

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 660**

51 Int. Cl.:

**G05D 13/00** (2006.01)

**G05D 1/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2007 E 07840890 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **22.04.2009 EP 2049963**

54 Título: **Limitación de velocidad en vehículos eléctricos**

30 Prioridad:

**11.08.2006 US 837440 P**

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

**04.02.2013**

73 Titular/es:

**SEGWAY INC. (100.0%)  
14 TECHNOLOGY DRIVE  
BEDFORD, NH 03110, US**

72 Inventor/es:

**STEVENS, JON M. y  
ROBINSON, DAVID**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 394 660 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**

Limitación de velocidad en vehículos eléctricos

5 Sector de la invención

La presente invención se refiere al control de vehículos eléctricos y en particular al control y limitación de velocidad de vehículos eléctricos.

10 Antecedentes de la invención

Se conoce una amplia gama de dispositivos y métodos de transporte destinados al transporte de personas. De manera típica, estos dispositivos de transporte se basan en la estabilidad estática y están diseñados para conseguir estabilidad en todas las condiciones de colocación prevista de sus elementos de contacto con el suelo con una superficie situada por debajo. Por ejemplo, el vector de la gravedad que actúa sobre el centro de gravedad de un automóvil pasa entre los puntos de contacto en el suelo de las ruedas del automóvil y la suspensión del automóvil mantiene todas las ruedas sobre el suelo en todo momento, haciendo el automóvil estable. Si bien hay situaciones (por ejemplo, aumento de velocidad y giros bruscos), que provocan que transportadores, que de otro modo son estables, pasen a ser inestables.

20 Un transportador dinámicamente estabilizado, conocido también como transportador compensado (“balancing”) es un tipo de transportador que tiene un sistema de control que mantiene activamente la estabilidad del transportador mientras este está funcionando. El sistema de control mantiene la estabilidad del transportador al detectar de manera continua la orientación del transportador, determinando las acciones correctivas necesarias para mantener la estabilidad y controlando los motores de las ruedas para realizar la acción correctiva. Si el transportador pierde la capacidad de mantener la estabilidad, por ejemplo, por fallo de un componente o falta de potencia suficiente, el conductor puede experimentar una pérdida de equilibrio súbita.

30 Para vehículos que mantienen una base estable, el acoplamiento entre el control de dirección y el control del movimiento en avance de los vehículos no es un asunto preocupante. En condiciones típicas de una vía de circulación, la estabilidad es mantenida en virtud de las ruedas que están en contacto con el suelo en la totalidad de un giro. En un transportador compensado, no obstante, cualquier par de fuerzas aplicado a una o varias ruedas afecta a la estabilidad del transportador. El acoplamiento entre los mecanismos de dirección y de control de compensación es el objeto de la patente US nº 6.789.640.

35 El documento US 2003/0231022 A1 da a conocer un procedimiento para la estimación de la capacidad instantánea de una batería y el documento US 2004/0118622 A1 da a conocer un procedimiento para limitar la velocidad de un transportador que tiene un dispositivo de impulsión motorizado.

40 El documento FR 2 756 51 da a conocer un procedimiento para regular la velocidad de un automóvil con impulsión eléctrica cuando el automóvil es conducido descendiendo por una pendiente.

Resumen de la invención

45 La invención, en un aspecto, comprende un procedimiento controlado por ordenador para controlar la velocidad de un vehículo que tiene impulsión mediante motor eléctrico. El método comporta la determinación del par de fuerzas en régimen estable y un par de fuerzas durante la aceleración y desaceleración del vehículo que se desplaza sobre una superficie situada por debajo. El procedimiento comporta también el control de la velocidad del vehículo basándose en el par de fuerzas en régimen estable, el par de fuerzas durante la aceleración y la desaceleración, la corriente medida de un dispositivo accionador generada por un dispositivo de accionamiento mediante motor del vehículo, que aplica un par de fuerzas a, como mínimo, un elemento de contacto con el suelo del vehículo para su desplazamiento sobre la superficie situada por debajo. El control de la velocidad del vehículo es controlado también basándose en el peso del vehículo y en la carga útil, par aplicado al elemento de contacto con el suelo, aceleración del vehículo y velocidad del mismo.

55 En algunas realizaciones, el control de la velocidad del vehículo comporta la determinación de una corriente promedio compensada en aceleración. En algunas realizaciones, el control de la velocidad del vehículo comporta la determinación de la cantidad de corriente del accionador requerida para la aceleración o desaceleración del vehículo. En alguna realización, la determinación de la cantidad de corriente del accionador requerida para la aceleración o desaceleración del vehículo se basa en la velocidad del mismo y en la pendiente de la superficie situada por debajo. En algunas realizaciones, la determinación de la corriente promedio compensada en aceleración comporta la sustracción de la corriente del accionador provocada por la aceleración o desaceleración de la corriente del accionador medida del vehículo.

65 En algunas realizaciones, el vehículo es un transportador estabilizado dinámicamente con una velocidad máxima permisible del vehículo controlada por modulación de un componente de inclinación del vehículo. En algunas

realizaciones, un controlador de inclinación modula la velocidad máxima permisible del vehículo basándose en la corriente promedio compensada en aceleración. En algunas realizaciones, el procedimiento comporta también la disminución de la velocidad máxima permisible del vehículo si aumenta la corriente de regeneración. En algunas realizaciones, el procedimiento comporta también el aumento de la velocidad máxima permisible del vehículo si la corriente de regeneración disminuye. En algunas realizaciones, la aceleración y desaceleración del vehículo se consiguen, por lo menos, básicamente por el accionamiento del dispositivo de impulsión mediante motor. En algunas realizaciones, la velocidad del vehículo es controlada cuando la corriente medida supera un umbral global de corriente. En algunas realizaciones, la corriente global se basa en el nivel de experiencia del usuario. En algunas realizaciones, el vehículo es un transportador estáticamente estable. En algunas realizaciones, el peso del vehículo y la carga son objeto de estimación. En algunas realizaciones, el peso del vehículo y la carga son objeto de medición.

En otro aspecto, la invención presenta un controlador para el control de la velocidad de un vehículo que tiene medios de impulsión mediante un motor. El controlador comprende un módulo de par que determina el par en régimen estable y el par durante la aceleración y desaceleración del vehículo que se desplaza sobre una superficie situada por debajo. El controlador comprende también un módulo de velocidad que recibe el par promedio en régimen estable y el par durante la aceleración y desaceleración del módulo de par y emite una instrucción de velocidad deseada del vehículo (por ejemplo, un ángulo de inclinación). El ángulo de inclinación deseado, se basa en el par en régimen estable, el par durante la aceleración y desaceleración, el peso del vehículo y la carga y la corriente medida generada por un dispositivo de impulsión del vehículo mediante motor que aplica un par de fuerzas, como mínimo, a un elemento del vehículo en contacto con el suelo para desplazamiento sobre la superficie situada por debajo, el par aplicado por el dispositivo de impulsión a motor y la velocidad del vehículo.

En algunas realizaciones, el controlador controla la velocidad del vehículo cuando el promedio compensado en aceleración se encuentra por debajo de un umbral. En algunas realizaciones, el controlador incluye un módulo controlador de inclinación para controlar la inclinación del vehículo para modular la velocidad del mismo basándose en la instrucción de velocidad del vehículo (por ejemplo, ángulo de inclinación deseado).

En otro aspecto, la invención se refiere a un vehículo que tiene medios de impulsión mediante un motor eléctrico. El vehículo incluye una plataforma que soporta una carga útil. El vehículo comprende también un módulo de contacto con el suelo acoplado a la plataforma que incluye, por lo menos, un elemento de contacto con el suelo para desplazarse sobre una superficie situada por debajo. El vehículo comprende también un dispositivo de impulsión a motor para aplicar un par de fuerzas a dicho como mínimo un elemento de contacto con el suelo. El vehículo incluye también una fuente de potencia para activar el dispositivo de impulsión mediante motor. El vehículo comprende también un controlador que limita la velocidad del elemento en contacto con el suelo, basándose en el peso del vehículo, la carga útil y la pendiente de la superficie situada por debajo.

En algunas realizaciones, el vehículo comprende un módulo de par, que determina el par en régimen estable y el par durante la aceleración y desaceleración del vehículo. En algunas aceleraciones, el vehículo incluye un módulo de velocidad que emite una instrucción de velocidad deseada del vehículo basándose en el par promedio en régimen estable, el par durante la aceleración y desaceleración, una corriente medida generada por el dispositivo de impulsión mediante motor, el peso del vehículo y la carga útil, el par aplicado por el dispositivo de impulsión a motor y la velocidad del vehículo.

En algunas realizaciones, el vehículo incluye un controlador de velocidad que controla la velocidad del vehículo basándose en la instrucción de velocidad del vehículo. En algunas realizaciones, el vehículo en el que la instrucción de velocidad del vehículo es el ángulo de inclinación deseado del vehículo y el controlador de velocidad es un controlador de inclinación que controla la inclinación del vehículo para controlar la velocidad del vehículo basándose en el ángulo de inclinación deseado. En algunas realizaciones, el vehículo es un transportador dinámicamente estabilizado y la velocidad máxima permisible del vehículo es controlada modulando un componente de ángulo del vehículo.

#### Breve descripción de los dibujos

Las anteriores características de la invención se comprenderán más fácilmente haciendo referencia a la siguiente descripción detallada, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una ilustración esquemática de un transportador, tal como se describe en detalle en la patente US nº 6.302.230, a la que se puede aplicar de manera ventajosa la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de bloques de un bucle de control para controlar dinámicamente la estabilidad de un vehículo en el plano delante-atrás, para una realización ilustrativa de la invención.

La figura 3 es un diagrama de bloques que muestra sensores, potencia y control de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención.

La figura 4 muestra un diagrama de bloques representativo de las entradas y salidas constitutivas de un mando de desviación en un sistema que tiene una arquitectura a la que se puede aplicar la presente invención de manera ventajosa.

5 La figura 5A muestra un dispositivo de inclinación mediante barra de dirección para una acción de control de un transportador personal, de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

10 La figura 5B muestra un dispositivo de inclinación mediante barra de dirección con acoplamiento de flexión de la posición de columna con respecto al módulo de contacto con el suelo, para la introducción de una acción de control en un transportador personal, de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

15 La figura 5C muestra otro dispositivo de inclinación mediante barra de dirección con asas separadas para la introducción de una acción de control para un transportador personal, de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La figura 5D muestra un dispositivo de dirección rotativo para la acción de control, de acuerdo con un transportador personal, de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

20 La figura 6 es un esquema de bloques de un bloque mezclador para combinar una acción de control de oscilación e información de balanceo, de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

La figura 7 muestra un transportador personal, de acuerdo con una realización de la presente invención.

25 La figura 8 muestra un diagrama de bloques esquemático de un sistema de control de desviación, de acuerdo con varias realizaciones de la presente invención.

La figura 9 muestra la relación funcional de la desviación según instrucciones con respecto a la inclinación de la barra, de acuerdo con una realización de la invención.

30 La figura 10 es una vista en perspectiva, con las piezas desmontadas, de un pivote de inclinación de la barra, de acuerdo con una realización de la presente invención.

35 La figura 11 muestra una vista de un casquillo de torsión de esfuerzo constante para proporcionar un par de centrado a la barra alrededor del pivote de inclinación de la barra, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 12 es una vista en planta de un nivel digital a utilizar con un transportador humano, de acuerdo con una realización de la presente invención.

40 La figura 13A es una vista en planta de la plataforma de un transportador humano, con la placa de presión desmontada, indicando la colocación de los sensores de presión de la fuerza de los pies, de acuerdo con varias realizaciones de la presente invención.

45 En la figura 13B muestra dos placas para los pies, para la detección del desplazamiento del pie izquierdo y del pie derecho del conductor, en una realización de la presente invención.

La figura 14 es un diagrama ilustrativo de un dispositivo transportador compensado, idealizado, dotado de una rueda rígida en movimiento a velocidad constante sobre una superficie plana.

50 La figura 15 es un diagrama de bloques que proporciona detalles de un conjunto de interfaz de impulsión.

La figura 16 es una vista esquemática del control a motor de la rueda durante la compensación y el desplazamiento normal, de acuerdo con una realización de la presente invención.

55 La figura 17 muestra la relación entre varios parámetros limitadores de la velocidad para un transportador compensado a título de ejemplo.

60 La figura 18A es un diagrama ilustrativo de una rueda idealizada en movimiento a velocidad constante a lo largo de una superficie con pendiente cero.

La figura 18B es un diagrama ilustrativo de una rueda idealizada en movimiento a una velocidad constante a lo largo de una superficie con pendiente negativa.

65 La figura 19 es un diagrama de bloques del módulo de impulsión a motor de una realización de la presente invención.

La figura 20 es un modelo eléctrico de un motor, de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención.

La figura 21 es un diagrama de circuito de una batería en serie con una carga, de acuerdo con una realización de la presente invención.

5 La figura 22 es un diagrama de flujo que muestra un método para estimar parámetros de la batería de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención.

10 La figura 23 muestra la relación entre corriente del motor medida y velocidad límite del vehículo para un transportador compensado a título de ejemplo, de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención.

La figura 24 es una vista esquemática que muestra a limitación de velocidad de un controlador del transportador, de acuerdo con una realización de la presente invención.

15 La figura 25 es un diagrama de flujo que muestra el funcionamiento de limitación de velocidad de un controlador del transportador, de acuerdo con una realización de la presente invención.

#### Descripción detallada de realizaciones ilustrativas

20 Las realizaciones de la presente invención son útiles en vehículos que utilizan motores y dispositivos de impulsión eléctricos como único medio o como medio principal de aplicar fuerza/par a las ruedas de un vehículo, tanto para aceleración como desaceleración para el desplazamiento sobre una superficie situada por debajo. Estos vehículos se están típicamente desplazando a motor o consumiendo energía cuando funciona en situación de avance. En algunos casos, cuando se desplazan descendiendo por una pendiente suficientemente pronunciada, el dispositivo accionador puede requerir la aplicación de un par inverso o regenerativo a efectos de mantener una velocidad permanente sin aceleración. Las realizaciones de la presente invención son útiles con vehículos compensados y no compensados cuando se consiguen el desplazamiento a motor y el frenado por el mismo componente del vehículo, por ejemplo, un motor eléctrico. Por ejemplo, las realizaciones de la presente invención son útiles con vehículos estáticamente estables y vehículos dinámicamente estabilizados (por ejemplo, transportadores compensados estabilizados dinámicamente).

25 En vehículos eléctricos a motor, la cantidad de capacidad del dispositivo de accionamiento utilizada para aceleración o desaceleración limita la capacidad de frenado del vehículo. El conocimiento de cuál es la cantidad de la capacidad del dispositivo de accionamiento utilizada para acelerar o desacelerar o qué cantidad permanece en reserva, permite que el sistema altere el movimiento del vehículo para inhibir efectos dinámicos no deseables. Los efectos dinámicos no deseables, tales como reducida capacidad de frenado, pueden tener como resultado que el vehículo se desplace en descenso en comparación con el vehículo desplazándose sobre terreno llano.

30 Se puede decir que un transportador actúa "compensado" si es capaz de funcionamiento sobre una o varias ruedas, pero sería capaz de permanecer sobre las ruedas si no fuera por el funcionamiento de un bucle de control que controla el funcionamiento de las ruedas. Un transportador compensado carece de estabilidad estática, pero está compensado dinámicamente. Un transportador puede ser utilizado ventajosamente como plataforma móvil de trabajo o como vehículo recreativo, tal como carrito de golf o como vehículo de suministro. Las ruedas u otros elementos de contacto con el suelo, que proporcionan contacto entre dicho transportador y el suelo u otra superficie situada por debajo y que soportan al transportador de forma mínima con respecto a la inclinación durante el funcionamiento rutinario se designan en esta descripción como "elementos de contacto con el suelo".

35 La figura 1 muestra un transportador personal compensado indicado de modo general con el numeral 10 y descrito en detalle con la patente US nº 6.302.230, como ejemplo de dispositivo al que se puede aplicar de manera ventajosa la presente invención. Una persona 8 permanece sobre una plataforma de soporte 12 y soporta un manillar 14 sobre una barra 16 fijada a la plataforma 12. Se puede disponer un bucle de control de manera que la inclinación del usuario tiene como resultado la aplicación de un par a la rueda 20 alrededor del eje 22 por medio de un dispositivo de accionamiento a motor. El transportador 10, no obstante, es estáticamente inestable y a falta de accionamiento del bucle de control para mantener la estabilidad dinámica, el transportador 10 no sería capaz de funcionar en su orientación típica de funcionamiento. "Estabilidad", tal como se utiliza en esta descripción, se refiere a la situación mecánica de una posición de funcionamiento con respecto a la cual volverá el sistema de manera natural si el sistema es perturbado alejándolo de la posición de funcionamiento de alguna manera.

40 Se pueden utilizar en diferentes realizaciones de la invención diferentes números de ruedas u otros elementos de contacto con el suelo, de manera ventajosa, según sea especialmente apropiado a diferentes aplicaciones. La publicación de patente US nº 2006/0108156 describe un vehículo todoterreno compensado en las figuras 6 y 7. El vehículo todoterreno tiene dos ruedas frontales y dos ruedas posteriores. Cada una de las ruedas posteriores es accionada por su propio dispositivo de accionamiento. De este modo, dentro del alcance de la presente invención, el número de elementos de contacto contra el suelo puede ser cualquier número igual o superior a 1.

65 La figura 2 muestra un bucle de control 200 para mantener dinámicamente la estabilidad de un vehículo (planta 208)

en el plano delante-atrás, de manera que el vehículo permanezca en vertical. Este bucle de control 200 requiere el estado de inclinación como valor de entrada, es decir, como acción de control. Las patentes US nº 5.701.965 y nº 5.791.425 describen vehículos que pueden funcionar utilizando el bucle de control 200 de la figura 2. Los vehículos requieren la medición del estado instantáneo de la inclinación para el control activo de la estabilidad de los vehículos. La planta 208 de la figura 2 es equivalente a las ecuaciones de movimiento de un sistema de locomoción accionado por un motor único. Se indica con T el par aplicado a las ruedas. Theta ( $\Theta$ ) identifica la inclinación delante-atrás (es decir, el ángulo de inclinación), X indica el desplazamiento delante-atrás a lo largo de una superficie con respecto a un punto de referencia y un punto sobre una variable indica la diferencial de la variable con respecto al tiempo. Los controles de ganancia  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  y  $K_4$  diferenciadores 212 y 216, y el sumador 204 se utilizan para conseguir equilibrio. Para conseguir control dinámico y asegurar estabilidad del sistema y para mantener al sistema en la proximidad de un punto de referencia sobre la superficie, el par T para las ruedas en esta realización se dispone para que satisfaga la siguiente ecuación:

$$T = K_1\Theta + K_2\Theta_r + K_3X + K_4X_r \quad (\text{ECN. 1})$$

Los valores de las ganancias  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  y  $K_4$  dependen de ajustes del bucle de control, parámetros físicos del sistema y otros efectos, tal como la gravedad.

El diagrama de bloques de la figura 3 muestra un sistema de control 31 para controlar un vehículo de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención. En esta realización de la invención, el sistema de control 31 es utilizado para controlar los dispositivos de accionamiento a motor y los dispositivos accionadores de un vehículo, por ejemplo, el transportador de compensado 10 de la figura 1. Los dispositivos de accionamiento 331 y 332 controlan las ruedas de la izquierda y de la derecha del transportador 10 respectivamente. El sistema de control 31 tiene entradas de datos que incluyen el interfaz de usuario 361, el sensor de ángulo 362 para detectar el ángulo delante-atrás, los sensores 363 de rotación de ruedas y el sensor de velocidad de ángulo 364. La velocidad de ángulo y el ángulo se pueden derivar por la utilización de varios sensores (giróscopos o inclinómetros) solos o en combinación. El sistema de control 31 puede contener también un monitor de margen de compensado (no mostrado) que combina información sobre parámetros actuales de la batería con información sobre parámetros del motor para calcular un límite de velocidad del momento del transportador. El monitor de margen de compensado es utilizado para asegurar, por ejemplo, que se dispone de suficiente corriente de la batería cuando se experimentan transitorios (por ejemplo, salientes de la vía) durante la utilización del vehículo para mantener la estabilidad del mismo. Si existen grupos de ruedas (tal como, por ejemplo, en la figura 2 de la patente US 6.874.591), el dispositivo de accionamiento 341 del conjunto de la izquierda y el dispositivo de accionamiento 342 del conjunto de la derecha son utilizados para impulsar respectivamente los conjuntos de la izquierda y de la derecha.

En otras realizaciones, el sistema de control 31 puede tener más de dos dispositivos de impulsión de las ruedas. Se pueden utilizar dispositivos de impulsión adicionales de los motores de las ruedas para un vehículo que tiene más de dos ruedas, tal como se muestra en la patente US 6.874.591, figura 2.

En otras realizaciones, el sistema de control 31 puede limitar la velocidad del transportador para asegurar que hay una reserva de velocidad adecuada para mantener el equilibrio o para conservar una magnitud particular de aceleración o de desaceleración, tal como se ha explicado con respecto a la figura 17. Es deseable conservar tanto el par como la velocidad, dependiendo su magnitud específica de varios factores. El sistema de control 31 puede contener además un sistema lógico para reducir la velocidad del transportador para evitar daños en la batería debido a la generación de sobrevoltaje, tal como se ha explicado con respecto a las figuras 20-23. Puede presentarse una situación de sobrevoltaje, por ejemplo, si el transportador está dotado de capacidad para regenerar la batería durante el frenado y cuando se efectúa desplazamiento descendente cuando la batería ya está completamente cargada.

El término "inclinación" utilizado en esta descripción se refiere al ángulo con respecto a la dirección vertical local de una línea que pasa por el centro de gravedad del sistema y el centro de rotación de un elemento de contacto con el suelo que soporta el sistema por encima del suelo en un momento determinado. El término "sistema" se refiere a todas las masas que se mueven debido al movimiento de los elementos de contacto con el suelo con respecto a la superficie sobre la que se desplaza el vehículo.

El término "situación de la inclinación" que se utiliza en esta descripción, comprende tanto la inclinación en el plano adelante-atrás como la velocidad de ángulo del vehículo (es decir,  $\Theta$  y  $\Theta_r$  (ó  $\dot{\Theta}$ ) en el que  $\Theta_r$  es el tiempo de cambio de  $\Theta$ ).

Un mecanismo para proporcionar una acción de control del usuario para un sistema de control de la desviación de un transportador personal se describe en detalle en la patente US nº 6.789.640. Tal como se describe en dicho documento, un usuario montado en un transportador puede proporcionar una acción de control de la desviación para el controlador de desviación 402 (mostrado en la figura 4) haciendo girar un conjunto de barra de desviación.

La figura 4 muestra la diferenciación en el sumador 401 del valor de desviación corriente  $\psi$  con respecto al valor de

desviación deseado  $\psi_{deseado}$  para obtener el error de desviación corriente  $\psi_{err}$ . El valor de la desviación deseado  $\psi_{deseado}$  es obtenido a partir de una acción de control del usuario, de la que se describen varias realizaciones en este documento. El valor corriente de  $\psi$  de desviación es derivado de varias estimaciones de estado, tal como el diferencial de velocidades de rueda, detección inercial, etc. La derivación de la instrucción de desviación, a partir del error de desviación, es proporcionada por el controlador 405 del motor, de acuerdo con varios algoritmos de proceso descritos, por ejemplo, en la patente US n° 6.288.505, y aplicados a los motores de la izquierda y de la derecha 403 y 404, respectivamente.

Una de las propiedades clave de un buen dispositivo de control de dirección es su capacidad de proporcionar una acción de control direccional, mientras controla la aceleración lateral. Los giros con elevada aceleración lateral requieren que el usuario se incline hacia la curva para evitar la caída o bascular sobre el transportador. Un dispositivo de control direccional óptimo requiere que el usuario tenga el cuerpo bien posicionado cuando envía una acción de control direccional. Una acción de control de desviación mediante una barra giratoria, tal como se ha explicado anteriormente con referencia a la patente US n° 6.789.640, favorece el posicionado apropiado del cuerpo mediante la orientación sobre su eje de rotación y el diseño de la combinación de botón y barra. Es posible, no obstante, efectuar una acción de control no coordinada dependiendo de la técnica del conductor.

Otro método de favorecer un posicionado corporal apropiado consiste en convertir una o varias barras de dirección en una palanca de control ("joystick"). Al pivotar la barra cerca de la base del aparato, el usuario puede desplazar su cuerpo a elevada velocidad y meramente sostenerse sobre la barra de control y ordenar una acción de control. Cuando se dispone de forma apropiada, el cuerpo del usuario se encuentra ya en posición para reaccionar contra la aceleración lateral al inicio del giro, reduciendo la probabilidad de un giro coordinado de forma no apropiada.

En el aparato con barra de dirección inclinable, la acción de control para la inclinación es proporcional al ángulo de la barra de dirección con respecto al bastidor. Preferentemente, el eje de pivotamiento está montado tan bajo como sea posible sobre el módulo de contacto con el suelo del transportador, a efectos de permitir que el movimiento de la barra siga de modo natural el movimiento del cuerpo del usuario, dado que las personas se inclinan de manera más estable realizando pivotamiento en los tobillos. En otras palabras, una barra de control del pivotamiento baja sigue la cinemática del cuerpo. En esta realización, la acción de control para la desviación es convertida en una instrucción de desviación utilizando algoritmos estándar de los transportadores personales, que aplican una ganancia fija a una acción de control para desviación a baja velocidad, pero escalan la ganancia a una velocidad más elevada para hacer la acción de control de desviación correspondiente a la aceleración lateral en vez de la velocidad de desviación. Esto funciona bien con el dispositivo de inclinación de la barra de control de inclinación, dado que el ángulo de inclinación deseado es aproximadamente proporcional a la inclinación lateral. El resultado es un método de acción de control muy natural, en el que el usuario "piensa" en la derecha o la izquierda mediante la inclinación y el aparato efectúa el seguimiento.

$$\dot{\psi}_{cmd} = K(\Phi_{HB} - \Phi_{Roll}) \quad (\text{ECN. 2})$$

siendo K una constante;  
 $\Phi_{HB}$  es el ángulo de la barra de dirección con respecto a la plataforma;  
 $\Phi_{Roll}$  es la inclinación de la plataforma con respecto a la gravedad;  
 $\dot{\psi}_{cmd}$  es la instrucción de desviación.

Otras realizaciones de la invención pueden tener una barra de control del pivote montada de forma inclinada u horizontalmente. En aparatos con pivotes inclinados, el ángulo del pivote con respecto al lugar y superficie de contacto proporcionan una interesante dinámica de giro. De manera específica, el eje de rotación puede afectar la dinámica de giro en una pendiente o en una superficie plana. Preferentemente, el aparato tiene un pivote horizontal en posición baja. Un pivote horizontal puede seguir fácilmente la cinemática de un cuerpo durante un giro.

De acuerdo con otras realizaciones de la invención, con la dirección de desplazamiento como punto de referencia, la barra de dirección pivotante puede estar montada en la parte frontal o en la parte posterior del transportador. La configuración de una barra de dirección con pivote montada en la parte posterior posibilita que el usuario efectúe el direccionado del transportador con otras partes del cuerpo, tal como las rodillas, además de utilizar una pierna aplicada a la barra de dirección. Además, el transportador puede incluir una característica que desactiva el control de inclinación cuando el usuario monta o desmonta del aparato. La característica puede ser activada cuando el transportador determina que el usuario se encuentra parcialmente sobre/fuera de la plataforma, de manera que el transportador no puede girar hacia el usuario o en separación del mismo, mientras este monta o desmonta del aparato.

De los diferentes mecanismos adecuados para proporcionar la inclinación de la barra de dirección, se describe el primero de ellos haciendo referencia a la figura 5A. El movimiento de la barra de dirección 500 está limitado a un plano que es sustancialmente transversal con respecto a la dirección del movimiento de avance del transportador personal 10 por medio de barras de enlace paralelas 502 que están acopladas de forma pivotante, tanto a la

plataforma 12 como a la barra de dirección 500. El movimiento de la barra de dirección puede ser forzado a una posición central y/o amortiguado por medios de resortes 504 o amortiguadores. En una realización alternativa mostrada en la figura 5B, la barra de dirección 500 está acoplada a la plataforma 12 del transportador 10 mediante elementos de flexión 508, reduciendo nuevamente el movimiento de la barra de dirección sustancialmente a un plano transversal a la dirección del movimiento de avance y permiten la basculación de la barra de dirección según un arco centrado sobre un punto de pivotamiento virtual situado en el plano de la plataforma 12 o cerca del mismo. En cualquiera de las realizaciones de las figuras 5A y 5B, uno o varios detectores 510 detectan la posición de la barra de dirección 500 o de miembros 502 que acoplan la barra de dirección al transportador, con respecto a la vertical o con respecto a una dirección fija con respecto al módulo de contacto con el suelo. El sensor 510 puede ser una célula de carga, por ejemplo, dispuesta a lo largo de un eje de control del vehículo (por ejemplo, la barra 16 de la figura 1). Además, los resortes o amortiguadores acoplados a la barras de dirección podrían ser utilizados para limitar la velocidad de giro del transportador en caso deseado.

En una realización, el movimiento de la barra de dirección no está forzado a una posición central. En realizaciones en las que la barra de dirección no está forzada a una posición central, no hay precarga alrededor del eje y, por lo tanto, el usuario puede accionar la dirección del transportador de manera precisa y exacta.

De acuerdo con una realización mostrada en la figura 5C, dos segmentos de barra de dirección separados 520 y 522 pueden ser desplazados separadamente, por la inclinación del usuario 8 con respecto a la plataforma 12 del transportador. En la realización mostrada, la posición de cada segmento de barra de dirección es forzada a una altura específica "neutra" con respecto a manguitos correspondientes 524 y 526 por medio de resortes o de otro modo. Un desplazamiento en altura relativo se transmite al controlador de desviación para el control de los giros, tal como se describe en relación con otras modalidades de acciones de control del usuario.

En otra realización de la invención mostrada en la figura 5D, la rotación en el sentido de las agujas del reloj y en sentido contrario 530 y 532 de la barra de dirección 500 con respecto a una columna de soporte 16 es detectada para generar una señal que transmite una acción de control del usuario a un controlador de desviación (por ejemplo, el controlador de desviación 402 de la figura 4). Un amortiguador 534 está dispuesto preferentemente en acoplamiento de pivotamiento de la barra de dirección 500 alrededor del eje 16.

Una cuestión que debe ser tenida en cuenta en el control de la inclinación de la barra de dirección es el efecto de la sensibilidad al terreno. Si el aparato es conducido sobre obstáculos o terreno irregular, una alteración de balanceo es impuesta en el sistema aparato/conductor, dado que el cambio resultante de posición del usuario puede provocar una acción de control de desviación no intencionada en el sistema. Modalidades del control de la desviación que dependen de la inclinación general del cuerpo de una persona de pie tienen probabilidades de ser más sensibles al terreno que, por ejemplo, el control de la desviación por medio de una barra giratoria.

Para contrarrestar esta sensibilidad al balanceo, se puede utilizar un algoritmo de compensación de balanceo. En este algoritmo, la acción de control de balanceo es modificada para compensar el ángulo de balanceo del bastidor, haciendo que la acción de control de desviación sea el ángulo de la barra de dirección con respecto a la gravedad. Dado que es más fácil para el usuario mantener la posición del cuerpo con respecto a la gravedad en vez de hacerlo con respecto a la plataforma, esto facilita la compensación de las alteraciones de balanceo.

De acuerdo con ciertas realizaciones de la invención, un procedimiento para reducir la sensibilidad al terreno utiliza un algoritmo para filtrar acciones de control de desviación basándose en la velocidad de balanceo del bastidor. La velocidad instantánea de balanceo a la que se designa como Velocidad de Balanceo, se puede conseguir fácilmente a partir del Estimador de Estado de Inclinación ("Pitch State Estimator"), tal como el que se describe, por ejemplo, en la patente US nº 6.332.103, que deduce la orientación del transportador basándose en uno o varios giroscopios, un inclinómetro o combinaciones de estos. Los transitorios de balanceo grandes provocan la aceleración del conductor y si los transitorios de balanceo tuvieran que ser acoplados rígidamente a través del conductor al mecanismo de control de la desviación, podrían provocar una acción de control de desviación no intencionada.

Existen dos partes distintas de la solución: rechazar la acción del terreno mientras la conducción tiene lugar en línea recta y rechazar la acción del terreno mientras se efectúa un giro; el primero es un caso especial del segundo, mientras se desactiva la desviación durante periodos de grandes velocidades de balanceo podría solucionar el problema para el movimiento en una dirección fija, son necesarias más acciones de control para desacoplar el balanceo del movimiento direccionado.

Una acción de control desconocida es una estimación de la acción de control de desviación "intentada" por el usuario (por ejemplo la intención por parte del usuario de girar en un círculo de 20' (6,1 m) de diámetro). Si bien la información de la acción de control de la desviación intentada no se encuentra directamente a disposición, se puede deducir de manera útil del historial de las acciones de control de la desviación. Simplemente filtrando por paso bajo los datos se consigue una estimación de la acción de control de la desviación. No obstante, esto provoca un retraso de la respuesta que es sensible para el usuario. Por otra parte, si se utilizan solamente datos filtrados por paso bajo cuando se encuentran presentes elevadas velocidades de balanceo, el conductor se dará cuenta menos probablemente del retardo. El algoritmo, por lo tanto, de acuerdo con una realización de la invención, utiliza un



mezclador controlado por la velocidad de balanceo entre la acción de control directa de desviación y una versión fuertemente filtrada.

5 Una función de transferencia modela la magnitud de la velocidad de balanceo que se acopla en la señal de desviación. Es función de varios factores, incluyendo el diseño de la acción de control de la desviación, habilidad del conductor y la forma en la que el conductor mantiene la acción de control de la desviación (por ejemplo, la barra 16 de la figura 1). Utilizando este método de mezcla, la función de transferencia puede ser ignorada ampliamente o minimizada en grado máximo a través de afino.

10 Cuatro puntos principales de afino son: la rapidez con la que el mezclador pasa a la versión filtrada, la rapidez en la que el mezclador retorna, en qué umbral empieza y termina la mezcla ("mix") y la frecuencia de esquina ("corner frequency") del filtro de paso bajo (LPF) en la acción de control de la desviación. Existen límites en la magnitud de desviación no controlada que puede ser eliminada debido al ajuste del umbral de mezcla. Al disponerlo en un valor alto, hay una desviación sin control mayor, al ajustarlo en un valor bajo, existen más desplazamientos falsos y el conductor empieza a experimentar el retardo de tiempo en la señal de desviación. El ajuste de la frecuencia de LPF tiene también compromisos. Si la desviación es filtrada en exceso, entonces existe un retardo sensible y una posibilidad de que los transitorios de desviación se acoplen procedentes del pasado. El ajuste a un valor demasiado bajo reduce la capacidad del mezclado en eliminar los transitorios.

20 Haciendo referencia a la figura 6, el bloque mezclador se define del modo siguiente:

$$\text{Instrucción de desviación} = F * \text{Acción control desviación} + (I-F) * \text{Desviación filtrada} \quad (\text{ECN. 3})$$

25 en la que F es la función de mezclador, que es una señal de variación continua entre 0,0 y 1,0. El filtrado de paso bajo de la Velocidad de Balanceo Filtrada ("Filtered Roll Rate") es facilitado de manera ventajosa a efectos de que el desplazamiento sobre una superficie irregular no tenga como resultado una respuesta errática de la desviación.

30 La figura 7 muestra un transportador personal compensado, de acuerdo con realizaciones de la presente invención, e indicado de manera general con el numeral 10. Los transportadores personales compensados anteriores han sido descritos en detalle, por ejemplo, en la patente US nº 6.302.230. Un usuario (no mostrado) se encuentra de pie sobre una plataforma de soporte 12 y sostiene una barra 14 en una barra de dirección 16 fijada a la plataforma 12. El transportador 10 comprende también, como mínimo, un elemento de contacto con el suelo, las ruedas 20 en esta realización de la invención. El transportador 10 comprende también, como mínimo, un dispositivo accionador (no mostrado) situado en la plataforma 12 que aplica un par de fuerzas al elemento de contacto con el suelo para propulsar al transportador con respecto a una superficie.

40 La barra de dirección 16 puede ser designada como "columna de dirección", "miembro" o "columna", cuyos términos se utilizan en esta descripción de forma intercambiable. En esta realización de la invención, la plataforma de soporte 12 comprende la placa 18 para el pie izquierdo y la placa 19 para el pie derecho separadas, tal como se explicará más adelante.

45 Se dispone un bucle de control, de manera que la inclinación hacia delante o hacia atrás del conductor tiene como resultado la aplicación de un cierto par a la rueda 20 alrededor del eje 22 por medio de un motor de impulsión (no mostrado) tal como se explica en esta descripción, provocando, por lo tanto, una aceleración del transportador 10. El bucle de control es implementado con un controlador (no mostrado) situado sobre o en el transportador 10. El controlador comprende, como mínimo, un procesador e introduce y extrae para la operación de control del transportador 10. No obstante, el transportador 10 es estáticamente inestable y en ausencia del funcionamiento del bucle de control para mantener estabilidad dinámica, el transportador 10 es incapaz de funcionar en su orientación típica de funcionamiento.

50 La figura 8 muestra un diagrama de bloques de un sistema de control de realimentación de la desviación, de acuerdo con una realización de la invención. La acción de control 80 de la desviación se deduce de una interfaz de usuario, tal como se explica más adelante. Una acción de control preferente del usuario es facilitada por la posición de un miembro, a modo de ejemplo, la barra 16 (mostrada en la figura 7), alrededor de un eje de pivotamiento de registro indicado  $\hat{z}$ .

55 Se comprenderá que si bien en una realización preferente el usuario que facilita la acción de control de desviación es el conductor a bordo del transportador personal, la invención no está limitada a este respecto. Por ejemplo, en una realización alternativa, la acción de control de desviación es facilitada por el cambio de la posición de la barra 16 por el usuario, mientras este camina al lado o por delante del transportador 10.

60 La función LateralAccelScale 82 reduce el efecto de la acción de control 80 de desviación para velocidades de las ruedas más elevadas y mayor aceleración centrípeta. La realimentación 84, utilizada para regular la velocidad ordenada de desviación, contiene un término de posición 85 de la desviación para mantener la posición de desviación, un término de velocidad al cuadrado 86 destinado a regular la velocidad de desviación a cero, y un término de avance hacia delante 89 destinado a proporcionar una mejor respuesta al usuario de la instrucción de

desviación.

5 El término de avance hacia delante 89 predomina para maniobras rápidas a efectos de proporcionar un sistema sensible. La realimentación del cuadrado de la velocidad 86 es un ejemplo de desviación de la teoría de control lineal y tiene el efecto de proporcionar amortiguación de velocidad de desviación no lineal.

10 La velocidad de cambio en una variable asociada con la acción de control de la desviación (tal como el ángulo de la barra de dirección alrededor del eje de referencia  $\hat{z}$ , típicamente el eje de balanceo del transportador, tal como se explica más adelante), se puede utilizar también como instrucción adicional de desviación y puede ser deducida por medio del diferenciador 81. La velocidad de cambio de la variable 80 de la acción de control de la desviación crea un componente de la instrucción de desviación que "anticipa" la inclinación del conductor y que tiene más probabilidades de mantener la barra de dirección 16 coordinada con el conductor y hace percibir el transportador 10 más sensible.

15 La ganancia 87, asociada al componente de velocidad de cambio de la acción de control de la desviación se puede variar, por ejemplo, en base al nivel de experiencia del usuario. De este modo, la señal de instrucción de desviación es generada basándose en la posición de la barra de dirección 16 y de la velocidad de cambio de la posición de la barra 16 que es ponderada basándose en el nivel de experiencia del usuario. En una realización, el valor de la ganancia 87 para un experto es ajustado al 130% del valor asociado a un principiante. Se pueden implementar diferentes valores de ganancia en realizaciones alternativas de la invención. En algunas realizaciones, el transportador puede ser configurado para permitir al usuario aplicar múltiples niveles de experiencia.

20 En algunas realizaciones, la velocidad de cambio de la posición de la barra 16, es ponderada como respuesta a la selección o especificación por el usuario de un nivel de conocimientos o experiencia del usuario, por ejemplo, variando entre principiante, intermedio y experto como modalidades del transportador 10. Cada modalidad puede imponer una limitación operativa especificada distinta en el transportador 10. En algunas realizaciones, el usuario selecciona la modalidad a través de la utilización de controles o botones situados sobre el transportador 10. En algunas realizaciones, el usuario selecciona la modalidad mediante utilización de botones situados sobre un dispositivo de control (no mostrado) en algunas realizaciones, la velocidad de cambio de la posición de la barra 16 es ponderada para reducir su efecto sobre la señal de instrucción de desviación para un usuario principiante. En algunas realizaciones, la velocidad de cambio de la posición de la barra 16 es ponderada para aumentar su efecto sobre la señal de instrucción de desviación para un usuario experimentado. Por lo tanto, para principiantes, el término de velocidad de cambio se reduce de manera ventajosa o se elimina, pasando la instrucción de desviación de manera predominante o exclusivamente en la variable de la acción de control de la desviación, tal como el ángulo de la barra de dirección alrededor del eje de referencia  $\hat{z}$ .

35 Además, la componente de velocidad de cambio se puede filtrar con respecto a la frecuencia, de manera que la instrucción de desviación se puede adaptar para que sea más o menos sensibles a maniobras bruscas ejecutadas por conductores más experimentados y más tolerante de maniobras bruscas realizadas por conductores menos capacitados.

40 En algunas realizaciones, el nivel de experiencia del usuario se utiliza para proporcionar diferentes características operativas para un transportador, dependiendo de si el usuario es principiante o experto. De esta manera, la sensibilidad a baja velocidad y la máxima velocidad de desviación controlada se pueden reducir para una modalidad de principiante, mientras se conserva el funcionamiento en régimen estable en un transportador que funcione en modalidad de experto.

45 Además, en algunas realizaciones de la invención, se utilizan diferentes ganancias de control para controlar el funcionamiento del transportador para una modalidad de principiante con respecto a una modalidad de experto cuando, por ejemplo, se hace funcionar el transportador en marcha atrás y/o durante el montaje y desmontaje de la plataforma del transportador.

50 Varias modalidades alternativas para especificar acciones de control de dirección o de velocidad del usuario se describen en la solicitud de patente US nº de serie 10/939.955. Una técnica preferente para recibir la entrada de instrucciones de desviación en base a la inclinación de la barra de dirección, se dan a conocer en dicho documento y varias realizaciones para implementar la inclinación de la barra de dirección, se muestran en las figuras 5A-5D.

55 La modalidad de inclinación de la barra de dirección, en algunas realizaciones, la acción de control de la desviación es proporcional a alguna función del ángulo de la barra de dirección con respecto al bastidor, en el caso en que dicha dependencia funcional pueda ser cambiada en base a circunstancias de funcionamiento específicas. De manera alternativa, la acción de control de la desviación puede ser proporcional a alguna función del ángulo de la barra de dirección con respecto a un sistema independiente del dispositivo, tal como con respecto al sistema local tierra/inercia de referencia (es decir, al vector vertical local - vector de gravedad local).

60 Una relación preferente de la inclinación de la barra de dirección con respecto a la desviación controlada se muestra

en la figura 9. En la relación que se ha mostrado, la desviación controlada aumenta más rápidamente que linealmente con respecto al desplazamiento angular (desviación) de la barra 16 alrededor del eje de pivotamiento  $\hat{z}$ .

5 Haciendo referencia nuevamente a la figura 7, se describen realizaciones alternativas de la invención en las que el usuario facilita una acción de control de la desviación haciendo girar la barra 16 alrededor del eje de pivotamiento  $\hat{z}$ , siendo el eje de pivotamiento el eje de balanceo del transportador 10, de manera que la rotación de la barra tiene lugar en un plano lateral con respecto al movimiento de avance del transportador. Una vista con las piezas desmontadas de un conjunto de pivote 100, alrededor del cual gira la barra 16, se ha mostrado en la figura 10.

10 El eje 102 está alineado a lo largo del eje de pivotamiento  $\hat{z}$  (ver figura 7). El eje 102 pasa a través de los conjuntos de cojinetes 104 y está soportado por dichos conjuntos de cojinetes 104, de manera que el eje 102 tiene capacidad de rotación alrededor del eje de pivotamiento  $\hat{z}$  con respecto a la extrusión 106 de la base y al casquillo de extorsión 103. La base 106 está acoplada a la plataforma 12 del transportador 10 de la figura 7.

15 La orientación del eje 102 y, por lo tanto, de la barra 16 es detectada por el conjunto sensor de ángulo de pivotamiento 118, que contiene sensores redundantes 101 que pueden ser cualesquiera sensores conocidos en la técnica para detectar rotación (por ejemplo, sensores de efecto Hall). Otros sensores (por ejemplo sensores ópticos o magnéticos) pueden ser también utilizados y, por lo tanto, se encuentran dentro del ámbito de la presente invención.

20 Cualquier mecanismo para proporcionar una fuerza opuesta a una instrucción de desviación creciente y que restablezca la acción de control de la desviación a su posición central se encuentra dentro del alcance de la invención. Una realización preferente, incluye el casquillo de torsión de esfuerzo constante 113.

25 El casquillo de torsión 103 se ha mostrado con mayor detalle en la figura 11. Una membrana elastómera 114 está rígidamente acoplada al eje 112 y a la protección 116 que es fija con respecto a la plataforma 12, de manera que se ejerce una fuerza de torsión de restablecimiento sobre el eje 112 en virtud de la componente de cizalladura del tensor elástico, que caracteriza la membrana cuando el eje 112 es obligado a girar (alrededor del eje  $\hat{z}$ ), concéntricamente con respecto a la protección 116. El par de restablecimiento es simétrico con respecto a la rotación izquierda/derecha del eje 112. La longitud sobre la que la membrana elastómera 114 está acoplada a al eje 30 112 supera la longitud sobre la que la membrana 114 está acoplada a la protección 116 para mantener un esfuerzo de cizalladura sustancialmente igual por unidad de área transversal en sección de la membrana, incrementando, por lo tanto, de manera ventajosa la capacidad de duración y vida útil de la membrana 114. La membrana 114 puede ser uniforme en su grosor o puede presentar inclinación.

35 La figura 12 es una vista en planta de un nivel digital 120 utilizado con un transportador (por ejemplo, el transportador 10 de la figura 7). Teniendo en cuenta que la inclinación del transportador es una acción de control con respecto al bucle de control que tiene como resultado la aplicación de un par de fuerzas a las ruedas 20, es ventajoso que el transportador sea dispuesto en posición sustancialmente vertical y, por lo tanto, en una situación de par de fuerzas cero, durante el proceso en el que un usuario se monta en el transportador.

40 Un conjunto de cinco luces 122 (por ejemplo, diodos emisores de luz (LED)) queda dispuesto preferentemente en una consola 124 dispuesta en una posición fija con respecto a la plataforma 12 (entre ruedas 20 dispuestas transversalmente), de manera que sea fácilmente visible por el conductor montado o montando del transportador. En una realización, cuando los colores mostrados por los LED están todos iluminados en un color único (por ejemplo, verde), ello es indicativo de que la plataforma 12 se encuentra en posición plana y en orientación correcta para montar en la misma. La iluminación de un LED en otro color (por ejemplo, rojo) indica una inclinación en la dirección correspondiente a dicho LED.

45 Las luces del nivel digital 120 pueden ser utilizadas también para indicar otras situaciones del transportador. Por ejemplo, una condición de luces rojas intermitentes puede indicar una situación de alarma, tal como un fallo que requiera desaceleración y desmontaje. En algunas realizaciones, las luces intermitentes son representativas de una situación que comporta la utilización no autorizada del transportador.

50 De acuerdo con otra realización de la invención, unas placas separadas 18 y 19 (mostradas en la figura 7) quedan dispuestas para detectar el peso del pie izquierdo y derecho, respectivamente. Las figuras 13A y 13B son ilustraciones de una plataforma y placas (por ejemplo, plataforma 12 y placas 18 y 19 de la figura 7). La figura 13A es una vista en planta de la plataforma del transportador con las placas de presión desmontadas, mostrando la colocación de los sensores de presión de fuerza en los pies, de acuerdo con una realización ilustrativa de la invención. La figura 13B es una vista en perspectiva de las dos placas 18 y 19 para detectar la colocación de los 60 pies izquierdo y derecho del usuario.

La utilización de las placas 18 y 19 puede ser empleada ventajosamente para controlar o limitar el giro del transportador durante el proceso de montaje o desmontaje del mismo en una cuestión, por ejemplo, de comodidad y 65 seguridad. Por ejemplo, la sensibilidad del control utilizado para el funcionamiento del transportador (por ejemplo, el

transportador 10 de la figura 3) en el direccionado del transportador puede estar limitada en casos en los que el conductor tiene solamente un solo pie sobre la plataforma. La tabla 1 muestra comportamiento de dirección de un transportador basándose en si uno o ambos pies del usuario se encuentran sobre la plataforma del transportador (por ejemplo, las placas 18 y 19 de la plataforma 12 de la figura 7), de acuerdo con una realización de la invención. El comportamiento de dirección es basado también en la velocidad de funcionamiento del transportador.

Tabla 1: Comportamiento de la dirección

Detección del usuario	Velocidad	Respuesta del aparato
Pie izquierdo solamente sobre el transportador	Velocidad baja ( $\leq 3$ mph / 1,34 metros/segundo)	Limitar movimiento de desviación total a la izquierda y emitir sonido de aviso cuando se ignora la instrucción de desviación
Pie derecho solamente sobre el transportador	Velocidad baja ( $\leq 3$ mph / 1,34 metros/segundo)	Limitar movimiento de desviación total a la derecha y emitir sonido de aviso cuando se ignora la instrucción de desviación
Pie izquierdo solamente sobre el transportador	Velocidad moderada (12,5 mph / 1,34 metros/segundo)	Mantener control de la desviación pero disponer límite de velocidad a velocidad moderada (5 mph / 2,24 metros/segundo)
Pie derecho solamente sobre el transportador	Velocidad moderada (12,5 mph / 1,34 metros/segundo)	Mantener control de la desviación pero disponer límite de velocidad a velocidad moderada (5 mph / 2,24 metros/segundo)
Ambos pies sobre el transportador	Todas las velocidades	Funcionamiento normal

Se puede especificar un comportamiento de dirección alternativo en realizaciones alternativas de la invención. Por ejemplo, se pueden especificar velocidades alternativas del transportador. Además, el comportamiento de la dirección se puede cambiar basándose en la magnitud de fuerza aplicada por el usuario a una o ambas placas 18 y 19. En algunas realizaciones, el nivel de experiencia del usuario (similar a la explicación facilitada) es un factor que se utiliza para especificar el comportamiento de dirección del transportador.

En algunas realizaciones de la invención, el transportador (por ejemplo, el transportador 10 de la figura 7) está dotado de capacidad de control inalámbrico o telemetría inalámbrica de datos, a través de, por ejemplo, una unidad de telemetría. El control inalámbrico y telemetría inalámbrica de datos pueden ser proporcionados unilateralmente o bilateralmente. En algunas realizaciones se dispone un dispositivo de acción de control en posición remota, que puede ser transportado por el usuario o puede ser dispuesto en el transportador o en una localización remota. En una realización, el transportador 10 comprende un transceptor que establece comunicaciones inalámbricas remotas entre el dispositivo de entrada y el controlador del transportador 10. La capacidad de controlar ciertas funciones de forma inalámbrica capacita ventajosamente la fabricación del transportador 10 con toda la parte electrónica contenida por completo debajo de la plataforma 12 y más particularmente con una columna de control 16 que no lleva partes electrónicas.

En varias realizaciones de la invención, se puede conseguir estabilidad delante-atrás proporcionando un bucle de control (por ejemplo, tal como se ha explicado anteriormente en la figura 2). El bucle de control puede ser utilizado cuando uno o varios motores están incluidos para funcionamiento de un dispositivo de accionamiento motorizado en relación con miembros de contacto en el suelo. Un par de miembros de contacto con el suelo puede estar constituido, por ejemplo, por un par de ruedas o un par de grupos de ruedas. En el caso de grupos de ruedas, cada grupo de ruedas puede comprender una serie de rudas. Cada uno de los miembros de contacto con el suelo, no obstante, puede ser alternativamente una serie (de manera típica un par) de elementos arqueados adyacentes axialmente, radialmente soportados y montados de forma rotativa. En estas realizaciones, los elementos de contacto con el suelo son impulsados por un dispositivo de impulsión a motor en el bucle de control, de manera tal que mantenga, cuando el transportador no se está desplazando, el centro de gravedad del transportador por encima de la zona de contacto de los miembros de contacto con el suelo con independencia de las alteraciones y fuerzas que actúan sobre el transportador. En otras realizaciones, los elementos de contacto con el suelo son impulsados por el dispositivo de impulsión a motor en el bucle de control para mantener el equilibrio apropiado para un vehículo todoterreno.

Un elemento de contacto con el suelo típicamente tiene un "punto" (en realidad una región) de contacto o tangencia con la superficie sobre la que se desplaza o permanece un vehículo (por ejemplo, un transportador). Debido a la adaptación del miembro de contacto con el suelo, el "punto" de contacto es realmente un área, en la que la región de contacto puede ser indicada también como zona de contacto. Por ejemplo, el peso de un transportador está distribuido sobre la región de contacto, dando lugar a una disposición de presiones sobre la región, con el centro de presión desplazado hacia delante durante el movimiento de avance. La distribución de presiones es una función tanto de la composición y estructura de la rueda, de la velocidad de rotación de la rueda, del par de fuerzas aplicado a la rueda y, por lo tanto, de las fuerzas de fricción que actúan sobre la rueda.

Una fuerza en la dirección de movimiento es necesaria para superar el rozamiento de rodadura (y otras fuerzas de rozamiento, incluyendo la resistencia del aire). En algunas realizaciones de la invención, se puede utilizar la gravedad para proporcionar un par de fuerzas alrededor del punto de contacto con la superficie en una dirección que tenga una componente en el sentido deseado de movimiento. La figura 14 muestra las fuerzas que actúan en una sola rueda que se desplaza con velocidad constante  $v$  sobre una superficie plana. Los principios que se explican pueden ser generalizados fácilmente para el funcionamiento sobre una superficie inclinada y para compensar cualesquiera otras fuerzas externas que pudieran existir. La rueda 140 de radio  $R_w$  gira con respecto al bastidor 142 alrededor del eje 144 y establece contacto con la superficie situada por debajo en el punto P. Solamente a efectos ilustrativos, se supone que la rueda 140 establece contacto con la superficie en un punto.

La rueda es impulsada con respecto al transportador por un par de fuerzas  $T$  (suministrado, por ejemplo, por un motor), que a su vez crea un par de reacción  $-T$  sobre el transportador. Dado que el par actúa alrededor del eje 144, el par de reacción corresponde a una fuerza  $F_b$  que actúa en el centro de gravedad (CG) del sistema, incluyendo el transportador y la carga útil, cumpliéndose  $F_b = T/R_{CG}$ , en la que  $R_{CG}$  es la distancia entre el eje y el CG del sistema. La línea 143 desde el CG al punto P forma un ángulo  $\theta_s$  con respecto a la vertical 146.

El rozamiento de rodadura,  $f$ , que actúa sobre la rueda en el punto P es proporcional a la velocidad  $v$  de la llanta de la rueda, expresándose la proporcionalidad  $f = \mu v$ . Para mantener la velocidad constante, esta fuerza  $f$  debe ser compensada de forma exacta. Como consecuencia, al proporcionar la gravedad, la fuerza la condición que se debe satisfacer es:

$$F_b \cos \theta_s = f_b \quad (\text{ECN. 4})$$

en la que  $f_b$  es la componente de la fuerza de reacción que actúa transversalmente al eje 141 entre el CG y el punto P. A efectos de mantener la estabilidad (impedir que el transportador se caiga) debe existir también una condición de estabilidad, es decir, ninguna fuerza neta actúa sobre el CG en dirección transversal a la línea 143. No debe haber par de fuerzas neto alrededor del punto de contacto P durante el movimiento a velocidad constante (es decir, en un marco inercial de referencia en el que el punto P es fijo. Esta condición se puede expresar del modo siguiente:

$$F_g \sin \theta_s = f_b \quad (\text{ECN. 5})$$

en la que  $F_g \sin \theta_s$  es la componente de "inclinación" de la gravedad y  $f_b$  es la componente contra inclinación de la fuerza de reacción sobre un vehículo (por ejemplo, el transportador) provocada por la rotación de la rueda ( $f_b = F_b \cos \delta$ ), siendo  $\delta$  el ángulo mostrado entre la línea 143 y la línea 141.

Las ecuaciones 4 y 5 pueden ser combinadas para conseguir  $F_g \sin \theta_s \cos \theta_s = f = \mu v$ , por lo que en el límite de los ángulos pequeños (en el que  $\sin \theta$  es aproximadamente  $\theta$ )

$$\theta_s = \left( \frac{\mu}{F_g} \right)^{1/2} \quad (\text{ECN. 6})$$

mostrando que para un transportador el aumento de la velocidad requiere una inclinación incrementada para superar los efectos del rozamiento. De manera adicional, un bucle de control que impone estabilidad en el sistema responderá a una inclinación incrementada al incrementar la velocidad del sistema. Una inclinación adicional más allá de la necesaria para superar los efectos del rozamiento tiene como resultado una aceleración, puesto que una fuerza adicional dirigida hacia delante actúa sobre el CG del vehículo. Inversamente, para conseguir aceleración (o desaceleración) del transportador, se debe proporcionar inclinación adicional (hacia delante o hacia atrás) de la manera que se explica de forma más detallada más adelante.

La figura 15 es un diagrama de bloques que proporciona detalles del conjunto de interfaz 153 del dispositivo de accionamiento de la rueda. Un microordenador periférico en forma de panel 155 recibe la acción de control del usuario desde una palanca de mando 152 y también desde un inclinómetro 153. En otras realizaciones, el inclinómetro 153 es otro tipo de sensor de inclinación (por ejemplo, sensor de referencia de péndulo). El inclinómetro 153 proporciona señales de información de ángulo ( $\theta$ ) y velocidad de ángulo ( $\dot{\theta}$ ). Para permitir una basculación controlada en los giros por el transportador, aumentando, por lo tanto, la estabilidad mientras se efectúa el giro, es también factible utilizar un segundo inclinómetro para proporcionar información en cuanto a cabeceo ( $\Phi$ ) y velocidad de cabeceo ( $\dot{\Phi}$ ). De manera alternativa, la resultante del peso del sistema y de la fuerza centrífuga se puede utilizar para aumentar la estabilidad durante el giro. El panel microcontrolador periférico 155 recibe señales de entrada desde el apilamiento de batería 151, por ejemplo, voltaje de la batería corriente de la batería y temperatura de la misma. El panel microcontrolador periférico 155 también recibe otras acciones de control 154 del conductor (por ejemplo, señales limitadas por conmutadores (botones y pulsadores) para ajuste de la plataforma y para determinar la modalidad de funcionamiento. El panel microcontrolador periférico 155 está en comunicación con intermedio del

bus 159 con un panel microcontrolador central (no mostrado) que puede ser utilizado para controlar los motores de las ruedas, tal como se describe más adelante en relación con la figura 16.

La figura 16 es un diagrama de bloques que muestra algoritmos de control adecuados para su utilización conjuntamente con los conjuntos de control de la figura 15 para proporcionar estabilidad para un transportador, por ejemplo, el transportador 10 de la figura 1 y otros vehículos. Otras realizaciones incluyen un transportador en las que el transportador y la carga útil están compensados sobre dos elementos de contacto con el suelo, tanto durante el desplazamiento como en posición fija. Las siguientes convenciones se utilizan en relación con la siguiente descripción:

1. Variables definidas en coordenadas mundiales y designadas utilizando un solo subíndice en letras mayúsculas. Las coordenadas mundiales son coordenadas fijas con respecto a la tierra (inerciales).
2. Una  $r$  sin subíndice identifica el radio de la rueda.
3. Subíndices en minúscula se utilizan para indicar otros atributos, por ejemplo, derecha/izquierda, etc.:  $r$  = derecha,  $l$  = izquierda,  $ref$  = referencia,  $f$  = final,  $s$  = inicio.
4. Todos los ángulos son positivos en el sentido de las agujas del reloj, en el que el desplazamiento positivo tiene lugar en la dirección positiva  $x$ .
5. Un punto sobre una variable indica diferenciación en tiempo, por ejemplo,  $\dot{\theta}$ .

Tal como se ha mostrado, el algoritmo de control 1660 para motores de las ruedas de la derecha y de la izquierda de un vehículo, por ejemplo, las ruedas 20 y 21 del transportador de la figura 1. El algoritmo de control 1660 tiene acciones de control de velocidad lineal de la rueda izquierda con respecto al sistema de coordenadas mundiales,  $\dot{\theta}$ ,  $r\dot{\theta}_{wl}$ , y velocidad lineal de la rueda derecha,  $r\dot{\theta}_{wr}$ . El algoritmo de control 1660 tiene también acciones de control o entradas direccionales 1600 que son determinadas por una palanca de mando dispuesta a lo largo de los ejes X e Y de un sistema de coordenadas de referencia. Las acciones de control  $\Theta$ ,  $\dot{\Theta}$ , y señales de error  $x$  y  $\dot{x}$  (que se describen más adelante), están sometidas respectivamente a las ganancias K1, K2, K3 y K4 y pasan a ser acciones de control para el dispositivo sumador 1619. El sumador 1619 produce la instrucción de par de compensado básico para las ruedas de la derecha y de la izquierda, tal como se ha descrito anteriormente en relación con la figura 2. La salida del sumador 1619 es combinada con la salida del bucle PID de desviación 1616 (que se describe más adelante) en el dispositivo sumador 1620. La salida del dispositivo sumador 1620 se divide en el divisor 1622. La salida del dispositivo sumador 1620 está limitada en el limitador de saturación 1624, produciendo una instrucción de par para la rueda de la izquierda. De manera similar, la salida del dispositivo sumador 1619 es combinada con la salida del bucle PID 1616 en el dispositivo sumado 1621. La salida del dispositivo sumador 1621 es dividida en el divisor 1623. La salida del divisor 1623 es limitada en el limitador de saturación 1625, produciendo una instrucción de par para la rueda derecha.

El algoritmo de control 1660 reconoce que una instrucción direccional a lo largo del eje X desplaza el sistema de coordenadas de referencia, tal como se ha mostrado en la figura 1 a lo largo de su eje X con respecto al sistema de coordenadas mundiales (que representa la superficie de desplazamiento) a una velocidad proporcional al desplazamiento de una palanca de mando. Una acción de control direccional a lo largo del eje Y hace girar el sistema de coordenadas de referencia, tal como se ha mostrado en la figura 1, alrededor de su eje Z a una velocidad angular proporcional al desplazamiento de la palanca de mando. El movimiento de la palanca de mando en la dirección positiva de las X se interpreta en este caso con el significado de movimiento de avance. El movimiento de la palanca de mando en la dirección negativa de las X significa movimiento inverso. De manera similar, el movimiento de la palanca de mando en la dirección positiva de las Y significa giro hacia la izquierda, en sentido contrario a las agujas del reloj visto desde arriba. El movimiento de la palanca de mando en la dirección negativa de las Y significa giro a la derecha, en sentido de las agujas del reloj visto desde arriba. Por lo tanto, las acciones de control direccional Y y X reciben banda libre ("deadband") a través de los bloques de banda libre 1601 y 1602, respectivamente, para ampliar la posición neutral de la barra de mando. Las salidas 1602 y 1602 son sometidas a ganancias K11 y K10, respectivamente. Las salidas de las ganancias K10 y K11 son entradas en los limitadores de velocidad 1603 y 1604, respectivamente. Los limitadores de velocidad 1603 y 1604 limitan las aceleraciones angular y lineal, respectivamente, del sistema de coordenadas de referencia. Las salidas limitadas en velocidad de los limitadores de velocidad 1603 y 1604 son entradas en el dispositivo sumador 1605. La salida del dispositivo sumador 1605 es la velocidad de referencia  $\dot{x}_{r,ref}$  y la salida del dispositivo sumador 1606 es la velocidad de referencia  $\dot{x}_{l,ref}$ .  $\dot{x}_{l,ref}$  y  $\dot{x}_{r,ref}$  son restadas en los dispositivos sumadores 1608 y 1607 de las señales de entrada de velocidad lineal compensada  $r\dot{\theta}_{wl}$  y  $r\dot{\theta}_{wr}$  para las ruedas de la izquierda y de la derecha para obtener señales de error de velocidad  $\dot{x}_l$  y  $\dot{x}_r$  para las ruedas de la izquierda y de la derecha dentro del sistema de coordenadas de referencia. El promedio de las señales de error de velocidad  $\dot{x}_l$  y  $\dot{x}_r$  determinado mediante el dispositivo sumador 1617 y el divisor 1618 produce una señal de error de velocidad lineal. La señal de error de desplazamiento  $x$  es derivada al integrar  $\dot{x}_l$  y  $\dot{x}_r$  en los integradores 1610 y 1609. La salida de los integradores 1610 y 1609 son entradas para los limitadores de saturación 1611 y 1612. La salida de los limitadores de saturación 1612 y 1611 son promediados por el dispositivo sumador 1613 y el divisor 1615. La diferencia de estos desplazamientos, determinada con el dispositivo sumador 1614 produce la señal  $\psi$  de error de desviación.

La señal  $\psi$  de error de desviación es introducida en un bucle de control 1616 de tipo estándar proporcional-más-integral-más-derivada (PID). La salida del bucle de control PID 1616 es combinada con la salida de la instrucción de par de compensado básica del dispositivo sumador 1619 para producir instrucciones de par de fuerzas individuales en las ruedas. La instrucción de par de fuerzas individual de las ruedas provoca que las ruedas mantengan estabilidad atrás-delante y provoca también que el transportador se alinee con los ejes del sistema de coordenadas de referencia y siga el origen del mismo según instrucciones de la acción de control direccional 1600.

En otra realización de la invención, se utiliza la limitación de velocidad para mantener equilibrio y control, que se podrían perder de otro modo si los elementos de contacto con el suelo (por ejemplo, ruedas) pudieran alcanzar una velocidad operativa máxima del transportador. El término "velocidad operativa máxima" tal como se utiliza en esta descripción, se refiere a la velocidad máxima a la que el vehículo (por ejemplo el transportador) es capaz momentáneamente de ser impulsado. Esta velocidad operativa máxima es típicamente una función de una capacidad instantánea del transportador. Por ejemplo, la velocidad operativa máxima puede ser una función de la capacidad del sistema de impulsión y/o de la capacidad del dispositivo de almacenamiento de energía dispuesto para accionar el sistema de impulsión. Un dispositivo de almacenamiento de energía puede ser una batería. La capacidad instantánea del dispositivo de almacenamiento de energía es una medida de la potencia instantánea que puede ser suministrada por el dispositivo. La "capacidad máxima" del dispositivo de almacenamiento de energía es una medición de la potencia máxima que el dispositivo puede suministrar en cualquier momento. Los términos "banda de intervención de velocidad", "velocidad de intervención" y "límite de velocidad" que se utilizan en esta descripción se refieren a un rango o banda de velocidades que van desde una "velocidad de intervención" en el extremo inferior a un "límite de velocidad" en un extremo superior. La velocidad de intervención es un umbral de velocidad en el que se pueden utilizar medios para reducir la velocidad del transportador. Un transportador será utilizado típicamente con un margen entre la velocidad de funcionamiento máxima y el límite de velocidad, tal como se ha mostrado en la figura 17. Este margen ayuda a asegurar que el transportador mantiene equilibrio en un rango de condiciones de funcionamiento.

La reducción de la velocidad puede ser conseguida inclinando el transportador nuevamente en dirección opuesta con respecto a la dirección actual de desplazamiento, lo que provoca la ralentización del transportador. (Tal como se ha explicado anteriormente, la extensión y dirección de la inclinación del sistema determinan la aceleración del transportador). En esta realización, el transportador es inclinado hacia atrás, añadiendo una modificación de inclinación al valor de inclinación del inclinómetro. La reducción de velocidad puede tener lugar siempre que la velocidad del transportador supere la velocidad de intervención. La modificación de ángulo es determinada consultando la diferencia entre la velocidad del transportador y la velocidad de intervención integrada a lo largo del tiempo. La secuencia de modificación automática de la inclinación se puede mantener hasta que el transportador disminuye hasta la velocidad deseada de descenso (una velocidad por debajo de la velocidad de intervención) y el ángulo de inclinación puede ser devuelto suavemente a su valor original.

Un motor eléctrico conectado a una rueda que soporta una carga útil ejerce un cierto esfuerzo para mantener un régimen estable. Para un vehículo estacionario situado en una pendiente, la fuente de potencia eléctrica suministra el esfuerzo a través del motor. Cuando el aparato empieza a desplazarse bajando por la pendiente, la velocidad se incrementa al convertirse la energía potencial en energía cinética. Una vez que se ha alcanzado la velocidad de régimen estable, la energía potencial ya no se convierte en energía cinética y no hay incremento de velocidad. En vez de ello, la energía potencial puede ser convertida en energía eléctrica a través del motor. La energía potencial es convertida en energía eléctrica, menos las pérdidas del sistema. La energía eléctrica, por ejemplo, puede cargar una batería utilizada para impulsar el motor.

La corriente del motor es proporcional al peso de la combinación del vehículo y la carga útil soportada y la pendiente de la superficie situada por debajo. Estos dos parámetros conjuntamente determinan la cantidad de trabajo que puede llevar a cabo la gravedad en el sistema. Si la pendiente superficial es cero, la gravedad no funciona. La figura 18A muestra una rueda 180 que se desplaza sobre una superficie con pendiente cero. Se debe aplicar un par de avance  $T_F$  a la rueda 180 para que esta se desplace en dirección de avance  $V$ . La fuerza de la gravedad  $F_g$  no contribuye a la cantidad de trabajo requerida para propulsar hacia delante la rueda 180 con una superficie con pendiente cuerpo ni lo disminuye. La figura 18B muestra una rueda 180 que se desplaza descendiendo por una superficie inclinada (pendiente  $\alpha$ ). La fuerza de la gravedad  $F_g$  contribuye a la cantidad de trabajo requerida para propulsar la rueda hacia delante  $V$ . Dado que la rueda 180 se está desplazando de forma descendente desde la superficie en pendiente, se debe aplicar, para mantener la rueda 180 desplazándose a velocidad constante, un par inverso  $T_r$  proporcional a la fuerza de gravedad ( $F_g$ ) debiendo aplicar la velocidad constante deseada. En otras realizaciones, la rueda 180 puede desplazarse subiendo por una pendiente. Otras fuerzas (por ejemplo, fuerzas de rozamiento) contribuyen a la magnitud del par  $T$  requerido para propulsar la rueda hacia delante, tal como se ha explicado anteriormente con respecto a la figura 14. A efectos de simplificación, se han ignorado en la explicación anterior. Para una pendiente determinada de la superficie, cuanto mayor es el peso del vehículo y la carga útil, mayor es el trabajo que puede llevar a cabo la gravedad sobre el sistema en forma de crear más corriente cuando acelera o desacelera. La cantidad de corriente generada cuando se acelera o se desacelera se reduce por pérdidas de rotación de manera que para pendientes pequeñas o cargas útiles reducidas puede no existir acción de motor o regeneración.

Un sistema de accionamiento determinado, está típicamente limitado en la magnitud de corriente eléctrica que puede ser manejada. Consideraciones tales como hardware del conjunto de impulsión a motor, capacidad de la batería y limitaciones térmicas afectan este límite.

5 La figura 19 muestra un diagrama de bloques de un módulo de potencia 1900 de una realización de la presente invención. Un controlador de compensado 1910 genera una señal de instrucción facilitada al amplificador 1920 del motor. El amplificador 1920 del motor aplica la potencia apropiada al motor 1930 basándose en la señal de instrucción. El controlador de compensado 1910 recibe acciones de control del usuario y de los sensores del sistema y aplica una ley de control, tal como se describe en detalle más adelante, para mantener el equilibrio y gobernar el movimiento del transportador, de acuerdo con las instrucciones del usuario. El motor 1930 hace girar un eje 1932 que suministra un par T a una velocidad angular  $\omega$  a una o varias ruedas (por ejemplo ruedas 20 y 21 mostradas en la figura 1), que están acopladas al eje 1932. En una realización de la presente invención, el motor 1930 es un motor CC sin escobillas de tres bobinas. En esta realización, el motor 1930 tiene tres conjuntos de bobinas de estator, si bien se puede utilizar cualquier número de bobinas. Las bobinas del estator están conectadas eléctricamente a una etapa de potencia 1924 por conductores 1937 de las bobinas capaces de conducir grandes cantidades de corriente o elevados voltajes.

El amplificador 1920 del motor contiene un controlador 1922 del amplificador y una etapa de amplificación de potencia 1924. El control 1922 del amplificador puede estar configurado para controlar la corriente o el voltaje aplicados al motor 1930. Estas modalidades de control pueden ser designadas como modalidad de control de corriente y modalidad de control de voltaje respectivamente. La etapa de potencia 1924 conmuta la fuente de potencia 1940 en conexión o en desconexión para cada bobina, basándose en la conmutación de la etapa de potencia 1924. La etapa de potencia 1924 es controlada por el controlador 1922 del amplificador. Un bucle interno 1826 detecta si la salida de la etapa de potencia 1924 es igual al valor ordenador y realimenta una señal de error al controlador 1922 del amplificador con una anchura de banda de bucle cerrado, preferentemente del orden de 500 Hz. El controlador del amplificador modifica la salida de la etapa de potencia 1824 basándose en la señal de error. De manera adicional, el control por el controlador 1922 del amplificador se basa, en parte, en una señal de realimentación procedente del sensor de realimentación del eje (SFS) 1935.

30 El sensor de realimentación 1935 está acoplado a un controlador de compensado 1910. Dicho sensor de realimentación 1935 proporciona información relativa a la posición del eje o movimiento al controlador de compensado 1910. El sensor de realimentación 1935 del eje puede ser cualquier sensor conocido en la técnica capaz de detectar la posición angular o velocidad de un eje rotativo e incluye tacómetros, "encoders" y "resolvers". A efectos de obtener una medición de la velocidad de rotación del eje desde una señal de posición facilitada por el sensor de realimentación del eje 1935, la señal de posición es diferenciada por el diferenciador 1908. El bucle externo de realimentación 1942 funciona en una anchura de banda característica del control de compensado proporcionado por el controlador de compensado 1910 y puede ser baja, del orden de 20-30 Hz.

Si bien el control de corriente y de voltaje pueden ser equivalentes en ciertas aplicaciones, el control de voltaje es aplicado ventajosamente en realizaciones de control de transportador en el que la anchura de banda del bucle externo es más de 3-4 veces más lento que la anchura de banda interna del bucle cerrado. La figura 20 muestra un modelo eléctrico 2010 de un motor. El motor tiene un par de terminales 2011, 2012 a través de los cuales se aplica un voltaje V. El motor 2010 tiene también un eje de giro caracterizado por una velocidad del eje  $\omega$  y un par T. El motor 2010 puede ser modelado por el reóstato 1930 del conjunto de la resistencia R que transporta una corriente i en serie con un motor ideal 1935 que tiene una caída de voltaje  $V_{emf}$ . Para un motor ideal:

$$V_{emf} = k_v \omega \quad (ECN. 7)$$

$$T = k_c * I \quad (ECN. 8)$$

50 en las que  $k_v$  y  $k_c$  son constantes del motor. La resistencia en serie 2030 modela las pérdidas del motor.

En otra realización de la invención se facilita un procedimiento para la estimación de la capacidad instantánea de una batería. Tal como se ha mostrado en la figura 1, se utiliza un modelo simplificado 2100 para la batería consiste en un voltaje CC "perfecto" de la fuente 2110 con un voltaje  $V_{oc}$  en "circuito abierto", una resistencia en serie para la batería  $R_{bat}$  una corriente  $I_{bat}$  y un voltaje de la batería  $V_{bat}$ .  $V_{oc}$  y  $R_{bat}$  no se pueden medir, pero se pueden estimar a partir de mediciones de  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$ . De manera ideal, estas variables deberían seguir una relación lineal:

$$V_{bat} = V_{oc} - (I_{bat} * R_{bat}) \quad (ECN. 9)$$

60 Dado que esta realización lineal es ideal, los valores medidos de  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$  presentarán probablemente un "diagrama disperso". Se debe observar que "estadístico", tal como se utiliza en esta descripción, se refiere al diseño de deducciones en cuanto al valor de un parámetro basándose en muestreo del valor por medición o intervalos que pueden ser regulares o irregulares con respecto a la distribución de las muestras en el tiempo o en términos de otra



dimensión. El verbo “filtrar” tal como se utiliza en esta descripción se refiere al proceso de extraer un valor atribuible a un punto único de tiempo de una serie de datos que pueden ser obtenidos en muestreos sucesivos y pueden estar sometidos a fluctuaciones al azar o sistemáticas, o ambas. La aplicación de técnicas de filtrado, tal como son conocidas en la técnica, a los datos permite deducir valores estimados de  $V_{oc}$  y  $R_{bat}$ . Por ejemplo, un análisis de regresión, utilizando la técnica de los cuadrados mínimos se puede utilizar para deducir valores estimados de  $V_{oc}$  y  $R_{bat}$  a partir de los valores medidos  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$ .  $V_{oc}$  y  $R_{bat}$  cambiarán, por ejemplo, debido a la temperatura ambiente, temperatura de la batería, edad de la batería, utilización de la batería (tanto la utilización general como el modelo de utilización) y a lo largo del tiempo al agotarse la carga de la batería (y/o ser regenerada). De acuerdo con ello, se puede obtener una estimación más precisa si los valores más recientes medidos de  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$  son utilizados para la regresión o se ponderan valores más recientes de manera más atenuada que los valores anteriores.

En otra realización específica de la invención, tal como se ha mostrado en la figura 22 (etapa 2200), se utilizan valores medidos nuevamente de  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$  para corregir los valores estimados de  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$  utilizando un algoritmo de filtrado de paso bajo. Las variables son inicializadas (etapa 2210), disponiendo  $V_{oc}$  y  $R_{bat}$  en valores típicos.  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$  son medidos periódicamente (etapa 2220). Para asegurar que la señal es suficientemente “rica” (es decir, que existe una deferencia estadística significativa entre los puntos de datos), la distancia al cuadrado,  $D$ , de  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$  a partir de los últimos valores aceptados de estas variables  $V_{prev}$  e  $I_{prev}$  es objeto de cálculo (etapa 2230).

La distancia desde mediciones previamente aceptadas identifica puntos de datos que pueden proporcionar información adicional a partir de la cual se puede afinar la estimación de parámetros de batería actuales. Por ejemplo, cuando el transportador se encuentra en reposo, se extrae poca corriente y una serie de dichas mediciones podría desviar el valor estimado para los parámetros de batería con respecto a sus valores reales al avanzar el filtrado. Un umbral dispuesto de manera apropiada para  $D$  puede ser utilizado para mitigar el impacto de estos puntos de datos en la estimación.

A continuación se pueden llevar a cabo los siguientes cálculos:

(1) calcular ganancias de actualización  $K_{voc}$  y  $K_{rbat}$  (etapa 2240):

$$\begin{bmatrix} K_{voc} \\ K_{rbat} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_a & p_b \\ p_b & p_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -I_{bat} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_a - p_b * I_{bat} \\ p_b - p_c * I_{bat} \end{bmatrix} \quad (\text{ECN. 10})$$

en la que  $p_a$  es el elemento de la matriz de covariancia directa  $V_{oc}$ ,  $p_b$  es el elemento de matriz de covariancia de acoplamiento cruzado y  $p_c$  es elemento de matriz de covariancia directa  $R_{bat}$ , (Nota:  $p_a$ ,  $p_b$  y  $p_c$  representan la incertidumbre en la estimación de estado);

(2) calcular el error entre la estimación del estado de la batería y el punto nuevo de datos (etapa 2250):

$$\text{Err} = V_{bat} - (V_{oc} - I_{bat} * R_{bat}) \quad (\text{ECN. 11})$$

(3) actualizar estimación de estado de la batería (etapa 2270):

(si  $D$  es menor que el umbral (etapa 2260),  $K_{rbat}$  se ajusta a cero (etapa 2265), de manera que  $R_{bat}$  no se actualiza)

$$V_{oc} = V_{oc} + K_{voc} * \text{Err} \quad (\text{ECN. 12})$$

$$R_{bat} = R_{bat} + K_{rbat} * \text{Err} \quad (\text{ECN. 13})$$

(4) actualizar variables del contenido de la señal (etapa 2280), si  $D$  es mayor que el umbral (etapa 2275)

$$V_{prev} = V_{bat} \quad (\text{ECN. 14})$$

$$I_{prev} = I_{bat} \quad (\text{ECN. 15})$$

El proceso puede continuar con medición repetida de  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$  (etapa 2220), actualizando de esta manera continuamente las estimaciones de  $V_{bat}$  e  $I_{bat}$ .

En otra realización de la invención, se utilizan valores estimados de parámetros de la batería para calcular la velocidad operativa máxima para un transportador basándose en el estado de la batería y otros parámetros del transportador, tales como corriente del motor. Por ejemplo, la velocidad operativa máxima del transportador  $Y$  se puede modelar por una ecuación lineal de la forma:

$$Y = M * I_{\max} + B \quad (\text{ECN. 16})$$

5 Los valores para M y B pueden variar a lo largo del tiempo y cualquiera de M o B puede ser función de valores de corriente del transportador, según los parámetros operativos, tales como voltaje en circuito abierto de la batería y resistencia interna tales como los parámetros del motor, tales como ganancia EMF en retorno y resistencia del motor.

10 Los sistemas accionadores tienen un límite físico en la magnitud del par que pueden suministrar y la magnitud de la corriente eléctrica que puede encontrarse en el sistema. Las magnitudes de par de salida y de la corriente en el sistema accionador están interrelacionadas. El par es función de la corriente (y viceversa), tal como se ha mostrado en la ECN. 8 en relación con las figuras 19 y 20. En modalidad de control de voltaje, el ajuste de la magnitud del par ajusta la corriente global en el sistema accionador. De manera similar, un límite de la corriente limita la magnitud de par que se puede generar por el sistema accionador. De esta manera, si un accionador tiene un par máximo, la capacidad de corriente tiene también un máximo. El límite físico con respecto a la cantidad total de corriente eléctrica en el sistema accionador se aplica a todas formas de corriente (por ejemplo, temperatura ambiente, edad de la batería, corriente generada por aceleración o desaceleración). Cualquier corriente que pase a través del dispositivo de accionamiento del vehículo utiliza una cierta parte determinada de la capacidad de impulsión total y contribuye al límite general de la corriente. Por ejemplo, la corriente de regeneración (corriente generada aplicando par en la dirección opuesta de la dirección de desplazamiento) reduce la magnitud de corriente disponible para el frenado. Esta es la razón tanto de la corriente de regeneración como de la corriente de frenado que son negativas y aumenta el límite general de la corriente. De manera típica, el sistema accionador puede controlar la cantidad de corriente (es decir, cantidad de par que se puede aplicar como respuesta a la corriente disponible) que constituye la capacidad utilizada para aceleración o desaceleración y entonces estima la capacidad de control restante de la corriente. Al estimar la capacidad de control restante de la corriente, el sistema puede limitar el comportamiento del vehículo o proporcionar una fuerza de frenado adicional mediante algunos otros medios.

30 Un transportador dinámicamente estabilizado, tal como el descrito anteriormente, puede funcionar de manera que mantiene un margen para su dispositivo accionador a efectos de controlar varios transitorios de la motorización que se pueden presentar (por ejemplo, necesidad de acelerar las ruedas sobre pequeños obstáculos). Es decir, para algunas condiciones de funcionamiento, las ruedas necesitan acelerar para permanecer por debajo del centro de gravedad a efectos de mantener el equilibrio del vehículo. De manera similar, puede presentarse una limitación operativa que requiere un cierto margen del accionador que debe ser mantenido a efectos de llevar el vehículo a una parada segura si falla la integridad del sistema. Cuando se desplaza subiendo una pendiente o sobre una superficie plana, el vehículo se para al acelerar las ruedas por delante del centro de gravedad, provocando que el sistema se incline hacia atrás. La inclinación hacia atrás provoca una reducción en el par, reduciendo de manera consiguiente la velocidad.

40 El comportamiento del transportador es limitado y su velocidad es reducida por la modulación del ángulo del transportador. Esta reducción del rendimiento se puede relacionar con la corriente global. Es decir, cuanto mayor es el peso del vehículo y la carga útil y mayor la pendiente, mayor es la cantidad de corriente creada. Por ejemplo, se puede requerir corriente adicional en un desplazamiento en subida debido al incremento de par necesario para inclinar el vehículo nuevamente hacia atrás antes de parar. De manera alternativa, se puede crear corriente adicional cuando se desplaza hacia abajo debido a la corriente de regeneración creada en el frenado. La corriente adicional contribuye a la corriente global que puede provocar el límite de corriente global (es decir, el límite físico de corriente) a alcanzarse, resultando en la reducción del límite de velocidad. Un límite de velocidad más bajo disminuye la magnitud de posible desaceleración mantenida. Un límite de velocidad más bajo reduce la magnitud de la posible desaceleración mantenida. La reducción del límite de velocidad no aumenta la capacidad de frenado, sino que pone el sistema en una situación de funcionamiento, en la que es menos probable la necesidad de utilizar la capacidad de frenado, y en la que la capacidad de frenado es utilizada durante un tiempo más corto a partir de una velocidad inicial más elevada. Dado que el transportador utiliza el motor eléctrico para generar fuerzas de frenado, el mismo acto de reducir la velocidad también regenera corriente.

55 Existen varios métodos para la medición de la velocidad y la aceleración del vehículo, que se pueden utilizar en realizaciones de la invención. Por ejemplo, se pueden utilizar encoders rotativos para medir la velocidad de una o varias ruedas del vehículo. La derivada de la velocidad del vehículo con respecto al tiempo se puede utilizar para determinar la aceleración del vehículo. Además se pueden utilizar acelerómetros para determinar la velocidad del vehículo.

60 La figura 23 muestra la relación entre la corriente medida del motor y el límite de velocidad para una realización ilustrativa del motor. Cuando la corriente medida del motor es superior o igual a  $-2(A)$ , la velocidad del vehículo es dispuesta a 5,558 (m/s). Cuando la corriente medida del motor es menor o igual a  $-20(A)$ , la velocidad del vehículo se dispone en 1,178 (m/s). Cuando la corriente medida del motor está comprendida entre  $-2(A)$  y  $-20(A)$ , la velocidad está limitada a lo largo de una línea recta entre  $-2(A)$  y  $-20(A)$ . Los valores de estos límites (valores de la corriente y/o límites de velocidad) pueden variar, dependiendo, por ejemplo, del nivel de experiencia de un usuario determinado.

5 En algunas realizaciones, el límite de corriente global se basa en características de funcionamiento del transportador cuando se desplaza en subida. En algunas realizaciones, el límite de la corriente global se basa en las características de funcionamiento del transportador desplazándose en bajada. En algunas realizaciones se debe alcanzar, para que empiece la limitación de velocidad, un límite de corriente medida del motor (por ejemplo, 2(A), tal como se muestra en la figura 23).

10 En vehículos que no incorporan los principios de la presente invención, se produce una realimentación positiva durante la aceleración o desaceleración que provoca una disminución errónea de la velocidad del transportador. La realimentación positiva provoca una desaceleración adicional innecesaria, porque la velocidad es limitada adicionalmente como respuesta a la superación de la corriente en su valor umbral. El límite de velocidad más bajo requiere aceleración cuando se efectúa desplazamiento en subida y desaceleración cuando el desplazamiento es en bajada. La aceleración o desaceleración provoca otro incremento en la corriente, dado que se debe aplicar un par incluso más grande que el par que inicialmente fue provocado por la superación inicial de la corriente de umbral para acelerar o desacelerar adicionalmente el vehículo. El límite de la corriente es superado entonces adicionalmente porque el par más grande representa generación de corriente mayor. Este ciclo global de aumento-de la corriente-desaceleración (además de provocar eventualmente una parada completa indeseable) reduce además los márgenes comportamiento disponibles según para responder a transitorios y fallos. En vehículos que incorporan principios de la presente invención, la corriente adicional de la aceleración o desaceleración es tomada en cuenta de manera que no es considerada como corriente adicional a causa de la pendiente y de la carga útil. Para minimizar el efecto de la corriente asociada con la pendiente y peso del vehículo y carga útil y para evitar limitación no necesaria de la velocidad y mejorar la dinámica de los transitorios, el algoritmo de control separa la corriente del accionador necesaria para subir o bajar por una pendiente con respecto a la corriente requerida para la aceleración o desaceleración. Una estimación de la magnitud de corriente medida debido a la aceleración o desaceleración puede ser eliminada de la corriente total medida. La eliminación de la magnitud de corriente debido a la aceleración o desaceleración permite el ajuste del límite de velocidad basándose en la corriente resultante solamente de la pendiente y de la carga útil, lo cual era el propósito original.

30 La figura 24 es una vista esquemática que muestra la limitación de velocidad de un controlador de transportador de acuerdo con una realización de la presente invención. Un módulo de par 2402 determina el par promedio en régimen estable y el par durante la aceleración o desaceleración del vehículo que se desplaza sobre la superficie que se encuentra por debajo. El par promedio en régimen estable y el par durante la aceleración o desaceleración son facilitados a un módulo de velocidad 2401. El módulo de velocidad 2401 recibe también señales de acción de control que representan la corriente total medida ( $I_{tot}$ ), peso total del sistema del vehículo y carga útil (por ejemplo, conductor o carga), par del vehículo, aceleración del vehículo y velocidad del vehículo. En esta realización, la salida del módulo de velocidad 2401 es el ángulo de inclinación deseado porque el ángulo de inclinación controla la velocidad del transportador. El ángulo de inclinación deseado es facilitado a un controlador de inclinación 2303, que controla el ángulo del transportador.

40 La velocidad de algunos vehículos no es controlada al controlar el ángulo del vehículo. En estos vehículos se utiliza un controlador de la velocidad para controlar la velocidad de un vehículo variando, por ejemplo, una señal de instrucción del acelerador aplicada al acelerador del vehículo en vez de variar el ángulo de inclinación ordenado aplicado al motor del vehículo.

45 La figura 25 es un diagrama de flujo que muestra el funcionamiento de la limitación de velocidad de un controlador de transportador cuando se desplaza en bajada de acuerdo con una realización en bajada, de acuerdo con una realización de la presente invención. El módulo de par 2402 de la figura 24 detecta y determina la pendiente de la superficie situada por debajo en la que se está desplazando el vehículo, etapa 2501. Cuando el vehículo se está desplazando de forma descendente, en la etapa 2502, se crea corriente de regeneración ( $I_{reg}$ ) y se mide, etapa 2503. Si la corriente de regeneración aumenta (etapa 2504, entonces disminuye el límite máximo permisible de velocidad del vehículo (etapa 2505) basándose en la compensación de la señal de corriente de regeneración para la aceleración del vehículo, tal como se ha explicado anteriormente. Una señal de corriente promedio compensada por la aceleración es producida (etapa 2506) provocando la modulación del ángulo del transportador (etapa 2507) por el controlador de inclinación 2503. El controlador del ángulo 2503 controla el ángulo del transportador basándose en la transferencia de peso a las ruedas (etapa 2508).

60 En efecto, la corriente promedio compensada por la aceleración es una estimación de los efectos combinados de pendiente y carga útil. En la realización de la invención implementada en un transportador estabilizado dinámicamente, se puede utilizar una estimación generalizada (por ejemplo, una ganancia fija en el sistema de control del vehículo) de la masa del vehículo y la carga útil se puede utilizar en la determinación de la corriente promedio de compensación de la aceleración. Por ejemplo, en una realización la estimación es que se requieren 5 amperios para desacelerar el vehículo en un metro por segundo. En otras realizaciones, el peso total del sistema es medido o estimado.

65 Se pueden utilizar principios de la presente invención en una serie de otros tipos de vehículos. En algunas realizaciones de la invención, se utilizan los principios de la presente invención con vehículos estáticamente estables

(por ejemplo, automóviles, vehículos todoterreno). Por ejemplo, en una realización de la invención, los principios de la presente invención son aplicados a un automóvil de cuatro ruedas estáticamente estable. El automóvil incluye dos o más motores eléctricos acoplados a ruedas del automóvil. Los motores eléctricos son utilizados como medio primario de aceleración y desaceleración del automóvil. Haciendo referencia a las figuras 24 y 25, en vez de utilizar el ángulo del automóvil para controlar la velocidad del mismo, se utiliza un controlador y/o accionador separado para controlar la velocidad del vehículo basándose en, por ejemplo, la señal de corriente promedio compensada en aceleración. Por ejemplo, la señal de corriente promedio compensada en aceleración puede ser facilitada a un accionador que controla el acelerador del motor del automóvil, controlando de esta manera la velocidad del mismo. Aparatos y procedimientos alternativos para controlar la velocidad de un vehículo se encuentran dentro del alcance de esta invención.

En una realización, la corriente promedio compensada por aceleración depende del peso total del sistema. El peso total del sistema puede ser reflejado de manera precisa midiendo o estimando el peso transferido a las ruedas.

En una realización, la pendiente de la superficie y el peso de la carga útil pueden ser estimados basándose en mediciones de par, aceleración y velocidad. Las estimaciones de pendiente y carga útil, basadas en mediciones de par, aceleración y velocidad se pueden aplicar también de manera general al control y limitación del rendimiento del vehículo respecto a los límites de comportamiento para subida de pendientes.

En algunas realizaciones, la velocidad límite máxima permisible (por ejemplo, en la etapa 2505 de la figura 25), aumenta cuando disminuye la corriente de regeneración. Cuando la corriente de regeneración disminuye, la capacidad global del accionador aumenta, permitiendo una mayor capacidad del accionador para el frenado. Esto tiene como resultado el incremento de la velocidad límite máxima permisible. En algunas realizaciones, el límite de corriente de regeneración puede ser más alto basándose en la experiencia del usuario. Un usuario más experimentado es probable que sepa conducir el vehículo de manera que minimice la necesidad de frenar o reducir la velocidad del mismo durante ciertas maniobras. Por ejemplo, el usuario puede conocer el posicionado apropiado del cuerpo para giros rápidos o velocidades apropiadas para pasar por diferentes terrenos. Esta experiencia puede permitir la disposición del sistema de accionamiento a un límite de corriente más elevado porque se necesita una menor capacidad del dispositivo de accionamiento para frenado y para transitorios. De este modo, las realizaciones de la invención proporcionan un control suave de la velocidad del vehículo eléctrico cuando se desciende una pendiente, incluso si el límite de velocidad disminuye durante el descenso. Además, los márgenes incrementados de velocidad y par se conservan para responder a los transitorios o fallos del sistema.

Las realizaciones descritas de la invención están destinadas simplemente a ejemplo, y numerosas variantes y modificaciones quedarán evidentes para los técnicos en la materia. En particular, se pueden aplicar muchos de los controladores y métodos de dirección y control de velocidad que se han descrito de manera ventajosa a vehículos eléctricos que no son transportadores personales compensados. Los transportadores compensados presentan exigencias específicas para controlar el vehículo, tal como se ha explicado en la anterior descripción y en la patente US nº 6.789.640. Todas dichas variaciones y modificaciones se pretende que se encuentren dentro del alcance de la presente invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para el control de la velocidad de un vehículo (10) que tiene un dispositivo de impulsión mediante motor eléctrico, cuyo procedimiento comprende:
- 10 determinar una señal de par en régimen estable y una señal de par en aceleración o desaceleración del vehículo (10) en desplazamiento de descenso en una superficie con pendiente; y controlar la velocidad del vehículo (10) cuando se desplaza en descenso de la superficie en pendiente y cuando la corriente de regeneración medida del accionador supera un umbral, siendo generada la corriente del accionador por un dispositivo de accionamiento a motor del vehículo (10) que aplica par, como mínimo, a un elemento de contacto con el suelo (20) del vehículo (10) para el frenado; en el que la velocidad del vehículo (10) es controlada basándose en:
- 15 la señal de régimen estable;  
la señal de par de aceleración o desaceleración del vehículo (10);  
una corriente de regeneración medida del accionador;  
peso del vehículo (10) y carga útil;  
par aplicado al elemento de contacto con el suelo (20);  
20 aceleración del vehículo (10); y  
velocidad del vehículo (10).
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que el control de la velocidad del vehículo (10) comprende la determinación de una corriente promedio compensada por aceleración.
- 25 3. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que el control de la velocidad del vehículo (10) comprende la determinación de la magnitud de corriente del dispositivo accionador requerida para acelerar o desacelerar el vehículo (10).
- 30 4. Procedimiento, según la reivindicación 3, en el que la determinación de la cantidad de corriente del accionador requerida para acelerar o desacelerar el vehículo (10) se basa en la velocidad del vehículo (10) y la pendiente de la superficie.
- 35 5. Procedimiento, según la reivindicación 2, en la que la corriente promedio compensada por aceleración es determinada sustrayendo la corriente del accionador provocada por la desaceleración de la corriente medida del accionador del vehículo (10).
- 40 6. Procedimiento, según la reivindicación 2, en el que la corriente promedio compensada por aceleración es determinada sustrayendo la corriente del accionador provocada por la aceleración de la corriente medida del accionador del vehículo (10).
- 45 7. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que el vehículo (10) es un transportador dinámicamente estabilizado y la velocidad máxima permisible del vehículo (10) es controlada modulando un componente de ángulo del vehículo (10).
- 50 8. Procedimiento, según la reivindicación 7, en el que el controlador de ángulo modula la velocidad máxima permisible del vehículo (10) basándose en la corriente promedio compensada por la aceleración.
- 55 9. Procedimiento, según la reivindicación 8, que comprende la disminución de la velocidad máxima permisible del vehículo (10) si incrementa la corriente de regeneración.
10. Procedimiento, según la reivindicación 8, que comprende el incremento de la velocidad máxima permisible del vehículo (10) si la corriente de regeneración disminuye.
11. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la aceleración y la desaceleración del vehículo (10) se consiguen, por lo menos básicamente, por funcionamiento del dispositivo de impulsión a motor.
- 60 12. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la velocidad del vehículo (10) es limitada cuando la corriente medida supera un umbral de corriente global.
13. Procedimiento, según la reivindicación 12, en el que el umbral de corriente global se basa en el nivel de experiencia del usuario.
14. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que el peso del vehículo (10) y la carga útil son una estimación.

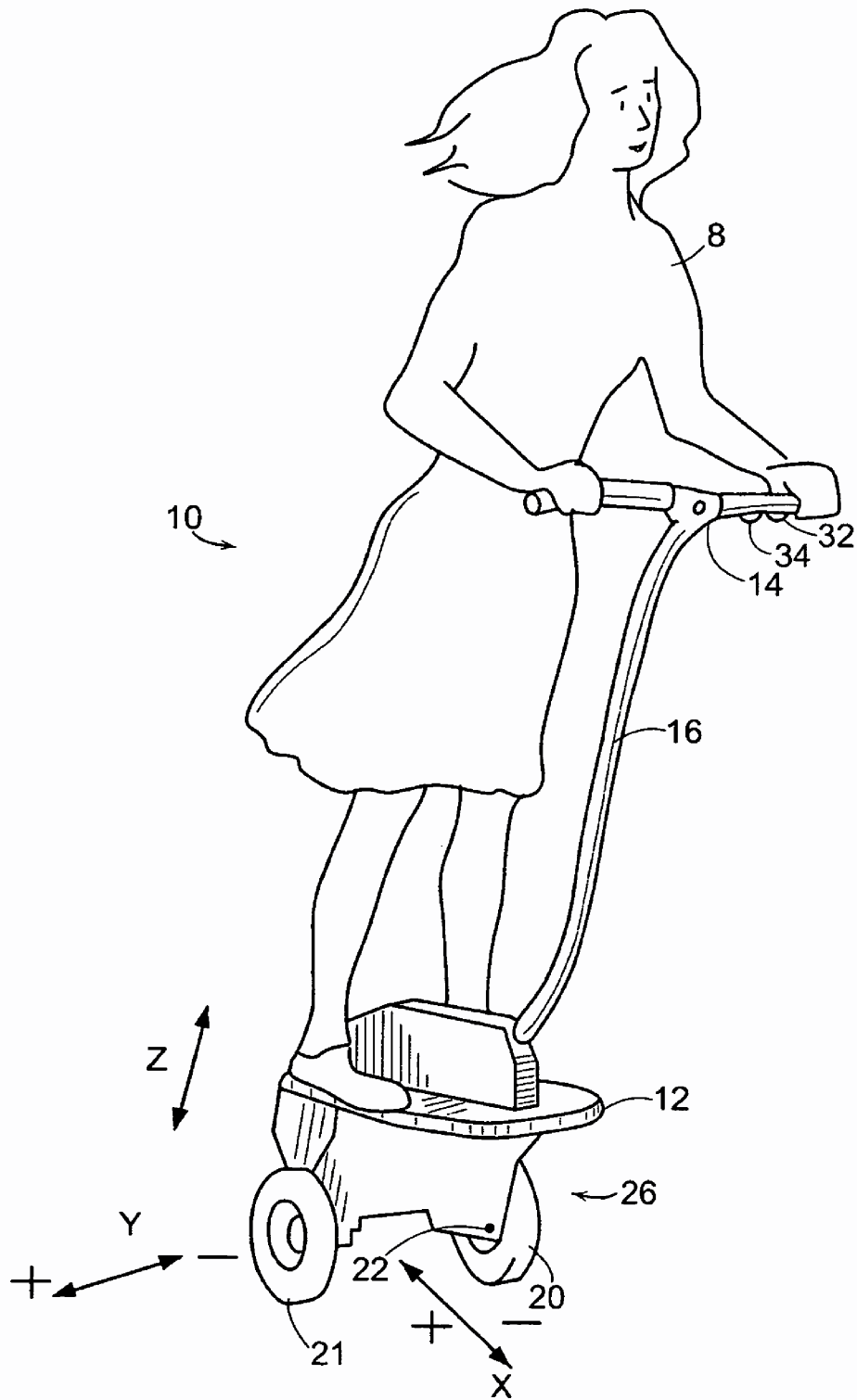


FIG. 1

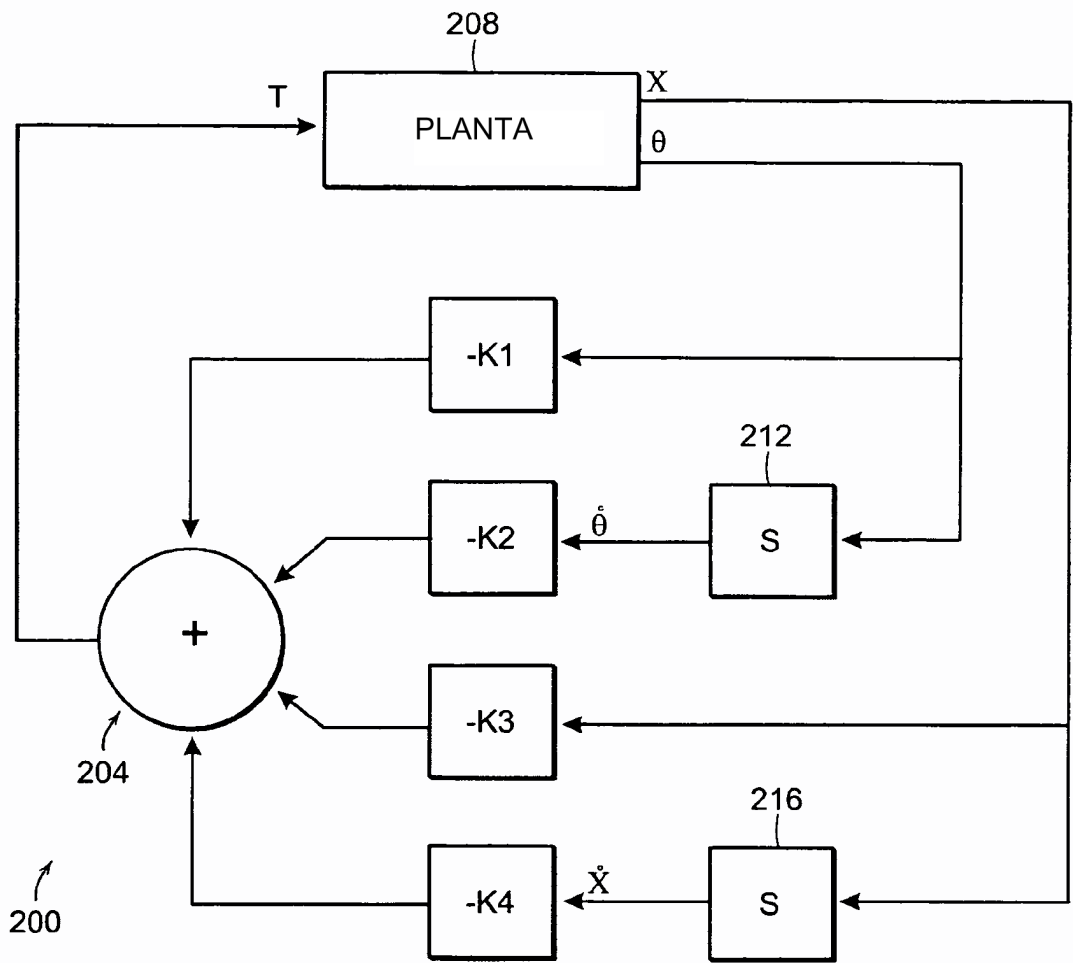


FIG. 2

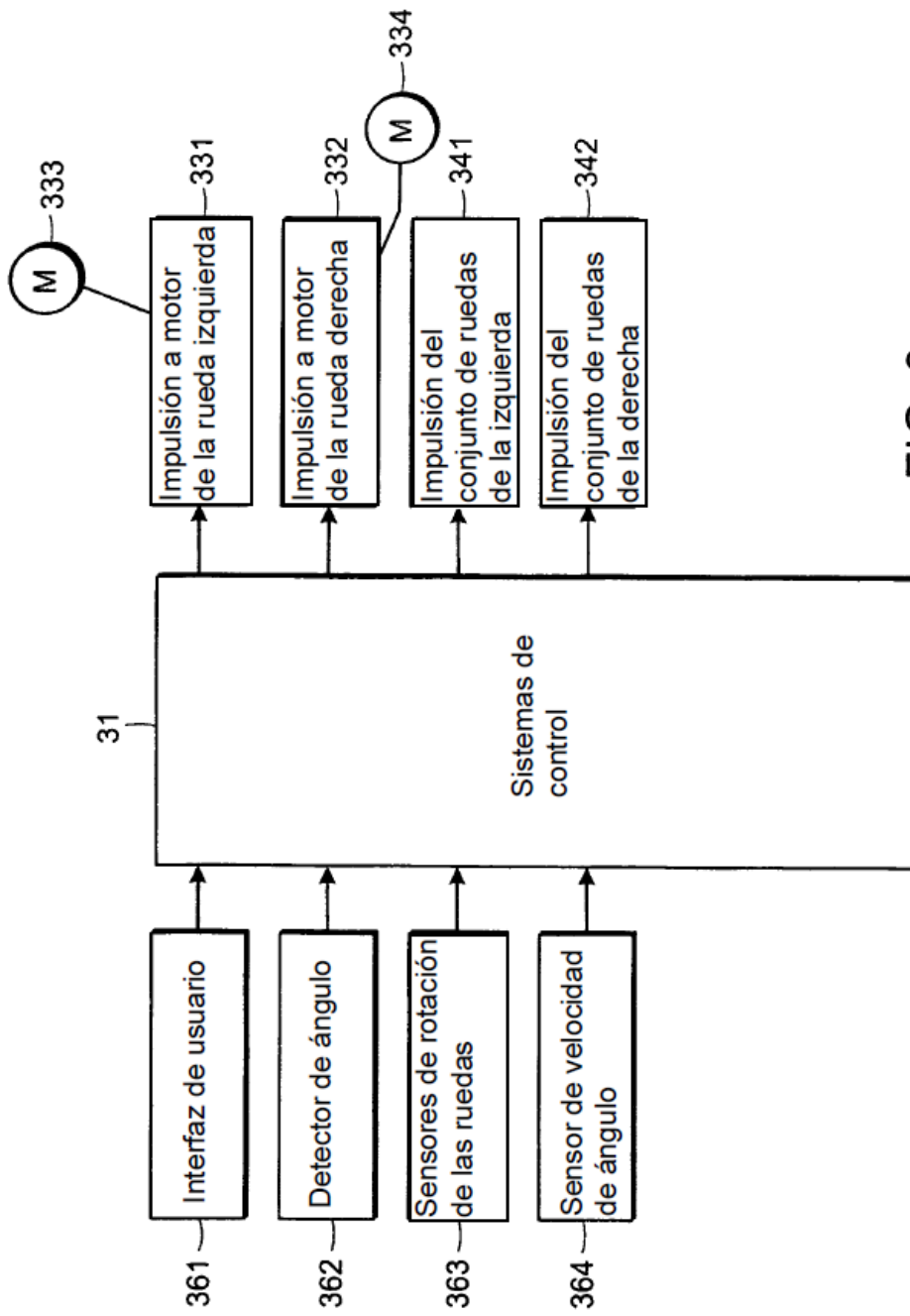


FIG. 3



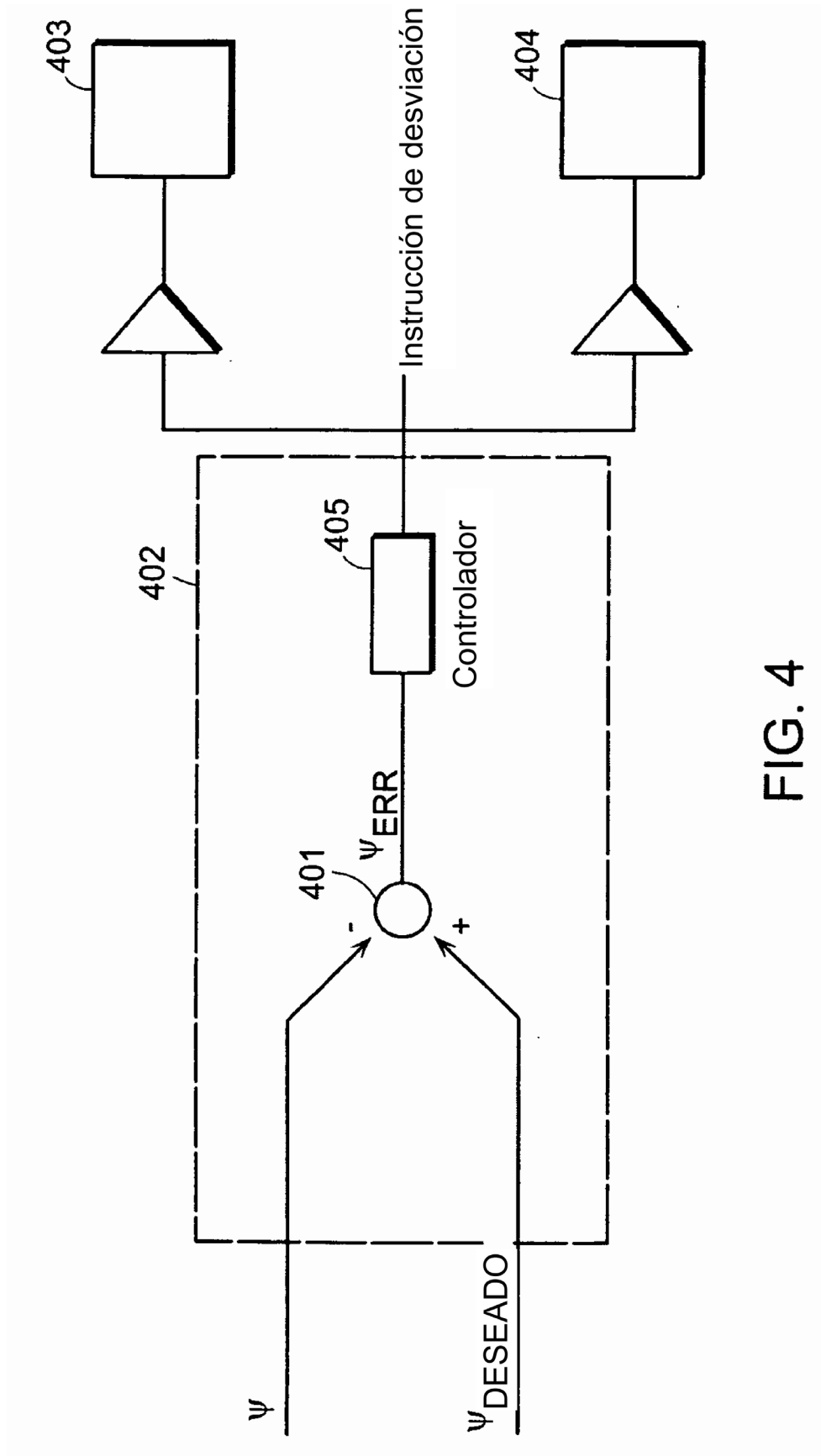


FIG. 4

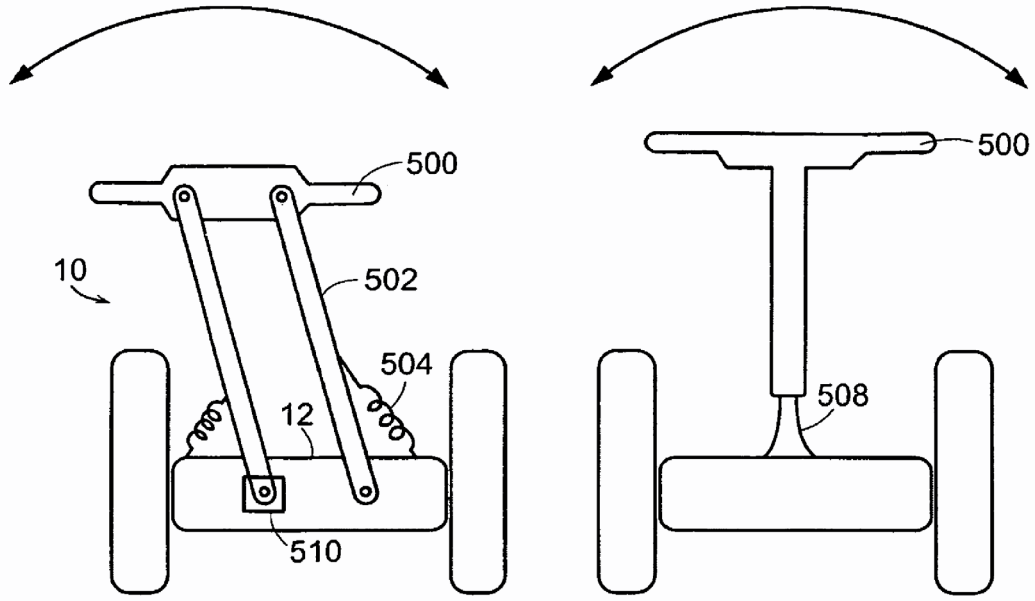


FIG. 5A

FIG. 5B

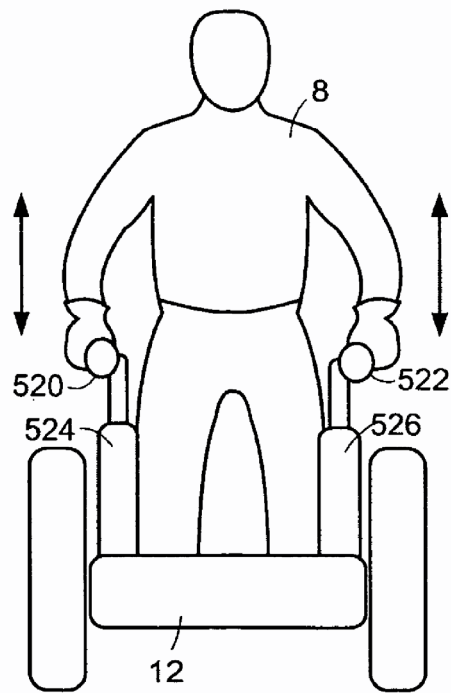
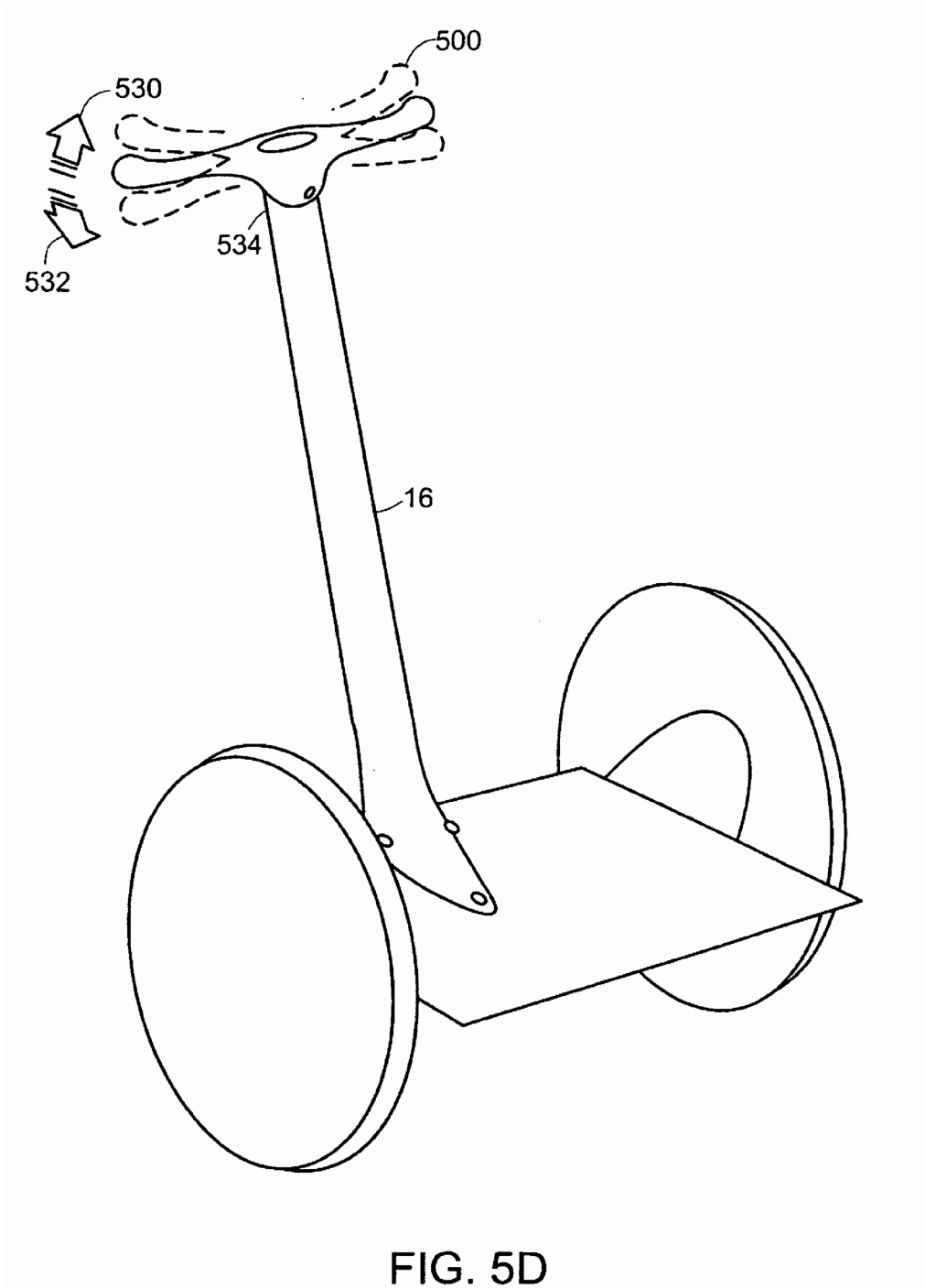


FIG. 5C



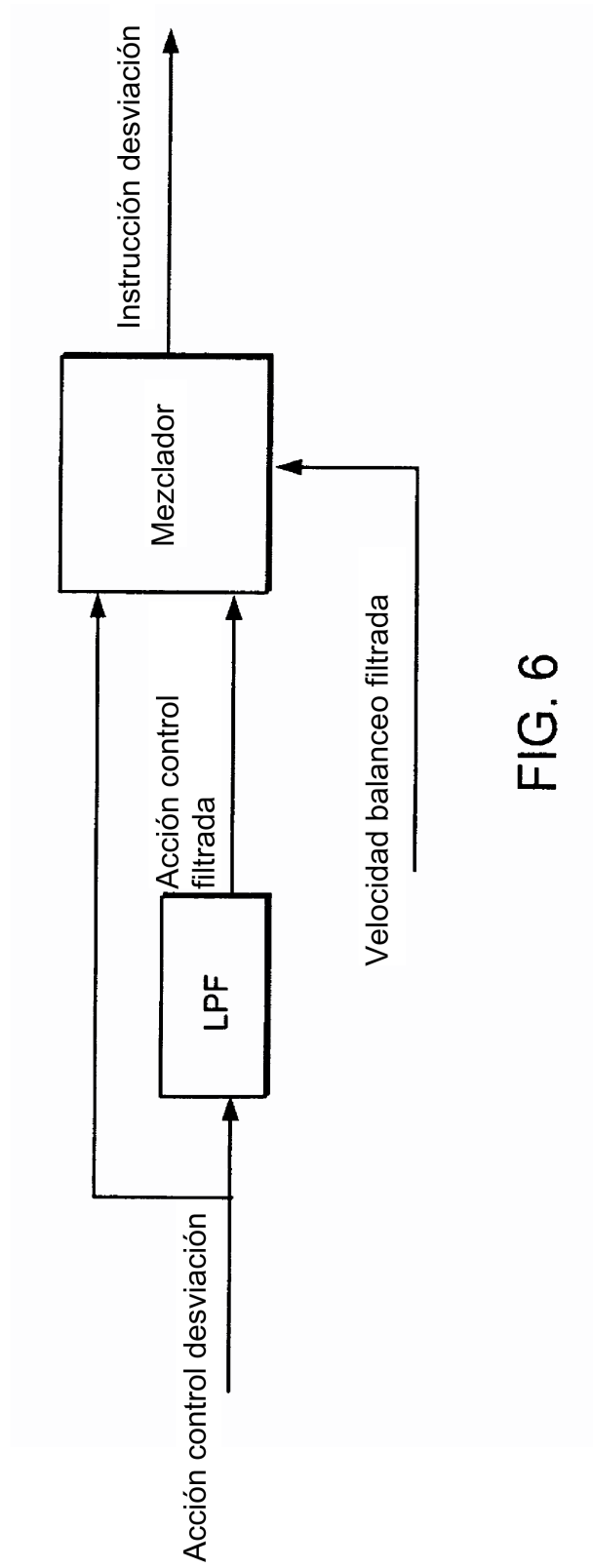
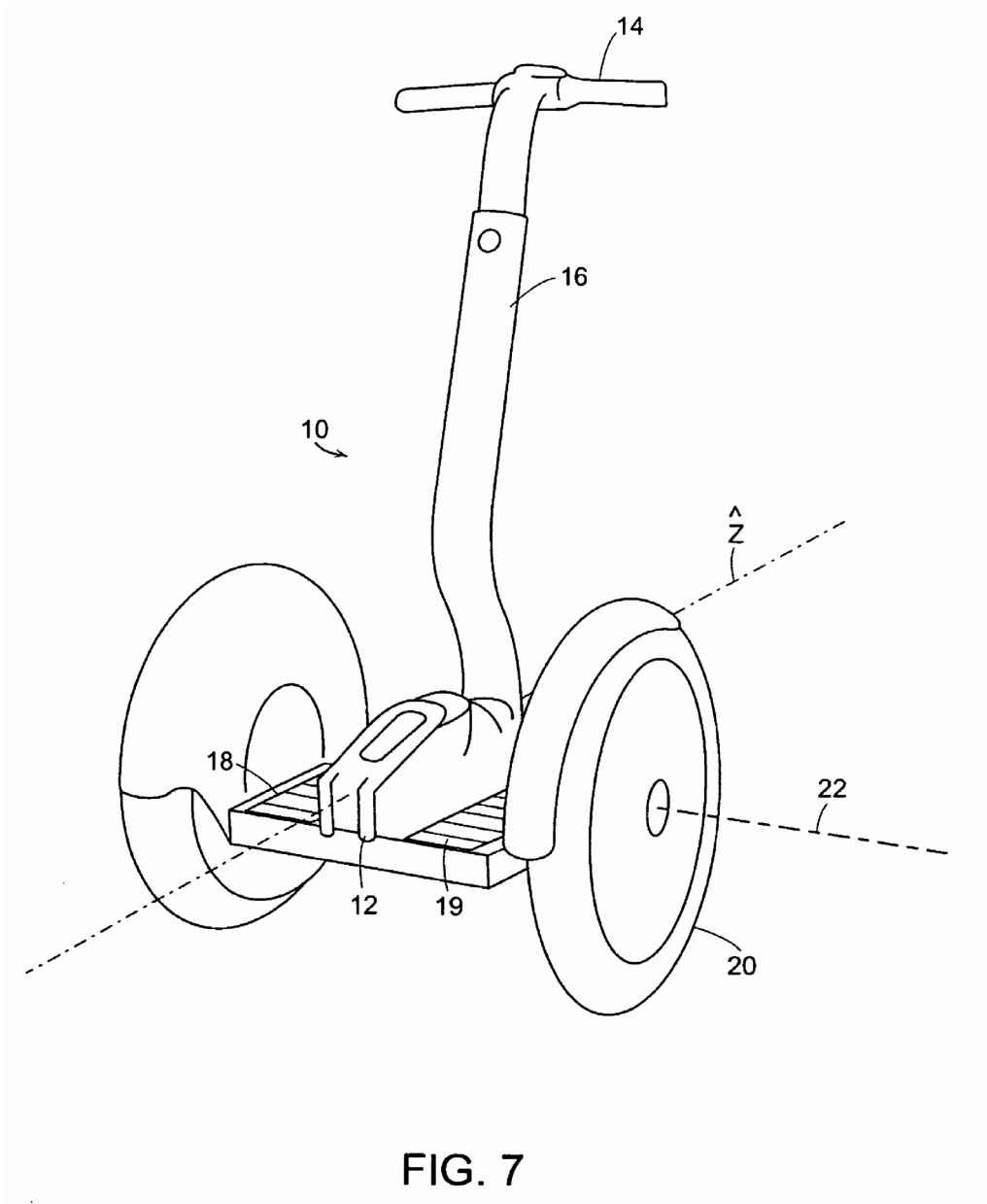


FIG. 6



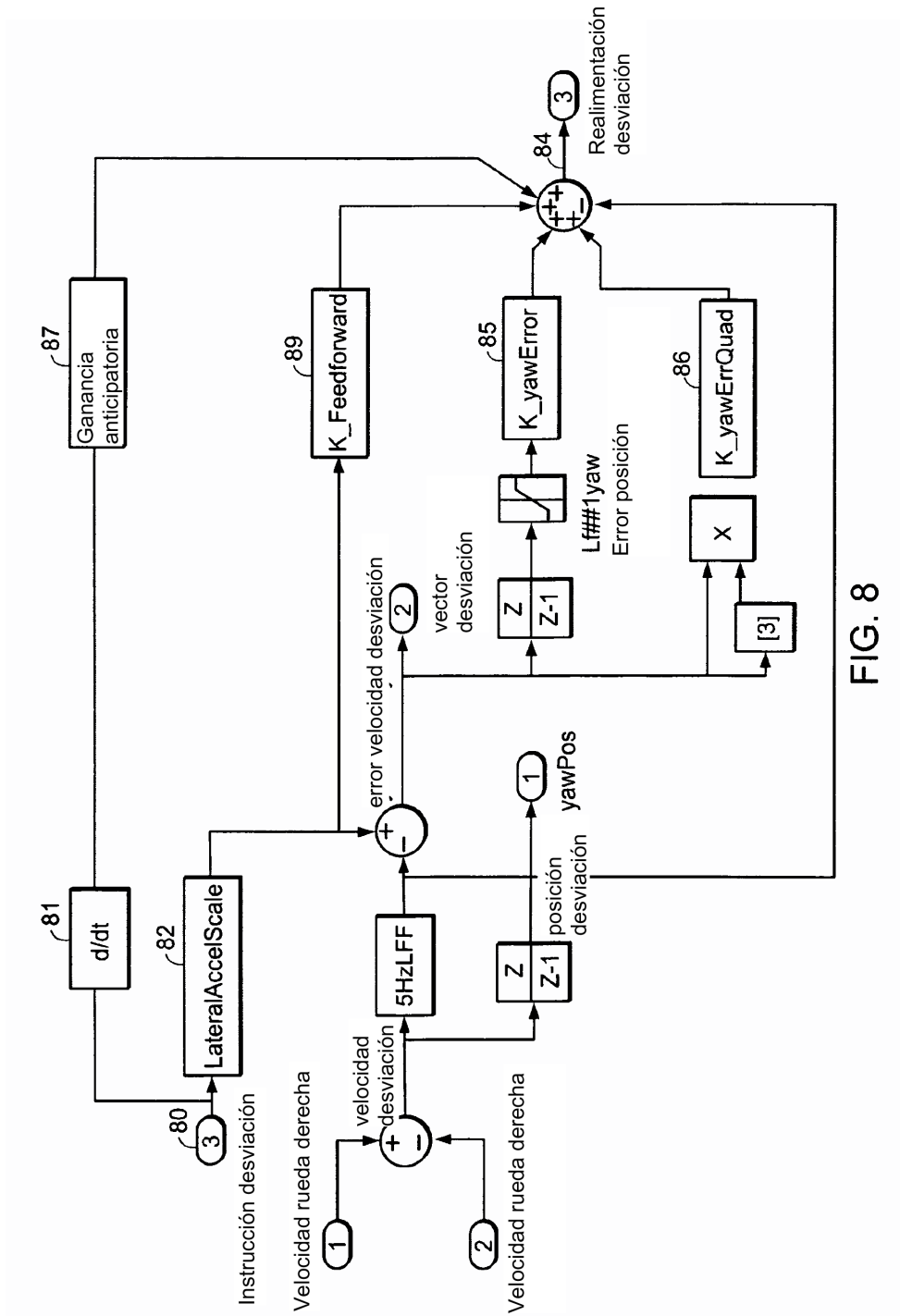


FIG. 8

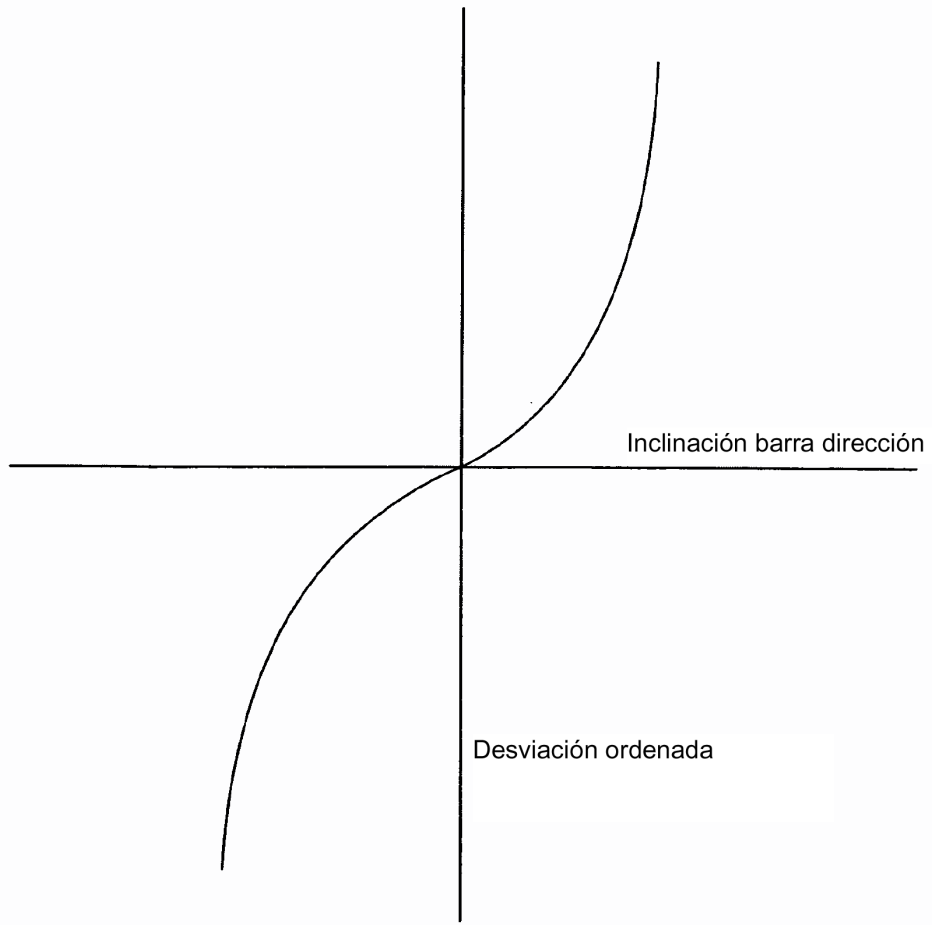


FIG. 9

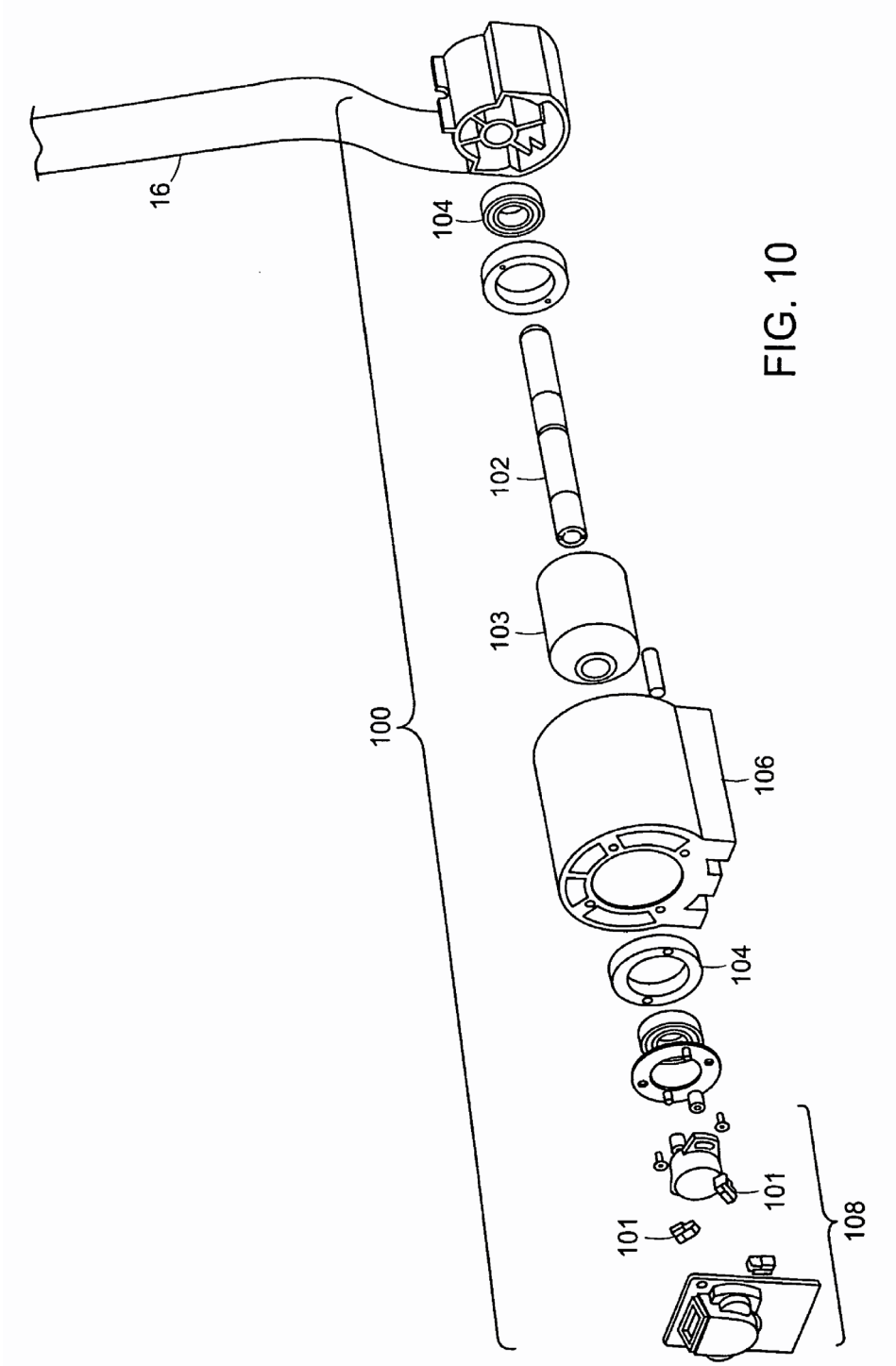


FIG. 10



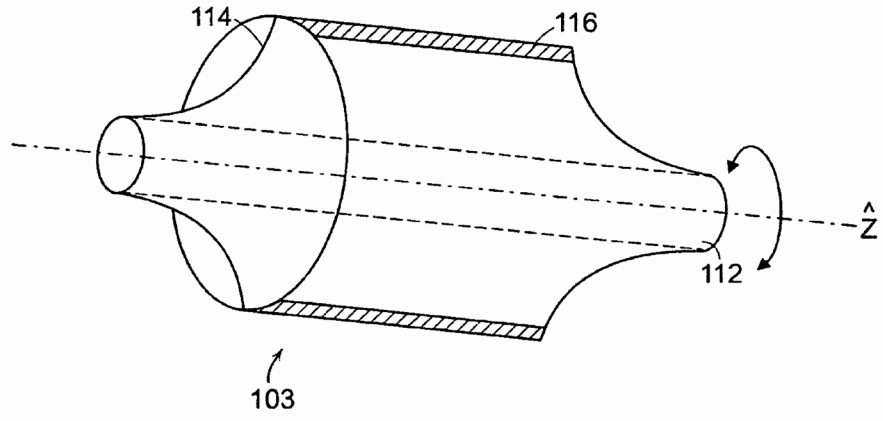


FIG. 11

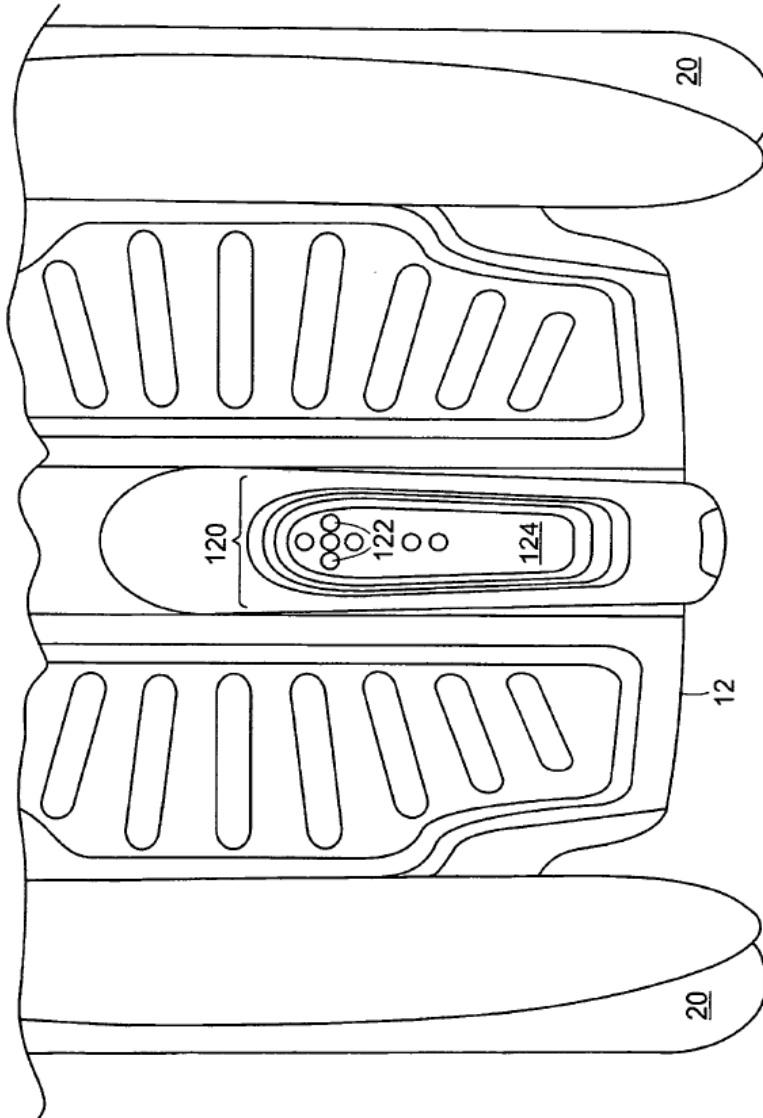


FIG. 12

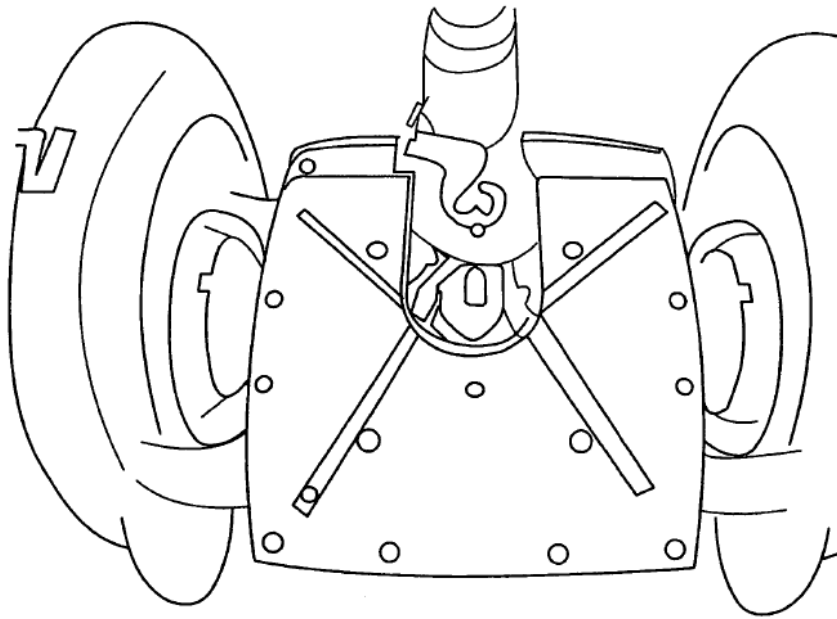


FIG. 13A

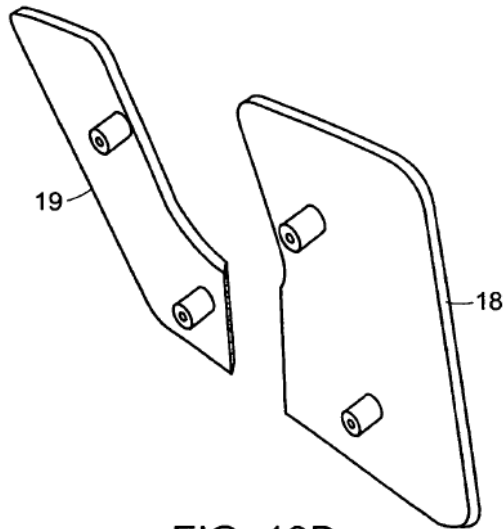


FIG. 13B

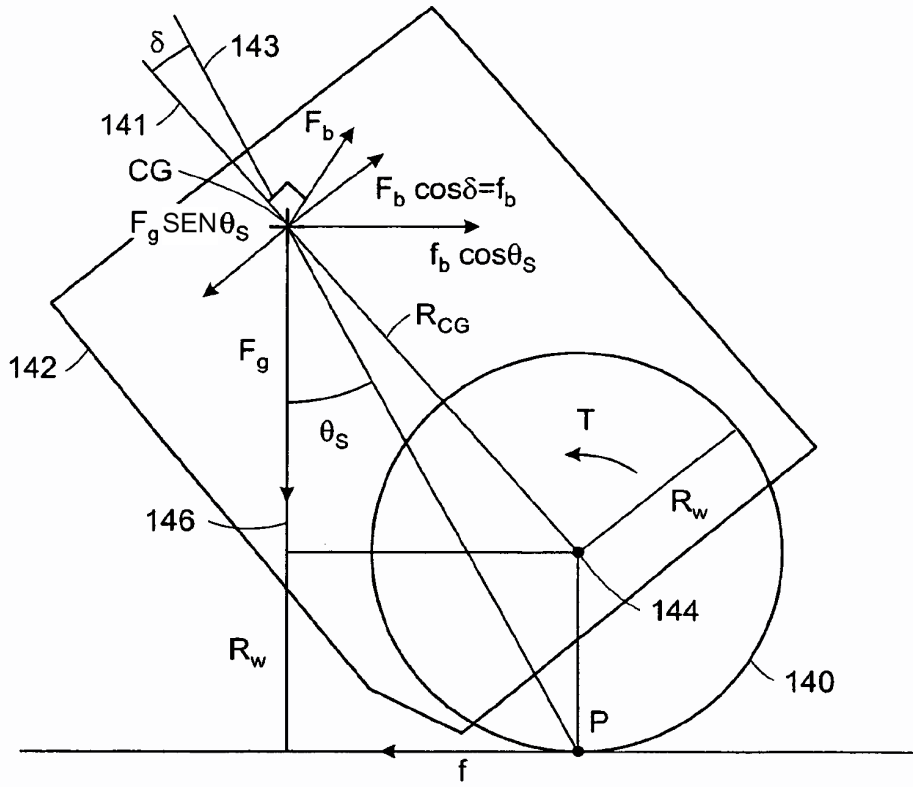


FIG. 14

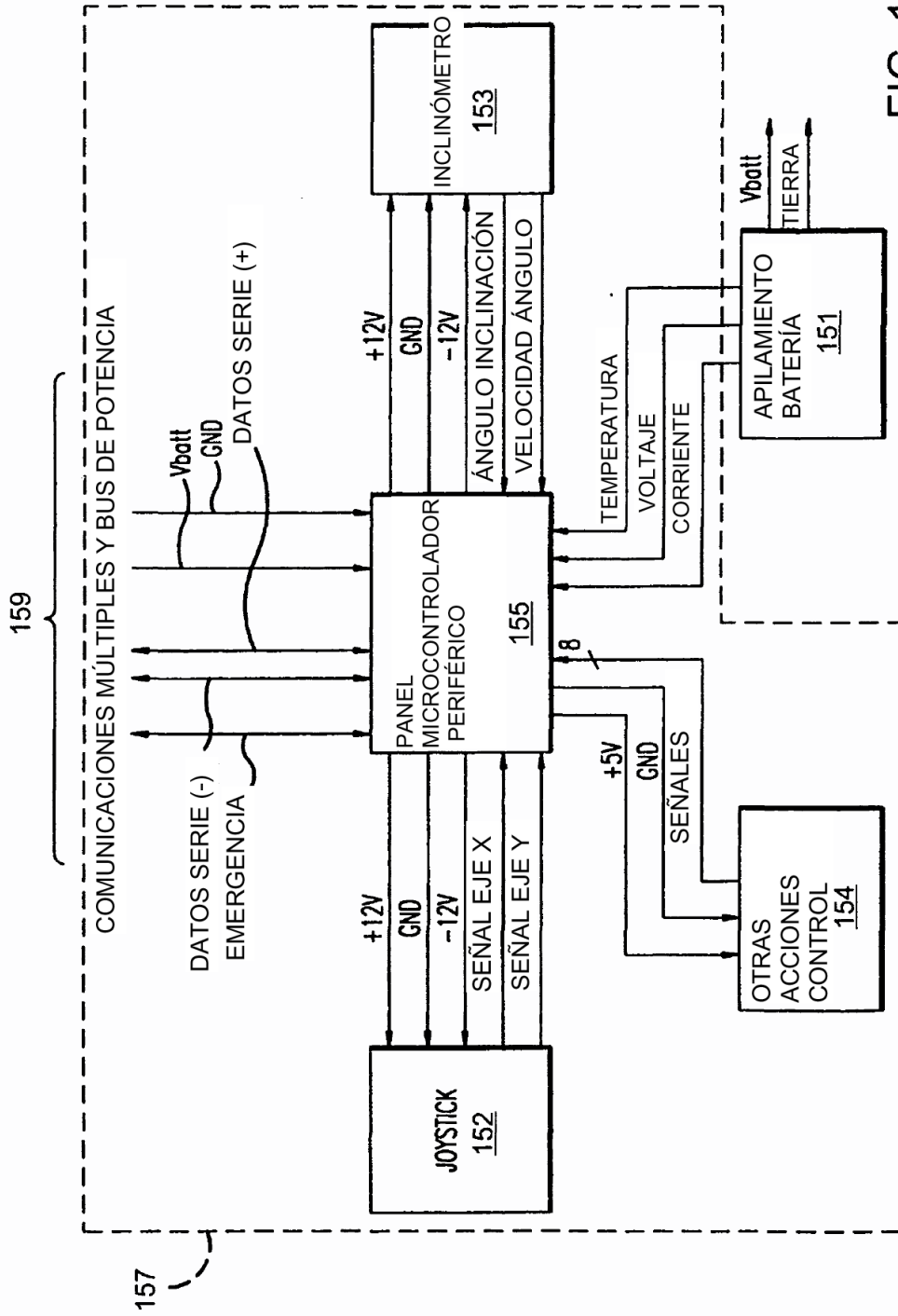


FIG. 15

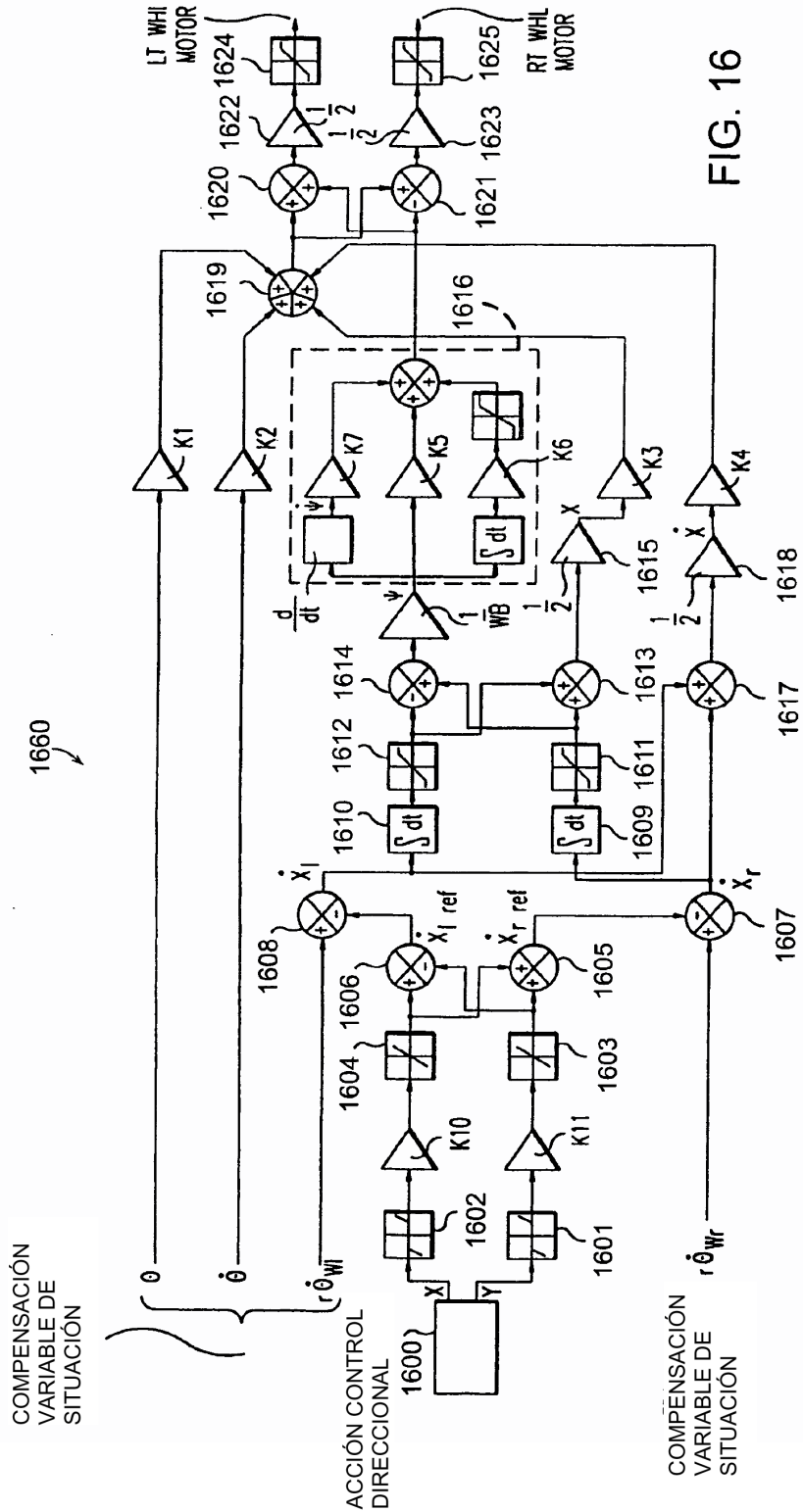


FIG. 16

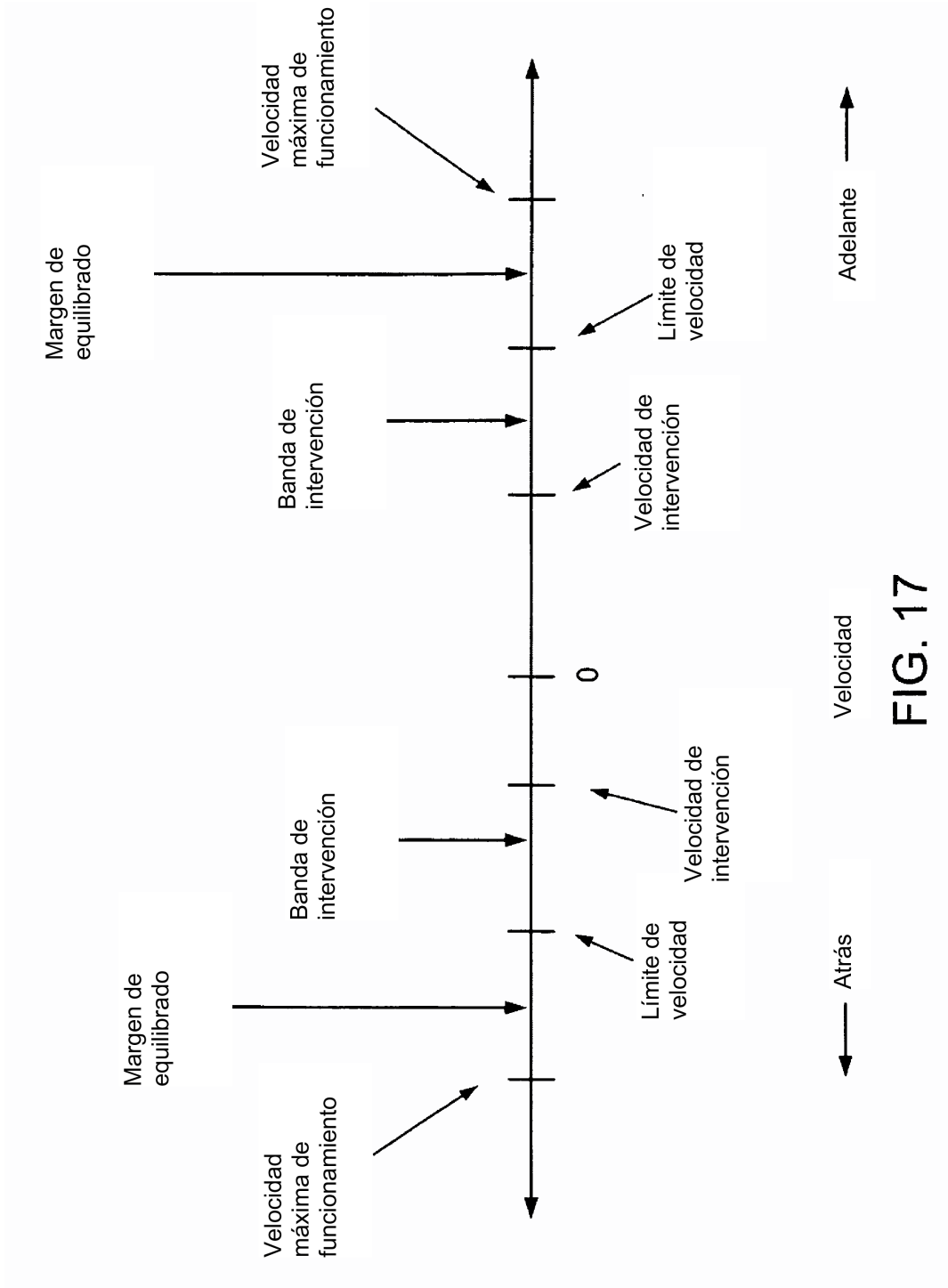


FIG. 17

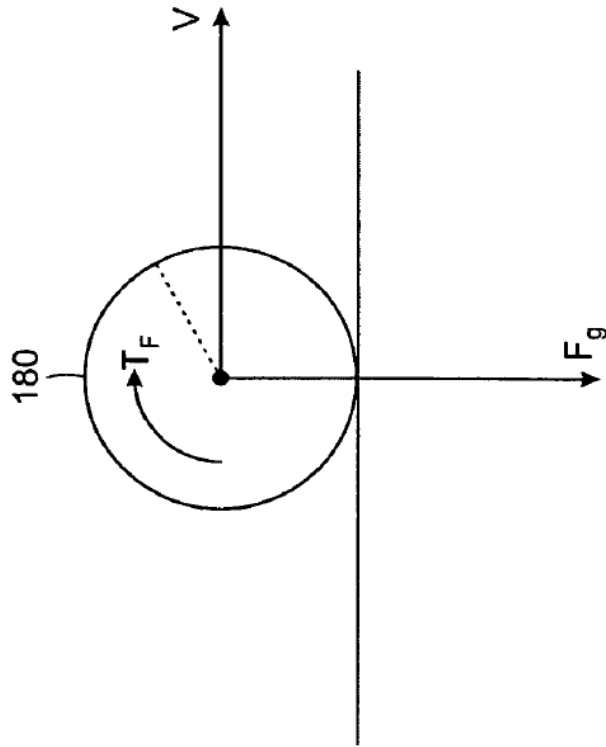


FIG. 18A

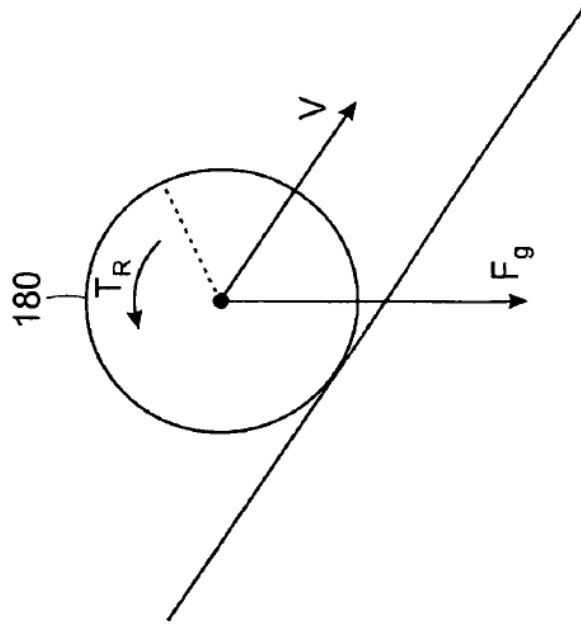
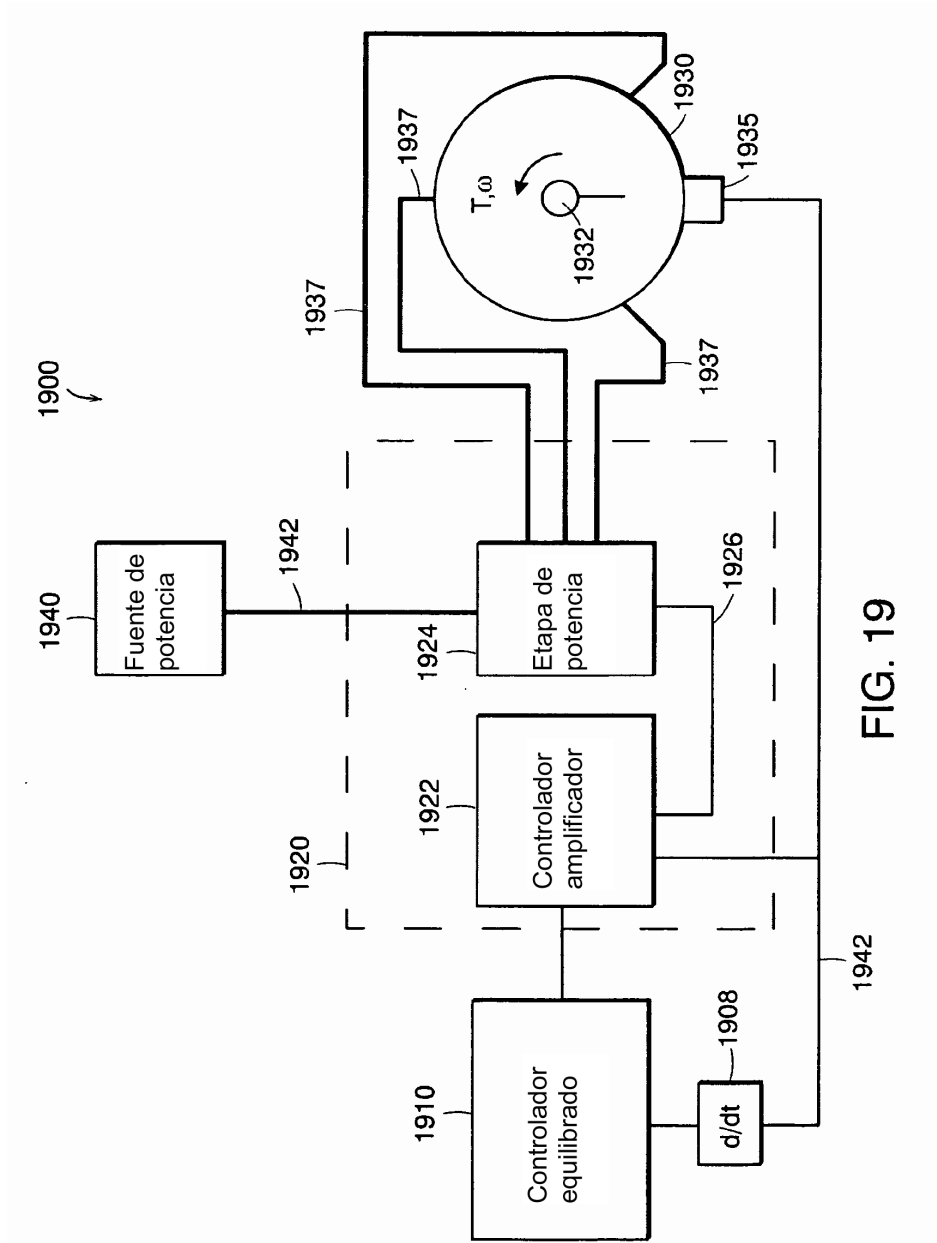
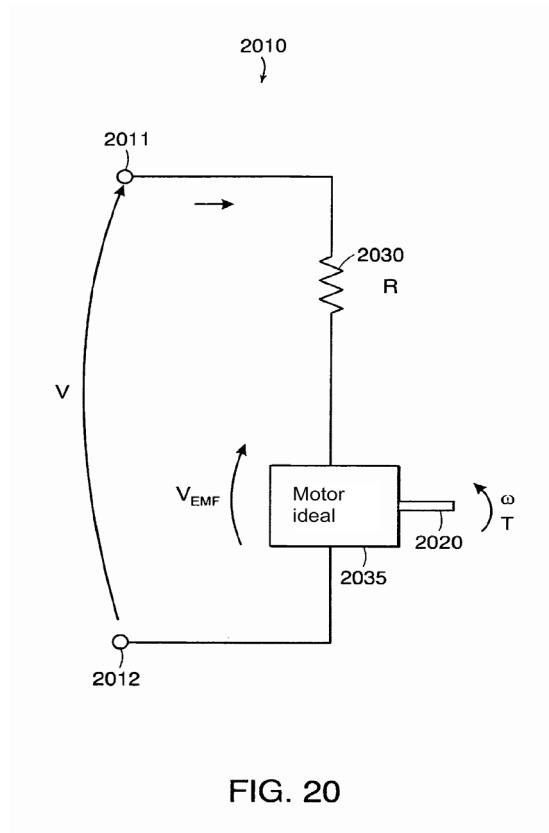


FIG. 18B







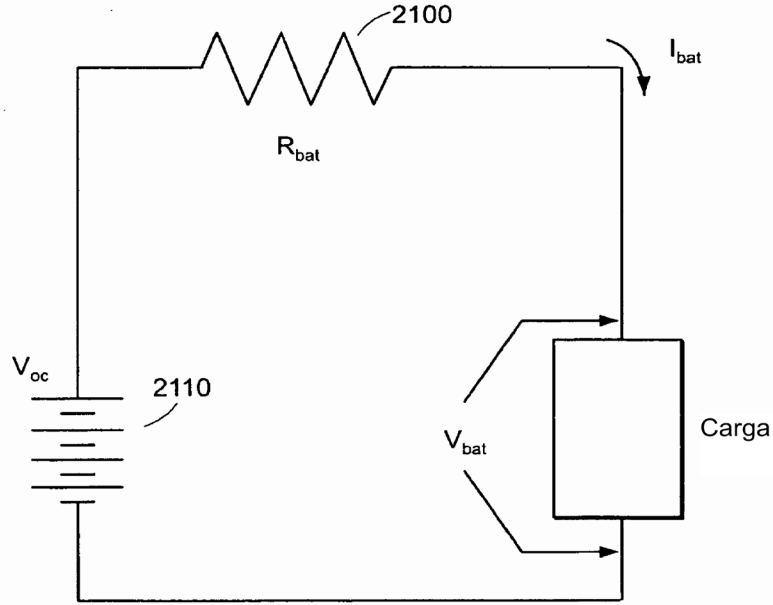


FIG. 21

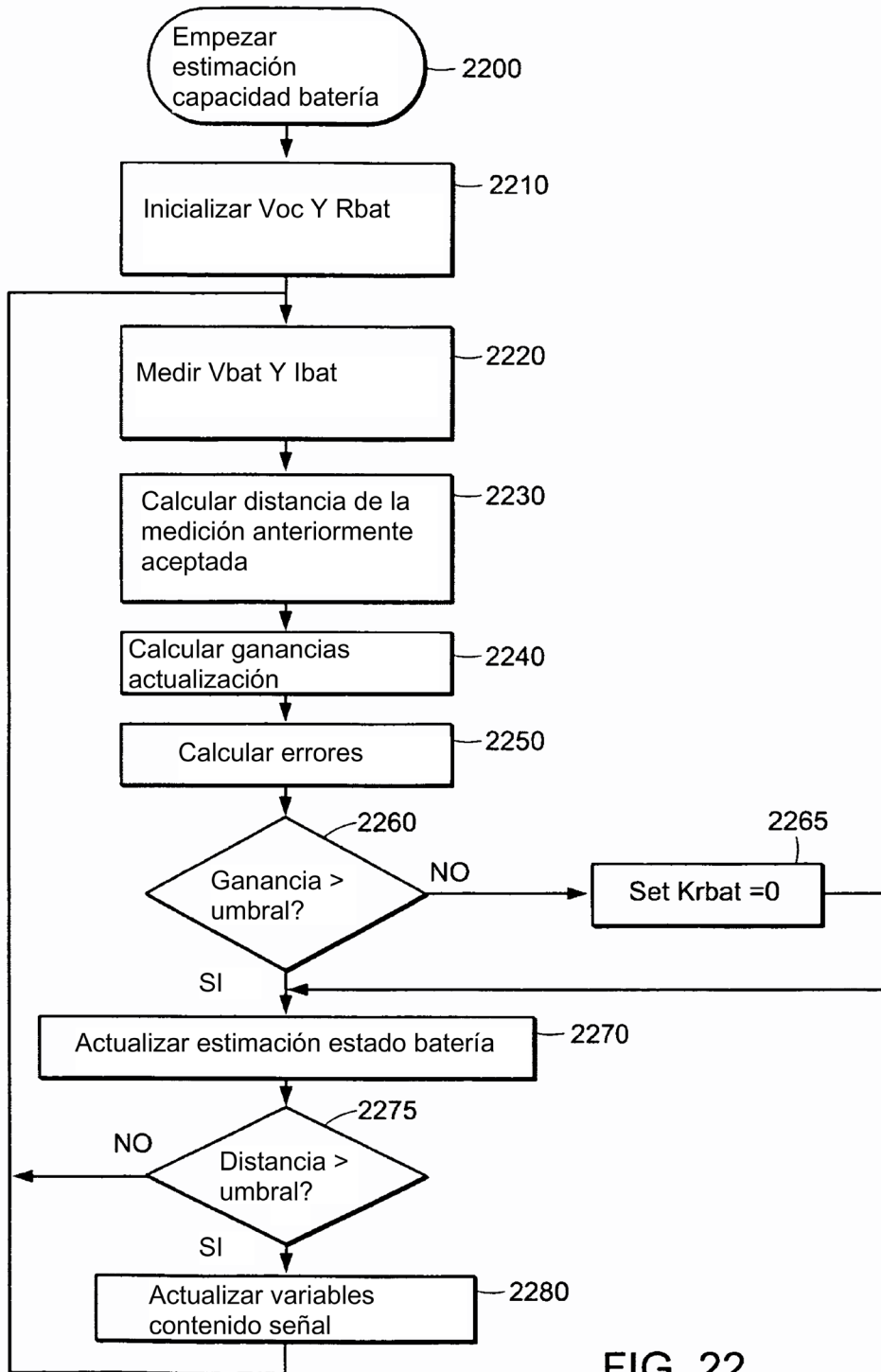


FIG. 22

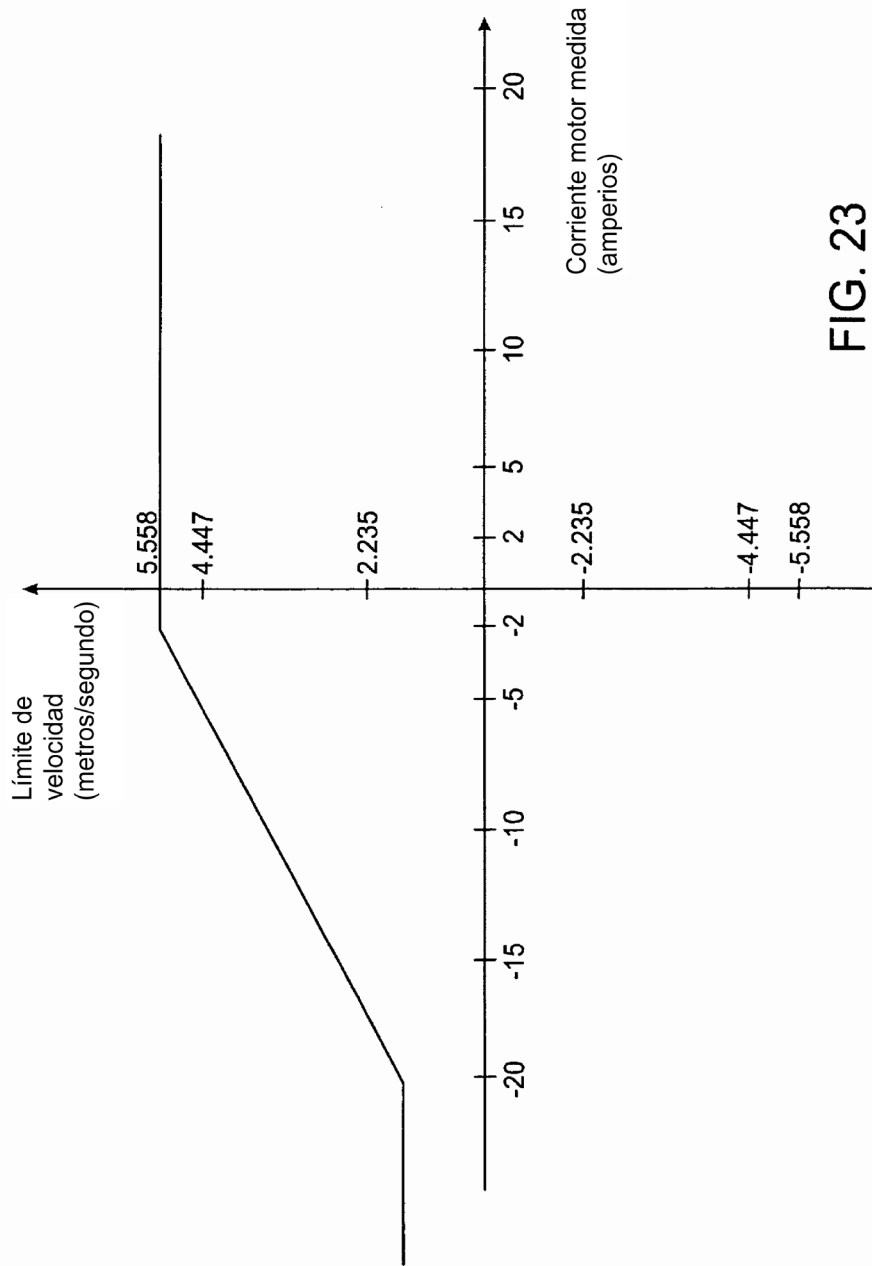


FIG. 23

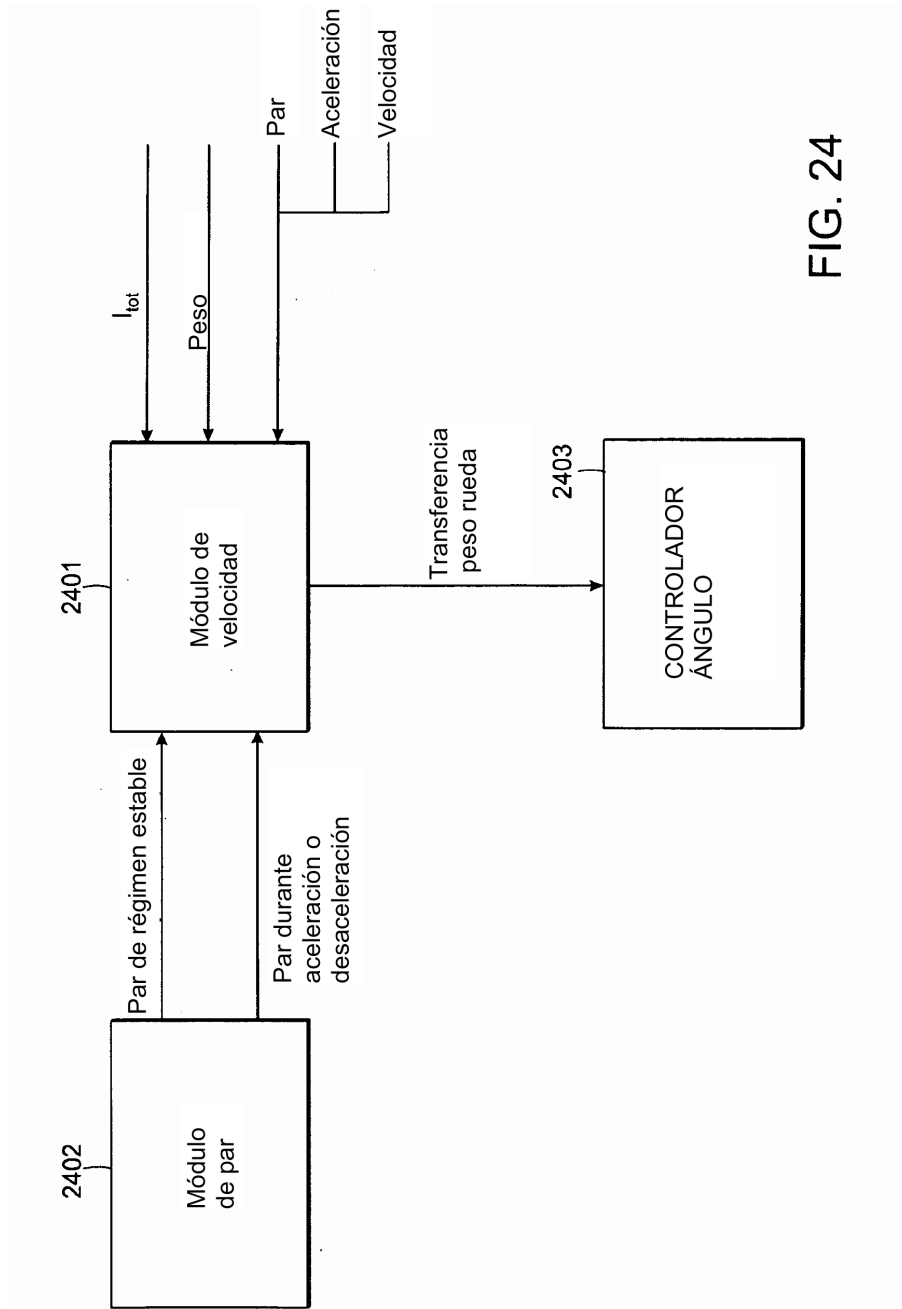


FIG. 24

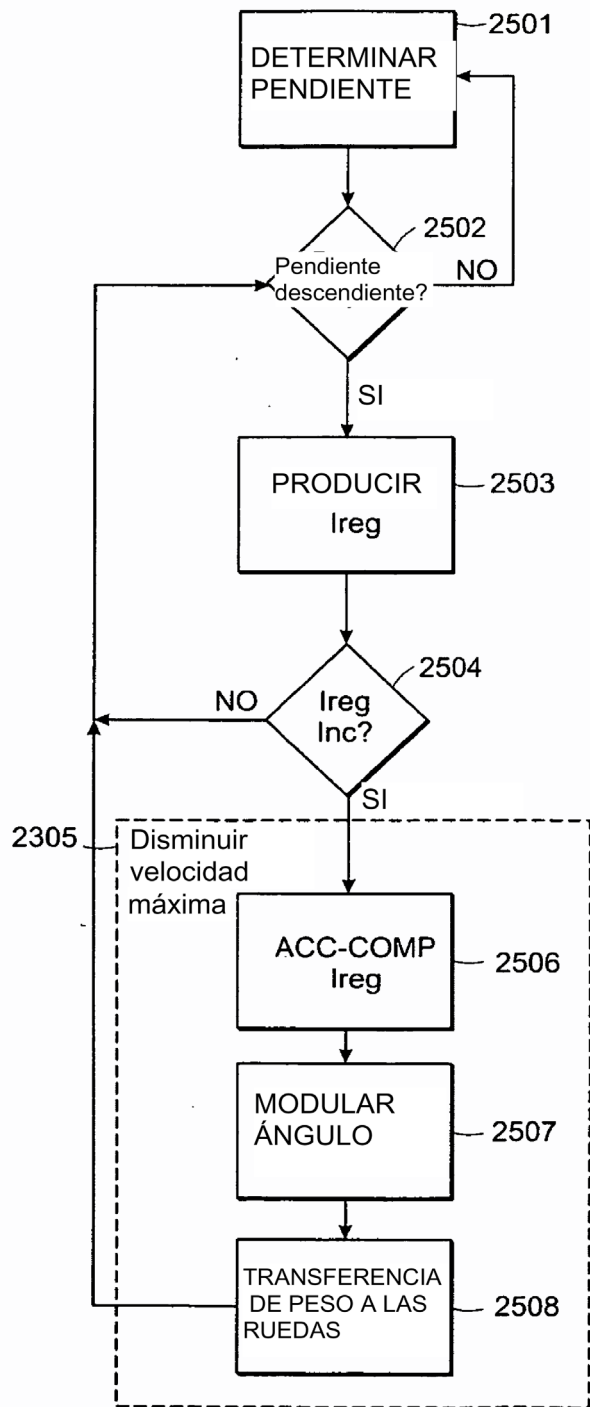


FIG. 25