

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 371 020**

51 Int. Cl.:

B62K 3/00 (2006.01)

B62K 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01980003 .6**

96 Fecha de presentación: **11.10.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1324911**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.07.2003**

54 Título: **CONTROL DE UN TRANSPORTADOR PERSONAL.**

30 Prioridad:
13.10.2000 US 687757
13.10.2000 US 687789
13.10.2000 US 687557
18.12.2000 US 739192

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
26.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
26.12.2011

73 Titular/es:
**DEKA PRODUCTS LIMITED PARTNERSHIP
340 COMMERCIAL STREET
MANCHESTER, NH 03101, US**

72 Inventor/es:
KAMEN, Dean, L.;
ARLING, Richard, William;
FIELD, J., Douglas;
HEINZMANN, John, David;
MORRELL, John, B.;
POMPA, Jonathan, B. y
YUNDT, George, B.

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 371 020 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

Control de un transportador personal

Campo técnico

La presente solicitud tiene por objeto unos modos de energizar y controlar un transportador personal motorizado.

5 Antecedentes de la invención

Los transportadores dinámicamente estabilizados se refieren a vehículos personales que incorporan un sistema de control que mantiene de forma activa la estabilidad del transportador mientras el transportador está en funcionamiento. El sistema de control mantiene la estabilidad del transportador mediante la detección continua de la orientación del transportador, determinando la acción correctora para mantener la estabilidad, y controlando los motores con rueda para efectuar la acción correctora. Si el transportador pierde la capacidad de mantener la estabilidad, por ejemplo por el fallo de un componente, el conductor puede experimentar zozobra por la pérdida repentina del equilibrio. Respecto de algunos transportadores dinámicamente estabilizados, como por ejemplo los descritos en la Patente estadounidense No. 5,701,965, los cuales pueden incluir una silla de ruedas para transportar una persona discapacitada bajando por un tramo de escaleras, es esencial, para la seguridad del conductor, que el vehículo continúe funcionando de manera constante después de la detección de un componente averiado. Respecto de otros transportadores dinámicamente utilizados, sin embargo, el conductor puede fácilmente ser capaz de apearse sin problemas del transportador en el caso del fallo de un componente. Es deseable que se disponga de unos modos de control para dichos vehículos en los cuales el conductor sea capaz de apearse sin problemas en el caso de un percance.

20 La Patente estadounidense No. 5,985,225 divulga un vehículo para transportar una carga útil sobre un terreno que tenga una superficie que puede ser irregular. Así mismo, un vehículo de transporte para transportar a una persona sobre una superficie irregular se presenta en la Patente estadounidense No. 5,794,730.

Sumario de la invención

25 De acuerdo con un aspecto de la invención se proporciona un procedimiento para dotar a un usuario de un acceso acelerado a la dirección de un transportador personal de equilibrio, estando el procedimiento caracterizado por comprender: la inicialización de un estabilizador de eje único; el comienzo de la inicialización de un estabilizador de 3 ejes; la advertencia al usuario de que el transportador está listo para ser utilizado; la autorización para el funcionamiento del transportador; la terminación de la inicialización del estabilizador de 3 ejes; y el empleo del estabilizador de 3 ejes para el control del transportador personal de equilibrio.

30 Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una vista lateral de un vehículo personal carente de una posición estática estable, para soportar o transportar un sujeto que permanece sobre él en posición en pie;

la Fig. 2 muestra un diagrama de bloques de la arquitectura del sistema de una forma de realización de la presente invención;

35 la Fig. 3 muestra una vista desde arriba de la fuente de energía eléctrica con la cubierta superior retirada;

la Fig. 4 es un diagrama de bloques del módulo del mecanismo d accionamiento de energía eléctrica;

la Fig. 5 se un modelo eléctrico de un motor;

la Fig. 6a muestra una vista desde arriba de un detector de conductor;

la Fig. 6b muestra una vista lateral cortada de la Fig. 6a;

40 la Fig. 7 muestra una vista en despiece ordenado de un dispositivo de entrada de guiñadas;

la Fig. 8a es una vista desde arriba en sección transversal de un dispositivo de guiñadas de amortiguación elastomérica, mostrada en su posición relajada;

la Fig. 8b es una vista desde arriba en sección transversal del dispositivo de entrada de guiñadas de la Fig. 8a mostrada en una posición desviada;

45 las Figs. 8c y 8d son vistas desde atrás y desde arriba, respectivamente, del dispositivo de entrada de guiñadas de la Fig. 8a acoplado a un manillar de un transportador personal;

las Figs. 9a y 9b muestran un dispositivo de dirección con la palma de la mano en un estado de reposo y en un estado activado, respectivamente, tal y como se monta en un manillar de un transportador personal;

la Fig. 10 es un diagrama de flujo lógico del programa de control de acuerdo con formas de realización de la presente invención;

la Fig. 11 es un diagrama de flujo del control de tracción; y

5 la Fig. 12 es un diagrama de flujo para una desaceleración a cero de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

Descripción de formas de realización preferentes

10 Un transportador personal puede considerarse que actúa como “equilibrante” si es capaz de funcionar sobre una o más ruedas pero que sería incapaz de mantenerse sobre las ruedas de no ser por el funcionamiento de un bucle de control que gobierne el funcionamiento de las ruedas. Un transportador personal de equilibrio carece de estabilidad estática pero está equilibrado dinámicamente. Las ruedas, u otros elementos de contacto con el suelo, que permiten el contacto entre dicho transportador personal y el suelo u otra superficie subyacente, y mínimamente el transportador frente a las oscilaciones en el curso de un funcionamiento habitual, son designadas en la presente memoria como “elementos primarios de contacto con el suelo”.

15 Una forma de realización de un transportador personal de equilibrio se representa en la Fig. 1 y se designa genéricamente mediante la referencia numeral 10. En determinadas aplicaciones, el funcionamiento del transportador personal 10 puede no requerir su funcionamiento durante un periodo extenso de tiempo en caso de avería. Puede ser deseable, sin embargo, un funcionamiento claudicante, durante un periodo definido de tiempo con el fin de hacer posible que el transportador mantenga la estabilidad mientras que detiene y para permitir que un usuario se apeee del vehículo. Aunque puede no ser necesario se determinados transportadores personales
20 equilibrantes funcionen de manera indefinida si un componente falla, pueden, sin embargo, proporcionar, de manera ventajosa, una arquitectura redundante de detección de averías, en la que los componentes críticos, por ejemplo giroscopios, baterías, devanados del motor, y procesadores estén duplicados y funcionen en paralelo en el curso de la marcha del transportador. Si se produce una avería en una línea de componentes, la línea paralela seguirá manteniendo la estabilidad del transportador durante al menos un corto periodo de tiempo. De acuerdo con la
25 presente invención y tal y como se expone más adelante, el corto periodo de funcionamiento continuado es utilizado de forma ventajosa para detener el transportador manteniendo al tiempo el equilibrio, y, a continuación, apagar los motores de las ruedas. El transportador termina por detenerse actuando sobre el transportador para refrenar su marcha, tal y como se lleva a cabo en la limitación de velocidad.

30 Una usuaria 8 se muestra en la Fig. 1, de pie sobre la plataforma (o “base”) 12 del módulo 26 de contacto con el suelo. Las ruedas 21 y 22 se muestran como coaxiales alrededor del eje Y. La dirección u otro tipo de control puede disponerse mediante unas ruedas 32 y 34 manejadas por el pulgar, o mediante cualquier otro mecanismo de entrada de usuario descrito con detalle más adelante. Un manillar 14 puede estar dispuesto sobre la barra 16 para su sujeción por parte de la usuaria.

35 Con referencia ahora a la Fig. 2 en ella se muestra un diagrama de bloques de la arquitectura del sistema. Un motor izquierdo 110 acciona una rueda izquierda 20 (mostrada en la Fig. 1) y un motor derecho 120 acciona una rueda derecha 21. Los motores 110 y 120 son, de modo preferente, motores sin escobillas de cc pero pueden ser motores o bien de ca o motores de cc ya sea con o sin escobillas. Cada motor es energizado por un conjunto redundante de devanados 111, 112, 121, 122. Cada devanado es capaz de energizar el motor en el caso de que el devanado complementario sea incapaz de energizar el motor. En el análisis subsecuente, cada componente redundante se
40 distingue por un grupo de dos letras que identifican ya sea el lado izquierdo (L) o el derecho (R) del transportador, y ya sea del grupo A o el grupo B de los componentes redundantes. Por ejemplo, el devanado del motor izquierdo energizado por el grupo A de componentes es designado como el devanado LA.

45 Cada uno de los devanados 111, 112, 121, 122, del motor es accionado por un amplificador 132, 133, 142, 143 del motor. Los amplificadores 132, 133 del grupo A son alimentados por una fuente de alimentación 131 del grupo A y los amplificadores 142, 143 del grupo B son alimentados por la fuente de alimentación 141 del grupo B. Las conexiones eléctricas entre las fuentes de alimentación y los amplificadores, y entre los amplificadores y los devanados del motor se espera que conduzcan corrientes intensas de hasta 20 a 40 Amperios y se identifican mediante las líneas gruesas 105 de la Fig. 2.

50 Cada motor 110, 120 incorpora un dispositivo de retroalimentación de eje (SFD) 113, 123 que mide la posición o la dirección angular del eje del motor. El SFD está en comunicación con los amplificadores del motor que accionan el motor asociado con el SFD. Por ejemplo, el SFD derecho 123 asociado con el motor derecho 120 está en comunicación con el amplificador RA 133 y con el amplificador RB 143. El SFD es, de modo preferente, un sensor Hall que determina la posición del eje, sin embargo el SFD puede ser seleccionado entre una diversidad de sensores, como por ejemplo, codificadores, resolvers y tacómetros, todos relacionados como ejemplos no
55 limitativos. Determinados sensores, como por ejemplo, los tacómetros, pueden, así mismo, ser utilizados para medir la velocidad del eje. La conversión de una señal que representa una veocidad instantánea del eje a o desde una posición de representación de la señal se lleva a cabo mediante la integración o la diferenciación de la señal, respectivamente.

Los amplificadores **132, 133** del grupo A son dirigidos por el procesador A **135**, mientras que los amplificadores **142, 143** del grupo B son dirigidos por el procesador B **145**. La energía es alimentada al procesador A desde la fuente de alimentación A **131** por medio del convertidor de cc - cc **136** del grupo A. De modo similar, la fuente de alimentación B **141** alimenta energía al procesador B **146** a través del convertidor de cc - cc **145** del grupo B. Los amplificadores **132, 133** del grupo A, el convertidor **136** del grupo A, y el procesador A **135** están, de modo preferente, agrupados entre sí en un compartimento o bandeja **130** que está, al menos parcialmente, aislada por una barrera **150** respecto de la bandeja B **140** que contiene los amplificadores del grupo B, el convertidor del grupo B, y un procesador B. La separación física de la bandeja A **130** y de la bandeja B **140** reduce la probabilidad de una avería en un punto común. La barrera **150** actúa para retrasar la propagación de una avería existente en una bandeja a la otra bandeja, de manera que el transportador tenga el tiempo suficiente para situar al conductor en una posición segura para salir del transportador. De modo similar, la fuente de alimentación **131** está físicamente separada de la fuente de alimentación B **141**. La fuente de alimentación A **131** y los componentes existentes en la bandeja A **130** son capaces de accionar ambos motores **110, 120** durante un corto periodo de tiempo, del orden de unos pocos segundos, en el caso de avería en uno cualquiera de los componentes del grupo B. Al contrario, la fuente de alimentación del grupo B **141** y los componentes existentes en la bandeja B **140** son capaces de accionar ambos motores **110, 120** durante un corto periodo de tiempo si falla un componente del grupo A.

Aunque los procesadores **135, 145** están físicamente aislados entre sí, la comunicación se mantiene entre los procesadores por medio de unos canales de comunicación **137, 147**. Los canales de comunicación **137, 147** son, de modo preferente, conductores eléctricos, pero pueden, así mismo, ser electromagnéticos, como por ejemplo ópticos, infrarrojos, de microondas, o de radio. El canal A **137** transmite señales desde el procesador B **135** hasta el procesador B **145** y el canal B **147** transmite señales desde el procesador B **145** al procesador A **135**. Unos aisladores ópticos **139, 149** están incorporados en los canales **137, 147** para impedir que se propaguen sobretensiones desde un procesador cortocircuitado al otro procesador.

Cada procesador recibe señales desde una pluralidad de sensores que supervisan el estado del transportador y los comandos de entrada del conductor. El procesador utiliza las señales de los sensores para determinar y transmitir el comando apropiado a los amplificadores de los motores. La información transmitida a los procesadores mediante los sensores incluye la orientación espacial del transportador suministrada por una unidad de medición inercial (IMU) **181, 182**, el comando de giros dirigidos por el conductor es suministrado por un dispositivo de entrada de guiñadas (YID) **132, 142**, y la presencia de un conductor sobre el transportador proporcionada por un detector de conductor (RD) **161, 162, 163, 164**. Otras entradas al procesador pueden incluir un dispositivo de ajuste de la inclinación (PTD) **148** para ajustar el cabeceo del transportador para conseguir un cabeceo más cómodo y un botón de parada (no mostrado) para detener el transportador con rapidez. Dependiendo de la importancia del sensor con respecto al funcionamiento del transportador, los sensores pueden o pueden no ser duplicados con fines de redundancia. Por ejemplo, la orientación espacial del transportador es centrada respecto del funcionamiento del transportador, de acuerdo con lo descrito más adelante y, por consiguiente, una IMU **181** del grupo A suministra información de la orientación del transportador al procesador A **135** y una IMU **182** del grupo B suministra información de la orientación del transportador al procesador B **145**. Por otro lado, el transportador puede todavía ser accionado de forma segura sin el PTD **148**, de forma que, típicamente, solo se dispone un dispositivo de este tipo. De modo similar, un dispositivo de salida, como por ejemplo un dispositivo de pantalla **138** no requiere redundancia. Un dispositivo no redundante, como por ejemplo una pantalla **138** o un PTD **148** pueden estar conectados a uno u otro procesador.

En la Fig. 2, la pantalla **138** es controlada por el procesador A **136** y el PTD **148** está en comunicación directa con el procesador B **145**. La información suministrada por el PTD **148** es transmitida por el procesador B **145** al procesador A **135** por medio del canal B **147**.

Así mismo, cada procesador **135, 145** comunica con uno de los procesadores de interfaz de usuario (UIPs) **173, 174**. Cada UIP **173, 174** recibe unos comandos de dirección del usuario por medio de uno de los dispositivos de entrada de guiñadas **171, 172**. Un UIP **173** del grupo A comunica, así mismo, con los UIPs no redundantes, como por ejemplo, la pantalla **138** con el interruptor de frenado **175**, y con el control de ajuste de cabeceo **148**. Otros dispositivos de interconexión que no están dispuestos de modo redundante en la forma de realización mostrada en la Fig. 2, como por ejemplo, un dispositivo de alarma sonoro, luces, y un interruptor de encendido / apagado pueden, así mismo, estar conectados al UIP **173** del grupo A. El UIP **173** del grupo A puede, así mismo, pasar la información suministrada por los dispositivos de interfaz de usuario al UIP **174** del grupo B.

De modo preferente, el UIP **173** del grupo A compara los cálculos del procesador del grupo A con los cálculos del procesador B y solicita al procesador **135** del grupo A, con un cálculo de "circuito de guarda", que verifique el funcionamiento del procesador del grupo A. De modo similar, el UIP **174** del grupo B solicita al procesador **145** del grupo B que verifique el funcionamiento normal del procesador del grupo B.

A continuación se describen diversos componentes del transportador personal **10**.

Batería

La energía del transportador requerida para accionar los motores **110, 120** y los componentes eléctricos puede ser alimentada por cualquier fuente conocida de energía eléctrica de la técnica de los dispositivos eléctricos. La fuente de energía puede incluir, por ejemplo, motores de combustión tanto interna como externa, células energéticas y baterías recargables. En formas de realización preferentes de la presente invención, las fuentes de alimentación **131, 141** son paquetes de baterías recargables. Pueden ser utilizadas diversas modalidades de estructura química en las baterías, de acuerdo con lo requerido según las diversas condiciones y, pueden incluir, sin limitación, baterías de plomo - ácido, baterías de litio - ión, batería níquel - cadmio (Ni-Cd), o baterías de hidruro de níquel metálico. Cada fuente de alimentación **131, 141** está encerrada en un receptáculo que protege del entorno los paquetes de baterías y los elementos electrónicos asociados.

La Fig. 3 muestra una vista desde arriba de la fuente de alimentación con la cubierta superior retirada. Una bandeja **205** que está cubierta y cerrada herméticamente para proteger el contenido respecto del entorno, contiene los componentes de la fuente de alimentación **200**. La bandeja **205** aloja una pluralidad de bloques de baterías **210**, cada uno de los cuales contiene una pluralidad de células de batería **215**. El número de células **215** empaquetadas en un bloque **210** y el número total de bloques de la fuente de alimentación se determina por las exigencias de energía esperadas del transportador. De modo preferente, las células **215** son células de tamaño "sub-C" y cada bloque **210** contiene diez células **215**. El bloque **210** puede contener un número distinto de células **215**. Las células **215** están, de modo preferente, conectadas en serie, como lo están los bloques **210**. Los bloques **210** pueden estar conectados en paralelo con las células **215** dentro de cada bloque conectado en serie o, como alternativa, los bloques **210** pueden estar conectados en bloque con las células **215** dentro de cada bloque **210** conectadas en paralelo, proporcionando cada configuración determinadas ventajas respecto de las concretas aplicaciones.

La corriente eléctrica que fluye dentro y fuera de la fuente de alimentación **200** es conducida a través de un conector **220** que proporciona la interconexión eléctrica entre la fuente de alimentación **200** y el transportador **10**. En la Fig. 3, el conector **220** está situado sobre la cubierta superior (no mostrada) de la fuente de alimentación **200** pero puede ser utilizada cualquier posición del conector **220**. Además de conducir la corriente dentro o fuera de la fuente de alimentación **200**, el conector puede, así mismo, incluir una pluralidad de líneas de señal que establezcan la comunicación entre los componentes internos de la fuente de alimentación y cualquier otro procesador del transportador.

La temperatura de cada bloque **210** es supervisada por el controlador de alimentación **230** por medio de unos sensores **235** de la temperatura. Así mismo, un controlador de alimentación **230** supervisa, también, la tensión de cada bloque **210**. Si el controlador de alimentación **230** detecta que la temperatura de un bloque **210** está por encima de un límite de temperatura preestablecido, el controlador de alimentación **230** envía una señal de exceso de temperatura al procesador a través del conector **220**. De modo similar, si el controlador de alimentación **230** detecta que la tensión de un bloque **210** está por debajo de un límite de tensión preestablecido, el controlador de alimentación **230** envía una señal de infratensión al procesador a través del conector **220**.

El controlador de alimentación **230** contiene, de modo preferente, un chip de ID **240** que almacena información acerca de la fuente de alimentación, por ejemplo del tipo por baterías, del número de células de la fuente de alimentación **210** y, de manera opcional, un código de fecha o un código de número de serie. El chip de ID **240** puede ser de cualquier tipo de dispositivo de memoria permanente o semipermanente conocido en la técnica de la electrónica. La información contenida en el chip de ID **240** puede ser utilizada por el procesador **135, 145** para fijar diversos parámetros operativos del transportador. Esta información puede ser, así mismo, utilizada por un cargador (no mostrado) para recargar la fuente de alimentación.

La fuente de alimentación **200** puede estar conectada por medio de un conector a un cargador que esté dispuesto o bien por fuera del transportador o contenido dentro del transportador. En una disposición, el cargador está situado en el transportador y es un cargador de modo de interruptor de ca bien conocido en la técnica de las fuentes de alimentación. En otra forma de realización, el cargador está contenido dentro de la bandeja de baterías **205**. En otra disposición, la fuente de alimentación **200** es cargada por una unidad de potencia auxiliar (APU), como la descrita en la Solicitud de Patente estadounidense pendiente con la actual con el número de Serie 09/517,808 titulada "Unidad de Potencia Auxiliar" ["Auxiliary Power Unit"]..

Amplificador del motor y modos operativos

La Fig. 4 muestra un bloque esquemático de un módulo de energía eléctrica **300**. Un procesador **310** de equilibrio genera una señal de comando al amplificador **320** del motor el cual, a su vez, aplica la energía eléctrica apropiada al motor **330**. El procesador de equilibrio **310** recibe las entradas procedentes del usuario y de los sensores del sistema y aplica una ley de control, de acuerdo con lo analizado con detalle más adelante para mantener el equilibrio y para gobernar el movimiento del transportador de acuerdo con los comandos del usuario. El motor **330**, a su vez, rota un eje **332** que suministra un par de torsión, τ , a una velocidad angular, ω , a una rueda **20, 21** (mostrada en la Fig. 1) que está fijada al eje **332**. Una transmisión puede ser utilizada para poner en relación la velocidad de la rueda con la velocidad angular del eje **332**. De modo preferente, el motor **330** es un motor de cc sin escobillas de tres bobinas. En esa disposición, el motor **330** presenta tres conjuntos de bobinas de estator aunque puede ser utilizado cualquier

número de bobinas. Las bobinas de estator están eléctricamente conectadas a una etapa de energía **324** mediante unos cables **337** para las bobinas capaces de conducir corrientes intensas de altas tensiones. Debe entenderse que las corrientes intensas y las altas tensiones son relativas a las corrientes y las tensiones normalmente utilizadas en el procesamiento de señales y cubren la extensión por encima de 1 amperio o 12 voltios, respectivamente.

5 El amplificador propiamente dicho **320** del motor contiene tanto un procesador **332** del amplificador como una etapa de amplificación **324** de la energía eléctrica. El controlador **322** del amplificador puede estar configurado para controlar, ya sea la corriente o la tensión aplicada al motor **330**. Estos modos de control pueden ser designados como modo de control de la corriente y modo de control de la tensión. La etapa de energía eléctrica **324** conmuta la fuente de alimentación **340** conectándose o desconectándose de cada bobina, controlándose la conmutación de cada etapa de energía eléctrica **324** mediante el controlador **322** del amplificador. Un bucle interno **326** detecta si la salida de la etapa de energía eléctrica **324** es la comandada y retroalimenta una señal de errores hacia el controlador **322** del amplificador en un ancho de banda de bucle cerrado, de modo preferente, del orden de 500 Hz. Así mismo, el control por parte del controlador **322** del amplificador se basa, en parte, en una señal de retroalimentación procedente del sensor de retroalimentación de eje (SFS) **335**.

15 El sensor de retroalimentación de eje **335** está, así mismo, en comunicación con el procesador **310** y proporciona información relacionada con la posición o el movimiento del eje hacia el procesador. El sensor de retroalimentación de eje **335** puede ser cualquier sensor conocido en la técnica de los sensores capaz de detectar la posición o la velocidad angular de un eje rotatorio e incluye tacómetros, codificadores y resolvidores. En una forma de realización preferente, se utiliza un sensor Hall para detectar la posición del eje rotatorio **332**. Una ventaja de un sensor Hall es el bajo coste del sensor. Con el fin de obtener una medida de la velocidad de rotación del eje a partir de una señal de la posición suministrada por el sensor de retroalimentación de eje **335**, la señal de la posición es diferenciada por un diferenciador **308**. El bucle de retroalimentación exterior **342** opera en un ancho de banda característico del control del equilibrio suministrado por el procesador de equilibrio **310** y puede ser tan bajo como de 20 a 30 Hz.

25 Aunque la corriente y la tensión pueden ser equivalentes en determinadas aplicaciones, el control de la tensión se aplica de modo ventajoso en formas de realización de control del transportador en las que el ancho de banda de bucle externo es más de 3 a 4 veces más lento que el ancho de banda de bucle cerrado interno, por las razones ahora analizadas con referencia a la Fig. 5. La Fig. 5 muestra un modelo eléctrico **410** de un motor. Un motor presenta un par de terminales **411**, **412** a través de las cuales se aplica una tensión V . El motor **410** incorpora, así mismo, un eje rotatorio **420** caracterizado por una velocidad del eje (ω) y un par de torsión, τ . El motor **410** puede estar modelado por un resistor **430** de resistencia R que conduce una corriente i en serie con un motor ideal **435** que tiene una caída de tensión V_{emf} . Para un motor ideal, $V_{emf} = k_v \cdot \omega$ y $\tau = k_c \cdot i$ donde k_v y k_c son constantes del motor. El resistor en serie **430** modela las pérdidas del motor **410**.

35 Las diferencias de comportamiento del transportador **10** (mostrado en la Fig. 1) debidas al control de la tensión o al control de la corriente pueden apreciarse utilizando el ejemplo de un transportador que encuentra y pasa por encima de un obstáculo. Cuando una rueda **20** del transportador encuentra un obstáculo, la velocidad de la rueda disminuirá porque el par de torsión aplicado a la rueda es insuficiente para accionar la rueda superando el obstáculo. La caída en la velocidad de la rueda se reflejará en una reducción de la tensión de la fuerza contraelectromotriz ("back - emf") a través del motor ideal.

40 Considerando, en primer término, el caso del control de la tensión: si el amplificador está en el modo de control de la tensión, la tensión aplicada a los terminales **411**, **412** permanece constante y la corriente adicional será arrastrada a través de la resistencia **430** y del motor ideal **435**. La corriente adicional a través del motor generará el par de torsión adicional para accionar la rueda por encima del obstáculo. Cuando el transportador pase por encima del obstáculo, la rueda se acelerará bajo el par de torsión adicional fue generado para pasar por encima del obstáculo pero ya no se requiere para alejarse del obstáculo. Cuando la rueda se acelera, la fuerza contraelectromotriz a través del motor se incrementará y la corriente a través de R se reducirá con el fin de mantener la tensión a través de los terminales **411**, **412** constante. La reducción de la corriente reduce el par de torsión aplicado generado por el motor ideal, reduciendo de esta manera la aceleración de la rueda. La ventaja del par de torsión es que el motor ideal naturalmente extrae la corriente requerida para pasar por encima del obstáculo y naturalmente reduce la corriente para alejarse del obstáculo sin que se requiera ningún cambio en el comando del motor. Siempre que la fuente de energía eléctrica pueda suministrar la corriente requerida, el motor naturalmente actuará como su propio sensor de retroalimentación y el retardo del bucle del control del motor es esencialmente cero.

50 Bajo el modo de control de la corriente, por otro lado, el amplificador mantendrá la corriente constante a través del resistor **430** y del motor ideal **435** hasta que el controlador envíe un nuevo comando de corriente durante la siguiente trama del procesador. Cuando la rueda encuentra el obstáculo, ω decrece y la fuerza contraelectromotriz a través del motor ideal decrece. Sin embargo, dado que el controlador del amplificador está manteniendo la corriente constante, se permite que caiga la corriente a través de los terminales **411**, **412**. Dado que la corriente es mantenida constante por el controlador del amplificador, el par de torsión permanece constante. Sin embargo, el par de torsión es insuficiente para pasar por encima del obstáculo y la inercia del transportador en movimiento provocará que el transportador cabecee hacia delante. Cuando el transportador comienza a cabecear hacia delante sobre el obstáculo, el transportador de equilibrio detectará el cabeceo, ya sea a través de un cambio de error de cabeceo o a través de un cambio de la velocidad, y enviará un comando para incrementar la corriente al controlador del

amplificador, de acuerdo con el algoritmo de control dado a conocer en la patente estadounidense No. 5,971,091. El amplificador del motor responderá al comando de la corriente incrementada mediante la alimentación de una corriente adicional a través de R y del motor ideal. La corriente incrementada a través del motor ideal incrementa el par de torsión sobre la rueda hasta que es suficiente para que la rueda pase por encima del obstáculo. Cuando el transportador se desplaza sobre el obstáculo, sin embargo, el par de torsión incrementado acelerará las ruedas, dado que el obstáculo ya no ofrece resistencia a las ruedas. La aceleración de las ruedas provocará que las ruedas se desplacen hacia delante respecto del centro de gravedad (CG) del transportador, y provocará que el transportador cabecee hacia atrás. El controlador de equilibrio detectará la situación de cabeceo a través ya sea del error de cabeceo o a través de un cambio de la velocidad del transportador y emitirá un comando de reducción de la corriente alimentada al motor ideal, reduciendo de esta manera el par de torsión aplicado a la rueda.

Si el retardo provocado por el controlador de equilibrio es desdeñable y la precisión de la información de la velocidad retroalimentada al controlador de equilibrio es extremadamente alta, el conductor no apreciará una diferencia si se utiliza la tensión o la corriente. Sin embargo, si el controlador o el sensor del eje seleccionado para el transportador tiene un ancho de banda limitado, el modo de control de la corriente no proporcionará la respuesta inmediata que el modo de control de la tensión muestra para pequeños obstáculos. En una forma de realización preferente de la invención, un sensor de efecto Hall de bajo coste se emplea para detectar la rotación del eje. Así mismo, por las razones descritas más adelante, las limitaciones de la selección de las ganancias utilizadas en la ley de control para el modo de control de la corriente se traducen en una respuesta del transportador más suave con respecto al modo de control de la tensión.

Detector del conductor

Los modos operativos del transportador pueden incluir unos modos en los que el conductor sea soportado por el transportador pero pueden, así mismo incluir unos modos en los que el conductor no sea soportado por el transportador. Por ejemplo, puede ser ventajoso que el conductor pueda "conducir" el transportador mientras está caminando al lado de él o detrás de él.

Así mismo, es ventajoso para que sean activadas determinadas características de seguridad del transportador si el conductor abandona el transportador mientras el transportador está en movimiento. Las Figs. 6a y 6b muestran un mecanismo de detección del conductor. La Fig. 5a muestra una vista desde arriba del detector del conductor designada, en términos generales, mediante la referencia numeral **510**. El transportador **10** que incorpora el detector del conductor incluye una base **12**, un guardabarros **512** de la rueda izquierda, un guardabarros **514** de la rueda derecha, la barra de soporte **16** para el manillar **14** (mostrados en la Fig. 1). Los guardabarros de las ruedas **512** y **514** cubren las correspondientes ruedas. La barra de soporte **16** está fijada a la base **12** y proporciona un conducto sellado para la transmisión de señales procedentes de los controles **32**, **34** (mostrados en la Fig. 1) y pueden estar situados en el manillar para el control de los elementos electrónicos de control sellados en la base **12**. Los guardabarros de las ruedas **512**, **514** están unidos firmemente a los lados de la base.

La parte superior de la base **12** proporciona una superficie sustancialmente plana y tiene el tamaño preciso para soportar cómodamente un conductor puesto de pie sobre la base **512**. Una esterilla **521** cubre la parte superior de la base **12** y proporciona una protección adicional a la base **12** respecto de las partículas y el polvo del entorno. En una disposición alternativa, la esterilla, puede, así mismo, cubrir parte de los guardabarros **512**, **514** y puede ser utilizada para cubrir un orificio de carga (no mostrado) que proporcione la carga externa de la fuente de alimentación. La esterilla **521** puede estar hecha de un material elastomérico que proporcione la suficiente tracción para que el conductor no se resbale y caiga de la esterilla **521** bajo condiciones de la conducción inesperadas. Una placa **522** está situada entre la base **12** y la esterilla **521**. La placa **522** está hecha de un material rígido y distribuye de manera uniforme la fuerza que actúa sobre la placa **522** desde los pies del conductor, de tal manera que al menos un interruptor **523** de detección del conductor sea activado cuando un conductor está situado de pie sobre la esterilla.

La Fig. 6b muestra una vista lateral cortada del detector **510** del conductor. El interruptor **523** está hecho de material elastomérico que puede ser fabricado como parte integrante de la cubierta **524** de la base. Aunque el coste de fabricación puede ser mayor, la fabricación de la cubierta **524** de la base del interruptor como parte integrante de la cubierta **524** de la base elimina una posible fuente de fugas. El interruptor **523** presenta un vástago **540** que se extiende por debajo de la cubierta **524** de la base y una parte superior **542** que se extiende por encima de la cubierta **524** de la base. Cuando la parte superior **542** es oprimida, el interruptor **523** se deforma de tal manera que un vástago **540** es desplazado hacia abajo en dirección a un tablero electrónico **550** que está sellado dentro de la base **520**. Un interruptor óptico está situado sobre el tablero electrónico **550** de tal manera que, cuando el vástago **540** es desplazado hacia abajo, el vástago **540** interrumpe un haz de luz **557** generado por una fuente **555** y la interrupción por el haz de luz es detectada por un detector óptico **556**.

El borde **525** de la esterilla está, de modo preferente, fijada al a parte superior de la cubierta **524** de la base. La esterilla **521** presenta una porción realzada **527** que es soportada por una pared **526** que conecta el borde **525** de la esterilla sobre la porción realzada **527**. La altura de la pared **526** tiene el tamaño preciso para que la placa **522** no ejerza una fuerza sobre el interruptor **523** cuando no hay ningún peso sobre la esterilla **521**. Cuando el conductor pasa sobre la porción realzada **527**, la placa **522** es desplazada hacia el tablero electrónico **550** hasta que el vástago **540** interrumpe el haz de luz **557**. Cuando el conductor sale del transportador, la esterilla **521** retorna a la

configuración realizada como lo hace también el interruptor **523** restableciendo de esta manera el contacto del haz de luz entre la fuente **555** y el detector **556**.

Dispositivo de dirección

5 Con referencia ahora a la Fig. 7, en ella se muestra una vista en despiece ordenado de un dispositivo de dirección de un vehículo tipo escúter como el vehículo de equilibrio **10** de la Fig. 1. Un potenciómetro **602**, u otro sensor de la posición de un eje rotatorio **604** está fijado a una carcasa **606**. La carcasa puede ser parte del manillar **14** (mostrado en la Fig. 1). Una empuñadura rotatoria **608** está fijada al eje **604** del potenciómetro y proporciona una empuñadura para el conductor. Un muelle torsional **610** está conectado en un extremo a la empuñadura rotatoria **608** y en el otro extremo al potenciómetro **602** o a la carcasa **606**. Cuando el conductor gira la empuñadura **608**, la empuñadura hace girar el eje **604**. El potenciómetro **602** con una tensión oportunamente aplicada a través de su recorrido, como es conocido en la técnica, genera una señal sustancialmente proporcional a la rotación del eje. Si el conductor suelta la empuñadura, el muelle torsional **610** hace rotar la empuñadura **608** y el eje hasta sus posiciones neutral o cero respectivas. El retorno de la empuñadura **608** a su posición neutral permite que el transportador continúe desplazándose en la misma dirección en la que la empuñadura fue soltada. Si la empuñadura no volvió a la posición neutral cuando fue soltada, el controlador continuaría rotando en la dirección de la rotación residual.

La dirección de rotación puede ser utilizada para animar al conductor a inclinarse en la curva. Por ejemplo, con referencia así mismo a la Fig. 7, si la mano derecha del conductor sujeta la empuñadura **608**, un giro en la dirección de los dedos del conductor se corresponde con un giro a la derecha. La rotación de la muñeca derecha del conductor hacia el lado externo del manillar anima al conductor a cambiar el peso hacia la derecha y hacia el giro. El cambio del peso hacia el giro mejora la estabilidad lateral del transportador.

Con referencia ahora a las Figs. 8a - 8d, en ellas se muestra un dispositivo de entrada de la dirección amortiguado con elastómero y activado con el pulgar y se designa, en términos generales, mediante la referencia numeral **620**. Un sensor de rotación **622**, el cual es, de modo preferente, un potenciómetro, pero que puede ser cualquier sensor de rotación, está acoplado a una estructura fija, con respecto a la rotación, al soporte de un transportador personal, de modo preferente, al manillar **14** (mostrado en la Fig. 1). Un eje **624** del dispositivo de dirección **620** está doblado con respecto al punto de pivote **626** en respuesta a una fuerza aplicada sobre el botón **630** del pulgar por parte del pulgar **628** del usuario. Cuando el eje **624** se dobla, la rotación local alrededor del pivote **626** es leída por el sensor de rotación **622**, y una señal característica de la rotación es transmitida al controlador del transportador. El eje **624** del dispositivo de entrada **620** está compuesto por un núcleo elastomérico **632** rodeado por una vaina de metal **634**. El núcleo elastomérico **632** puede ser de caucho, por ejemplo. El extremo distal **636** del eje **624** queda capturado entre unos postes límite **638** los cuales se extienden desde el manillar y que limitan el desplazamiento del eje **624** cuando el usuario rota el extremo proximal **640** del dispositivo.

La rotación del usuario del extremo proximal **640** provoca que el eje **624** se doble, tal y como se muestra en la Fig. 8b. La vaina de metal **634** actúa como un muelle de lámina, proporcionando una fuerza restauradora que contrarresta la rotación del usuario del dispositivo, y hace retornar el dispositivo a la configuración neutral representada en la Fig. 8a. El núcleo elastomérico **632** actúa como un muelle de cizalla que se opone a la rotación del dispositivo por el usuario e incrementa la oposición cuando se incrementa la deflexión. La oposición incrementada se eleva debido al diferencial deslizante entre la vaina de metal **634** y el punto elastomérico **632** cuando el extremo largo (distal) **624** se dobla. La vista desde atrás del dispositivo de entrada de dirección **620** mostrada en la Fig. 8c muestra el potenciómetro **622** para la generación de una señal sustancialmente proporcional a la rotación del eje **624**. La vista desde arriba del dispositivo de entrada **620** de la dirección mostrado en la Fig. 8d muestra el codo aproximadamente con forma de L **642** del extremo proximal **640** del dispositivo de entrada **620**. EL perfil en línea de puntos **644** representa el dispositivo de entrada de la dirección en el estado desviado correspondiente a la Fig. 8b.

Un dispositivo de dirección adicional del transportador personal **10** de la Fig. 1 se muestra en las Figs. 9a y 9b. El dispositivo de dirección **650** con la palma de la mano está contenido sobre la superficie del manillar **14**. En el estado de reposo representado en la Fig. 9a, la superficie superior **652** de la palanca **652** es sustancialmente paralela con y sustancialmente al mismo nivel que la superficie superior **656** del manillar **24**. La palanca **652** está restringida a rotar alrededor del pivote **658** el cual está sustancialmente en paralelo con el suelo y en paralelo con la dirección de movimiento hacia delante del transportador. El conductor coloca la palma de una mano sobre la palanca **652** y, mediante la presión sobre el lado **660** o sobre el otro de la palanca **652** alrededor de pivote **658**, provoca la generación de una señal de dirección. La señal de dirección es generada por un sensor de rotación **662** situado en el pivote **658** o mediante unos sensores de la presión situados a ambos lados del fulcro **664**.

Unidad de medición inercial

55 La unidad de medición inercial (IMU) aloja los sensores utilizados por el procesador para determinar la orientación y la velocidad del transportador. Puede conseguirse una completa redundancia mediante el uso de dos IMUs que estén, de modo preferente, físicamente separadas entre sí y sean energizadas mediante fuentes de alimentación separadas, tal y como se muestra en la Fig. 2. Las restricciones espaciales pueden requerir que las IMUs

redundantes sean alojadas en el mismo paquete aunque sigan manteniendo fuentes de alimentación independientes y líneas de señales independientes con procesadores separados.

Las IMUs **181** y **182** del lado A y del lado B (mostradas en la Fig. 2) están alojadas en un solo paquete. Cada IMU puede estar equipada para medir la orientación del transportador alrededor de tres ejes (cabeceo, guiñada y balanceo), alrededor de dos ejes o alrededor de un eje (cabeceo). En otra forma de realización, cada una de las IMUs del lado A y del lado B está equipada para medir la orientación del transportador alrededor de tres ejes. En otra forma de realización la IMU de tres ejes puede emparejarse con una IMU de un solo eje.

Cada IMU incluye un sensor **190** (mostrado en la Fig. 2) y los elementos electrónicos de soporte del sensor. El sensor puede ser cualquier dispositivo capaz de generar una señal que sea indicativa de la orientación de la tasa de cambio de la orientación del sensor. La señal generada es, de modo preferente, casi proporcional a la orientación o tasa de cambio de la orientación del sensor, pero otras dependencias se incluyen en el alcance de la presente invención. Por ejemplo, un sensor puede ser un sensor de inclinación pendular del nivel del líquido, un giroscopio físico, un giroscopio de estado sólido, un acelerómetro, o un par de sensores de proximidad dispuestos en una línea y separados por una distancia conocida. En diversas formas de realización de la presente invención, se utiliza un giroscopio de estado sólido con un sensor del nivel del líquido. El sensor de inclinación del nivel del líquido puede ser utilizado para corregir la deriva del giroscopio de estado sólido, de acuerdo con lo descrito en la Solicitud estadounidense con el No. de Serie 09/458,148, incorporado en la presente memoria por referencia.

Una IMU de un solo eje puede consistir en un giroscopio de estado sólido y un sensor de la inclinación estando ambos sensores montados para proporcionar una señal correspondiente a la orientación de cabeceo del transportador. La IMU de 3 ejes consiste en al menos tres giroscopios de estado sólido de un sensor de inclinación. Los giroscopios pueden estar montados para proporcionar señales que se correspondan con una mezcla de cualquiera de las rotaciones alrededor de tres ejes ortogonales entre sí. Como alternativa, pueden, así mismo, estar montados para evitar la saturación de la señal de los giroscopios. La orientación de los giroscopios dependerá de las limitaciones de espacio de la carcasa de la IMU, de los límites de saturación de los giroscopios, y las exigencias de rendimiento esperadas del transportador. En una configuración, la IMU de 3 ejes consiste en cuatro giroscopios de estado sólido y en un sensor de la inclinación. El uso de cuatro giroscopios permite que la IMU detecte un fallo en uno de los giroscopios. Aunque la identidad del giroscopio averiado no pueda ser determinada, la existencia de una avería es suficiente para alertar al procesador para que adopte la acción adecuada, de acuerdo con lo descrito a continuación, manteniendo al tiempo la seguridad y la comodidad del conductor.

Procesador

En diversas formas de realización, un programa de control ejecutado en un procesador determina el estado dinámico del transportador que calcula el comando apropiado que hay que enviar a los controladores de los amplificadores de los motores en base al estado dinámico del transportador y en base a cualquier otro comando del conductor. En una disposición preferente, el procesador, así mismo, calcula los comandos del interruptor adecuados a la etapa de energía eléctrica **324** (mostrada en la Fig. 4) de esta forma se elimina la necesidad de un controlador de los amplificadores separados. El procesador puede ser un procesador de señal digital (DSP) optimizado para controlar los motores. La circuitería y los componentes electrónicos asociados requeridos para soportar el procesador son bien conocidos en la técnica de los circuitos de control electrónico.

Con referencia ahora a la Fig. 10, en ella se presenta un diagrama de flujo lógico del programa de control procesado por el controlador. Cuando el conductor activa el transportador, el programa de control lleva a cabo un procedimiento de inicialización **705**. El procedimiento de inicialización lleva a cabo las comprobaciones de redundancia entre los procesadores, verifica cualquier fallo de los subsistemas, e inicializa las IMUs. Después de que los procesadores y los subsistemas han pasado los controles de inicialización y que las IMUs son inicializadas, el procedimiento de inicialización alerta al conductor de que el transportador está listo para su uso. La alerta puede ser un indicador auditivo o visual, como por ejemplo un tono o una luz. En una forma de realización preferente, el procedimiento de inicialización proporciona la alerta de listo al conductor después de que se haya inicializado el estimador del estado del eje **1**. Esto permite que el conductor empiece a utilizar el transportador mientras que el estimador del estado de los 3 ejes está todavía inicializando.

El programa, a continuación, verifica los comandos del conductor y las señales de los sensores del estado del transportador en el bloque **710**. Los comandos del conductor pueden incluir la detección del conductor descrita con anterioridad, los comandos de guiñada, los comandos de corrección del cabeceo, los comandos del frenado de emergencia, y los comandos del cambio de modo. Las señales de los sensores del estado de transportador pueden incluir unos sensores para la medición de la temperatura de los componentes del transportador, como por ejemplo la temperatura de las baterías o de los motores o unos sensores potenciales para la medición de la tensión del paquete de baterías. Los sensores del estado incluyen, así mismo, los sensores existentes en las IMUs.

El programa en el bloque **715** determina la orientación del transportador en base a las señales de los sensores procedentes de las IMUs. En una forma de realización preferente, una IMU de 3 ejes que incorpora cuatro giroscopios de estado sólido y de un sensor de inclinación de dos ejes, designada como la IMU del lado A, está emparejada con una IMU de 1 eje, designada como la IMU del lado B. El programa, en primer lugar, verifica la

5 existencia de un posible fallo de los giroscopios en la IMU del lado A mediante la comparación de las señales combinadas procedentes de dos subconjuntos de los cuatro giroscopios. Si el programa determina que uno de los cuatro giroscopios ha fallado, el programa establece una bandera de fallo de la IMU del lado A que activará un procedimiento para situar el transportador en un estado seguro, de acuerdo con lo descrito más adelante. El programa, así mismo, estima la orientación del transportador en base a las señales procedentes de la IMU del lado B. Si la IMU del lado A no está averiada, la estimación del lado B es comparada con la estimación del lado A. Si la estimación del lado B difiere de la estimación del lado A, en más de una cantidad preestablecida, el programa establece una bandera de fallo de la IMU del lado B la cual, así mismo, activará el procedimiento de estado seguro. Si la estimación del lado B está de acuerdo con la estimación del lado A hasta la misma cantidad preestablecida, el programa no toma en consideración la estimación del lado B y utiliza la estimación del lado A para el ulterior procesamiento a sabiendas de que la IMU del lado B está disponible para detener el transportador en el caso de que fallara la IMU del lado A.

En otra forma de realización de la presente invención, tanto las IMUs del lado A como del lado B son estimadores del estado del eje.

15 El programa genera los comandos de los motores con ruedas en el bloque **720**. Esta porción del programa se designa, así mismo, como controlador del equilibrio. El controlador del equilibrio se describe en la Patente estadounidense No. 5,971,091 y en la Solicitud estadounidense con el No. de Serie 09/458,148, las cuales se incorporan ambas por referencia en la presente memoria.

20 Los comandos de los motores de las ruedas son generados por medio de una ley de control que presenta la forma de

$$\text{Comando} = K_1 \theta + K_2 \dot{\theta} + K_3 x + K_4 \dot{x}$$

en la que

θ = error de cabeceo del transportador

$\dot{\theta}$ = error de la tasa de cabeceo del transportador

25 x = error de la posición del transportador

\dot{x} = error de la velocidad del transportador

30 las variables del estado dinámico se presentan con la forma de un término de error definido como el valor deseado menos el valor medido. Por ejemplo, θ es el cabeceo del transportador deseado menos el cabeceo del transportador medido. El cabeceo del transportador medido y la tasa de cabeceo se determinan a partir de las señales de las IMU. La posición del transportador y la velocidad del transportador medidas se determinan a partir de los sensores de alimentación del eje. Para un funcionamiento equilibrado, la tasa de cabeceo deseada se establece en cero. El cabeceo deseado puede ser ajustado por el conductor mediante un control de ajuste del cabeceo y, puede ser, así mismo, ajustado por el programa de control durante el funcionamiento del transportador.

35 Los coeficientes ajustables, K_1 , K_2 , K_3 y K_4 son designados generalmente como ganancias y, de modo conjunto, constituyen una serie de coeficientes que definen un modo operativo. Cuando los valores de los coeficientes cambian, la capacidad de respuesta y la estabilidad del transportador cambian. Las ganancias se establecen en un valor especificado por el usuario en la selección de un modo de funcionamiento del vehículo. Por ejemplo, K_3 normalmente se establece en cero para permitir que el transportador se desplace pero K_3 puede establecerse en un valor positivo para permitir que el transportador permanezca equilibrado en un punto fijo.

40 En una forma de realización, K_1 se establece en un valor positivo y K_2 , K_3 y K_4 se establecen en cero. En este modo operativo, el transportador no se equilibra de forma automática sino que el conductor puede mantener el equilibrio y comandar el movimiento hacia delante / hacia atrás del transportador mediante el ajuste del peso de él / de ella en la dirección hacia delante / hacia atrás mientras se está desplazando. A diferencia de un escúter o ciclomotor en el que el conductor mantiene la estabilidad lateral mientras está dirigiendo el movimiento hacia delante / hacia atrás, el transportador de la presente invención que opera con solo un K_1 de no cero requiere que el conductor mantenga el equilibrio en la dirección de alante / atrás mientras simultáneamente está dirigiendo el desplazamiento de alante / atrás. El nivel más alto de pericia requerido para operar el transportador en dicho modo puede ser atractivo para algunos conductores por su valor recreativo.

50 En otra forma de realización, K_1 y K_2 se establecen en valores positivos de no cero, y K_3 y K_4 se establecen en cero. En este modo, el transportador es capaz de mantener el equilibrio y requiere un "error" del estado estable (o "descentramiento") en el cabeceo con el fin de mantener la velocidad del estado estable. Sin embargo, un conductor podría desarrollar la habilidad de manejar el transportador en un estado equilibrado al tiempo que evita las inestabilidades mediante el adecuado control del desplazamiento del peso del conductor.

En un funcionamiento típico, solo K_3 se establece en cero. En este modo, el transportador mantiene un pequeño "error" de cabeceo mientras se está desplazando a una velocidad estable. La capacidad de respuesta del transportador, puede ser modificada mediante el ajuste de los valores de cada una de las ganancias con respecto a otras. Por ejemplo si K_1 aumenta, el conductor percibirá una respuesta más rígida en el sentido de que una pequeña inclinación en la dirección de avance se traducirá en un amplio comando de las ruedas para el desplazamiento hacia delante por encima de los baches o en una aglutinación rápida en la dirección hacia delante. Sin embargo, las ganancias no pueden ser ajustadas de una manera completamente independiente y conseguir al mismo tiempo que el transportador permanezca estable. El ancho de banda de las señales de los sensores (velocidad, cabeceo, tasa de cabeceo, etc.) así como el ancho de banda del accionador (rigidez de la transmisión, ancho de banda del par de torsión) pone un límite superior respecto de la rigidez obtenible. En otro ejemplo, si el sensor de retroalimentación del eje es capaz de proporcionar una señal de velocidad de alta resolución con muy poco retardo y el procesador es capaz de una tasa de tramas elevada, las ganancias pueden incrementarse para proporcionar una respuesta del transportador firme evitando al tiempo la estabilidad oscilatoria, por el contrario, si el sensor de retroalimentación del eje genera una señal de velocidad ruidosa o la tasa de tramas del procesador es solo moderada, la capacidad para incrementar las ganancias se verá limitada y el conductor experimentará una respuesta del transportador "pastosa" o "pegajosa".

Los comandos del motor generados por cada uno de los procesadores A y B **135, 145** (mostrados en la Fig. 2) son comparados en la etapa **725** de la Fig. 10. Si los comandos difieren en más de una cantidad preestablecida, se fija una bandera de fallo de los procesadores que activará una rutina de parada de seguridad del transportador. Si los comandos del motor están dentro de la cantidad preestablecida, los comandos son promediados y el comando promediado es enviado a los controladores de los amplificadores de los motores en la etapa **730**. El programa verifica un reloj interno en la etapa **735** y transfiere la ejecución hasta la etapa **710** en el tiempo apropiado. El bucle de programa **710, 715, 720, 725, 730, 735** es designado como una trama y es ejecutado al menos 5 veces por segundo y, de modo preferente, al menos 100 veces por segundo. Las tasas de ejecución de las tramas por debajo de 100 Hz pueden parecer al conductor como un transportador no firme o inestable. Unas tasas de tramas más altas incrementan la firmeza del transportador tal como es percibida por el conductor.

Control de la quiñada de bucle cerrado con la posición

La dirección, o control de las quiñadas del transportador se consigue mediante la adición de un comando de giro a los amplificadores de las ruedas y presentan la forma siguiente.

$$\text{LeftCmd} = \text{BalCmd} + \text{YawCmd} \quad (1)$$

$$\text{RighCmd} = \text{BalCmd} - \text{YawCmd} \quad (2)$$

El LeftCmd y RightCmd son el comando enviado por el controlador a los amplificadores del motor derecho e izquierdo, respectivamente, el LeftCmd y RightCmd representan la tensión si los amplificadores están en el modo de control de la tensión, la corriente, si los amplificadores están en el modo de control de la corriente o en el ciclo de trabajo si los amplificadores están en el modo de control del ciclo de trabajo. BalCmd es el comando enviado por el controlador hacia cada amplificador para mantener el transportador en un estado equilibrado mientras se está desplazando o está en reposo. El YawCmd provoca que el transportador gire mediante la reducción del comando a una de las ruedas mientras se está incrementando el comando a la otra rueda. Por ejemplo, un YawCmd positivo incrementa el comando a la rueda izquierda mientras que reduce el comando a la rueda derecha provocando con ello que el transportador ejecute un giro a la derecha. El YawCmd puede ser generado por un dispositivo de entrada de quiñadas descrito con anterioridad sin bucle de retroalimentación.

Además de dirigir el transportador, el controlador de quiñadas debe, así mismo, ser relativamente insensible a las perturbaciones de la quiñada transitorias. Un ejemplo de perturbación de quiñadas se produce cuando una de las ruedas se desliza sobre un pequeño obstáculo o prominencia. La rueda que encuentra el obstáculo se ralentizará mientras que la otra rueda continúa a la velocidad original girando de esta manera el transportador en la dirección del obstáculo. Un cambio repentino, no comandado en la dirección de desplazamiento es indeseable en cualquier dispositivo de transporte. En una forma de realización preferente, un controlador de quiñadas de bucle cerrado es puesto en práctica con arreglo a una ley de control proporcionada por

$$\text{YawCmd} = k_p \psi_{\text{error}} + k_d \psi'_{\text{error}} \quad (3)$$

Donde ψ_{error} se proporciona mediante $\psi_{\text{desired}} - \psi$, ψ'_{error} se proporciona mediante $(\psi'_{\text{desired}} - \psi')$, ψ' es la tasa de quiñadas proporcionada por $\psi' = c \cdot (\omega_R - \omega_L)$, ψ es la forma proporcionada por $\psi = \int \psi dt$, k_p , k_d , y c son constantes y ω_R y ω_L son las velocidades angulares de las ruedas derecha e izquierda, respectivamente. La tasa de quiñadas deseada, ψ'_{desired} y la quiñada deseada, ψ_{desired} , puede proporcionarse por el controlador o por el conductor. El transportador puede conseguirse que sea relativamente insensible a las perturbaciones de las quiñadas mediante la selección de un gran valor para K_d . Si K_d es grande, una tasa de errores de las quiñadas pequeña producirá una gran YawCmd que actuará para contrarrestar cualquier giro inducido por una perturbación del transportador. Sin embargo, si k_d es demasiado grande, el transportador será propenso a inestabilidades de las quiñadas que

dependerán, en parte, de las propiedades mecánicas de las ruedas y del comportamiento del acoplamiento entre la rueda derecha y la izquierda.

La ganancia k_p se utiliza para corregir los errores de la posición de las guiñadas. Dependiendo del procedimiento de accionamiento del accionador (modo corriente, modo tensión, o modo ciclo de trabajo), k_p será más o menos importante en la reducción del error de guiñada que es introducido por una fuerza perturbadora.

En una forma de realización, la ley de control de las guiñadas para las ruedas derecha e izquierda se utiliza para sustituir la variable dinámica de la tasa de guiñadas $\psi' = c \cdot (\omega_R - \omega_L)$ con las velocidades angulares de las ruedas derecha e izquierda, $\omega_R - \omega_L$, respectivamente. Utilizando las velocidades de las ruedas en lugar de las tasas de guiñadas en la ley de control de las guiñadas se suprime el acoplamiento entre la rueda derecha e izquierda permitiendo de esta forma una ganancia de amortiguación, k_d que se fija en un valor más alto para un control de las guiñadas más rígido. Sin embargo, las propiedades mecánicas de las ruedas sitúan un límite superior en k_d y, por consiguiente limitan la rigidez de las guiñadas del transportador.

De acuerdo con lo analizado con anterioridad, los amplificadores **132, 133, 142, 143** del motor son, de modo preferente, accionados en el modo de control de la tensión. Tal y como se ha expuesto, el control de la tensión permite que el motor proporcione un bucle de retroalimentación casi instantáneo para mantener la capacidad de las ruedas durante episodios transitorios debidos a la fuerza contraelectromotriz del motor. El efecto de controlar la tensión es que un término proporcional a $k^2\omega_R$ se añade a la ley de control de las guiñadas cuando k y R son características del motor, de acuerdo con lo descrito con referencia a la Fig. 5, y ω es la velocidad de las ruedas izquierda o derecha para la ley de control de las guiñadas derecha o izquierda, respectivamente.

20 **Control de la tracción**

De acuerdo con lo analizado con anterioridad, el controlador mantiene el transportador en una situación dinámicamente equilibrada mediante el comando ya sea del par de torsión de las ruedas o de la velocidad de las ruedas en adelante designada como inclusivas del par de torsión de las ruedas, mediante los amplificadores de la energía eléctrica y los motores de las ruedas. El controlador supervisa la orientación del transportador por medio del dispositivo de referencia inercial y ajusta el par de torsión de las ruedas para mantener el equilibrio. El acoplamiento entre el comando de las ruedas y la orientación del transportador, dependerá entre otras cosas, de la tracción entre la rueda y la superficie subyacente en lo sucesivo designada como el suelo. Si el par torsor comandado a la rueda excede de la fuerza de arranque friccional entre la rueda y el suelo, la rueda derrapará y afectará negativamente a la capacidad del controlador para mantener el transportador en estado equilibrado. Un primer tipo de pérdida de tracción, designado en la presente memoria como pérdida de tracción "Tipo I", puede producirse si el conductor intenta acelerar (o desacelerar) más rápido de lo que el estado local de la rueda y el suelo permiten. Un segundo tipo de pérdida de tracción, en la presente memoria "Tipo II", puede producirse cuando el transportador encuentra un punto deslizante, como por ejemplo una placa delgada de hielo, en el suelo o cuando el transportador pierde contacto con el suelo por ejemplo cuando está conduciendo el transportador saliendo de una rampa. En ambos tipos de pérdida de tracción, la rueda se acelerará cuando la rueda derrape.

Con referencia ahora a la Fig.11, en ella se muestra un diagrama de flujo de un procedimiento de control de la tracción. El controlador supervisa continuamente la velocidad de las ruedas y calcula una aceleración de las ruedas A_w , en el bloque 810. El controlador, así mismo, estima la inercia inversa de las ruedas J_w , en el bloque 820 mediante la división de la aceleración de las ruedas a partir de la etapa previa 810 mediante el par de torsión comandado proporcionado a partir de la rutina de equilibrio descrita con anterioridad. Los inventores han descubierto que la inercia inversa de las ruedas es una característica de las ruedas capaz de distinguir entre una pérdida de tracción del Tipo I y una pérdida de tracción del Tipo II. La aceleración calculada de las ruedas es comparada con un valor preestablecido, A_{MAX} , en el bloque 830. El valor preestablecido se corresponde con una característica de una pérdida de tracción y depende de las características del transportador de una manera fácilmente determinable. Si A_w es mayor que A_{MAX} , el controlador establece una bandera indicativa de una situación de derrape en el bloque 835. El controlador verifica la bandera en el bloque 840 y si la bandera no está dispuesta, el controlador ejecuta una rutina de giro brusco del par de torsión en el bloque 870 descrita más adelante. Si se fija la bandera, indicativa de una situación de derrape, el controlador permite que la rueda de derrape ruede libremente. Esto puede conseguirse mediante la inhabilitación de los amplificadores de los motores que comandan la rueda que derrapa. De modo preferente, el controlador fija un desplazamiento del par de torsión en el negativo del comando del par de torsión en el bloque 850 de tal manera que la suma del desplazamiento del par de torsión y del comando del par de torsión que es enviado a los amplificadores de los motores sea cero, permitiendo así que la rueda rote libremente y reduzca la aceleración de la rueda. El par de torsión puede ser desplazado y fijado en un valor, de forma que la suma del desplazamiento del par y del comando del par sea menor que el comando del par de torsión.

El controlador compara la inercia inversa de las ruedas J_w con un valor preestablecido, J_{min} en el bloque 860. Si J_w es inferior a J_{min} , el controlador elimina la bandera de derrape en el bloque 865. El término de inercia inversa de las ruedas se utiliza para aclarar la situación de derrape porque se puede distinguir entre una pérdida de tracción del Tipo I y del Tipo II. Por ejemplo si la rueda pierde contacto con la superficie, J_w será muy grande porque el momento de inercia solo incluirá la rueda y será pequeño. Por contra, J_w será pequeña cuando la rueda permanezca en contacto con el suelo porque el momento de inercia incluirá el completo transportador y será grande.

El desplazamiento del par de torsión se reduce o gira bruscamente a cero en el bloque 870. Esto permite una transición más suave para el conductor después de que el transportador se recupere de la situación de derrape.

Desaceleración a cero

5 De acuerdo con o analizado con anterioridad, el conductor puede controlar el desplazamiento hacia delante / hacia atrás del transportador inclinándose. Sin embargo, pueden surgir situaciones en las que el transportador debe detenerse con seguridad antes de que el conductor pueda reaccionar a la situación. Por ejemplo, si un componente utilizado por el controlador de equilibrio falla, el controlador puede no ser capaz de mantener el transportador en movimiento en una situación dinámicamente equilibrada. Si se detecta un fallo de un componente, la rutina de desaceleración a cero se ejecuta por el controlador para automáticamente detener el transportador, posibilitando de esta manera que el conductor desmonte el transportador antes de que el controlador pierda la capacidad de mantener el equilibrio dinámico.

15 En la Fig. 12, se muestra un diagrama de flujo para la rutina de desaceleración a cero. La rutina es introducida en el bloque 910 en cada trama del controlador. Si no se detecta un fallo crítico en el bloque 920, la rutina es extraída en el bloque 930. Un fallo crítico puede ser uno cualquiera entre una pluralidad de situaciones que podrían afectar al controlador de equilibrio. Por ejemplo una situación de baterías abiertas, un fallo de la UPC / RAM, una situación abierta del devanado del motor, una situación corta del devanado del motor, o un fallo de los sensores de inclinación que indique que la redundancia se ha perdido respecto de ese componente y el controlador debe situar el transportador en situación de descanso. Otros fallos, como por ejemplo un sobrecalentamiento de las baterías o un sobrecalentamiento del motor pueden indicar un fallo inminente del componente y pueden, así mismo, ser utilizados para iniciar la rutina para desacelerar el transportador y situarlo en posición de reposo.

20 El transportador incorpora una función que limita la velocidad de desplazamiento y se describe en la Patente estadounidense No. 5,791,425 la cual se incorpora en la presente memoria por referencia. Si se detecta un fallo crítico en el bloque 930, el controlador detiene el transportador girando rápidamente el límite de velocidad en el momento en que se detecta el fallo hasta situarlo en cero en el bloque 940. Debe entenderse por parte del experto en la materia que el giro rápido es el proceso de cambiar de forma constante una variable de un valor original a un valor final sobre diversas tramas del controlador. Dado que cada trama del controlador se corresponde con un intervalo de tiempo, el número de tramas sobre las cuales el proceso de giro rápido se completa se corresponde con el tiempo que se invierte en detener el transportador. El tiempo de detención dependerá de diversos factores dependientes del transportador y de la comodidad del conductor. Por ejemplo, si el transportador debe detenerse de forma repentina, el conductor puede sentir la incomodidad de la detención repentina e inesperada. Por el contrario, si el tiempo de la detención es muy largo, la probabilidad de que el componente de reserva pueda fallar aumenta. En otro ejemplo, el tiempo de detención puede basarse en las propiedades de los sensores específicos utilizados en el transportador. En una forma de realización de la invención, un sensor de inclinación es utilizado para corregir la deriva de un giroscopio. Si el sensor de inclinación falla, la información proporcionada por el giroscopio puede seguir siendo suficiente para el control del equilibrio hasta que la deriva del giroscopio cree un error que afecte de manera negativa a la capacidad del controlador para mantener la situación dinámicamente equilibrada del transportador. Si el giroscopio tiene una tasa de deriva baja, la información seguirá siendo suficiente durante un largo periodo de tiempo y puede ser utilizado un tiempo de detención relativamente más largo. Por el contrario, si el giroscopio presenta una tasa de deriva alta, el tiempo requerirá un tiempo de detención menor. En una forma de realización de la presente invención, el tiempo de detención oscila entre 1 y 10 segundos, de modo preferente entre 2 y 4 segundos.

45 Dependiendo de la situación concreta del fallo, la rutina de desaceleración a cero puede, así mismo, ajustar los comandos a los componentes restantes no averiados para compensar el componente averiado. Por ejemplo, si un devanado del motor falla, el motor continuará funcionando pero solo a mitad de potencia. Una reducción repentina en uno de los motores, provocaría que el transportador repentinamente girara. Para impedir dicho giro repentino, el comando para el funcionamiento del devanado del motor es repetido para compensar el devanado averiado. Sin embargo, la repetición del comando al devanado del motor restante puede exceder los límites operativos sobre el amplificador del motor provocando que el motor falle. El periodo esperado en el que el amplificador del motor puede funcionar por encima de sus límites operativos puede determinar el tiempo de detención.

50 El transportador no requiere un freno, en el sentido de que tenga un dispositivo para aplicar un par de torsión opuesto externo a la rueda, porque el controlador y el amplificador del motor controla la posición de la rueda directamente. Tal y como se indicó con anterioridad, el movimiento hacia delante - hacia atrás del transportador es controlado mediante la inclinación del conductor, de manera que si el conductor desea detenerse, el conductor simplemente se apoya en la dirección opuesta del transportador en movimiento. Aunque las acciones del conductor son los movimientos naturales que una persona andando adoptaría, los conductores acostumbrados a dirigir vehículos energizados pueden esperar utilizar un freno para ralentizar el transportador y en una situación no esperada pueden instintivamente intentan alcanzar a un freno en lugar de simplemente inclinarse hacia atrás.

60 Un control de frenado puede ser incorporado en los controles del manillar. El control de frenado puede ser un simple dispositivo de dos estados como por ejemplo un interruptor de encendido - apagado o el interruptor puede ser un dispositivo proporcional que genere una proporción de la señal sobre la entrada del conductor. La activación del

ES 2 371 020 T3

5 interruptor de frenado provoca que el generador ejecute la rutina de desaceleración a cero descrita con anterioridad con la siguiente modificación. La "situación de fallo" en el bloque 920 es la activación del interruptor de frenado. Dado que el fallo en este caso no es un componente utilizado por el controlador de equilibrio, el tiempo de detención (número de tramas del procesador para el proceso de giro brusco) puede alargarse hasta una tasa más cómoda para el conductor. En una configuración, el tiempo de detención oscila entre 5 y 10 segundos.

10 Si el control de frenado es un dispositivo proporcional, como por ejemplo un sensor de la presión, la tasa de desaceleración puede ser controlada por el conductor mediante la aplicación de presión sobre el control de frenado. Si el conductor aplica una presión elevada, la tasa de desaceleración se incrementa mediante la reducción del número de tramas de giro brusco. Por el contrario, si la presión aplicada es baja, la tasa de desaceleración se reduce mediante el incremento del número de tasas de giro brusco.

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento para proporcionar a un usuario un acceso acelerado al funcionamiento de un transportador personal de equilibrio, estando el procedimiento **caracterizado por** comprender:

la inicialización de un estabilizador de eje único;

5 el inicio de la inicialización de un estabilizador de 3 ejes;

la advertencia al usuario de que el transportador está listo para su uso;

la autorización del funcionamiento del transportador;

la terminación de la inicialización del estabilizador de 3 ejes; y

el empleo del estabilizador de 3 ejes para controlar el transportador personal de equilibrio.

10

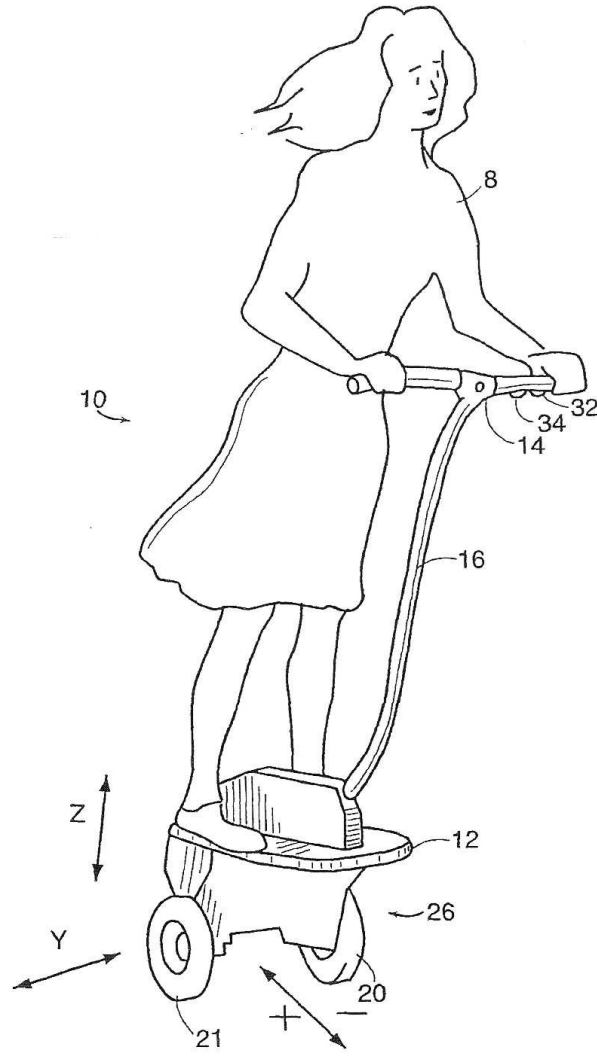


FIG. 1

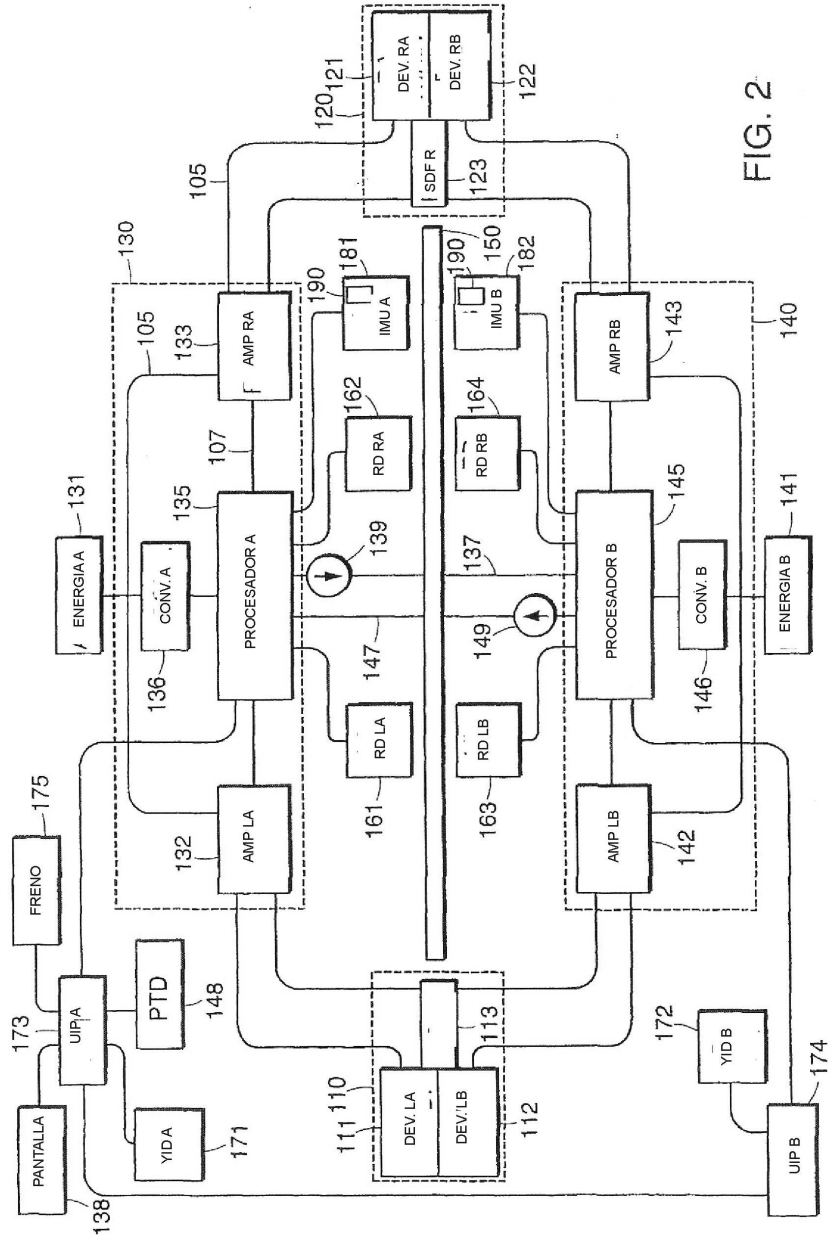


FIG. 2

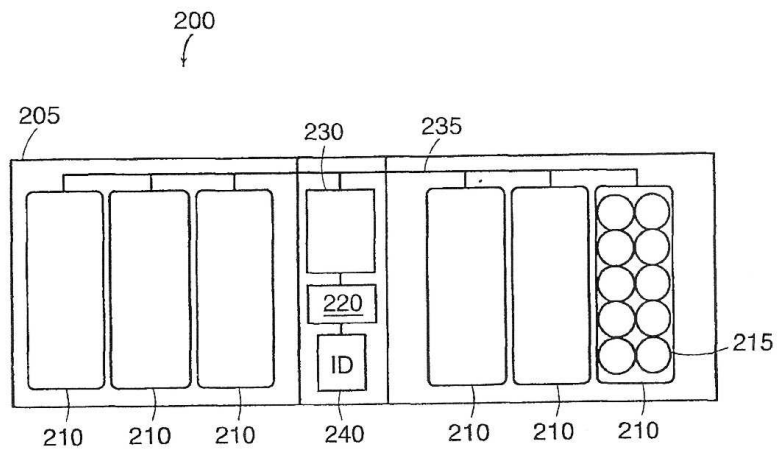


FIG. 3

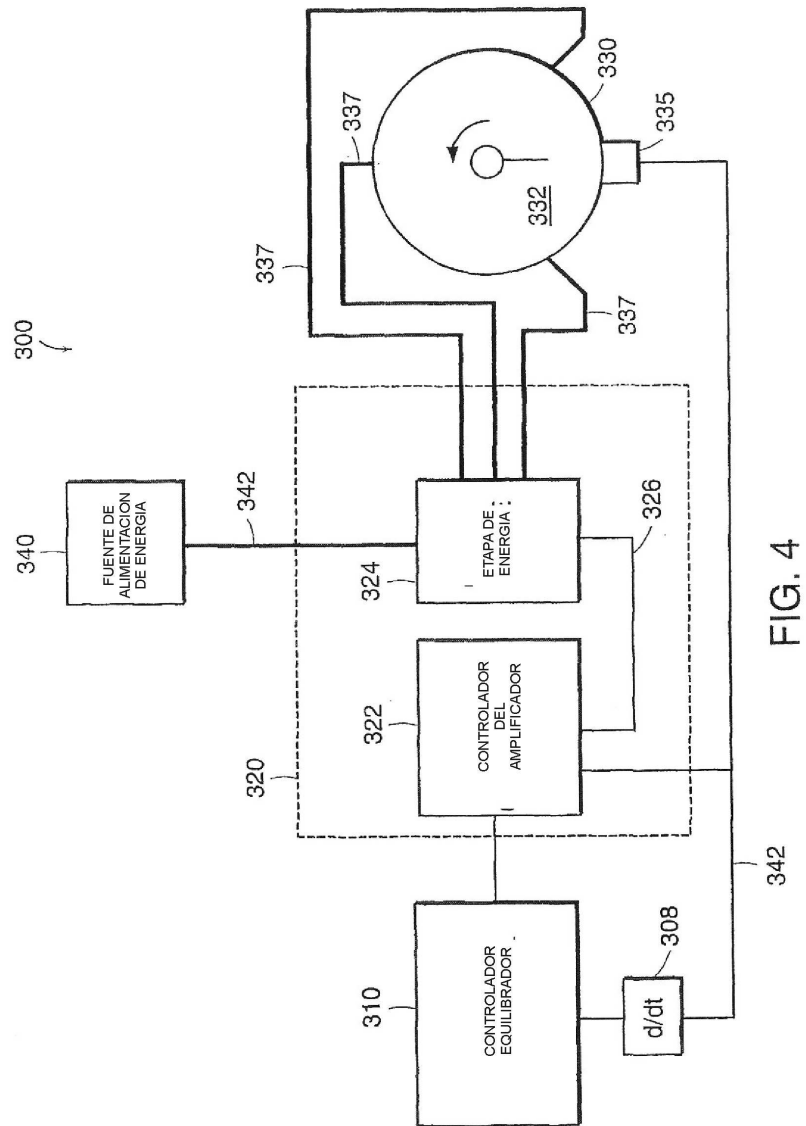


FIG. 4

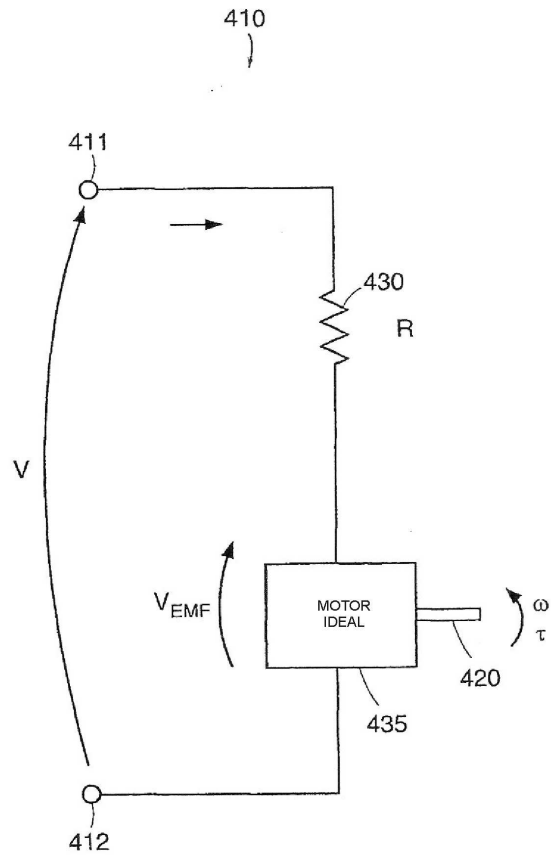


FIG. 5

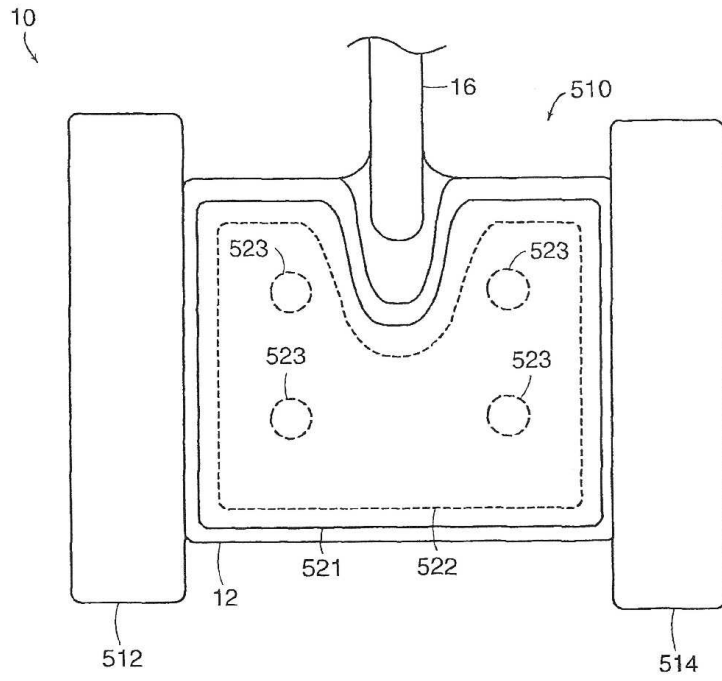


FIG. 6a

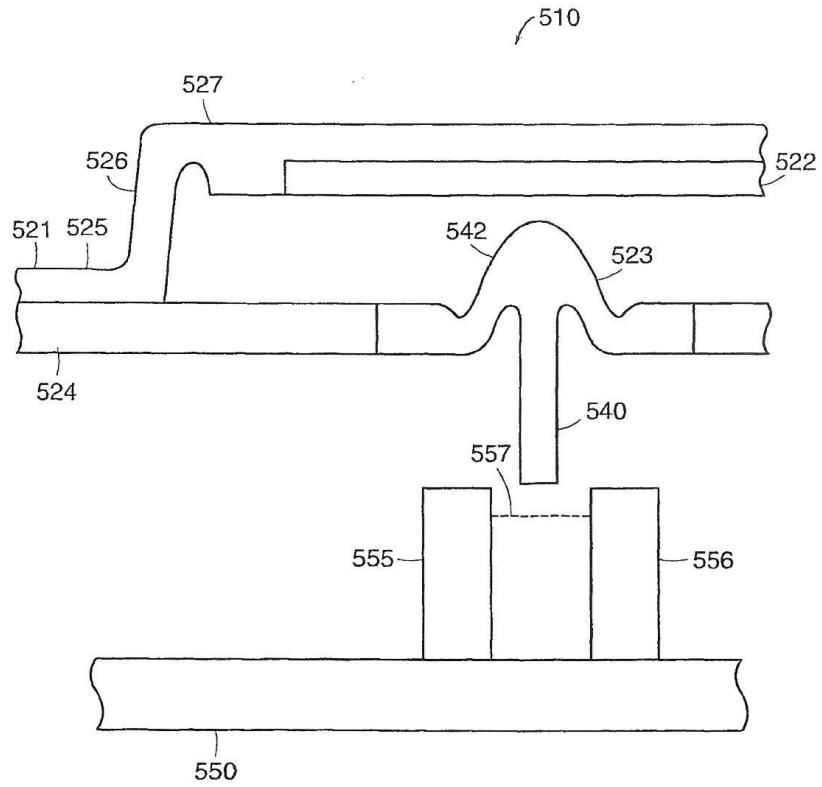


FIG. 6b

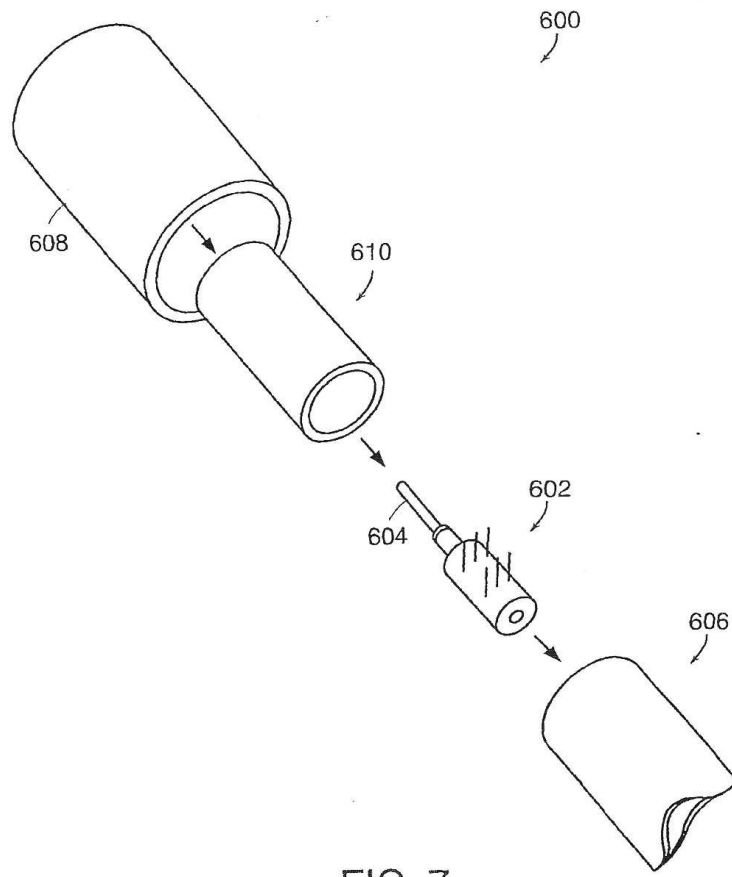


FIG. 7

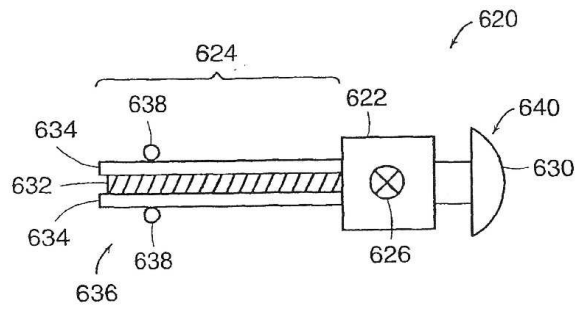


FIG. 8a

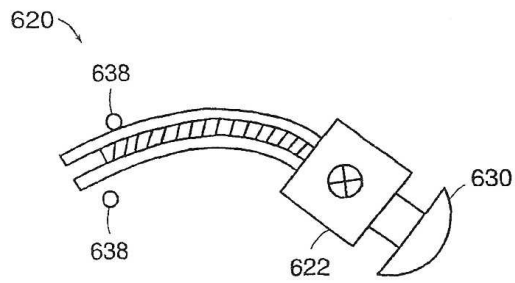


FIG. 8b

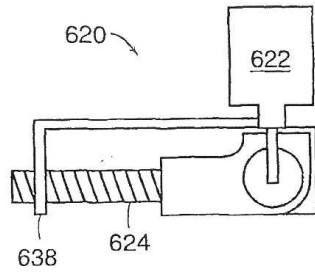


FIG. 8c

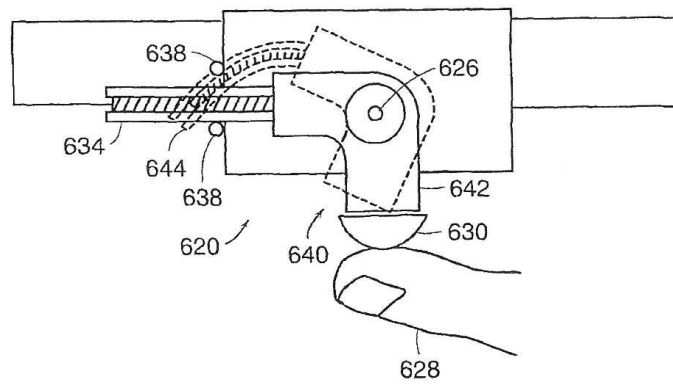


FIG. 8d

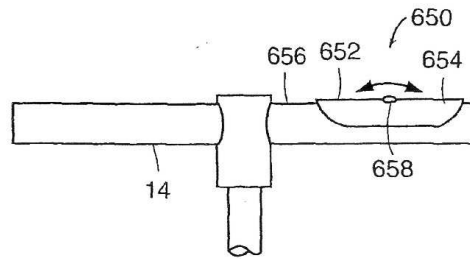


FIG. 9a

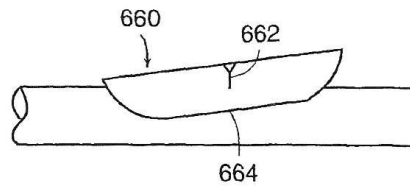


FIG. 9b

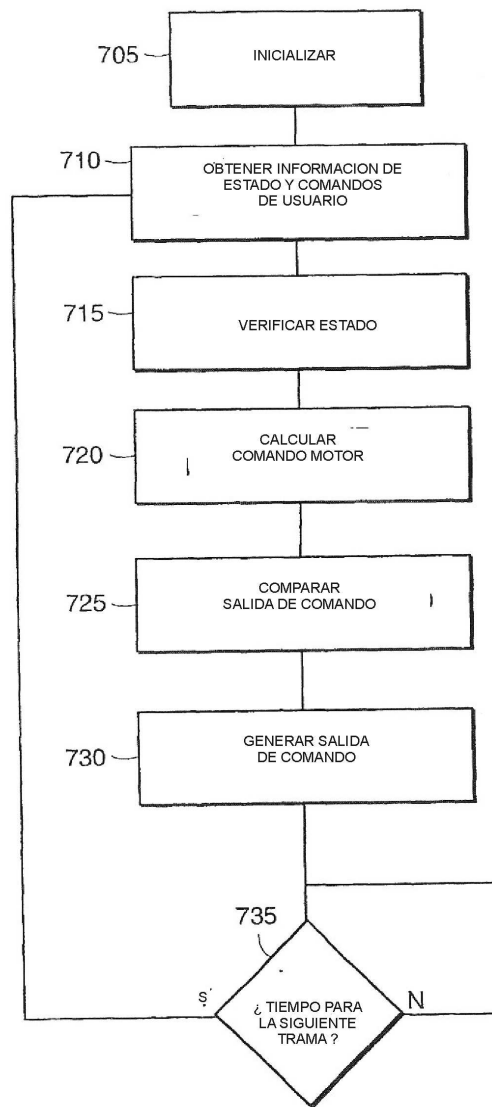


FIG. 10

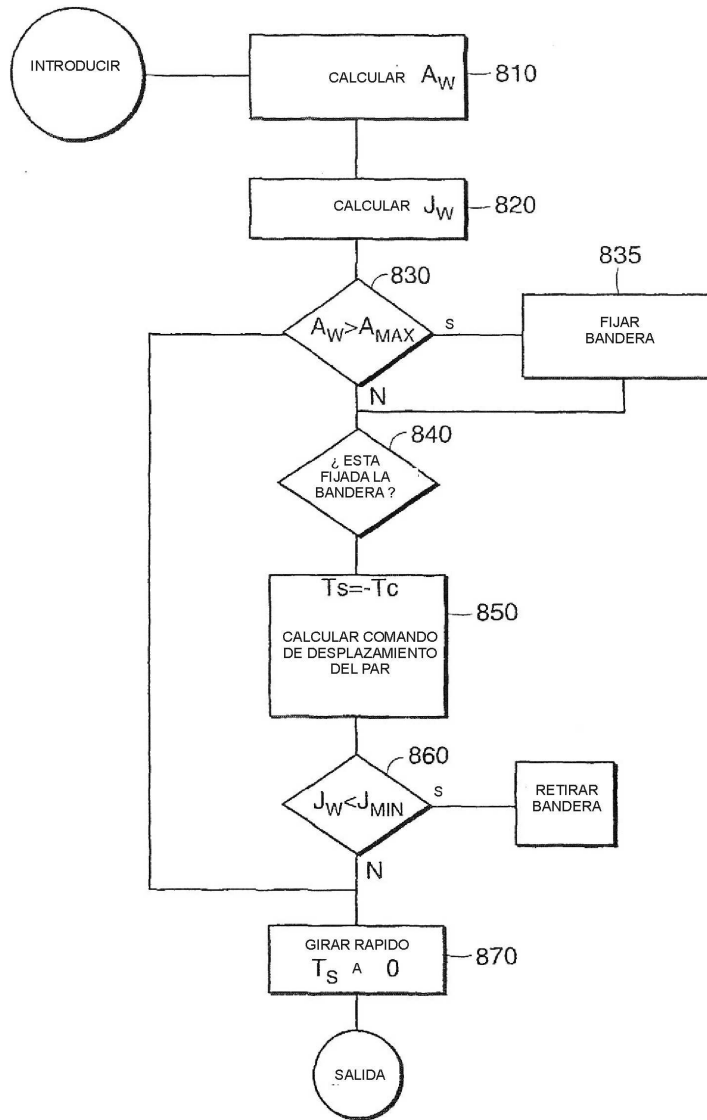


FIG. 11

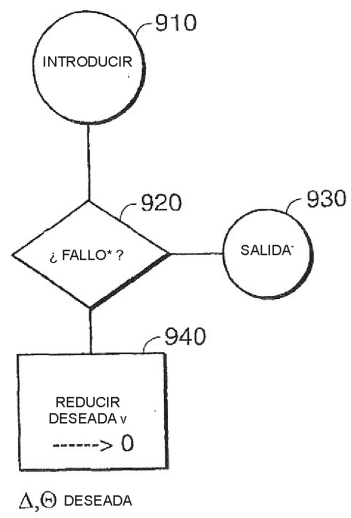


FIG. 12