes de resorte 120A se muestran más claramente en las Figuras 2a y 2b, que muestran, respectivamente, vistas transversales frontales y laterales angulares del sistema de estabilización de plataforma 100 con el conjunto de sensores 106 desmontado.

[0041] Cada aislador 120 permite el movimiento lineal de la plataforma 104 respecto al bastidor de soporte 102 con tres grados de libertad y también permite el movimiento rotativo de la plataforma 104 respecto al bastidor de soporte 102 con tres grados de libertad. Los aisladores 120 cooperan para formar un conjunto de aislamiento sustancialmente simétrico 124 que soporta la plataforma 104 directamente dentro del bastidor de soporte 102 y proporciona seis grados de libertad a la plataforma 104, en relación con el bastidor de soporte 102. El conjunto de aislamiento 124 es preferiblemente independiente de la inclinación. Tal como se utiliza en el presente documento, el término "independiente de la inclinación" se refiere a una disposición en la que los límites de desplazamiento en todas las direcciones superan sustancialmente 1G para el conjunto del sistema de aislamiento en su totalidad.

[0042] El conjunto de aislamiento 124 separa la plataforma 104 del bastidor de soporte 102 para que la plataforma 104 pueda moverse dentro del bastidor de soporte, y proporciona un aislamiento pasivo del movimiento de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102. La plataforma 104 no está limitada rotativamente por los aisladores ejemplares 120 o por el conjunto de aislamiento ejemplar 124 formado por los aisladores 120.

[0043] Como se muestra esquemáticamente en la Figura 4a, en el sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100 mostrado en la Figura 1, el conjunto de aislamiento 124 es un conjunto de aislamiento cúbico que comprende ocho resortes de compresión sustancialmente idénticos 120 dispuestos en las esquinas de un cubo teórico C, que se extienden sustancialmente hacia el exterior desde el barricentro A del cubo teórico C. En otros modos de realización, el conjunto de aislamiento puede comprender una disposición diferente de resortes de compresión como aisladores, con una modificación adecuada del equipamiento asociado. Por ejemplo, la Figura 4b muestra una representación esquemática de un conjunto de aislamiento tetraédrico 424 que comprende un conjunto de cuatro resortes de compresión 120 dispuestos en las esquinas de un tetraedro regular teórico T, con los resortes de compresión 120 que se extienden sustancialmente hacia el exterior desde el barricentro M del tetraedro regular teórico T. El conjunto de aislamiento cúbico que se muestra en la figura 4a puede considerarse compuesto por dos conjuntos de aislamiento tetraédricos de igual tamaño 424, como se muestra en la figura 4b, superpuestos uno encima del otro con uno de los conjuntos de aislamiento tetraédricos 424 girado 180 grados en relación con el otro, como se muestra en la figura 4g, y puede utilizarse cualquier combinación adecuada de conjuntos de aislamiento tetraédricos. Otras configuraciones de aislador simétricas serán evidentes a un experto en la técnica, ahora informado por la presente revelación. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 4h, un conjunto de aislamiento 424h puede comprender seis aisladores 420h que se extienden hacia el exterior desde el barricentro A del cubo teórico C a través de los centros AF de las seis caras F del cubo teórico C. Así, donde los resortes de compresión están utilizados como aislantes, los ejes de resorte preferentemente se extienden sustancialmente hacia el exterior desde un punto común dentro de la plataforma para producir un conjunto de resortes sustancialmente equilibrado que se disponen opuestos el uno al otro de modo que el conjunto de aislamiento 424h es independiente de la inclinación y tiene sustancialmente la

misma fuerza de resorte para el movimiento lineal a lo largo de los ejes de plataforma X, Y y Z (ver Figura 1). Consiguientemente, un conjunto de aislamiento puede comprender cualquier arreglo simétrico de resortes de compresión dispuestos de modo que sus ejes de resorte se extienden sustancialmente hacia afuera desde un punto común dentro de la periferia de la plataforma. El punto común será generalmente, o estará muy cerca de, el barricentro de masa de la plataforma con la carga útil instalada.

[0044] Los resortes de compresión 120 que se muestran como aislantes en el primer sistema ejemplar de estabilización de plataforma 100 son preferiblemente resortes de compresión helicoidales de entrada múltiple mecanizados, que son estructuras monolíticas mecanizadas para formar dos o más elementos de resorte que funcionan en paralelo. Como tal, un resorte de compresión helicoidal de entrada múltiple puede considerarse como una pluralidad de elementos de resorte individuales que actúan en conjunto. Los resortes de compresión 120 están precargados axialmente para producir una baja constante de resorte lateral positiva, de modo que el conjunto de aislamiento 124 tiene una baja rigidez rotativa en comparación con su moderada rigidez lineal. Esto se logra explotando un fenómeno de inestabilidad columnar en los resortes de compresión.

[0045] La figura 3a muestra un modelo matemático simplificado 300 de un resorte, en el cual:

K_a es la constante de resorte axial;

K_l es la constante de resorte lateral;

K_b es la constante de resorte a la flexión;

K_t (no se muestra en la Figura 3a) es la constante de resorte a la torsión

x es el desplazamiento lateral;

z es la altura de trabajo;

L es la longitud en reposo (no se muestra - la longitud en reposo es una especificación estándar para resortes);

l es la longitud;

θ es la inclinación de la línea central; y

Θ es la inclinación final.

En el modelo matemático simplificado 300 de la figura 3a, se aplican las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Precarga } F_a &= K_a (L - l) \\ \text{Lateral } F_l &= F_a \sin \Theta + K_l x + K_b (\Theta/z) + K_b (l/z) \end{aligned}$$

[0046] A medida que la relación entre la longitud de un resorte y su diámetro aumenta, cuando se aumenta la precarga del resorte, la fuerza de resorte lateral disminuirá como se muestra en la Figura 3b, basándose en el modelo matemático del resorte que se muestra en la Figura 3a. Las curvas de precarga que cruzan el eje X, y por lo tanto tienen valores Y negativos, son inestables lateralmente, mientras que las curvas de precarga que no cruzan el eje X, y por lo tanto tienen valores Y positivos, se consideran estables. En las aplicaciones convencionales se evitan normalmente las zonas de funcionamiento en las que la constante de resorte lateral es negativo. Cuando los resortes 120 están dispuestos como se muestra en la Fig. 4a o 4b con los resortes 120 con una constante de resorte negativa, la inestabilidad lateral de cada resorte individual resulta en una inestabilidad rotativa para el conjunto de aislamiento globalmente. Seleccionando una precarga que resulte en una baja constante de resorte lateral positiva para cada resorte 120, es decir, una precarga cercana al eje X pero que no lo cruce, el conjunto de aislamiento 124, 424 puede configurarse para lograr las características lineales moderadas y de baja rotación deseadas, permitiendo a la plataforma 104 un movimiento angular limitado y un movimiento lineal a lo largo de los tres ejes ortogonales de la plataforma X, Y y Z que se muestran en la Figura 1, sin el uso de cardanes o anillos de cardán y sus accesorios mecánicos asociados. Así, el conjunto de aislamiento 124, 424 permitirá un movimiento lineal limitado de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102 con tres grados de libertad a lo largo de los ejes de plataforma X_p , Y_p y Z_p y permitirá un movimiento de rotación limitado de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102 con tres grados de libertad en torno a los ejes de plataforma X_p , Y_p y Z_p , y es sustancialmente más resistente al movimiento lineal de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102 que al movimiento rotativo de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102.

[0047] Preferiblemente, un conjunto de aislamiento para su uso en un sistema de estabilización de plataforma, como los conjuntos de aislamiento 124, 424 descritos anteriormente y los conjuntos de aislamiento 424C, 424D descritos a

continuación, configurado para una rigidez lineal determinada, tiene una frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P que es al menos dos veces una frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma en torno a los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . Más preferiblemente, la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P es al menos tres veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma en torno a los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . Aún más preferiblemente la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P es al menos cinco veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativa de la plataforma en torno a los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P , y aún más preferiblemente la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P es al menos diez veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativa de la plataforma en torno a los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . Mientras que la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P puede necesitar un ajuste para adaptarse a una aplicación particular, la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma en torno a los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P debe ser lo más baja posible en la práctica. Sin embargo, no es necesario aumentar la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P más allá de las exigencias de la aplicación para obtener únicamente una relación de rigidez lineal a rotacional.

[0048] La Figura 3c muestra las características rotativas de un modo de realización ejemplar del conjunto de aislamiento representado en las Figuras 1 y 4a. En este ejemplo, los aisladores individuales 120 fueron cada uno resortes mecanizados de entrada doble con una constante de resorte axial de aproximadamente 180 lb/pulg., una constante de resorte lateral de aproximadamente 30 lb/pulg. y de aproximadamente 10 lb/pulg. cuando están precargados, una constante de resorte de flexión de aproximadamente 0,35 inlb/deg, una constante de resorte torsional de aproximadamente 0,25 inlb/deg. y una relación de longitud libre a diámetro de aproximadamente 3,7. El peso de la carga útil de prueba era de unas 20 libras. Esto dio como resultado un sistema con una frecuencia natural no amortiguada de unos 15 Hz para el movimiento lineal a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P y de unos 1,5 Hz para el movimiento rotativo de la plataforma en torno a los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P ; por lo tanto, la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P es al menos diez veces superior a la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . Estas son características adecuadas para un sistema de estabilización de plataforma aerotransportada.

[0049] Como se puede ver en la Figura 1, cada uno de los aisladores 120 se extiende directamente entre el bastidor de soporte 102 y la plataforma 104, que incluye las cuatro estructuras de montaje 108. Como se ha indicado anteriormente, mientras que la plataforma y la estructura de soporte pueden incluir elementos para el montaje de los aisladores, como las estructuras de montaje 108 y los salientes de montaje 128, estos componentes forman parte de la plataforma y de la estructura de soporte y, además, no limitan el movimiento de la plataforma.

[0050] Como se ve mejor en la Figura 6b, aunque también se muestra en la Figura 1, en el ejemplo ilustrado, cada una de las estructuras de montaje 108 tiene dedos opuestos que se extienden hacia fuera 126 y el bastidor de soporte 102 incluye cuatro conjuntos de salientes de montaje opuestas que se extienden hacia el exterior 128 cada una espaciada a 90 grados de distancia. Cuando se monta el sistema de estabilización de plataforma 100, los dedos 126 en las estructuras de montaje 108 y los salientes de montaje 128 están centrados entre sí, de modo que hay pares opuestos de dedos 126 y salientes de montaje 128 dispuestos a/en intervalos de 90 grados a cada lado del bastidor de soporte 102. Los dedos 126 y los salientes de montaje 128 tienen cada uno un hueco para recibir un extremo de uno de los aisladores 120, con los huecos opuestos el uno al otro, y cada aislador 120 se extiende entre un dedo respectivo 126 y un saliente de montaje respectivo 128 y así directamente entre el bastidor de soporte 102 y la plataforma 104.

[0051] El conjunto de aislamiento ejemplar 124, así como los demás conjuntos de aislamiento ejemplares que se describen más adelante, cumplen una doble función dado que proporcionan un aislamiento lineal pasivo con tres grados de libertad, y además funcionan como un pivote de flexión de tres grados de libertad en el sistema de estabilización de plataforma.

[0052] El papel de aislamiento pasivo en los sistemas de estabilización de plataforma es atenuar la entrada de vibración al sistema, reduciendo así la carga de trabajo del sistema de control. El propósito de la amortiguación en el aislador pasivo es limitar la amplificación dinámica en resonancia (ver la Figura 7, que se discute abajo). Las técnicas de amortiguación mecánica funcionan en todas las frecuencias y crean fuerzas de acoplamiento que pueden perturbar la línea de visión de la carga útil. La amortiguación activa puede hacer uso del sistema de control para aplicar la amortiguación utilizando la técnica de "sky hook", que es bien conocida en la técnica. La Patente estadounidense N ° 3.606.233 a nombre de Scharon et ál., La Patente estadounidense N ° 4.531.699 a nombre de Pinson y la Publicación de la Solicitud de patente estadounidense N ° 2008/0158371A1 a nombre de Trescott son ejemplos de amortiguación activa de un aislador pasivo.

[0053] La amortiguación mecánica tradicional no es adecuada para los conjuntos de aislamiento descritos en el presente documento porque se debe evitar la amortiguación a través del pivote rotativo y los conjuntos de aislamiento aquí descritos se extienden directamente entre la plataforma y la estructura de soporte; no hay ningún sistema de cardán en serie para desacoplar la plataforma de manera rotativa de la amortiguación. Como resultado, sería difícil aplicar la amortiguación mecánica al movimiento lineal de la plataforma sin aplicarla también al movimiento rotativo, y la amortiguación rotativa acoplaría fuerzas perturbadoras a la plataforma. La Patente estadounidense No. 5.897.223 a nombre de Tritchew et ál. y la Patente estadounidense No. 7.320.389 a nombre de Meyers et ál. describen el uso de una serie de amortiguadores hidráulicos mecánicos montados en pivotes de rotula para aplicar la amortiguación predominantemente al movimiento lineal del aislador, sin embargo, esto sería inapropiado para el uso en el sistema de estabilización de plataforma descrito en el presente documento debido a que la fricción en los pivotes de rotula acoplaría las fuerzas de rotación perturbadoras a lo largo de la carga útil. Por consiguiente, cuándo se aplica la amortiguación activa a los conjuntos de aislamiento tal y como se enseña en la revelación presente, se utiliza un sistema de accionamiento activo que comprende un conjunto de actuadores de bobina de voz con seis grados de libertad para aplicar fuerzas de amortiguación a los ejes lineales únicamente mientras estabiliza la línea de vista de la plataforma en los tres grados rotativos de libertad. Los aisladores del tipo mostrado en la Figura 4d (que se describe a continuación) son capaces de proporcionar una parte o la totalidad de la amortiguación requerida de forma pasiva.

[0054] Así, el sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100 está compuesto por un sistema de accionamiento activo 140 (ver las figuras 1, 5a y 8) que actúa directamente entre el bastidor de soporte 102 y la plataforma 104, y un sistema de control 142 (ver la figura 8) acoplado al sistema de accionamiento activo 140 para recibir la entrada del sensor y controlar el sistema de accionamiento activo en respuesta a la entrada del sensor. El término "sistema de accionamiento activo", tal como se utiliza en el presente documento, se refiere a un sistema para producir un movimiento controlado de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102. Como se explicará con más detalle abajo, el sistema de control 142 utiliza la entrada del sensor para controlar el sistema de accionamiento activo 140 para la amortiguación activa y el movimiento estable de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102. En el sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100, el sistema de accionamiento activo 140 es un sistema de accionamiento activo con seis grados de libertad que puede accionar selectivamente el movimiento lineal de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102 a lo largo de los ejes ortogonales de la plataforma XP, YP y ZP y puede accionar selectivamente la rotación de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102 en relación con los ejes de plataforma XP, YP y ZP. El uso de un sistema de accionamiento activo de seis grados de libertad en paralelo con un conjunto de aislamiento de seis grados de libertad, como el conjunto de aislamiento 124, permite el uso de aisladores pasivos, e incluso no amortiguados, ya que el sistema de accionamiento también puede proporcionar fuerzas de amortiguación.

[0055] En el modo de realización ilustrado del sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100, el sistema de accionamiento activo 140 comprende cuatro actuadores magnéticos de bobina de voz de dos ejes 144 (ver la figura 5a) dispuestos aproximadamente a 90 grados el uno del otro sobre una circunferencia de un círculo teórico S. Como se ve mejor en las figuras 1, 6a y 6b, cada actuador de bobina de voz magnético 144 comprende una primera parte 144A sostenida por el bastidor de soporte 102 y una segunda parte 144B sostenida por la plataforma 104. En el modo de realización ilustrado, cada actuador de bobina de voz magnética/o 144 comprende una parte de bobina 144A soportada por el bastidor de soporte 102 y una parte de estructura magnética 144B sostenida por la plataforma 104; en otros modos de realización, las posiciones relativas de las partes de bobina y de las partes de estructura magnéticas podrían invertirse. Cada parte de bobina 144A está formada por dos bobinas 144A1, 144A2 (Figuras 6a y 6b) eléctricamente energizables, en forma de bucles dispuestos ortogonalmente entre sí y asegurados a la superficie interior del bastidor de soporte 102 por medio de elementos de retención 146 de la bobina. Cada parte de estructura magnética 144B comprende un par de placas en forma de X separadas entre sí, sostenidas por la plataforma 104, y cada placa 148 tiene uno o más imanes para crear un campo de flujo magnético dentro de un espacio entre las placas 148. Durante el montaje del sistema de estabilización de plataforma 100, las bobinas 144A1, 144A2 y las partes de estructura magnéticas 144B están dispuestas de tal forma que la placa exterior 148 se coloca dentro de los bucles formados por las bobinas 144A1, 144A2 y las partes más internas de los bucles formados por las bobinas 144A1, 144A2 se colocan entre las placas 148. Los actuadores de bobina de voz magnéticos que se muestran y se describen son meramente ejemplares, y también pueden utilizarse otros tipos de actuadores de bobina de voz magnéticos.

[0056] El sistema de control 142 se acopla a los actuadores de bobina de voz magnéticos 144 a través de servo accionamientos de plataforma 180 (Figura 8), que reciben y amplifican las señales de control del sistema de control 142 y transmiten corriente eléctrica a las bobinas respectivas 144A1, 144A2 de los actuadores de bobina de voz magnéticos respectivos 144. Así, el sistema de control 142 puede controlar la energización de los actuadores de bobina de voz magnéticos 144 para aplicar momentos controlados y fuerzas lineales a la plataforma 104.

[0057] Como se muestra en la Figura 6a, cada actuador de bobina de voz magnético 144 tiene dos ejes motor sustancialmente ortogonales M1 y M2 a lo largo de los cuales se puede aplicar una fuerza de posicionamiento de plataforma, pero tiene libertad de movimiento a lo largo del tercer eje motor M3, que es sustancialmente ortogonal a los otros dos ejes motor M1 y M2. Así, cada actuador de bobina de voz magnético 144 actúa entre el bastidor de

soporte 102 y la plataforma 104 para aplicar una primera fuerza de posicionamiento de plataforma a la plataforma a lo largo de su primer eje motor M1 y aplicar una segunda fuerza de posicionamiento de plataforma a la plataforma a lo largo de su segundo eje motor M2, permitiendo al mismo tiempo el libre movimiento lineal de la plataforma a lo largo de su tercer eje motor M3. Al mismo tiempo, cada actuador de bobina de voz magnético 144 permite la rotación libre de la plataforma 104 alrededor de sus tres ejes motor M1, M2 y M3. El término "libre", tal como se utiliza en el contexto del movimiento lineal a lo largo de los ejes motor M1, M2 y M3, debe entenderse como libre dentro del rango limitado de movimiento impuesto por la estructura física del actuador de bobina de voz magnético, incluidos los topes físicos utilizados para imponer dicho rango limitado de movimiento. Además, debe entenderse que el conjunto de aislamiento 124 soporta la plataforma 104 dentro del bastidor de soporte 102 de tal manera que las bobinas 144A1, 144A2 de los actuadores de bobina de voz magnéticos 144 están separadas de las placas 148 de los mismos y como tal los actuadores de bobina de voz magnéticos 144 no proporcionan ninguna función de soporte. Así, los actuadores de bobina de voz magnéticos 144 no soportan la plataforma 104 dentro del bastidor de soporte 102; la plataforma 104 sólo está soportada por el conjunto de aislamiento 124.

[0058] Como se puede ver en las Figuras 1 y 5a, los actuadores magnéticos de bobina de voz 144 están dispuestos con respecto a la plataforma 104 para accionar selectivamente el movimiento lineal de la plataforma 104 con respecto al bastidor de soporte 102 a lo largo de los ejes ortogonales de la plataforma X_P , Y_P y Z_P y para accionar selectivamente la rotación de la plataforma 104 con respecto al bastidor de soporte 102 con respecto a los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . Más particularmente, y refiriéndonos ahora concretamente a la Figura 5a, cuando una corriente pasa a través de la bobina 144A1, crea una fuerza electromotriz a lo largo del eje motor M1. Del mismo modo, cuando una corriente pasa a través de la bobina 144A2, crea una fuerza electromotriz a lo largo del eje M2. El eje motor M3 representa la dirección general del campo de flujo magnético, en el espacio entre las placas 148 de la estructura magnética 144B, que se utiliza para crear estas fuerzas electromotrices. Se puede ver que si la bobina 144A1 de todos los actuadores magnéticos de bobina de voz 144 se energizaran con la misma polaridad de corriente, el vector de fuerza combinado estaría a lo largo del eje de plataforma X_P , paralelo al eje motor M1 de cada actuador magnético de bobina de voz 144. Sin embargo, si la polaridad de la corriente en los dos actuadores magnéticos inferiores de bobina de voz se invirtiera, sus fuerzas estarían en la dirección negativa de cada uno de sus ejes motor M1. Las fuerzas lineales cancelan y crean un momento sobre el eje de plataforma Y_P , que en el modo de realización ejemplar es el eje de cabeceo. Por lo tanto, al cambiar la polaridad de la corriente en las bobinas 144A1, 144A2, el sistema de accionamiento activo 140 puede producir fuerzas lineales y momentos de rotación. Las fuerzas lineales se utilizan para la amortiguación y los momentos de rotación se utilizan para estabilizar la línea de visión, que tiene una aplicación particular cuando la plataforma 104 lleva un conjunto de sensores como carga útil.

[0059] Como se ha indicado anteriormente, en el modo de realización ilustrado se coloca una unidad de medición inercial 110 en la plataforma 104. Como se muestra esquemáticamente en la figura 8, la unidad de medición inercial 110 consta de tres sensores de velocidad inerciales 152, 154, 156, preferiblemente sensores basados en giroscopios de fibra óptica, que proporcionan señales que representan el movimiento angular de la plataforma 104 sobre los ejes de plataforma predeterminados X_P , Y_P y Z_P (ver las figuras 1 y 6a), que se definen en relación con el bastidor de soporte 102. Preferiblemente, como se muestra en la Figura 8, la unidad de medición inercial 110 sostenida por la plataforma 104 también incluye tres sensores de aceleración inercial 158, 160, 162, que proporcionan señales que representan el movimiento lineal de la plataforma 104 a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . Los sensores de velocidad inerciales 152, 154, 156 y los sensores de aceleración inerciales 158, 160, 162 están acoplados al sistema de control 142, y las señales generadas por los sensores de velocidad inerciales 152, 154, 156 y los sensores de aceleración inerciales 158, 160, 162 se envían al sistema de control 142. Así, la unidad de medición inercial 110 está acoplada al sistema de control 142 y puede detectar y proporcionar señales indicativas del movimiento lineal y angular de la plataforma en relación con los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . Aunque en la figura 8 se muestran tres sensores de velocidad inerciales y tres sensores de aceleración inerciales, otros modos de realización pueden incluir más de tres sensores de velocidad inerciales y/o más de tres sensores de aceleración inerciales.

[0060] Preferiblemente, el sistema de estabilización de plataforma 100 también incluye un sistema de sensor de posición 164 sostenido por la plataforma 104 y que comprende un sistema de sensor de ángulo 165 y un sistema de sensor de posición lineal 171. El sistema de sensor de ángulo 165 detecta y proporciona una señal indicativa de la posición angular de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte y está compuesto por tres sensores de posición de ángulo 166, 168 y 170 que proporcionan señales respectivas que representan la posición angular de la plataforma 104 en relación con los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . Análogamente, el sistema de sensores de posición lineal detecta y proporciona una señal indicativa de la posición lineal de la plataforma 104 en relación con el bastidor de soporte 102 y está compuesto por tres sensores de posición lineal 172, 174 y 176 que proporcionan señales respectivas que representan la posición lineal de la plataforma 104 a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . El sistema de sensores de posición 164 también está acoplado al sistema de control 142 para entregarle la entrada del sensor.

[0061] El sistema de control 142 puede utilizar las entradas del sistema de medición inercial 110 y/o del sistema de sensores de posición 164 para accionar los actuadores de bobina de voz magnéticos 144, a través de los servo accionamientos de plataforma 180, para proporcionar una amortiguación activa del movimiento de la plataforma 104

en relación con el bastidor de soporte 102. El sistema de estabilización de plataforma 100 preferentemente incluye además un receptor de sistema de posicionamiento global (GPS) 184 acoplado al sistema de control 142 que están en comunicación entre sí. El receptor GPS 184 puede colocarse en una parte fija (no de guiñada) de un cardán exterior (por ejemplo, el conjunto de cardán exterior 118a, 118b, 118c de la figura 9), o dentro de una aeronave que lleve el sistema de estabilización de plataforma 100. El receptor GPS 184 puede fijarse en la parte superior de la aeronave para tener un buen campo visual de los satélites GPS. Normalmente, el receptor GPS 184 no se colocaría dentro del recinto formado por los accesorios delanteros y traseros 112, 114 y el bastidor de soporte 102 porque el recinto normalmente está blindado electromagnéticamente, pero el receptor GPS 184 puede colocarse dentro de dicho recinto si no está blindado. Por lo tanto, el sistema de control 142 puede implementar un procedimiento de navegación inercial utilizando las señales de la unidad de medición inercial 110 y el receptor GPS 184 para calcular la ubicación geográfica de la intersección de la línea de visión de la carga útil con la superficie de la tierra. En este contexto, el término "la superficie de la tierra" incluye no sólo un punto en la superficie real de la tierra, sino también un punto a una altura especificada por encima de la superficie de la tierra; este punto se denomina a menudo "objetivo". El sistema de control 142 también puede utilizar las señales de la unidad de medición inercial 110 y del receptor GPS 184 para cerrar los bucles de dirección en una posición o un vector geográfico, sin necesidad de utilizar rastreadores automáticos basados en imágenes. Esta dirección basada en la geografía permite que los sistemas de estabilización de plataforma de acuerdo con la presente divulgación operen de forma autónoma para muchas aplicaciones de vigilancia, como la vigilancia persistente en áreas extensas. El sistema de control 142 también contiene instrucciones para calcular los parámetros de dirección necesarios para accionar los actuadores magnéticos de bobina de voz 144 para "graduar" y "fijar" la línea de visión de la carga útil, dentro de su rango de movimiento limitado, para minimizar el movimiento de rotación relativo de la línea de visión con respecto a la tierra, durante el periodo de integración de imágenes de una carga útil dada, causado por el movimiento de rotación de una aeronave en órbita que lleva el sistema de estabilización de plataforma 100. Esto es especialmente adecuado para los generadores de imágenes de recuento de píxeles muy elevado que se utilizan en aplicaciones de vigilancia persistente en áreas extensas.

[0062] Como se ha indicado arriba, todo el sistema de estabilización de plataforma 100 es asegurable a un conjunto de cardán exterior, denotado por la referencia 118 en la Figura 8, y el sistema de control 142 preferiblemente también controla el conjunto de cardán exterior 118. El conjunto de cardán exterior 118 incluye al menos un accionamiento del eje acimutal 186 y un accionamiento del eje de elevación 188, y para un conjunto de cardán exterior de tres ejes también incluirá un accionamiento del eje de balanceo (no mostrado en la Figura 8). El conjunto de cardán exterior 118 también incluye los sensores de velocidad inerciales/es del cardán exterior 192, 194, 196 acoplados al sistema de control 142. El sistema de control 142 está acoplado al accionamiento del eje acimutal 186 y al accionamiento del eje de elevación 188, y al accionamiento del eje de balanceo cuando está presente, a través de uno o más servo accionamientos del cardán exterior 198. El sistema de control 142 recibe señales de control del cardán desde una fuente de entrada de control del cardán 190, tal como un controlador en una aeronave que lleva el sistema de estabilización de plataforma 100 y el conjunto de cardán exterior 118, y también recibe señales de sensores de los sensores de velocidad inerciales del cardán exterior 192, 194, 196, y utiliza esta entrada para accionar el accionamiento del eje acimutal 186 y el accionamiento del eje de elevación 188, así como el accionamiento del eje de balanceo cuando está presente.

[0063] El sistema de control puede ser un ordenador de uso general, un ordenador especializado u otro aparato de procesamiento de datos programable, y funciona como un sistema de ejecución de instrucciones que implementa instrucciones para controlar los actuadores magnéticos de bobina de voz 144 y para controlar el accionamiento del eje acimutal 186 y el accionamiento del eje de elevación 188, así como el accionamiento del eje de balanceo en el caso de un conjunto de cardán exterior de tres ejes. El sistema de control 142 puede implementarse como cualquier combinación adecuada de hardware y software. En el sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100, el sistema de control 142 ejecuta instrucciones que incluyen un algoritmo de control de estabilización de plataforma 202, un algoritmo de navegación inercial 204, un algoritmo de cálculo de coordenadas inerciales 206, un algoritmo de dirección geográfica 208, un algoritmo de navegación inercial 206, un algoritmo de gestión de potencia 210 y un algoritmo de control del cardán exterior 212.

[0064] En una implementación típica del algoritmo de control de estabilización de plataforma 202, el sistema de control 142 aceptaría datos derivados de la entrada de control del cardán exterior desde la fuente de entrada de control del cardán 190, que representa las velocidades deseadas de la línea de visión (LOS) de guiñada, cabeceo y balanceo y las compararía con las velocidades de LOS medidas que devuelven los sensores de aceleración inerciales 158, 160, 162 en la unidad de medición inercial 110 para producir una señal de error. Las velocidades deseadas de la línea de visión (LOS) de guiñada, cabeceo y balanceo pueden calcularse a partir de la entrada de control del cardán externo o mediante el algoritmo de dirección geográfica que se describe a continuación. El sistema de control 142 puede implementar un controlador de tipo proporcional-integral-derivativo (PID) para calcular los pares de guiñada, cabeceo y balanceo requeridos para estabilizar la LOS basándose en la señal de error calculada. Un controlador PID calcula la diferencia entre un valor medido y un valor deseado como señal de error y luego modifica las variables de entrada en un intento de reducir el error. También se pueden utilizar otros tipos de controladores. Las corrientes requeridas, en cada bobina 144A1, 144A2 de los actuadores magnéticos de bobina de voz 144 que forman el sistema de accionamiento activo 140, para producir los pares exigidos, se calculan a

continua⁵ción en función de las características electromagnéticas de los actuadores magnéticos de bobina de voz 144 y de la geometría del sistema de accionamiento activo 140. Los servo accionamientos de plataforma 180 se encargan de que las bobinas 144A1, 144A2 de los actuadores magnéticos de bobina de voz 144 reciban la corriente correcta a fin de producir las fuerzas electromotrices correctas para producir los pares necesarios para estabilizar la línea de visión. Este proceso se repite normalmente miles de veces por segundo.

[0065] En una implementación típica del algoritmo de navegación inercial 204, el sistema de control 142 aceptaría datos GPS (hora, ubicación y velocidad) del receptor GPS 184, datos internos de velocidad y aceleración de la unidad de medición inercial 110, datos de posición angular del sistema de sensores de posición 164 y datos de posición angular de los sensores de velocidad inercial del cardán exterior 192, 194, 196. Los datos de posición angular del sistema de sensores de posición 164 y de los sensores de velocidad inercial del cardán exterior 192, 194, 196 se utilizan para resolver los datos GPS en el sistema de referencia de la unidad de medición inercial 110. La posición, velocidad, y aceleración inercial de la unidad de medición inercial 110 se calculan utilizando algoritmos estándar del sistema de navegación inercial (INS), tal y como se conoce en la actualidad. Los datos del sistema de sensores de posición 164 y de los sensores de velocidad inercial del cardán exterior 192, 194, 196 se utilizan a continuación para calcular la posición inercial, inclinación de vuelo, el rumbo y la trayectoria de un vehículo (por ejemplo, una aeronave) que lleva el sistema de estabilización de plataforma.

[0066] En una implementación típica del algoritmo de cálculo de coordenadas inerciales 206, el sistema de control 142 usaría la salida del algoritmo de navegación inercial 204, en combinación con un mapa digital de elevación (DEM) de la tierra para calcular la ubicación y velocidad del punto donde la línea de visión de la carga útil intersecta la superficie de la tierra. En este contexto, el término "la superficie de la tierra" incluye no sólo un punto en la superficie real de la tierra, sino también un punto a una altura especificada por encima de la superficie de la tierra; este punto se denomina a menudo "objetivo". Por lo tanto, el sistema de control 142 contiene instrucciones para un sistema de navegación inercial para calcular la posición geográfica en la que una línea de visión de la carga útil intersecta la superficie de la tierra.

[0067] En una implementación típica del algoritmo de dirección geográfica 208, el sistema de control 142 aceptaría las entradas de control de cardán desde la fuente de entrada de control de cardán 190 para la ubicación geográfica y la velocidad de un objetivo deseado y la/los compararía/compara con la salida del algoritmo de cálculo de coordenadas inerciales 206 para producir las señales de error de posición y velocidad. El sistema de control 142 puede utilizar un controlador PID para calcular las velocidades de dirección requeridas para minimizar el error, y las velocidades de dirección exigidas pueden transformarse en el sistema de referencia de la unidad de medición inercial 110, ya sea antes o después del controlador PID. También se pueden utilizar otros tipos de controladores. La salida del algoritmo de dirección geográfica 208 se proporcionan al algoritmo de control de estabilización de plataforma 202 como las velocidades deseadas de la línea de visión (LOS) de guiñada, cabeceo y balanceo. Por lo tanto, el algoritmo de dirección geográfica 208 comprende instrucciones para el cierre de los bucles de control de dirección basados en la geografía para mantener la línea de visión de la carga útil apuntando a una posición geográfica.

[0068] En una implementación típica del algoritmo de gestión potencia 210, el sistema de control 142 puede aceptar entradas de sensores de voltaje, corriente y temperatura (no mostrados) en todo el sistema junto con otros datos sobre el estado actual del sistema. Utilizando los valores pasados, presentes y previstos para el consumo de energía en los diversos subsistemas, la potencia total del sistema puede mantenerse dentro de los límites especificados, maximizando al mismo tiempo el rendimiento general del sistema. Por ejemplo, la potencia de los calefactores o ventiladores (no mostrados) podría reducirse temporalmente para proporcionar más potencia al sistema de accionamiento activo durante los casos de demanda superior a la normal. De esta manera, la potencia puede gestionarse entre subsistemas competidores miles de veces por segundo. Los límites generales de potencia de un sistema pueden ser dinámicos, lo que permite a un controlador maestro externo gestionar la potencia en varios sistemas, en tiempo real, para maximizar el rendimiento general y mantener el consumo total de potencia dentro de la potencia disponible.

[0069] En una implementación típica del algoritmo de control del cardán exterior 212, el sistema de control 142 puede aceptar entradas de posición angular, velocidad y velocidad inercial de los sensores en el conjunto de cardán exterior 118, datos de posición angular del sistema de sensores de posición 164 y datos de velocidad deseada de la fuente de entrada de control del cardán 190 (o calculados por el algoritmo de dirección geográfica 208 basándose en los datos de ésta). El sistema de control 142 puede utilizar datos del sistema de sensores de posición 164, resueltos en el sistema de referencia del conjunto de cardán exterior 118, como señal de error en un controlador PID para hacer que el conjunto de cardán exterior 118 siga la línea de visión. Además, el sistema de control 142 puede utilizar las velocidades deseadas de la fuente de entrada de control del cardán 190 y/o la salida del algoritmo de dirección geográfica 208 como parámetro de retroalimentación. El sistema de control 142 también puede utilizar datos de los sensores de velocidad inercial del cardán exterior 192, 194, 196 en comparación con las velocidades deseadas que se resuelven en el sistema de referencia del conjunto del cardán exterior 118 para producir una señal de error que se utilizará en un controlador de tipo PID para calcular las velocidades exigidas. La suma de las velocidades exigidas por el sistema de sensores de posición 164, el cálculo de la retroalimentación y los sensores de velocidad

inercial del cardán exterior 192, 194, 196 pueden utilizarse como la exigencia final a los actuadores del conjunto de cardán exterior.

[0070] El desarrollo de un algoritmo adecuado de control de estabilización de plataforma 202, un algoritmo de navegación inercial 204, un algoritmo de cálculo de coordenadas inerciales 206, un algoritmo de dirección geográfica 208, un algoritmo de gestión de potencia 210 y un algoritmo de control del cardán exterior 212 se encuentra dentro de la capacidad de un experto en la técnica, informado por la presente divulgación. Por ejemplo, y sin limitación, la Figura 8 de la Patente estadounidense No. 6.263.160 a nombre de Lewis, muestra un bucle de estabilización de plataforma, y las Figuras 7a y 7b de la Patente estadounidense No. 5.897.223 a nombre de Tritchew et ál., muestran un diagrama de bloques de los bucles de control interno/s y externo/s para los sistemas de cardan externo de dos y tres ejes. Estas patentes se incorporan por referencia.

[0071] En la figura 7 se comparan las funciones de transferencia de los sistemas de aislamiento ejemplares no amortiguados, amortiguados activamente y amortiguados pasivamente (elastoméricos). La figura 7 muestra el rendimiento mejorado del aislador que proporciona la amortiguación activa utilizada en los sistemas de estabilización de plataforma descritos en el presente documento. En frecuencias muy por encima de la frecuencia natural no amortiguada, la transmisibilidad para el sistema amortiguado activamente se reduce gradualmente proporcional al cuadrado de la relación de frecuencias (W_n/W), mientras que para el sistema pasivo se reduce gradualmente proporcional al doble de la relación de amortiguación (C/C_c) multiplicada por la relación de frecuencias (W_n/W). Esto significa que se puede aplicar una mayor amortiguación para reducir la amplificación dinámica o Q en resonancia sin la correspondiente penalización en la transmisibilidad en frecuencias más altas. Además, debido a esta mayor atenuación progresiva, la frecuencia natural no amortiguada puede incrementarse lo suficientemente para reducir el desplazamiento estático del sistema de aislamiento. El aislador activo que se muestra en la Figura 1, y cuyo rendimiento se representa en el gráfico de la Figura 7, sólo requiere un desplazamiento de $\pm 3/16$ " en los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P para un rango de $\pm 3G$ desplazamiento de $\pm 1/4$ " para un rango de $\pm 2G$ hasta los topes. Esto representa una reducción significativa del espacio de balanceo requerido con un aumento correspondiente en la eficiencia del volumen de la carga útil. Esta reducción del espacio de balanceo también reduce el tamaño y el peso requerido de los aisladores y de los actuadores de bobina de voz, aumentando la eficiencia del volumen de la carga útil.

[0072] En el sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100, el sistema de accionamiento activo 140 está compuesto por un conjunto de cuatro actuadores magnéticos de bobina de voz 144. En otros modos de realización, un sistema de accionamiento activo para un sistema de estabilización de plataforma puede incluir más o menos actuadores magnéticos de bobina de voz.

[0073] La figura 5b muestra la disposición de un sistema de accionamiento activo ejemplar 540B que comprende un conjunto de seis actuadores magnéticos de bobina de voz de un solo eje 544B, cada uno de los cuales comprende una primera parte 544B2, en este caso la parte de estructura magnética, sostenida por el bastidor de soporte y una segunda parte 544B1, en este caso la parte de bobina, sostenida por la plataforma. Cada actuador magnético de bobina de voz 544B tiene un único eje motor activo M2 a lo largo del cual se puede aplicar una fuerza de posicionamiento de plataforma y dos ejes motor inactivos M1 y M3 para los cuales hay libertad de movimiento, siendo los tres ejes M1, M2 y M3 sustancialmente ortogonales entre sí. Así, cada actuador magnético de bobina de voz 544B actúa entre el bastidor de soporte y la plataforma para aplicar una primera fuerza de posicionamiento de plataforma a lo largo de un primer eje motor M2 permitiendo el movimiento lineal libre de la segunda parte a lo largo de cada uno de los segundos ejes motor M1 y un tercer eje motor M3 y permitiendo la rotación libre de la segunda parte 544B1 en torno a cada uno de los segundos ejes motor M1 y el tercer eje motor M3. Como puede verse en la Figura 5b, los actuadores magnéticos de bobina de voz 544B están dispuestos en relación con la plataforma (no mostrados en la Figura 5b) para accionar selectivamente el movimiento lineal de la plataforma en relación con el bastidor de soporte (no mostrado en la Figura 5b) a lo largo de los ejes ortogonales de plataforma X_P , Y_P y Z_P y para accionar selectivamente la rotación de la plataforma en relación con el bastidor de soporte en relación con los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . Más particularmente, cuando se pasa una corriente a través de la bobina 544B1, esta crea una fuerza electromotriz a lo largo del eje motor M2 para ese actuador magnético de bobina de voz 544B. Cuando la polaridad de dos actuadores de bobina magnéticos opuestos 544B es la misma, dichos actuadores magnéticos de bobina 544B producirán una fuerza lineal paralela a los ejes motor M2 y cuando dos actuadores de bobina magnéticos opuestos 544B tienen la polaridad opuesta, dichos actuadores magnéticos de bobina 544B producirán un momento en torno a un eje perpendicular a los ejes motor M2. Así, mediante la energización selectiva, se puede obtener el movimiento lineal deseado a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . El sistema de control, que se muestra esquemáticamente en 542B en la Figura 5b, controla la energización de los actuadores magnéticos de bobina de voz 544B para aplicar los momentos controlados y las fuerzas lineales a la plataforma.

[0074] La figura 5c muestra la disposición de un sistema de accionamiento activo ejemplar 540C que comprende un conjunto de tres actuadores magnéticos de bobina de voz de dos ejes 544C. Cada actuador magnético de bobina de voz 544C actúa entre el bastidor de soporte (no mostrado en la Figura 5c) y la plataforma (no mostrado en la Figura 5c) para aplicar una primera fuerza de posicionamiento de plataforma a la plataforma a lo largo de un primer eje motor M_1 y aplicar una segunda fuerza de posicionamiento de plataforma a la plataforma a lo largo de un segundo

- eje motor M_2 , permitiendo al mismo tiempo el libre movimiento lineal de la plataforma a lo largo de un tercer eje motor M_3 y permitiendo la rotación libre de la plataforma en torno a los tres ejes motor M_1 , M_2 , M_3 , los cuales son sustancialmente ortogonales entre sí. Los actuadores magnéticos de bobina de voz 544C están dispuestos en relación con la plataforma para accionar selectivamente el movimiento lineal de la plataforma en relación con el bastidor de soporte a lo largo de los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P y para accionar selectivamente la rotación de la plataforma en relación con el bastidor de soporte en torno a los ejes de plataforma X_P , Y_P y Z_P . En particular, puede verse en la Figura 5c que si la misma bobina 544CA1 en todos los actuadores magnéticos de bobina de voz 544C estuviera energizada con la misma polaridad de corriente, el vector de fuerza combinada estaría a lo largo del eje de plataforma X_P (paralelo al eje motor M_1 de cada actuador magnético de bobina de voz 544C). Sin embargo, si la polaridad de la corriente en la bobina 544CA1 del actuador magnético inferior de bobina de voz 544C (parte inferior izquierda de la Figura 5c) se invirtiera y la corriente en la bobina 544CA1 en el lado derecho de la Figura 5c fuera cero, las fuerzas combinadas producirían un momento sobre el eje de plataforma Y_P . Si los actuadores magnéticos superiores e inferiores de bobina de voz 544C (lado izquierdo de la Figura 5c) se energizaran para producir una fuerza unitaria a lo largo de sus ejes motor M_1 y el tercer actuador magnético de bobina de voz 544C (lado derecho de la Figura 5c) tuviera la polaridad opuesta, y se energizara para producir una fuerza de dos unidades, producirían un momento alrededor del eje de plataforma Z_P . Variando la magnitud y dirección de la corriente en las bobinas 544CA1, 544CA2 permite el control con seis grados de libertad. El sistema de control 540C controla la energización de los actuadores de bobina de voz para aplicar momentos controlados y fuerzas lineales a la plataforma.
- [0075] En el sistema de estabilización de plataforma ejemplar 100 que se muestra en las Figuras 1 a 3c, 5a, 6b y 8, los aisladores han tomado la forma de resortes de compresión 120. Esto es meramente un tipo de aislador ejemplar, y otros tipos de aisladores también pueden utilizarse para construir un sistema de estabilización de plataforma de acuerdo con las enseñanzas de la presente memoria.
- [0076] La figura 4c muestra aisladores ejemplares 420C que toman la forma de elementos pivotantes de flexión de tres ejes 420C que comprenden tres pivotes de flexión de un eje 422C dispuestos en serie, con los pivotes de flexión 422C separados entre sí por los elementos de espaciado 430C. Cada pivote de flexión 422C tiene un eje de pivote respectivo 432C, y estos ejes de pivote 432C intersectan sustancialmente en un punto común P dentro de la plataforma (no se muestra en la Figura 4c). Los elementos de pivote de flexión 420C son preferiblemente de construcción monolítica, y los elementos de espaciado 430C pueden ser diseñados para producir la relación deseada de rigidez lineal a rotacional cuando se usan en un conjunto de aislamiento, por ejemplo como se muestra en la Figura 4e.
- [0077] La Figura 4e muestra un conjunto de aislamiento simétrico ejemplar 424C que comprende una pluralidad de aisladores de elementos pivotantes de flexión de tres ejes 420C, cada uno de los cuales se extiende directamente entre un bastidor de soporte 402C y una plataforma 404C. Aunque los pivotes de flexión 422C que constituyen los aisladores 420C no son simétricos, el conjunto de aislamiento 424C es simétrico.
- [0078] El bastidor de soporte 402C incluye una pluralidad de salientes de montaje 428C y la plataforma 404C incluye una pluralidad de dedos 426C que se extienden hacia afuera, y cada aislador de elemento pivotante de flexión 420C se extiende entre un dedo 426C y un saliente de montaje 428C. En el modo de realización ilustrado, los aisladores de elementos pivotantes de flexión 420C se disponen en los vértices de un tetraedro teórico T; otros modos de realización pueden utilizar otras disposiciones, como disponer el aislador de elemento pivotante de flexión 420C en los vértices de un cubo teórico de manera análoga a la disposición que se muestra en la Figura 4A. Los tres ejes de pivote 432C de cada uno de los elementos de pivote de flexión/420C intersectan sustancialmente en el mismo punto común P dentro de la plataforma 404C; por lo tanto, en la Figura 4e hay cuatro elementos de pivote de flexión 420C, cada uno de los cuales tiene tres ejes de pivote 432C con un total de doce ejes de pivote 432C, y los doce ejes de pivote 432C se encuentran sustancialmente en el mismo punto común P. El punto común P es el barricentro de masa de la plataforma 404C.
- [0079] Cada aislador de elemento pivotante de flexión 420C permite el movimiento lineal de la plataforma 404C con respecto al bastidor de soporte 402C con tres grados de libertad y también permite el movimiento rotativo de la plataforma 404C con respecto al bastidor de soporte 402C con tres grados de libertad. Los aisladores de elementos pivotantes de flexión 420C cooperan para formar un conjunto de aislamiento independiente de la inclinación 424C que soporta la plataforma 404C directamente dentro del bastidor de soporte 402C y que separa la plataforma 404C del bastidor de soporte 402C. Al igual que en el caso del conjunto de aislamiento 124 que utiliza resortes de compresión 120 como aisladores, el conjunto de aislamiento 424C que utiliza aisladores de elementos pivotantes de flexión 420C permite un movimiento lineal limitado de la plataforma 404C en relación con el bastidor de soporte 402C con tres grados de libertad y permite un movimiento rotativo limitado de la plataforma 404C con respecto al bastidor de soporte 402C con tres grados de libertad, y es sustancialmente más resistente al movimiento lineal de la plataforma 404C con respecto al bastidor de soporte 402C que al movimiento rotativo de la plataforma 404C con respecto al bastidor de soporte 402C. Aunque los pivotes de flexión 422C pueden considerarse limitaciones a rotación, la plataforma 404C no está sujeta a limitaciones a rotación por los aisladores de elementos de pivote de flexión ejemplares 420C o por el conjunto de aislamiento ejemplar 424C (ver la Figura 4e) formado por los aisladores de elementos pivotantes de flexión 420C.

[0080] La figura 4d muestra aún otra configuración ejemplar para un aislador, en este caso un aislador 420D basado en diafragma. El aislador ejemplar 420D basado en diafragma comprende además la primera y la segunda armazón hueca, generalmente cilíndrica y abierta en el extremo 430D, cada armazón tiene un receptáculo de diafragma 431D que se define en la misma. Las armazones 430D se disponen de forma que los receptáculos de diafragma 431D estén opuestos el uno al otro. El aislador a base de diafragma 420D comprende además dos diafragmas opuestos generalmente circulares 432D y sustancialmente idénticos, con cada diafragma 432D apoyado en su periferia 433D por una de los armazones 430D y extendiéndose a lo largo del receptáculo de diafragma 431D de dicha armazón 430D. Los diafragmas 432D están acoplados entre sí por un elemento de flexión torsional 434D que se extiende entre los centros radiales 435D de los diafragmas 432D. Así, el aislador 420D basado en diafragma es un ejemplo de múltiples elementos de aislamiento acoplados entre sí para actuar de forma sincronizada. Cuando se utiliza en un sistema de aislamiento, por ejemplo el sistema de aislamiento 424D que se muestra en la Figura 4f, una de los armazones 430D se acopla al bastidor de soporte 402D y la otra armazón 430D se acopla a la plataforma 404D, de modo que para cada aislador 420D, uno de los diafragmas 432D se acopla al bastidor de soporte 402D y el otro diafragma 432D se acopla a la plataforma 404D. En el modo de realización ilustrado, los diafragmas 432D son estructuras de metal en forma de 'bellophragms' acanalados de manera concéntrica; en otros modos de realización se puede utilizar una estructura de radios, una estructura de muelle de reloj o una estructura moldeada elastomérica. El elemento de flexión torsional 434D es preferiblemente elástico axialmente, y es lo suficientemente largo como para causar la relación deseada de rigidez axial a lateral. En algunos modos de realización, el elemento de flexión torsional 434D puede comprender un resorte helicoidal. Aunque ciertos tipos de elementos de flexión pueden considerarse como una restricción rotativa que actúa entre los diafragmas, la plataforma 404D no está rotativamente restringida por los aisladores ejemplares basados en diafragma 420D o por el conjunto de aislamiento ejemplar 424D (ver Figura 4f) formado por los aisladores basados en diafragma 420D.

[0081] En el modo de realización ilustrado, el elemento de flexión torsional 434D lleva un tope 436D para limitar el desplazamiento lateral del aislador 420D basado en diafragma. El tope ejemplar 436D que se muestra en la Figura 4d toma la forma de un disco, y durante el movimiento lateral el tope en forma de disco 436D se inclinará hasta que entre en contacto con los bordes 437D de los armazones 430D, deteniendo así el desplazamiento lateral adicional del aislador 420D basado en diafragma.

[0082] En el modo de realización ejemplar que se muestra en la Figura 4d, cada diafragma 432D es impermeable al fluido, y cada armazón 430D coopera con su respectivo diafragma 432D para formar un depósito de amortiguación 438D. Cada depósito de amortiguación 438D está en comunicación fluida con un depósito sumidero 439D para amortiguar el movimiento axial del diafragma 432D desplazando el fluido de amortiguación del depósito de amortiguación 438D al depósito sumidero 439D correspondiente. Más particularmente, en el modo de realización ilustrado, cada armazón 430D coopera con su respectivo diafragma 432D para formar un recinto 441D. A lo largo de cada recinto 441D se extiende un divisor troncocónico con brida 443D para dividir el recinto 441D entre el depósito de amortiguación 438D y el depósito sumidero 439D. Cada depósito de amortiguación 438D está en comunicación fluida con el depósito sumidero 439D a través de un orificio 449D en el centro del divisor respectivo 443D. Los depósitos de amortiguación 438D pueden llenarse con un fluido adecuado, tal como el aceite, que será forzado a través del orificio 449D en el centro del respectivo divisor 443D hacia el interior del depósito sumidero 439D mediante un movimiento axial en el centro del diafragma 432D para producir una fuerza de amortiguación que sea proporcional únicamente a la velocidad del movimiento axial. Debido a que el cambio de volumen en la cavidad sería muy pequeño durante el movimiento lateral, la amortiguación lateral en el elemento para el movimiento lateral sería mínima. La brida 445D de cada divisor 443D y la periferia 433D de cada diafragma 432D se reciben en un hueco anular 447D en la superficie interior del armazón 420D correspondiente.

[0083] Aunque los aisladores ejemplares basados en diafragma 420D proporcionan una amortiguación pasiva desplazando el fluido a través del orificio 449D, se pueden modificar para proporcionar una amortiguación activa utilizando un actuador para controlar el área del orificio o controlando la viscosidad del fluido en la zona del orificio empleando una bobina eléctrica en el orificio y empleando un ferrofluido adecuado como fluido amortiguador.

[0084] La figura 3d muestra un modelo matemático simplificado 320 para un aislador basado en diafragma como el aislador ejemplar 420D. El modelo matemático está formado por dos armazones opuestas de extremo abierto 330, cada una con un diafragma 332 que se extiende sobre el extremo abierto, con los diafragmas unidos en sus centros por un elemento de flexión torsional 334. En el modelo matemático simplificado 320 para un aislador basado en diafragma:

KaD es la constante de resorte axial del diafragma;

KlD es la constante de resorte lateral del diafragma;

KmD es la constante de resorte de momento del diafragma;

KtD es la constante de resorte torsional del diafragma;

KaT es la constante de resorte axial del elemento de flexión torsional;

KIT es la constante de resorte axial del elemento de flexión torsional;

KbT es la constante de resorte flexional del elemento de flexión torsional;

KtT es la constante de resorte torsional del elemento de flexión torsional; y

L es la longitud del elemento de flexión torsional.

En el modelo matemático simplificado 320 de la Figura 3d:

La rigidez lateral está dominada por $2 K_m D L$;

La rigidez torsional está dominada por $K_t T$; y

Rigidez axial $K_a = 1 / ((2 / K_a D) + (1 / K_a T))$.

[0085] Ahora se hace referencia a la Figura 4f, que muestra un conjunto de aislamiento ejemplar 424D que comprende una pluralidad de aisladores 420D basados en diafragma, cada uno de los cuales se extiende directamente entre un bastidor de soporte 402D y una plataforma 404D. De manera similar al modo de realización mostrado en la Figura 4e que emplea aisladores de elementos pivotantes de flexión 420C, en el modo de realización mostrado en la Figura 4f, los aisladores basados en diafragma 420D están dispuestos en los vértices de un tetraedro teórico T de modo que se extienden hacia el exterior desde el barricentro de masa de la plataforma 404D; otros modos de realización pueden utilizar distintas disposiciones. Por ejemplo, los aisladores basados en diafragma 420D pueden disponerse en los vértices de un cubo teórico de manera análoga a la disposición mostrada en la Figura 4A.

[0086] Cada uno de los aisladores basados en diafragma 420D permite el movimiento lineal de la plataforma 404D respecto al bastidor de soporte 402D con tres grados de libertad y también permite el movimiento rotativo de la plataforma 404D respecto al bastidor de soporte 402D con tres grados de libertad. Por lo tanto, los aisladores de diafragma 420D cooperan para formar un conjunto de aislamiento independiente de la inclinación 424D que soporta la plataforma 404D directamente dentro del bastidor de soporte 402D, mientras separa la plataforma 404D del bastidor de soporte 402C. El conjunto de aislamiento 424D permite un movimiento lineal limitado de la plataforma 404D en relación con el bastidor de soporte 402D con tres grados de libertad y permite un movimiento rotativo limitado de la plataforma 404D en relación con el bastidor de soporte 402D con tres grados de libertad. La construcción y el posicionamiento de los aisladores basados en diafragma 420D hace que el conjunto de aislamiento 424D sea sustancialmente más resistente al movimiento lineal de la plataforma 404D en relación con el bastidor de soporte 402D que al movimiento rotativo de la plataforma 404D en relación con el bastidor de soporte 402D.

[0087] Un conjunto de aislamiento compuesto por aisladores de elementos pivotantes de flexión, como el conjunto de aislamiento 424C de la figura 4c, o un conjunto de aislamiento compuesto por aisladores basados en diafragma, como el conjunto de aislamiento 424D de la figura 4d, puede combinarse con un sistema de accionamiento activo y un sistema de control, como los sistemas de accionamiento activo 140, 540B, 540C que se muestran en las figuras 5a, 5b y 5c, respectivamente, y el sistema de control 142 que se muestra en la figura 8.

[0088] Los sistemas ejemplares descritos arriba son implementaciones ejemplares de un método para aislar una carga útil del movimiento de una estructura de soporte. Este método consiste en permitir un movimiento lineal limitado de la plataforma en relación con el bastidor de soporte con tres grados de libertad a lo largo de tres ejes ortogonales de la plataforma y permitir un movimiento rotativo limitado de la plataforma en relación con el bastidor de soporte con tres grados de libertad en relación con los tres ejes de plataforma, proporcionando al mismo tiempo una resistencia sustancialmente mayor al movimiento lineal de la plataforma en relación con el bastidor de soporte que al movimiento rotativo de la plataforma en relación con el bastidor de soporte, sin limitar la rotación de la plataforma.

[0089] Aspectos de la tecnología actual han sido descritos arriba con referencia a un diagrama de bloques (Figura 8) que muestra los métodos, aparatos (sistemas) y programas informáticos según los varios modos de realización. En este sentido, el diagrama de bloques de la Figura 8 ilustra la arquitectura, la funcionalidad y el funcionamiento de las posibles implementaciones de sistemas, métodos y programas informáticos de acuerdo con los diversas modos de realización de la tecnología actual. Por ejemplo, cada bloque en el diagrama de bloques puede representar un módulo, segmento o porción de código, que comprende una o más instrucciones ejecutables para implementar las funciones lógicas especificadas. También se observará que cada bloque del diagrama de bloques, y las combinaciones de bloques en el diagrama de bloques, pueden ser implementados por sistemas de hardware

especializados que realizan las funciones o actos especificados, o combinaciones de hardware para aplicaciones especiales e instrucciones de ordenador.

5 [0090] También se entenderá que cada bloque del diagrama de bloques, y las combinaciones de bloques en el diagrama de bloques, pueden ser implementados mediante las instrucciones de programas informáticos. Estas instrucciones de programas informáticas pueden proporcionarse a un procesador de un ordenador de uso general, un ordenador especializado u otro aparato programable de procesamiento de datos para producir una máquina, de tal forma que las instrucciones, que se ejecutan a través del procesador del ordenador u otro aparato programable de procesamiento de datos, crean medios para implementar las funciones/actos especificados en el diagrama de bloques.

15 [0091] Estas instrucciones de programas informáticos también pueden almacenarse en un medio legible por ordenador que pueda dirigir a un ordenador, a otros aparatos programables de procesamiento de datos o a otros dispositivos para que funcionen de una manera determinada, de modo que las instrucciones almacenadas en el medio legible por ordenador produzcan un artículo de fabricación que incluya instrucciones que implementen la función/acto especificado en el bloque o bloques del diagrama de bloques. Las instrucciones del programa informático también pueden cargarse en un ordenador, en otros aparatos programables de procesamiento de datos o en otros dispositivos para hacer que se realicen una serie de pasos operativos en el ordenador, en otros aparatos programables o en otros dispositivos para producir un proceso implementado por ordenador, de modo que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador o en otros aparatos programables proporcionen procesos para llevar a cabo las funciones/actos especificados en el bloque del diagrama de bloques.

25 [0092] En la Figura 10 se presenta, en forma de diagrama de bloques, un sistema informático ilustrativo en el cual los métodos descritos en el presente documento pueden implementarse. El sistema informático ilustrativo se indica generalmente con el número de referencia 1000 e incluye una pantalla 1002, los dispositivos de entrada en forma de teclado 1004A y el dispositivo apuntador 1004B, el ordenador 1006 y los dispositivos externos 1008. Aunque el dispositivo señalador 1004B se representa como un ratón, se apreciará que otros tipos de dispositivo señalador, o una pantalla táctil, también pueden utilizarse.

30 [0093] El ordenador 1006 puede contener uno o más procesadores o microprocesadores, como una unidad central de procesamiento (CPU) 1010. La CPU 1010 realiza cálculos aritméticos y funciones de control para ejecutar el software almacenado en una memoria interna 1012, preferiblemente una memoria de acceso aleatorio (RAM) y/o memoria de sólo lectura (ROM), y posiblemente una memoria adicional 1014. La memoria adicional 1014 puede incluir, por ejemplo, almacenamiento de memoria masiva, unidades de disco duro, unidades de disco óptico (incluyendo unidades de CD y DVD), unidades de disco magnético, unidades de cinta magnética (incluyendo LTO, DLT, DAT y DCC), unidades flash, cartuchos de programa e interfaces de cartucho tales como los que se encuentran en los dispositivos de videojuegos, chips de memoria extraíbles como EPROM o PROM, medios de almacenamiento emergentes, como el almacenamiento holográfico, o medios de almacenamiento similares, tal y como se conoce en la técnica. Esta memoria adicional 1014 puede encontrarse físicamente en el interior del ordenador 1006, o externa como se muestra en la Figura 10, o ambas.

45 [0094] El sistema informático 1000 puede incluir también otros medios similares para permitir la carga de programas informáticos u otras instrucciones. Estos medios pueden incluir, por ejemplo, una interfaz de comunicaciones 1016 que permite la transferencia de software y datos entre el sistema informático 1000 y los sistemas y redes externos. Ejemplos de una interfaz de comunicaciones 1016 pueden incluir un módem, una interfaz de red como una tarjeta Ethernet, una interfaz de comunicación inalámbrica o un puerto de comunicaciones en serie o paralelo. El software y los datos que se transfieren a través de la interfaz de comunicaciones 1016 se presentan en forma de señales que pueden ser electrónicas, acústicas, electromagnéticas, ópticas u otras señales que pueden ser recibidas por la interfaz de comunicaciones 1016. Por supuesto, se pueden proporcionar múltiples interfaces en un solo sistema informático 1000.

55 [0095] La entrada y salida hacia y desde el ordenador 1006 se administra a través de la interfaz de entrada/salida (E/S) 1018. Esta interfaz de E/S 1018 administra el control de la pantalla 1002, el teclado 1004A, los dispositivos externos 1008 y otros componentes similares del sistema informático 1000, así como la entrada de varios sensores. El ordenador 1006 también incluye una unidad de procesamiento gráfico (GPU) 1020. Este último también puede utilizarse para fines de cálculo como complemento a, o en lugar de, la (CPU) 1010, para cálculos matemáticos.

60 [0096] Los diversos componentes del sistema informático 1000 están acoplados entre sí, ya sea directamente o mediante el acoplamiento a buses adecuados. Se apreciará que un sistema informático que se utiliza para un sistema de control para un sistema de estabilización de plataforma como se describe en el presente documento puede omitir algunos de los componentes descritos arriba.

[0097] El término "sistema informático", tal como se utiliza en el presente documento, no se limita a ningún tipo de sistema informático particular y abarca los servidores, los ordenadores de sobremesa, los ordenadores portátiles, los

dispositivos informáticos de telecomunicación móvil inalámbrica en red tales como los teléfonos inteligentes, los ordenadores tipo tableta y otros tipos de sistemas informáticos.

[0098] Como apreciará un experto en la técnica, los aspectos de la tecnología que se describen en el presente documento pueden realizarse como un producto de sistema, un método o un producto de programa informática. Por consiguiente, los aspectos de la tecnología que se describen en el presente documento pueden adoptar la forma de un modo de realización basado totalmente en el hardware, un modo de realización basado totalmente en el software (incluidos firmware, software residente, microcódigo, etc.) o un modo de realización que combina aspectos de software y hardware a los que generalmente se puede hacer referencia en el presente documento como un "circuito", "módulo" o "sistema". Además, algunos aspectos de la tecnología que se describe aquí pueden adoptar la forma de un producto de programa informático incorporado en uno o más soportes legibles por ordenador que lleven un código de programa legible por ordenador.

[0099] Cuando los aspectos de la tecnología que se describen en el presente documento se implementen como un producto de programa informático, se puede utilizar cualquier combinación de uno o más medios legibles por ordenador. El medio legible por ordenador puede ser un medio de señal legible por ordenador o un medio de almacenamiento legible por ordenador. Un medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser, por ejemplo, pero no limitado a, un sistema, aparato o dispositivo, electrónico, magnético, óptico, electromagnético, infrarrojo o semiconductor, o cualquier combinación adecuada de los anteriores. Ejemplos más específicos (una lista no exhaustiva) soportes de almacenamiento legibles por ordenador incluirían los siguientes: una conexión eléctrica con uno o más cables, un disquete portátil de ordenador, un disco duro, una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de sólo lectura (ROM), una memoria de sólo lectura programable y borrable (EPROM o memoria Flash), una fibra óptica, una memoria de sólo lectura de disco compacto portátil (CD-ROM), un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento magnético o cualquier combinación adecuada de los anteriores. En el contexto de este documento, un medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser cualquier medio tangible que pueda contener o almacenar un programa para su uso por o en conexión con un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones. Así, el código de programa legible por ordenador para implementar los aspectos de la tecnología descritos en el presente documento puede contenerse o almacenarse en la memoria 1012 del ordenador 1006, o en un medio utilizable o legible por ordenador que sea externo al ordenador 1006, o en cualquier combinación de los mismos.

[0100] Un medio de señal legible por ordenador puede incluir una señal de datos propagada con un código de programa legible por ordenador incorporado en la misma, por ejemplo, en banda base o como parte de una onda portadora. Dicha señal propagada puede tomar una variedad de formas, que incluyen, sin limitarse a, electromagnéticas, ópticas o cualquier combinación adecuada de las mismas. Un medio de señal legible por ordenador puede ser cualquier medio legible por ordenador que no sea un medio de almacenamiento legible por ordenador y que pueda comunicar, propagar o transportar un programa para su uso por o en conexión con un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones.

[0101] El código de programa incorporado en un medio legible por ordenador puede transmitirse utilizando cualquier medio apropiado, incluyendo, pero no limitado a, inalámbrico, cableado, cable de fibra óptica, radiofrecuencia y similares, o cualquier combinación adecuada de los anteriores. El código de programa de ordenador para llevar a cabo operaciones para aspectos de la presente tecnología descrita puede escribirse en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación, incluido un lenguaje de programación orientado a objetos y lenguajes de programación procedimentales convencionales. El código del programa puede ejecutarse en su totalidad en el ordenador del usuario, en parte en el ordenador del usuario, como un paquete de software independiente, en parte en el ordenador del usuario y en parte en un ordenador remoto o en su totalidad en el ordenador o servidor remoto. En este último caso, el ordenador remoto puede estar conectado al ordenador del usuario a través de cualquier tipo de red, incluida una red de área local (LAN) o una red de área extendida (WAN), o la conexión puede realizarse a un ordenador externo (por ejemplo, a través de Internet utilizando un proveedor de servicios de Internet).

[0102] Por último, la terminología utilizada en el presente documento tiene el propósito de describir únicamente modos de realización particulares y no pretende ser limitativa. Tal como se utiliza aquí, las formas singulares "un", "una" y "el", "la" pretenden incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que cuando se utilizan en esta especificación, los términos "comprende" y/o "que comprende" especifican la presencia de características, números enteros, pasos, operaciones, elementos y/o componentes descritos, pero no excluyen la presencia o adición de una o más características, números enteros, pasos, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

[0103] Las estructuras, materiales, actos y equivalentes correspondientes de todos los medios o elementos de paso y función que figuran en la reivindicaciones abajo tienen por objeto incluir cualquier estructura, material o acto para desempeñar la función en combinación con otros elementos reivindicados tal y como se reivindica específicamente. La descripción se ha presentado con fines ilustrativos y descriptivos, pero no pretende ser exhaustiva ni limitarse a la forma divulgada. Muchas modificaciones y variaciones serán evidentes a los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. Los modos de realización se escogieron y se describieron para explicar mejor los

principios de la tecnología y la aplicación práctica, y para permitir a otros expertos en la técnica entender la tecnología para varios modos de realización con varias modificaciones cuando es adecuado al uso particular contemplado.

5 [0104] Varios modos de realización preferidos actualmente han sido descritos a modo de ejemplo. Será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar una serie de variaciones y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de estabilización de plataforma para aislar una carga útil del movimiento de una estructura de soporte, el sistema de estabilización de plataforma que comprende:

un bastidor de soporte (102); una plataforma (104) para transportar una carga útil; caracterizada por que, el sistema de estabilización de la plataforma comprende: una pluralidad de aisladores (120, 420C, 420D, 420h) que se extienden directamente entre el bastidor de soporte (102) y la plataforma (104); cada aislador (120, 420C, 420D, 420h) permite el movimiento lineal de la plataforma (104) en relación al (102) con tres grados de libertad; cada aislador (120, 420C, 420D, 420h) permite el movimiento rotativo de la plataforma (104) en relación con el (102) con tres grados de libertad; la pluralidad de aisladores (120, 420C, 420D, 420h) que cooperan para formar un conjunto de aislamiento (124, 424, 424C, 424D, 424h) que sostiene la plataforma (104) directamente dentro del bastidor de soporte (102); el conjunto de aislamiento (124, 424, 424, 424C, 424D, 424h) que separa la plataforma (104) del bastidor de soporte (102); el conjunto de aislamiento (124, 424, 424C, 424D, 424h) que permite un movimiento lineal limitado de la plataforma (104) en relación con el bastidor de soporte (102) con tres grados de libertad a lo largo de tres ejes ortogonales de la plataforma; el conjunto de aislamiento (124, 424, 424, 424C, 424D, 424h) que permite un movimiento de rotación limitado de la plataforma (104) en relación con el bastidor de soporte (102) con tres grados de libertad en torno a los tres ejes de plataforma; el conjunto de aislamiento (124, 424, 424, 424C, 424D, 424h) es sustancialmente más resistente al movimiento lineal de la plataforma (104) en relación con el bastidor de soporte (102) que al movimiento rotativo de la plataforma (104) en relación con el bastidor de soporte (102); y en el que la plataforma (104) no está restringida rotativamente por el conjunto de aislamiento (124, 424, 424, 424C, 424D, 424h).

2. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 1, en el que el conjunto de aislamiento (124, 424, 424C, 424D, 424h) tiene una frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma (104) a lo largo de los ejes de plataforma que es al menos dos veces una frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma (104) en torno a los ejes de plataforma.

3. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 2, en el que la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma (104) a lo largo de los ejes de plataforma es al menos tres veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma (104) en torno a los ejes de plataforma.

4. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 3, en el que la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma (104) a lo largo de los ejes de plataforma es al menos cinco veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma (104) en torno a los ejes de plataforma.

5. El sistema de estabilización de la plataforma de la reivindicación 3, en el que la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento lineal de la plataforma (104) a lo largo de los ejes de plataforma es al menos diez veces la frecuencia natural no amortiguada para el movimiento rotativo de la plataforma (104) en torno a los ejes de plataforma.

6. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 1, en el que:

cada aislador (120, 420C, 420D, 420h) comprende al menos un resorte de compresión (120) con un eje de resorte respectivo (120A); y para formar el conjunto de aislamiento (124, 424, 424C, 424D, 424h): los resortes de compresión (120) están dispuestos con sus respectivos ejes de resorte (120A) que se extienden sustancialmente hacia el exterior desde un punto común dentro de la plataforma (104); el punto común es el barricentro de masa de la plataforma (104); y los resortes de compresión (120) están precargados axialmente para producir una baja constante de resorte lateral.

7. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 6, en el que el conjunto de aislamiento (124, 424, 424C, 424D, 424h) comprende ocho resortes de compresión (120) dispuestos sustancialmente en las esquinas de un cubo teórico y el punto común es un barricentro del cubo teórico.

8. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 6, en el que el conjunto de aislamiento (124, 424, 424C, 424D, 424h) comprende al menos un conjunto de cuatro resortes de compresión (120) dispuestos sustancialmente en las esquinas de un tetraedro regular teórico y el punto común es un barricentro del tetraedro regular teórico.

9. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 6, en el que el conjunto de aislamiento (124, 424, 424C, 424D, 424h) comprende seis resortes de compresión (120) que se extienden hacia el exterior desde un barricentro de un cubo teórico sustancialmente a través de los barricentros de las seis caras del cubo teórico.

10. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 6, en el que el conjunto de aislamiento (124, 424, 424C, 424D, 424h) comprende un conjunto simétrico de resortes de compresión (120).
- 5 11. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 6, en el que los resortes de compresión (120) son resortes de compresión helicoidales de entrada múltiple mecanizados.
12. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 1, en el que cada aislador (120, 420C, 420D, 420h) comprende un elemento pivotante de flexión (420C).
- 10 13. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 12, en el cual:
- 15 cada elemento pivotante de flexión (420C) comprende tres pivotes de flexión de un eje (422C) dispuestos en serie teniendo cada pivote de flexión (422C) un eje de pivote (432C); para cada elemento pivotante de flexión (420C), los ejes de pivote (432C) de cada pivote de flexión (422C) se encuentran sustancialmente en un barricentro de masa de la plataforma (104); y
- 20 los elementos pivotantes de flexión (420C) están dispuestos en una matriz sustancialmente simétrica para formar el conjunto de aislamiento (124, 424, 424C, 424D, 424h).
14. El sistema de estabilización de plataforma de la reivindicación 13, en el que cada elemento pivotante de flexión (420C) es de construcción monolítica.
- 25 15. Método para aislar una carga útil del movimiento de una estructura portante utilizando el sistema de estabilización de plataforma de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-14, el método que comprende:
- 30 permitir un movimiento lineal limitado de la plataforma (104) con respecto al bastidor de soporte (102) con tres grados de libertad a lo largo de tres ejes ortogonales de la plataforma;
- permitir un movimiento de rotación limitado de la plataforma (104) en relación con el bastidor de soporte (102) con tres grados de libertad en torno a los tres ejes de plataforma; caracterizado por que el método comprende ofrecer una resistencia sustancialmente mayor al movimiento lineal de la plataforma (104) en relación con el bastidor de soporte (102) que al movimiento de rotación de la plataforma (104) en relación con el bastidor de soporte (102) sin limitar la rotación de la plataforma (104).

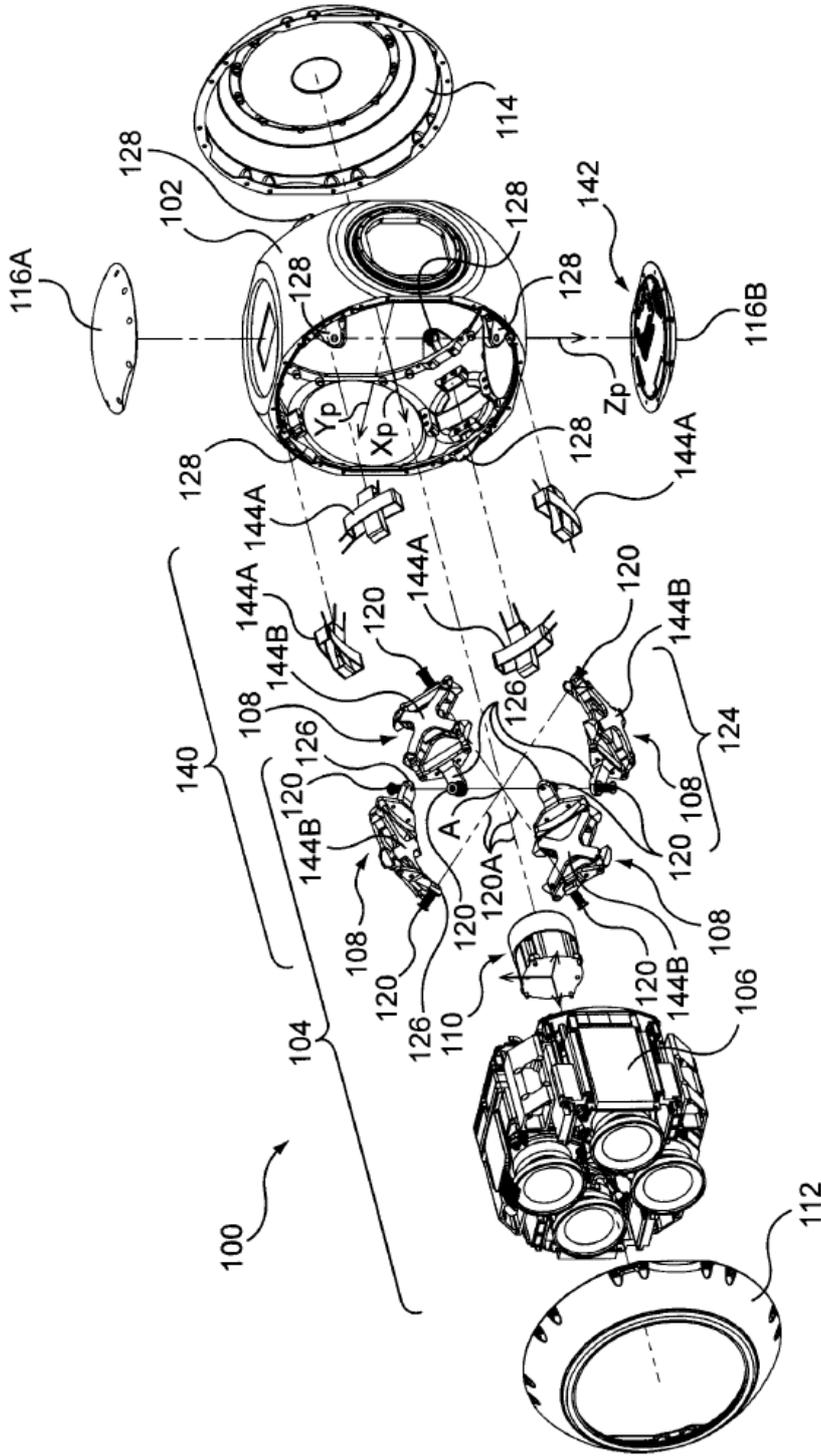


FIG. 1

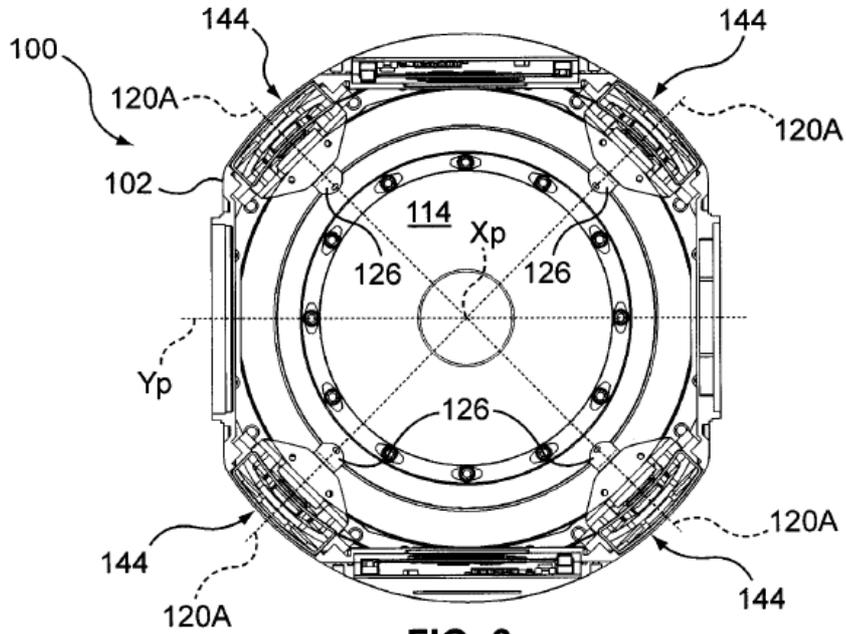


FIG. 2a

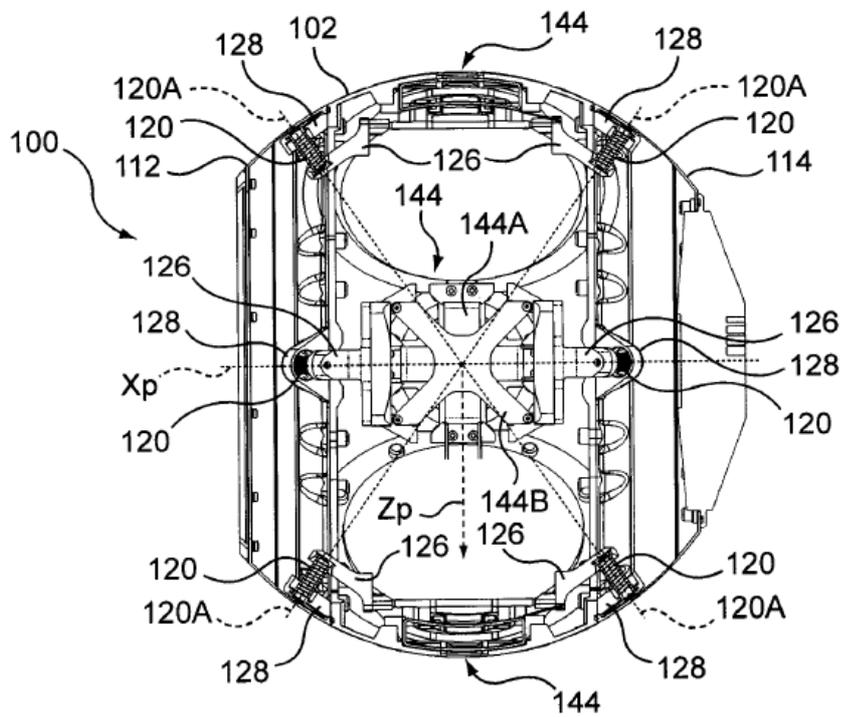


FIG. 2b

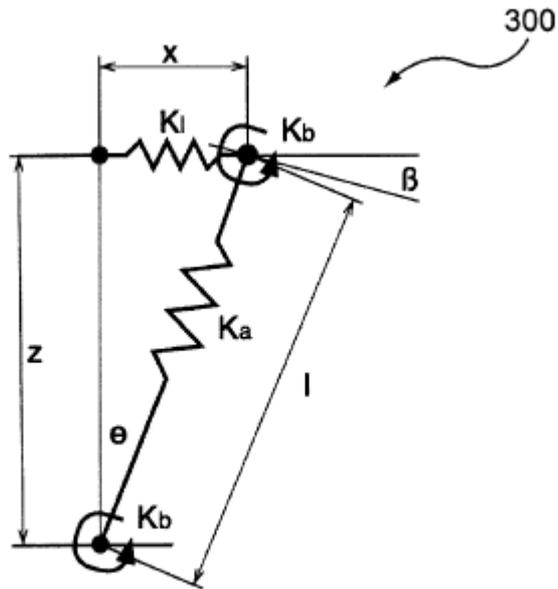


FIG. 3a

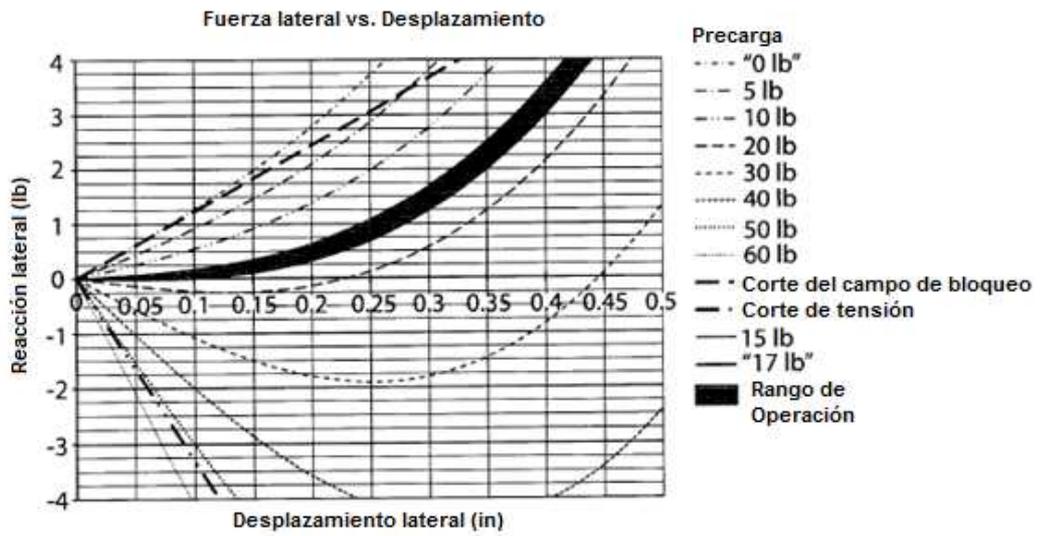


FIG. 3b

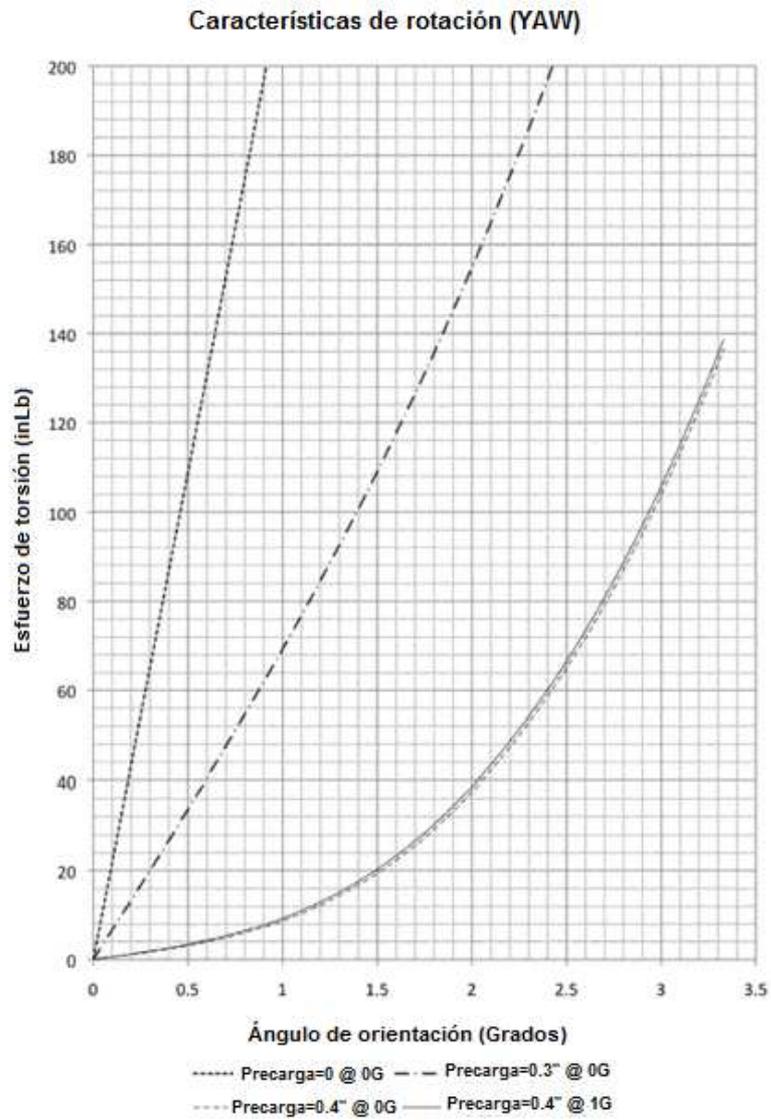


FIG. 3c

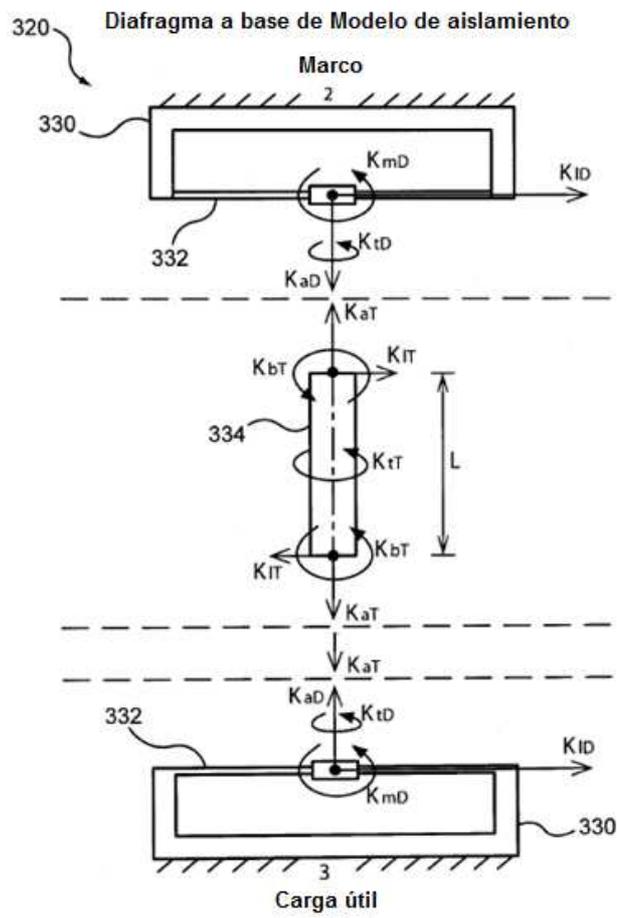


FIG. 3d

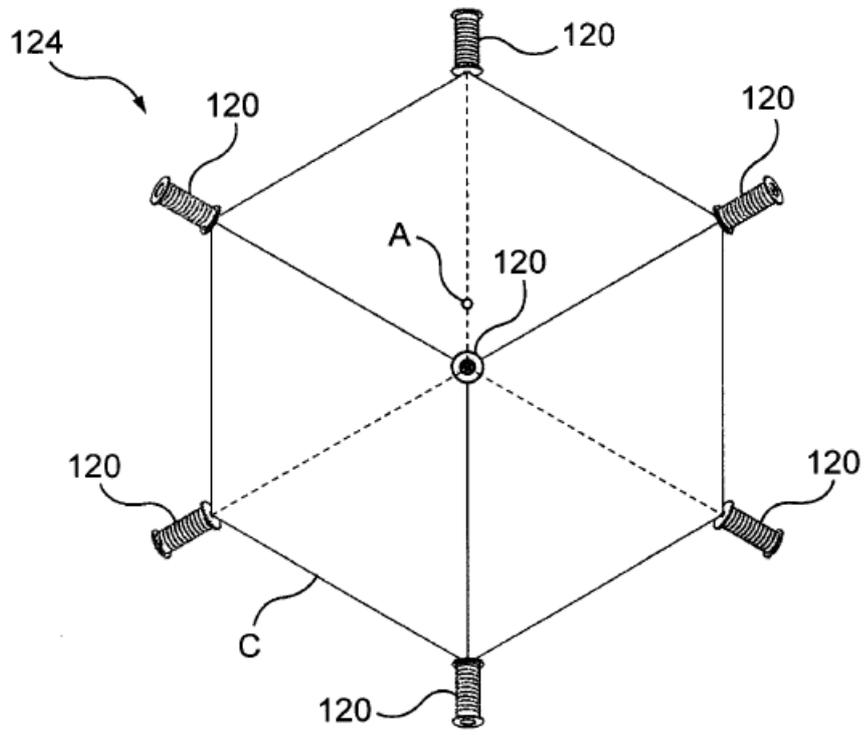


FIG. 4a

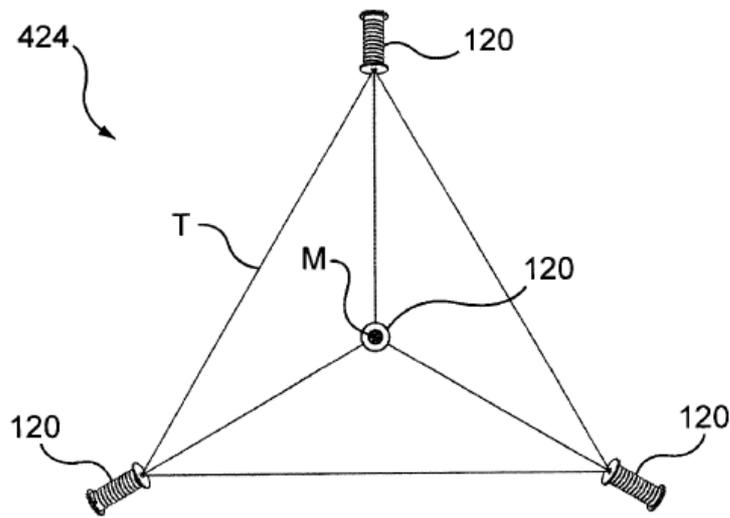


FIG. 4b

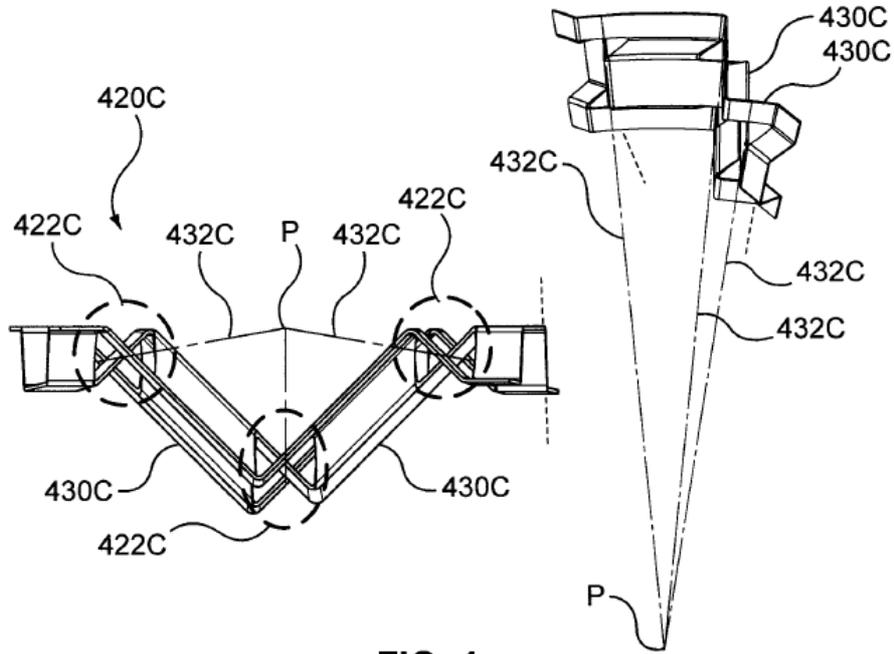


FIG. 4c

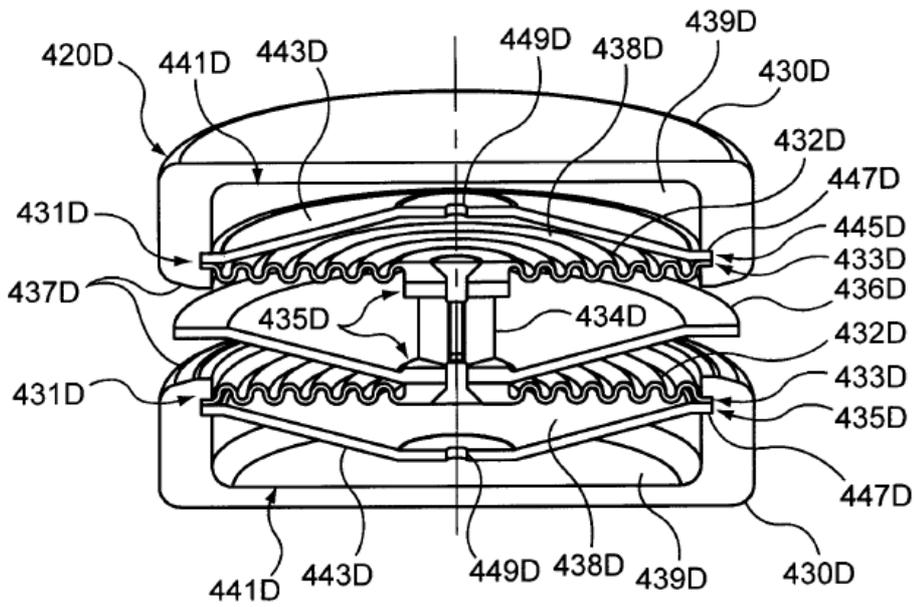


FIG. 4d

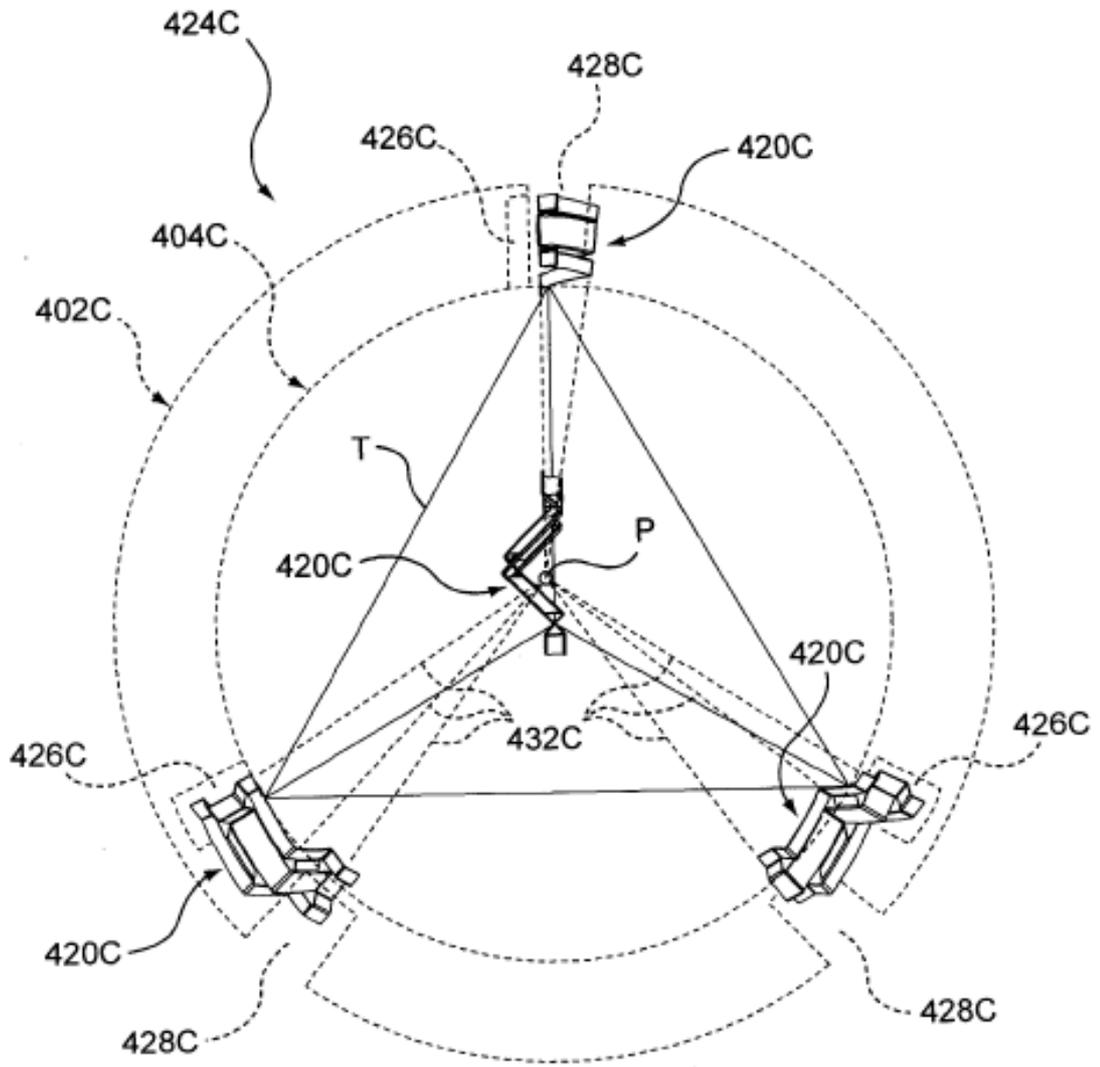


FIG. 4e

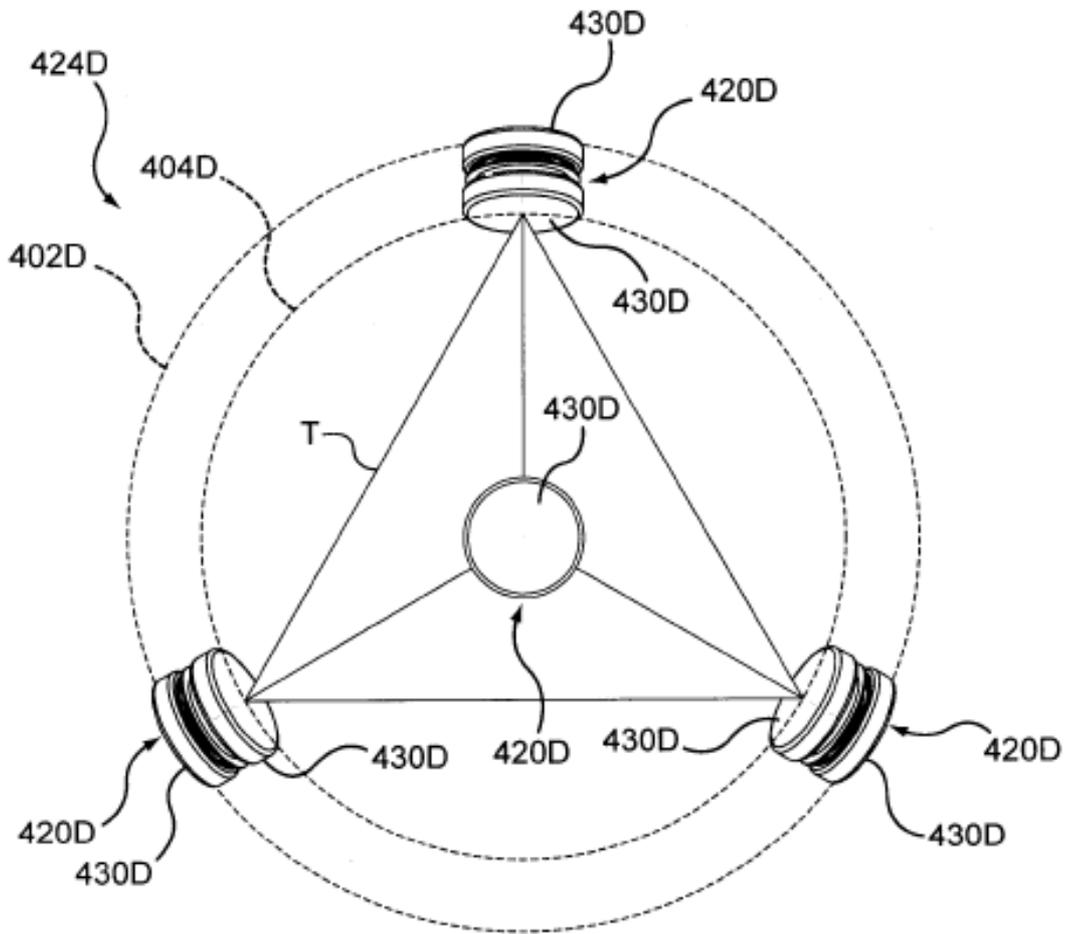


FIG. 4f

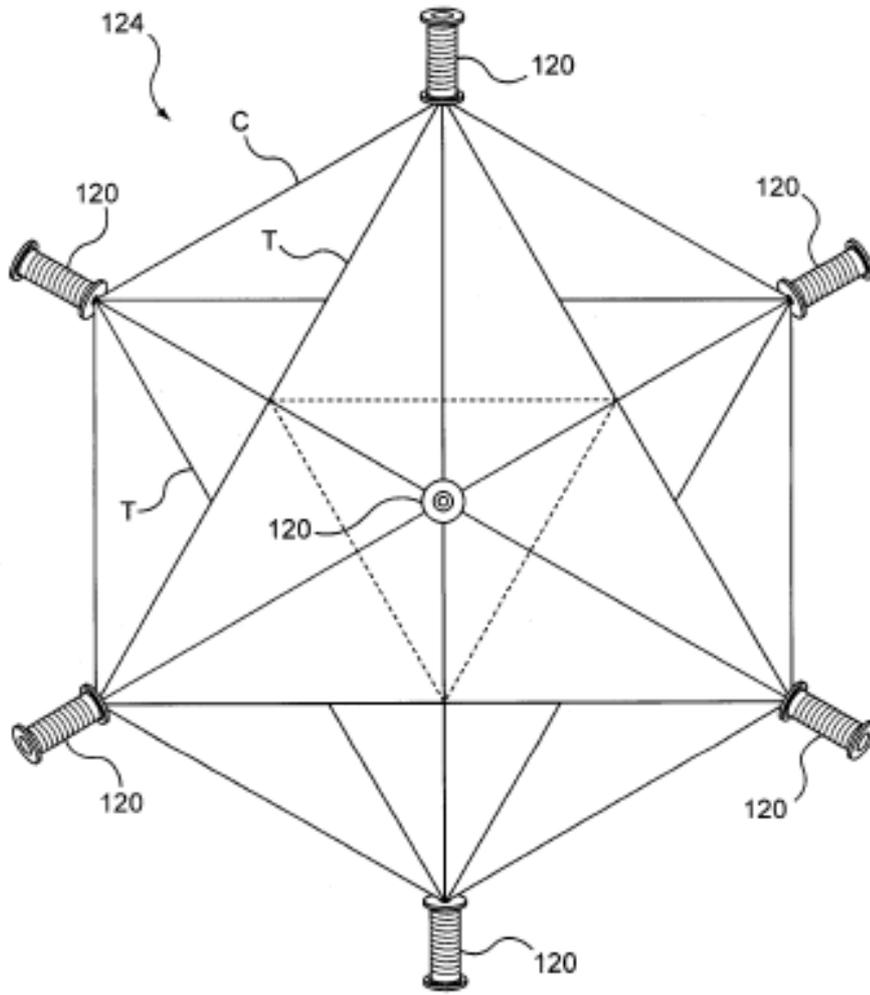


FIG. 4g

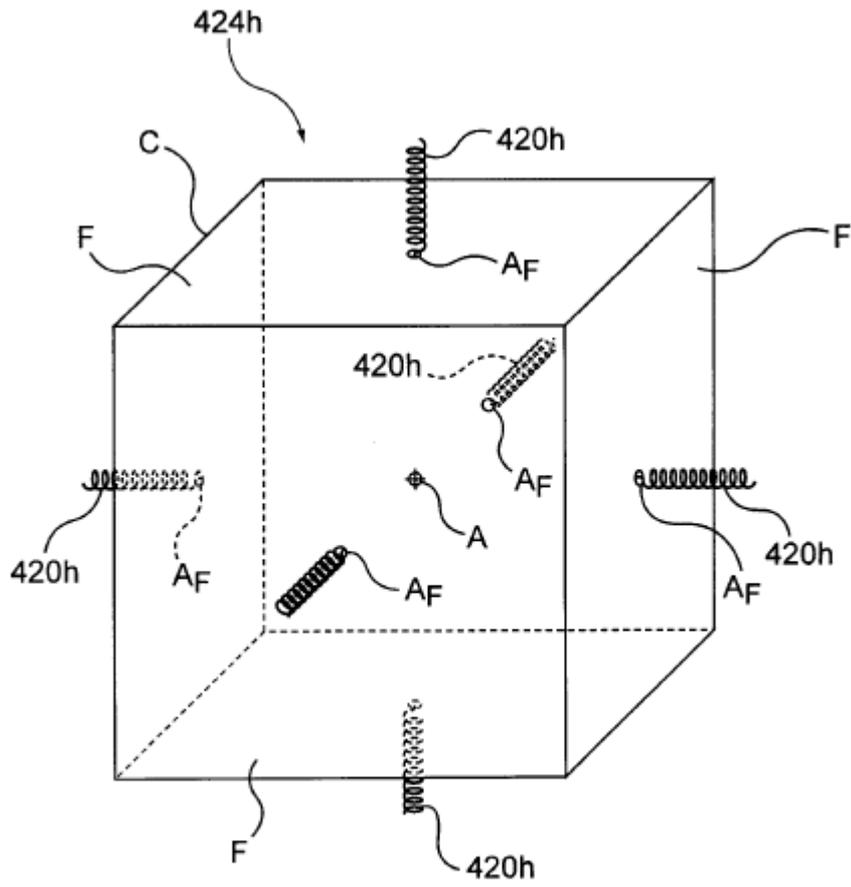


FIG. 4h

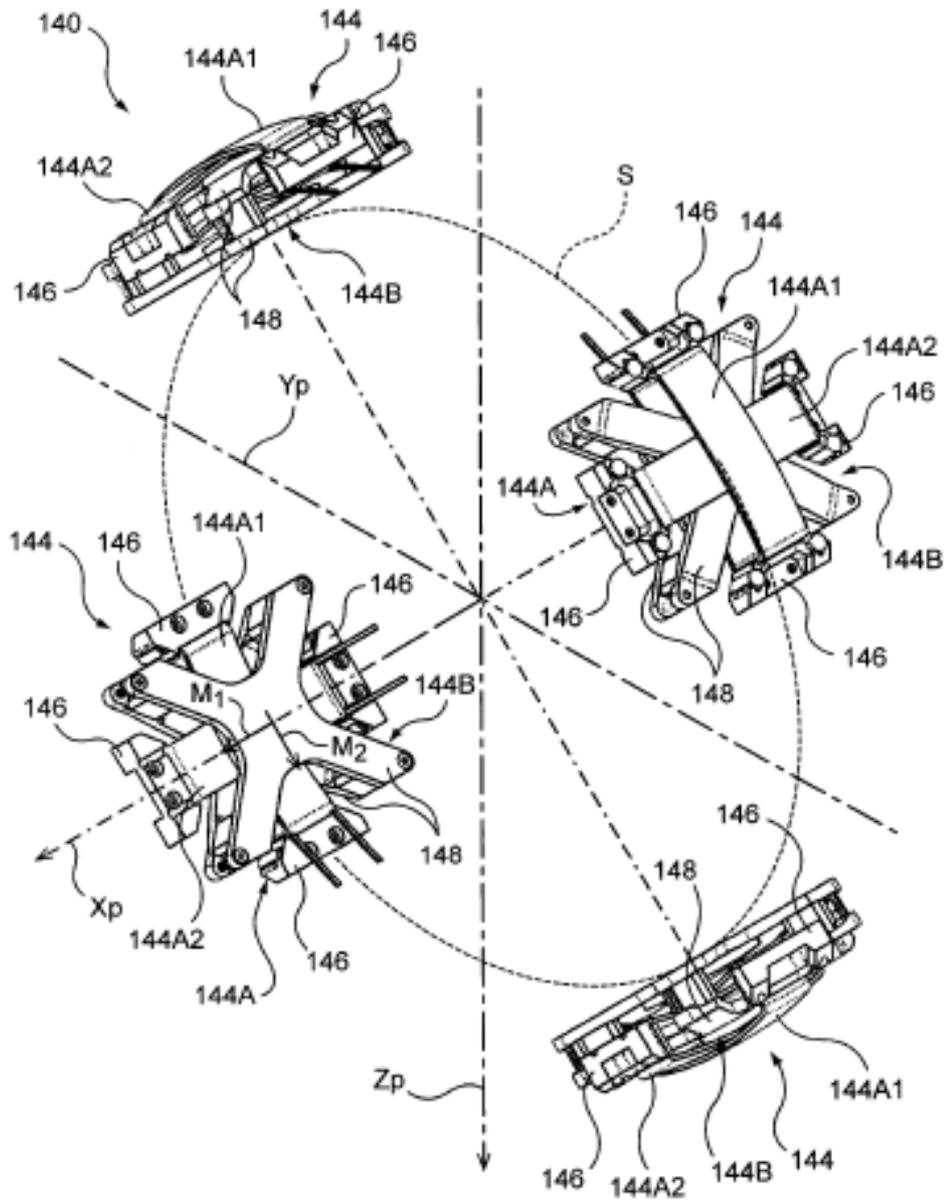


FIG. 5a

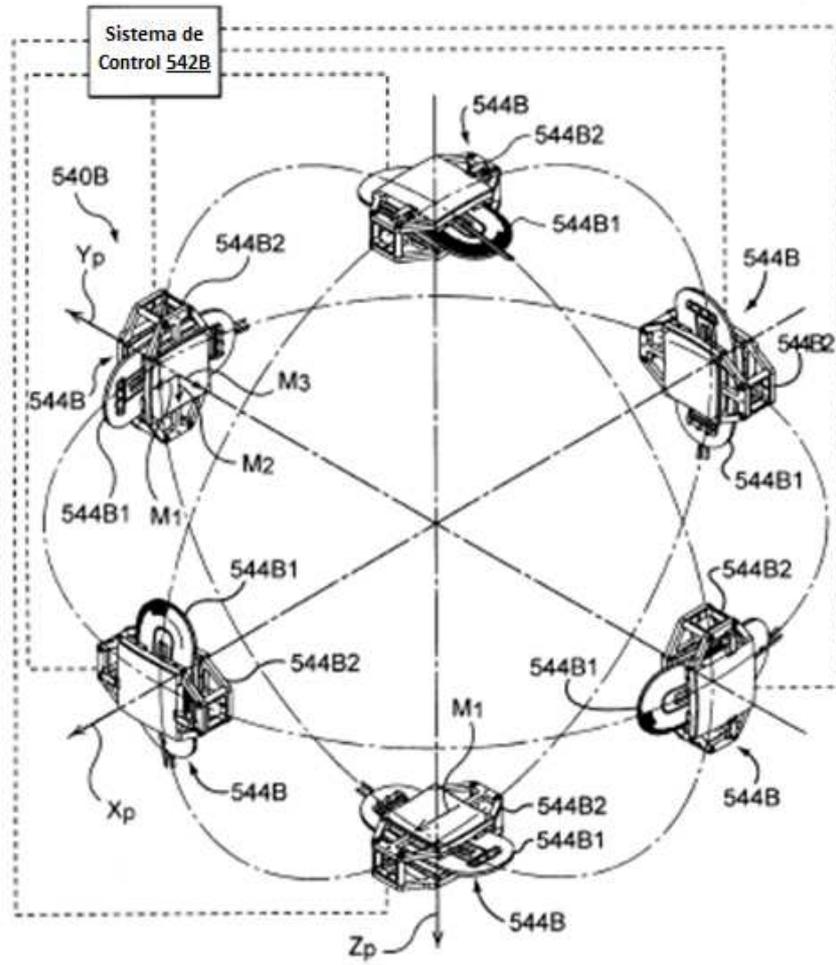


FIG. 5b

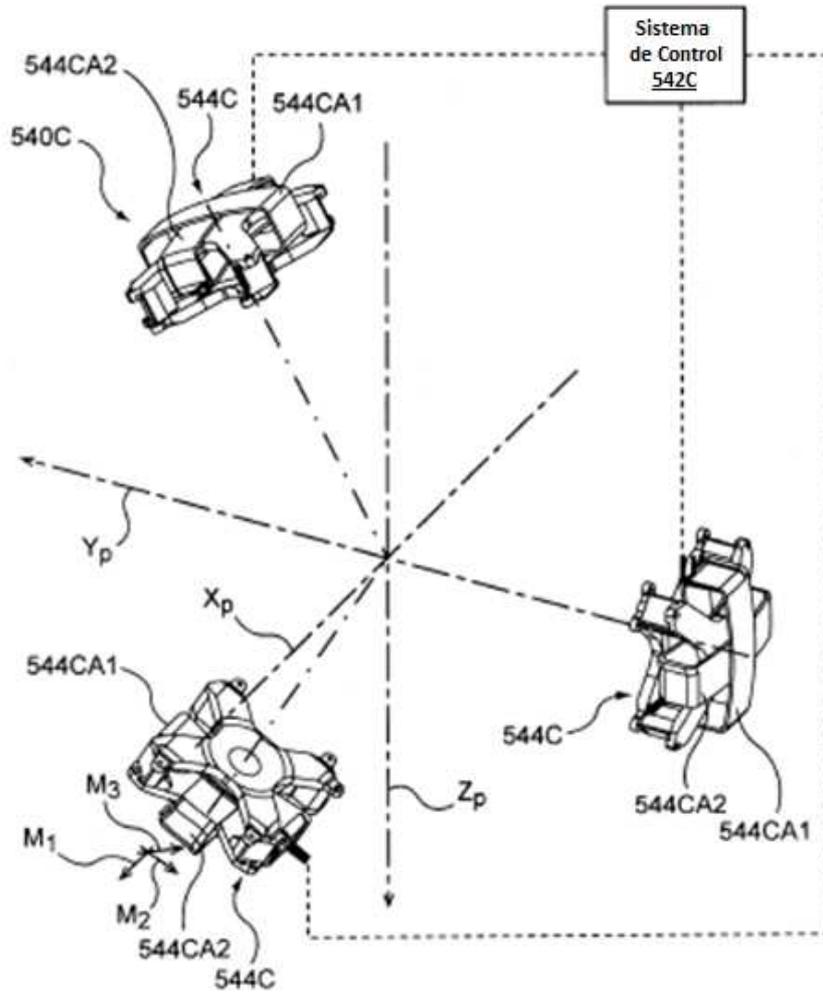


FIG. 5c

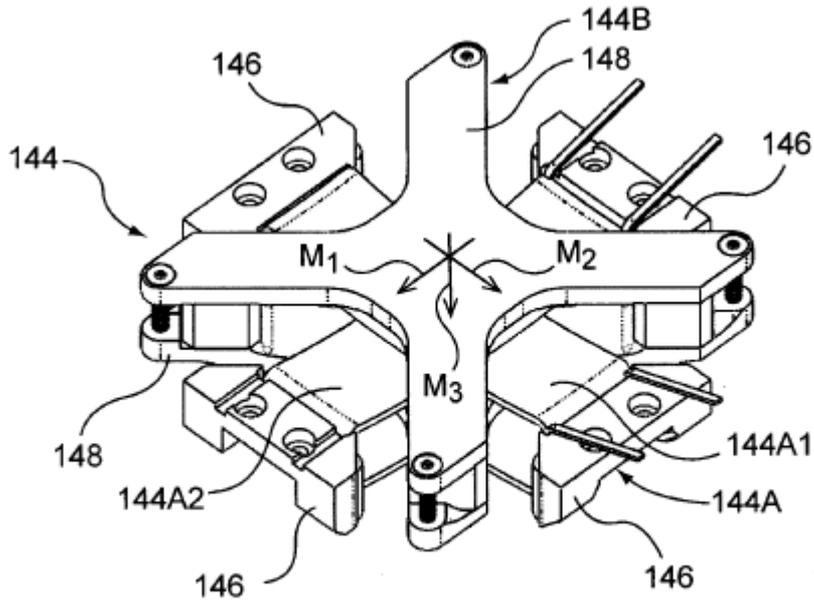


FIG. 6a

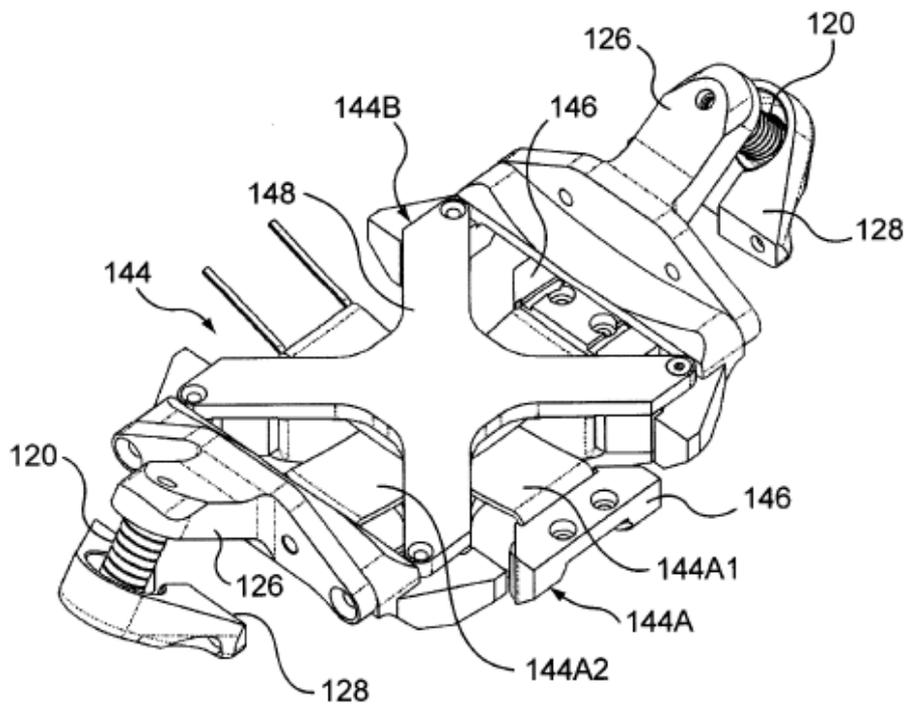


FIG. 6b

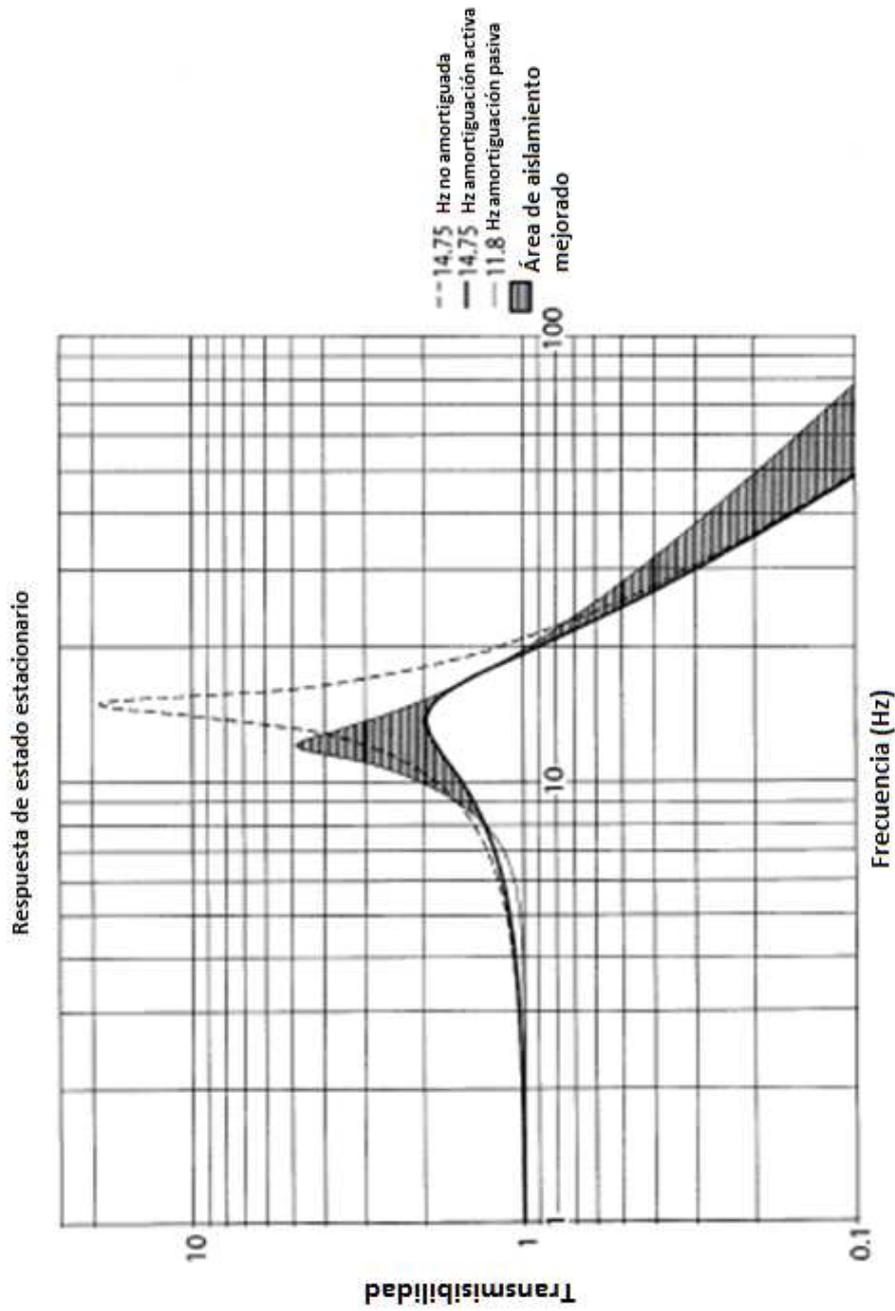


FIG. 7

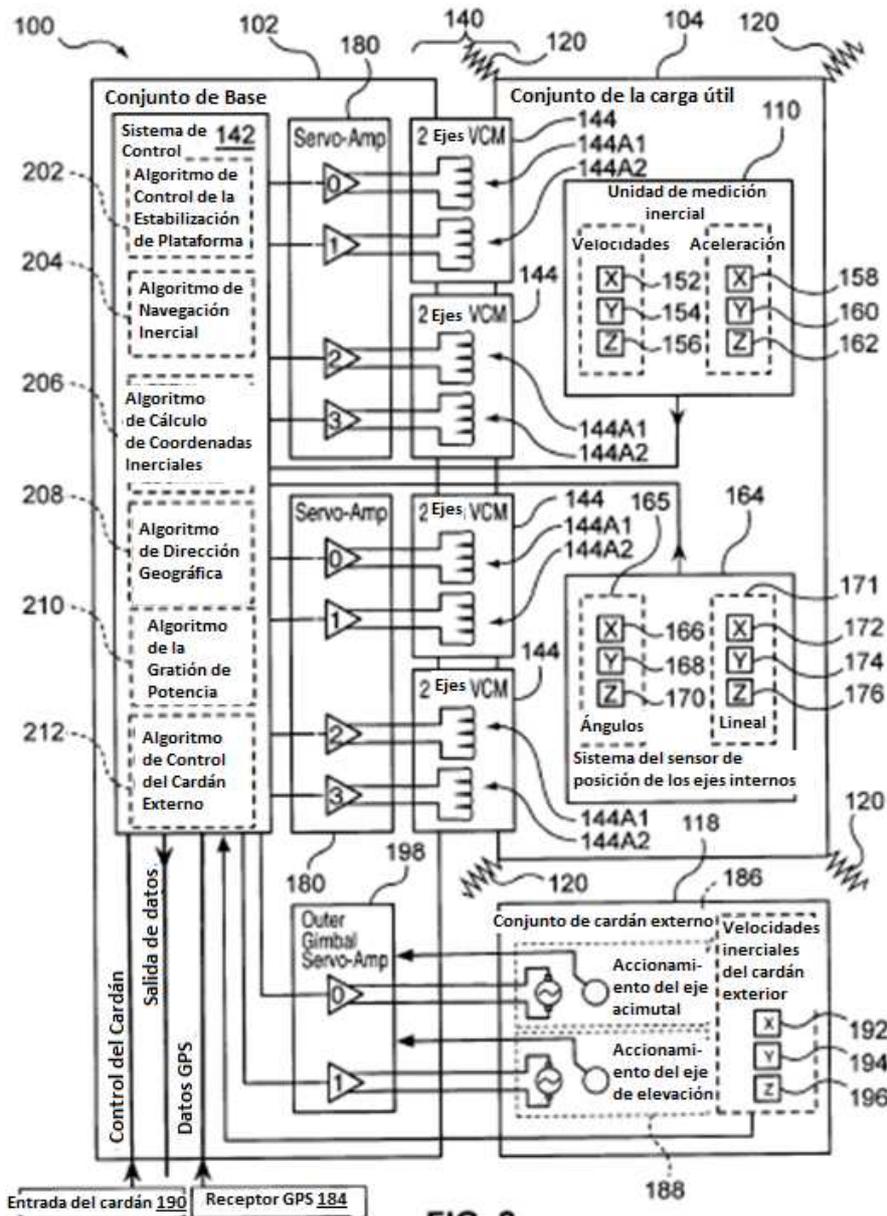
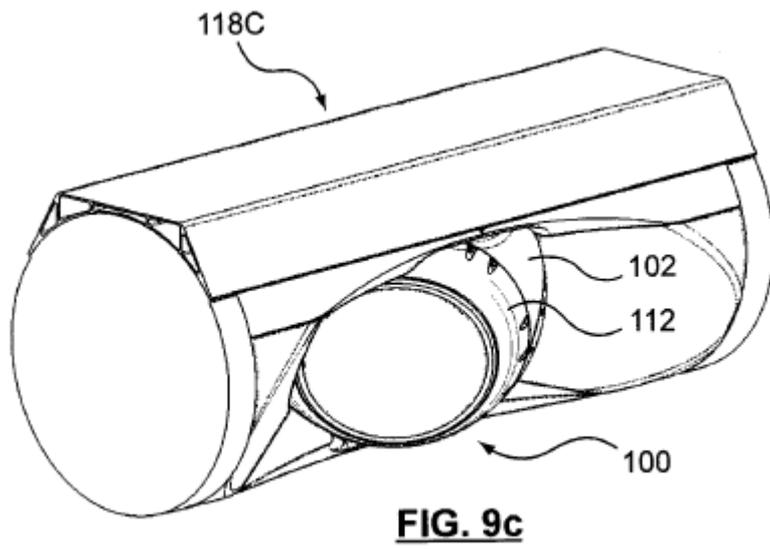
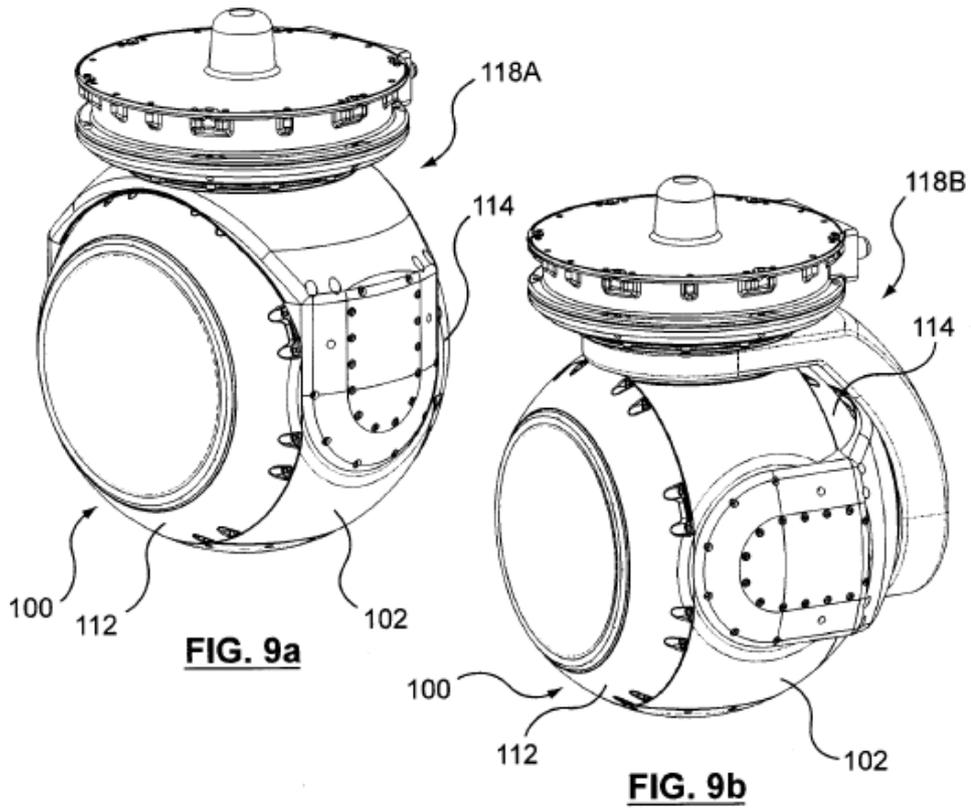


FIG. 8



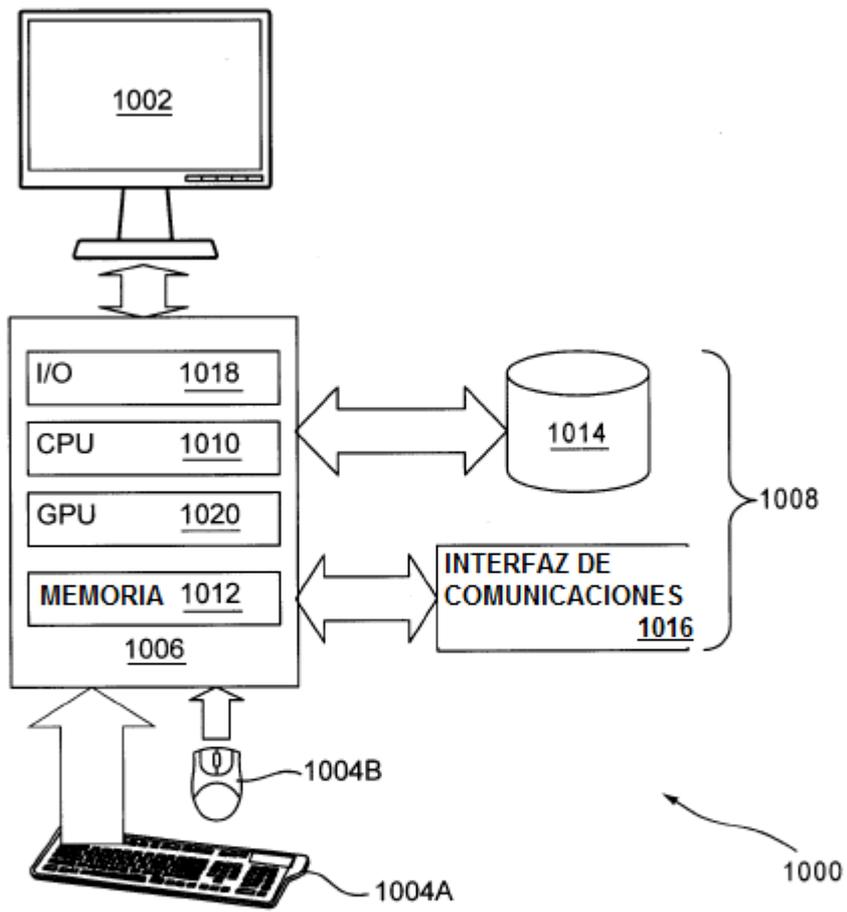


FIG. 10 (TÉCNICA ANTERIOR)