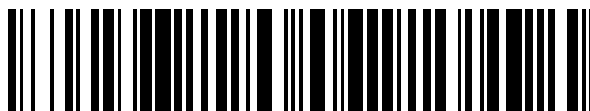


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 762 858**

51 Int. Cl.:

**B66C 13/46** (2006.01)

**B66C 13/06** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.11.2014** **PCT/EP2014/073905**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.05.2015** **WO15074886**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2014** **E 14796043 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2019** **EP 3074337**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para controlar una oscilación de una carga suspendida en un aparato de elevación**

30 Prioridad:

**25.11.2013 IT MI20131958**

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

**26.05.2020**

73 Titular/es:

**VINATI S.R.L. (100.0%)**  
**Via Brescia 205**  
**25075 Nave (BS), IT**

72 Inventor/es:

**SAVARESI, SERGIO M.;**  
**VINATI, FELICE;**  
**VINATI, SAMUELE;**  
**VINATI, MATTEO;**  
**VINATI, MARIACHIARA y**  
**VINATI, GIACOMO**

74 Agente/Representante:

**TORNER LASALLE, Elisabet**

ES 2 762 858 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

Dispositivo y procedimiento para controlar una oscilación de una carga suspendida en un aparato de elevación

Campo técnico

5 La presente invención versa sobre un dispositivo y un procedimiento para controlar una oscilación de una carga suspendida por medio de un aparato de elevación por cable o cadena, tal como grúas de puente, grúas usadas en construcción, grúas motorizadas y aparatos similares para elevar y mover cargas.

Antecedentes

10 Como es sabido, las grúas de puente y máquinas destinadas para elevar y desplazar materiales y bienes, en ambos entornos externo e interno, y están generalmente constituidas por un puente móvil en una dirección horizontal a lo largo de un par de raíles y están dotadas de un miembro transversal en el que se monta un carro, alojando el carro un elevador que puede moverse horizontalmente a lo largo del miembro transversal. Un cabrestante está conectado con el elevador, teniendo el cabrestante un elemento de sujeción, por ejemplo, un gancho, para sujetar y elevar objetos.

15 El cabrestante tiene uno o más cables aplicados al mismo, que por medio de un sistema de elevadores, servomotores y ganchos permiten la elevación y el desplazamiento de pesos.

Uno de los problemas principales conectados con el uso de estas instalaciones, así como en general, relativo a los aparatos de elevación por cable o cadena, es garantizar la completa seguridad de los operarios durante el uso de las mismas, también en consideración de los grandes pesos que han de ser movidos.

20 Una solución a estos problemas ha sido proporcionada por el dispositivo descrito en las patentes italianas IT 1 386 901 y IT 1 387 564.

El dispositivo de seguridad para el aparato de elevación descrito en la presente memoria incluye un medio para detectar un desplazamiento desde la vertical de al menos uno de los cables que soporta el elemento de sujeción para la carga.

25 Una realización incluye el uso de un grupo de acelerómetros, siendo capaz cada uno de los acelerómetros de determinar el desplazamiento del elemento de sujeción de la carga en un respectivo eje cartesiano ortogonal.

En particular, los acelerómetros están colocados en la cabeza fija del cable, es decir, en el punto en el que se fija el cable que soporta el elemento de sujeción de la carga y no se mueve, es decir, no se desliza.

30 El medio de detección del desplazamiento de la vertical, puede asociarse con un medio de aviso acústico y/o visible, o con un medio de detención de las operaciones de elevación o de desplazamiento y capaz de entrar en funcionamiento si el desplazamiento desde la vertical del cable supera al menos un umbral predeterminado.

Se describe una solución adicional en la patente italiana IT 1 393 950.

Brevemente, el documento anterior versa sobre un sistema que permite la gestión integrada de instalaciones de elevación, sistema que se denomina servicios de gestión integrada de grúas (CIMS).

35 El sistema permite detectar y catalogar los datos relacionados con los componentes de una instalación de elevación, con el objetivo de aumentar la seguridad de la misma, por ejemplo, para ser capaz de gestionar operaciones de mantenimiento de una manera que sea clara y sencilla para los clientes.

40 Por ejemplo, por medio de un sistema de detección de acelerómetro ubicado integrado en el aparato de elevación, se pueden detectar datos relacionados a los desplazamientos del elemento de sujeción de la carga, datos relacionados con los desplazamientos del elemento de sujeción de la carga en al menos un eje cartesiano ortogonal y/o datos relacionados con acontecimientos individuales o una serie histórica de acontecimientos del aparato de elevación.

El sistema permite, entre otras cosas, aumentar la eficacia en la gestión del mantenimiento, especialmente en todas esas situaciones industriales en las que hay presente una multiplicidad de instalaciones.

45 Los datos recogidos pueden hacerse disponibles directamente en la web sin el uso de programas instalados en el PC, lo que permite una accesibilidad total máxima desde cualquier estación de Internet.

Sin embargo, a pesar del hecho de que la grúa de puente es un aparato de elevación sujeto a normas tanto de construcción como de comprobaciones periódicas, los siguientes problemas técnicos permanecen abiertos, sustancialmente ligados a la seguridad de los operarios que usan el aparato.

Uno de estos problemas es dado por el hecho de que los dispositivos de la técnica anterior, aunque son capaces de determinar el desplazamiento de la carga con respecto a la vertical, llevan a cabo la determinación sustancialmente con el objetivo de permitir que el operario tome las decisiones apropiadas en un caso de desplazamiento excesivo. Sin embargo, no operan activamente para minimizar o, en cualquier caso, reducir la oscilación de la carga durante las operaciones de la grúa de puente.

Asimismo, aunque existen estudios teóricos que tratan los problemas relacionados con la oscilación de la carga en aparatos de elevación, los estudios están basados generalmente en simulaciones o prototipos de laboratorio y generalmente no toman en consideración las necesidades que surgen en el campo industrial, por ejemplo, debido a la presencia del operario y a las instrucciones enviadas por el mismo, con respecto a las normas y a otros elementos.

Se describe un dispositivo conocido adicional en el documento US 2005/103738, que describe diversas realizaciones de un sistema de control para la oscilación de una carga.

En una realización ejemplar de tal sistema conocido de control, se proporcionan dos plataformas inerciales.

La primera plataforma inercial está acoplada para medir una aceleración de un primer objeto, tal como una carga, suspendido desde un segundo objeto, tal como una vagoneta, generando la primera plataforma inercial una primera señal que representa la aceleración del primer objeto.

La segunda plataforma inercial está acoplada para medir una aceleración del segundo objeto, generando la segunda plataforma inercial una segunda señal que representa la aceleración del segundo objeto.

El dispositivo del documento US 2005/103738 comprende, además, un procesador en comunicación con las plataformas inerciales primera y segunda, siendo operable el procesador para determinar un balanceo del primer objeto con respecto al segundo objeto basado, al menos en parte, en las señales primera y segunda, representando el balanceo un desplazamiento relativo del primer objeto con respecto al segundo objeto.

El documento WO2013/041770 (Konecranes) divulga un dispositivo según el preámbulo de la reivindicación 1, que puede aplicarse a una vagoneta que sujeta una cuerda dotada de un gancho que porta una carga. Se usa un sensor adecuado para medir el ángulo de inclinación de la cuerda que sujeta el gancho con respecto a una dirección vertical. El sensor puede colocarse en la vagoneta (o adyacente a la misma) o en el extremo de la cuerda anclado a la vagoneta, cerca del anclaje, o en un medio de fijación de la cuerda. El sensor puede ser un acelerómetro, un inclinómetro, o incluso un giroscopio. El dispositivo descrito en el documento WO2013/041770 también comprende un sistema de control activo de oscilaciones que actúa según una lógica que permite la corrección del ángulo medido por el sensor, considerando los errores de medición provocados por las variaciones de velocidad de la vagoneta. Ahí, se describen varios procedimientos de control, pero en todos los procedimientos descritos el control opera según una ganancia constante. La ganancia constante se refiere a un valor constante, dependiente de la grúa a la que se aplica el procedimiento.

Divulgación de la invención

Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es proporcionar un dispositivo y un proceso para el control y la estabilización de oscilaciones de la carga, tanto durante las operaciones normales como debido a las etapas de frenado o de aceleración bruscos.

Un objetivo adicional de la invención es divulgar un dispositivo y un proceso para el control que es aplicable industrialmente.

Un objetivo no menor de las diversas realizaciones de la invención es suministrar un procedimiento de control de la estabilidad de la grúa de puente que aprovecha la capacidad de cálculo disponible hoy en día.

Los objetivos de la invención son logrados con un dispositivo según la reivindicación independiente 1.

Una ventaja de la invención es que permite operar el elemento deslizante del aparato de elevación al mismo tiempo que los movimientos de carga, con el objetivo de reducir la oscilación y el mantenimiento de la carga suspendida en la medida de lo posible cerca de una posición deseada.

En una realización adicional de la invención, la plataforma inercial es capaz de detectar los ángulos de oscilación de la carga con respecto a la vertical en dos ángulos recíprocamente perpendiculares de oscilación que definen ejes de deslizamiento para los respectivos elementos deslizantes monitorizados del aparato de elevación y la unidad de control es capaz de procesar los valores con el objetivo de calcular e impartir acciones de control de motor con el objetivo de minimizar la oscilación de la carga.

Una ventaja de esta realización es que permite accionar al mismo tiempo los elementos deslizantes que operan en direcciones mutuamente perpendiculares tal como, por ejemplo, en el caso de una grúa de puente, el carro y el

punto, de forma que reduzca la oscilación de la carga suspendida y la mantenga lo más cerca posible a una posición espacial deseada.

En una realización adicional de la invención, la plataforma inercial comprende un acelerómetro y un giroscopio.

- 5 Una ventaja de esta realización es que permite detectar información en la posición de la carga y, combinando las lecturas del acelerómetro con las del giroscopio, midiendo el ángulo de oscilación de la carga con el signo algebraico del mismo, con el objetivo de determinar con precisión la posición de la carga, al igual que calcular los parámetros dinámicos tal como, por ejemplo, la velocidad y la aceleración angular.

En una realización adicional de la invención, la plataforma inercial está colocada en una cabeza fija de un cable o de una cadena que soporta un elemento de sujeción de la carga.

- 10 Una ventaja de esta realización es que permite una medición precisa de los valores físicos medidos por la plataforma inercial, no viéndose influida la posición por los movimientos de los órganos del aparato de elevación tales como, por ejemplo, los de las poleas libremente deslizables en los cables respectivos.

En una realización adicional de la invención, una unidad remota de procesamiento puede asociarse con la unidad de control.

- 15 Una ventaja de esta realización es que por medio del uso de la unidad remota de procesamiento permite el uso de los datos procesados por la unidad de control por medio de un sistema de control y un componente lógico de configuración, así como un programa de procesamiento posterior, y comunicarse con la plataforma CIMS, y comunicarse con otros sistemas de procesamiento de datos, por ejemplo PLC, PC, y similares.

- 20 La invención comprende, además, un aparato de elevación que comprende una plataforma inercial asociable al dispositivo de control capaz de actuar sobre el aparato de elevación.

Además, se logran los objetivos de la invención por medio de un procedimiento según la reivindicación independiente 7.

Según la invención, se lleva a cabo la etapa de calcular la acción de control tomando en consideración las variaciones de la distancia de la carga desde el elemento deslizante del aparato de elevación.

- 25 Una ventaja de la invención es dada por el hecho de que permite la operación de todos los aparatos de elevación en los que la carga puede ser sometida a desviaciones considerables, pasando desde una posición bajada hasta una posición elevada, por ejemplo, por medio del efecto de un elevador o cabrestante capaz de subir o bajar una carga.

- 30 En una realización adicional de la invención, en la que se lleva a cabo la etapa de calcular la etapa de aplicación de la acción calculada de control de forma independiente para cada una de las activaciones de los elementos deslizantes del aparato de elevación.

Una ventaja de esta solución es que permite la simplificación tanto del cálculo de la acción de control, como de la implementación práctica de la misma.

- 35 Los diversos aspectos del procedimiento pueden ser accionados con la ayuda de un programa informático que comprende un código fuente que implementa las etapas del procedimiento. El programa informático puede estar memorizado, por ejemplo, en una memoria asociada con la unidad de control.

Breve descripción de los dibujos

De una lectura de la descripción que sigue, proporcionada a título de ejemplo no limitante, surgirán características y ventajas adicionales de la invención, con la ayuda de las figuras de los dibujos adjuntos.

- 40 - La figura 1 es una vista en perspectiva de una grúa de puente a la que se aplica el dispositivo de control según una realización de la presente invención;
- la figura 2 es una vista esquemática de la grúa de puente de la figura 1;
- 45 - la figura 3 es una vista esquemática de realizaciones del dispositivo de control de la invención;
- la figura 4 es una vista esquemática de algunos parámetros relevantes para el sistema de control de la invención;
- la figura 5 ilustra un diagrama de bloques relacionado con la arquitectura de una realización del sistema de control;
- 50 - la figura 6 ilustra un elemento de medición de los parámetros que describen el movimiento de una carga;

- la figura 7 es una vista esquemática, en una única dimensión, de algunos de los parámetros relevantes para el sistema de control de la invención; y

- la figura 8 ilustra un diagrama de bloques relacionado con la arquitectura de una realización adicional del sistema de control.

#### Descripción de los dibujos

La presente invención versa sobre un dispositivo y un procedimiento para controlar la oscilación de una carga suspendida por medio de un equipo de elevación por cable o cadena, tales como grúas de puente, grúas torre para la construcción, grúas móviles y aparatos similares para elevar y mover cargas. En aras de la simplicidad, se describirá con referencia a una grúa de puente.

La figura 1 ilustra de forma esquemática una grúa 10 de puente que exhibe un puente 19 que comprende dos vigas mutuamente paralelas 15, 16, siendo amovible el puente 19 a lo largo de una primera dirección designada en la figura 1 por X, movimiento que es logrado por el movimiento de las dos cabezas 13, 14 a lo largo de dos vigas 33, 34.

Un carro motorizado 20 está montado en el puente 19, carro que puede deslizarse sobre dos raíles 15', 16', estando ubicado cada uno sobre una viga respectiva 15, 16 del puente 19. El carro 20 puede deslizarse a lo largo de una dirección perpendicular a la primera dirección X, denotada Y.

El puente 19 está asociado con un motor 24, dotado de un inversor 24', que permite que se mueva a lo largo del eje X de la figura 1, mientras que el carro motorizado 20 está asociado con un motor relativo (no mostrado en aras de la simplicidad), también dotado de un inversor respectivo.

Según se ilustra con mayor detalle en lo que sigue, un dispositivo de control está asociado con la grúa de puente, dispositivo de control que incluye una unidad 40 de control para impartir acciones de control a los motores de la grúa de puente, e indicar (para cada motor) un inversor respectivo que regula la velocidad del motor con el que está asociado.

En una variante de la invención, la unidad 40 de control puede dar instrucciones por medio de un PLC (controlador lógico programable) u otra unidad de control, que actúa, a su vez, sobre los inversores de los motores.

Una polea 11 está asociada con el carro 20, polea que está dotada, a su vez, de un elemento 12 de sujeción, por ejemplo, un gancho, y puede subir o bajar una carga (no mostrada en aras de la simplicidad) usando un sistema de cables 27 operado por un elevador 18 montado en el miembro transversal 17.

El elemento de sujeción de la carga 12 puede elevar o bajar, así, a lo largo de una dirección vertical, pero también puede someterse a movimientos en los que la carga 12 se desvía de la vertical, dependiendo de las condiciones de trabajo, por ejemplo, cuando el puente 19 y/o el carro 20 están en movimiento, o cuando un operario aplica una fuerza.

En la figura 2, la grúa de la figura 1 está representada en términos de sus componentes principales para destacar una plataforma inercial 30 capaz de medir los movimientos del cable que soporta el elemento de sujeción de la carga, según se ilustra en la siguiente descripción.

Un dispositivo para el control activo de la estabilidad según las diversas realizaciones de la presente invención también está asociado con la grúa 10 de puente.

Con referencia a la figura 3, se debe hacer notar que el dispositivo de control comprende la plataforma inercial 30 y la unidad 40 de control, siendo capaz la unidad de control de impartir instrucciones de movimiento a los inversores que controlan la activación de los motores de la grúa de puente.

La unidad 40 de control puede, entonces, emitir instrucciones tanto al inversor 24' que ajusta el motor 24 activando el movimiento del puente 19, como al inversor que regula el motor que acciona el movimiento del carro 20; estas instrucciones son mutuamente independientes y pueden ser enviadas a los inversores de los motores por medio de una conexión analógica, un bus de red de área de controlador u otras conexiones de bus ethernet.

En particular, la plataforma inercial 30 comprende un acelerómetro 34 de tres ejes y un giroscopio 36, siendo ambos gestionables por un microprocesador 32.

En una realización preferente, la unidad 40 de control puede montarse en la grúa de puente en sí (según se indica en la parte izquierda de la figura 3) y es conectable por cable 42, o de un modo inalámbrico, con la plataforma inercial 30.

En otra realización preferente, la unidad 40 de control puede asociarse con la unidad remota de control, por ejemplo, incorporada en un servidor 80, pudiendo operar la unidad remota el soporte lógico de control y de configuración del

sistema, además de soporte lógico de datos posprocesamiento y puede comunicarse con una plataforma de tipo servicios de gestión integrada de grúas (CIMS), según se describe en la patente IT 1 393 950.

En una variante de la invención, la plataforma inercial 30 y la unidad 40 de control pueden integrarse en una única unidad.

5 Ahora, con referencia a la plataforma inercial 30, el acelerómetro 34 de tres ejes es capaz de medir el ángulo de inclinación del cable 27 que soporta el elemento de sujeción de la carga 12; sin embargo, el ángulo medido solo indica la inclinación del cable con respecto a la vertical, pero no contiene la información relativa a la dirección en la que se inclina el cable.

10 Para completar la representación en el espacio de los movimientos del miembro 12 de sujeción, la plataforma inercial 30 también incluye un giroscopio 36.

Como es sabido, el giroscopio 36 es un instrumento que tiende a mantener el eje de rotación del mismo orientado hacia una dirección fija y permite, así, la medición de un ángulo de orientación con respecto a la dirección fija.

15 Por lo tanto, la combinación de la información derivada de las mediciones realizadas por el acelerómetro 34 de tres ejes y el giroscopio 36 es usada para determinar la posición del elemento 12 de sujeción en el espacio, según se expresa, por ejemplo, por el ángulo  $\theta$  de la figura 2, al igual que calcular el cambio con el paso del tiempo  $\dot{\theta}$  del ángulo, al igual que la aceleración angular  $\ddot{\theta}$ .

En una realización preferente de la invención, se coloca la plataforma inercial en la cabeza fija del cable que soporta el elemento de sujeción.

20 Esta disposición de la plataforma inercial es preferible a una colocación de la plataforma inercial en la polea 11, porque la polea 11 es libre de deslizarse sobre los cables 27 y el elemento 12 de sujeción siempre tiene una tendencia a mantener una orientación sustancialmente vertical. Por lo tanto, un acelerómetro en la polea tendría la tendencia a medir aceleraciones considerablemente más pequeñas que las aceleraciones medidas cuando se coloca en la cabeza del cable.

25 En cualquier caso, se envían los datos desde la plataforma inercial 30 hasta la unidad 40 de control para permitir que el dispositivo de control identifique las correcciones que deben proporcionarse al carro 20 y al puente 19. Estas correcciones son activadas, entonces, operando los inversores de los respectivos motores de accionamiento para mover el carro 20 y/o el puente 19, de forma que acerquen el elemento de sujeción de la carga hasta una posición vertical, o hasta un ángulo deseado, en un periodo más corto de tiempo que aquel en el que no hay presente ningún control.

30 El dispositivo de control también puede actuar junto con el movimiento del puente y/o del carro para mantener el ángulo de inclinación del cable dentro de valores pequeños que permiten una operación segura.

Para ilustrar el funcionamiento del sistema de control, se hará referencia, ahora, a la figura 4, que es una vista esquemática de algunos parámetros relevantes para el sistema, ilustrada según un ejemplo que solamente considera el movimiento horizontal de uno de los componentes de la grúa.

35 Dado que la grúa de puente puede incluir un movimiento del carro 20 a lo largo de un primer eje y otro movimiento, dado por el puente 19, a lo largo de un segundo eje perpendicular al primero, todos los conceptos que siguen pueden aplicarse a ambos ejes.

40 Sin embargo, debido a que se desacoplan entre sí los movimientos de estos ejes al ser generados mediante motores respectivos, operables independientemente el uno del otro, en aras de la simplicidad se puede hacer referencia a un caso de movimiento a lo largo de un solo eje, es decir, en el presente ejemplo el eje X mostrado en la figura 4, estando esquematizado el movimiento a lo largo del segundo eje, y siendo controlable independientemente y de una forma completamente similar.

45 Por lo tanto, uno de los componentes de la grúa de puente, que puede ser el carro 20 o el puente 19, es mostrado esquemáticamente como un ejemplo en la figura 4, indicando la masa M y su posición X, es decir, la distancia del centro de gravedad de la masa M desde una referencia fija. La masa M puede moverse a lo largo del eje X.

Un peso m es fijado a la masa M por un cable o una cadena que tiene una longitud l. Por lo tanto, el peso m puede oscilar como un péndulo simple y puede, por lo tanto, desviarse de la vertical un ángulo  $\theta$ .

50 El peso m indica, así, el peso que la grúa tiene que elevar pudiendo, dependiendo de casos individuales, estar dado el peso por el peso del elemento de sujeción que soporta la carga o el elemento de sujeción no cargado. La lógica del sistema permanece igual en ambos casos.

Por lo tanto, para construir un modelo del rendimiento dinámico del sistema ilustrado en la figura 4, se puede emplear el siguiente procedimiento.

En primer lugar, se puede definir la función L de Lagrange del sistema de la figura 4:

$$L = T - U$$

en la que, según es sabido, T es la energía cinética del sistema y U la energía potencial del mismo.

- 5 Para el sistema ilustrado en la figura 4, usando las coordenadas de Lagrange generalizadas, se pueden escribir las siguientes ecuaciones:

$$T = \frac{1}{2}(M + m)\dot{x}^2 + \frac{1}{2}ml^2\dot{\vartheta}^2 + ml\dot{\vartheta}\dot{x}\cos\vartheta$$

y

$$U = mgl(1 - \cos\vartheta)$$

en las que  $\dot{x}$  es la velocidad a lo largo del eje X y  $\dot{\vartheta}$  es la velocidad angular del péndulo con longitud l y masa m.

- 10 En este caso, se ha asumido que el cable tiene una longitud constante de l y un peso que puede ser considerado irrelevante.

Con esta premisa, se pueden escribir las ecuaciones Euler-Lagrange para el sistema de la figura 4, es decir:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\vartheta}} - \frac{\partial L}{\partial \vartheta} = -b\dot{\vartheta}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial L}{\partial x} = F$$

en las que b es un parámetro que representa los rozamientos y F es una fuerza aplicada al sistema.

Tras los cálculos, resultan las siguientes ecuaciones:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\vartheta}} - \frac{\partial L}{\partial \vartheta} = ml^2\ddot{\vartheta} + ml\ddot{x}\cos\vartheta + mgl\sin\vartheta = -b\dot{\vartheta}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial L}{\partial x} = (M + m)\ddot{x} + ml(\ddot{\vartheta}\cos\vartheta - \dot{\vartheta}^2\sin\vartheta) = F$$

- 15 Usando la velocidad de referencia  $\dot{x}_{ref}$  del motor que desplaza la masa M a lo largo del eje X de la figura 4 como una variable de control, y, con la hipótesis de que el control de la velocidad es rápido y preciso, se puede plantear lo siguiente:  $\ddot{x} \cong \ddot{x}_{ref}$ .

Definiendo la acción de control como  $u \cong \ddot{x}_{ref}$  y linealizando con la condición  $\dot{\vartheta} = \vartheta = u = 0$ , se obtiene un modelo dinámico, definido por la ecuación (1), que representa la relación entre la acción u de control y los parámetros dinámicos que definen la posición, la velocidad y la aceleración de la masa m, es decir:

$$(1) \quad \ddot{\vartheta}(t) + \frac{b}{ml^2}\dot{\vartheta}(t) + \frac{g}{l}\vartheta(t) + \frac{1}{l}u(t) = 0$$

- 20 Con referencia a la figura 5, se describe el diagrama de bloques relacionado con una realización del sistema de control de la invención.

En particular, en la hipótesis de que el elemento de sujeción de la carga es acercado hasta la posición vertical, es decir, obteniendo  $\theta_{ref}(t) = 0$ , en el diagrama de bloques de la figura 5 se indican el controlador C(s) (bloque 110) y las posibles entradas de un operario de grúa de puente (bloque 100).

El controlador C(s) recibe como entrada el error angular  $\theta_e$ , dado por la diferencia entre el ángulo deseado  $\theta_{ref}(t)$  y el ángulo medido por la plataforma inercial 30, es decir,  $\theta_m(t)$ .

El controlador C(s), en función del error angular  $\theta_e$ , calcula la velocidad de referencia o deseada  $v_{ref}(t)$  que ha de atribuirse al carro con el objetivo de reducir o eliminar el error angular  $\theta_e$ .

El sistema de control también puede incluir la consideración de las entradas eventuales de un operario de la grúa de puente (bloque 100), si se encuentra presente.

La velocidad de referencia o deseada  $v_{ref}(t)$  se traduce en una velocidad eficaz  $v(t)$  del carro por el efecto del motor relativo controlado por el inversor, efecto que incluye los mecanismos internos del motor y que está esquematizado por la función M (s) de transferencia del bloque 120. En muchos casos, en aras de la simplicidad, se puede plantear  $M(s) \sim 1$ .

A su vez, se usa la velocidad eficaz  $v(t)$  del carro como una entrada para el modelo dinámico de la grúa de puente (Ec. (1)) que suministra la salida del ángulo eficaz  $\theta(t)$  asumido por el cable que porta el elemento de sujeción de la carga.

Este ángulo puede ser medido por la plataforma inercial 30 que regresa al valor  $\theta_m(t)$  para ser usado en el cálculo de un valor nuevo del error angular  $\theta_e$ .

El controlador C(s) puede ser proporcional, es decir  $C(s) = K_p$ , en el que la ganancia  $K_p$  enlaza el error angular con la velocidad de referencia  $v_{ref}(t)$  para dirigir los motores.

El valor eficaz de  $K_p$  que ha de ser aplicado depende del sistema. En general, con  $K_p$  elevado hay una reducción rápida en la oscilación, aunque con un coste en términos de reducción de la velocidad del carro y viceversa.

Además, para mejorar el rendimiento del sistema, una consideración adicional debe ser la variación en la longitud del cable, pudiendo tomar consideración de ello un controlador proporcional programado de ganancia, descrito en más detalle en lo que sigue.

Alternativamente, el controlador C(s) puede ser un controlador PI, es decir, un controlador proporcional-integral.

El controlador C(s), en las diversas realizaciones descritas, no forma parte de la invención, pero representa la técnica anterior que es útil para la comprensión de la invención.

El funcionamiento del sistema de control es completamente similar cuando se requiere una inclinación del elemento de sujeción de la carga que no es vertical, por ejemplo, un grado durante el movimiento de toda la grúa de puente desde una posición hasta otra en el lugar de trabajo. La única diferencia será establecer una inclinación deseada diferente, es decir, en el ejemplo  $\theta_{ref}(t) = 1^\circ$ .

La figura 6 ilustra un ejemplo de medición de los parámetros que describen el movimiento del elemento de sujeción llevada a cabo usando la plataforma inercial 30.

En este caso, se puede tomar una primera medición por medio del acelerómetro 34 que mide, en el caso descrito, la variación en la aceleración de la carga a lo largo del eje Y. Al mismo tiempo, el giroscopio 36 puede medir una variación en el ángulo de cabeceo de la carga a lo largo del eje X.

Las mediciones pueden ser combinadas por medio de procedimientos de filtrado, por ejemplo, con el uso de un filtro extendido Kalman, con el objetivo de obtener una medición de la variación del ángulo  $\theta$  a lo largo del eje Y con el símbolo algebraico del mismo.

Para refinar el rendimiento del sistema de control, la ganancia  $K_p$  del controlador puede ser considerada para depender también de la distancia 1 de la carga desde el carro, según se indica esquemáticamente en la figura 7.

En este caso, se usa un controlador proporcional programado de ganancia en operación.



Como es sabido, el procedimiento de control de ganancia programada implica diseñar un controlador para diversos puntos de funcionamiento del sistema que ha de ser controlado. Los parámetros obtenidos de esta manera pueden ser interpolados, entonces, de tal manera que se diseñe un controlador que tenga una ganancia variable dependiente de los diversos puntos de funcionamiento.

- 5 La figura 7 ilustra, a título de ejemplo, un carro 20 que se desplaza sobre los raíles y una carga de una masa m conectada con el carro por medio de cables o cadenas que se considera que tienen una masa insignificante.

Las variables requeridas para el control programado de ganancia son:

- 10 - la distancia b entre el gancho de la cabeza y el eje formado entre el carro y la carga en condiciones estacionarias (sin oscilaciones),
- el ángulo  $\vartheta$  de oscilación estimado usando la plataforma inercial, que es igual al ángulo de inclinación del cable que soporta la carga, y
- el intervalo  $h_{max}$  y  $h_{min}$  en el que la masa m puede moverse a lo largo del eje vertical.

- 15 La figura 8 esquematiza el funcionamiento del controlador proporcional. El ángulo de oscilación es obtenido por la plataforma inercial y filtrado con un filtro de paso elevado, de forma que elimine el componente continuo, mientras el ángulo deseado sea cero, es decir, sin oscilación alguna. La diferencia de error obtenida es multiplicada por un coeficiente  $K_p(h)$  dependiendo de la altura h de la carga, de forma que se obtenga la corrección de la velocidad que ha de ser enviada a los inversores que dan instrucciones a los motores.

- 20 Partiendo de los datos disponibles, se estima la altura de la carga (entendida como la distancia desde el carro) con el objetivo de programar la ganancia de control:

$$\ell = \frac{d}{\sin \vartheta}$$

$$h = \sqrt{\ell^2 - d^2}$$

En este punto, se estima h y se satura entre  $h_{max}$  y  $h_{min}$ , es decir, de tal manera que h siempre esté comprendido entre estos valores.

- 25 Partiendo de una etapa inicial de configuración del sistema, se obtienen los dos valores  $K_p$  que han de ser aplicados a las alturas máxima y mínima, es decir,  $K_{p_{max}}$  y  $K_{p_{min}}$ . En este punto, se usa la siguiente fórmula para calcular el valor de  $K_p$ :

$$K_p(h) = K_{p_{min}} + (K_{p_{max}} - K_{p_{min}}) * \frac{h - h_{min}}{h_{max} - h_{min}}$$

Esta solución permite operar en todos los casos en los que la carga está sometida a desviaciones significativas, pasando desde una posición bajada hasta una posición elevada, por ejemplo, por el efecto del elevador 18.

- 30 Por último, en general, al ubicar la unidad de control en una posición remota con respecto al aparato de elevación, aparte de la operación remota de control, el aparato puede integrarse con una recogida de datos en tiempo real con el fin de controlar el funcionamiento de la operación de elevación y la planificación de su mantenimiento.

## REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo para controlar una oscilación de una carga de masa  $m$  suspendida desde un elemento motorizado deslizable (19, 20) que puede moverse a lo largo de un eje sustancialmente horizontal, controlando el dispositivo de control una unidad de control y una plataforma inercial (30), siendo capaz la plataforma inercial (30) de detectar valores representativos de un ángulo de inclinación de un cable que soporta la carga con respecto a la vertical y estando dotada de un medio para comunicar los valores a la unidad (40) de control, en el que la unidad (40) de control está dotada de un medio para medir y controlar la velocidad del elemento motorizado deslizable (19, 20) y es capaz de procesar los valores representativos del ángulo de inclinación del cable con respecto a la vertical, de forma que se calculen y se impartan acciones de control para controlar de forma dinámica la velocidad del elemento motorizado deslizable (19, 20) como una función de un ángulo deseado de inclinación del cable con respecto a la vertical, caracterizado porque la unidad (40) de control comprende un controlador proporcional programado de ganancia dotado de un medio para calcular una ganancia variable que ha de ser aplicada al control de la velocidad del elemento motorizado deslizable (19, 20) como una función de la distancia de la carga del elemento motorizado deslizable (19, 20), estando comprendida la distancia entre unos valores máximo y mínimo, por la cual se calcula la ganancia variable como una función de la distancia ( $h$ ) de la carga desde el elemento motorizado deslizable (19, 20) multiplicando el error de diferencia entre el ángulo monitorizado de inclinación y el ángulo deseado de inclinación por un coeficiente  $K_p(h)$  dependiente de la distancia  $h$  de la carga desde el elemento deslizable motorizado (19, 20), estando siempre comprendida la distancia  $h$  en un intervalo  $h_{max}$  y  $h_{min}$  en el que la masa  $m$  puede moverse a lo largo de un eje vertical, para obtener dos valores  $K_{p\_max}$  y  $K_{p\_min}$  que han de ser aplicados a los valores máximo y mínimo  $h_{max}$  y  $h_{min}$  y calculando el valor de  $K_p(h)$  por medio de la siguiente fórmula:

$$K_p(h) = K_{p\_min} + (K_{p\_max} - K_{p\_min}) * \frac{h - h_{min}}{h_{max} - h_{min}}$$

2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la plataforma inercial (30) es capaz de detectar los ángulos de inclinación del cable (27) que soporta la carga con respecto a la vertical en dos direcciones de oscilación recíprocamente perpendiculares que definen ejes de deslizamiento para los respectivos elementos motorizados deslizables (19, 20) y la unidad de control es capaz de procesar los valores con el fin de calcular e impartir acciones de control del motor como una función de un ángulo deseado de inclinación del cable (27) con respecto a la vertical.
3. El dispositivo de la reivindicación 1 o 2, en el que la unidad (40) de control imparte las acciones calculadas de control a los motores (24) indicando, para cada motor (24), un inversor respectivo (24') que regula la velocidad del motor (24) con el que está asociado.
4. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la plataforma inercial (30) comprende un acelerómetro (34) y un giroscopio (36).
5. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que se coloca la plataforma inercial (30) en una cabeza fija del cable (27) que soporta un elemento de sujeción de la carga.
6. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que una unidad remota de procesamiento puede estar asociada con la unidad (40) de control.
7. Un procedimiento para controlar la oscilación de una carga suspendida de masa  $m$  por medio de elementos deslizables motorizados, en el que están comprendidas las siguientes etapas:
  - monitorizar un valor representativo de un ángulo de inclinación de un cable que soporte la carga con respecto a la vertical;
  - determinar una diferencia entre el ángulo monitorizado de inclinación y un ángulo deseado de inclinación, de forma que se reduzca o elimine la diferencia;
  - calcular la acción de control que ha de ser aplicada al menos a uno de los motores (24) de los elementos deslizables motorizados (19, 20);
  - aplicar la acción de control al menos a uno de los motores (24) de los elementos motorizados deslizables (19, 20) como una función de un ángulo deseado de inclinación del cable (27) con respecto a la vertical;en el que dicho procedimiento está caracterizado porque comprende la etapa de
  - calcular una ganancia variable que ha de ser aplicada al control de la velocidad del elemento motorizado deslizable (19, 20) como una función de una distancia de la carga del elemento motorizado deslizable (19, 20), estando comprendida la distancia entre unos valores máximo y mínimo, en el que se lleva a cabo el cálculo por medio de un controlador proporcional programado de ganancia, llevándose a cabo la etapa de cálculo de la acción de control tomando en consideración variaciones en la distancia de la carga desde el elemento deslizable

motorizado (19, 20), por lo cual se calcula la ganancia variable como una función de la distancia  $h$  de la carga desde el elemento deslizante motorizado, llevándose a cabo la etapa de cálculo multiplicando el error de diferencia entre el ángulo monitorizado de inclinación y el ángulo deseado de inclinación por un coeficiente  $K_p(h)$  dependiente de la distancia  $h$  de la carga desde el elemento motorizado deslizante (19, 20), estando siempre comprendida la distancia  $h$  en un intervalo  $h_{max}$  y  $h_{min}$  en el que la masa  $m$  puede moverse a lo largo de un eje vertical, para obtener dos valores  $K_{p\_max}$  y  $K_{p\_min}$  que han de ser aplicados a los valores máximo y mínimo  $h_{max}$  y  $h_{min}$  y calculando el valor de  $K_p(h)$  por medio de la siguiente fórmula:

$$K_p(h) = K_{p\_min} + (K_{p\_max} - K_{p\_min}) * \frac{h - h_{min}}{h_{max} - h_{min}}$$

8. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que se realiza la etapa de monitorizar un valor que representa el ángulo de inclinación con el uso de una plataforma inercial (30).
- 10 9. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que se lleva a cabo la etapa de cálculo de la acción de control que ha de ser aplicada al menos a uno de los motores (24) de los elementos motorizados deslizantes (19, 20) en función de un modelo matemático que toma en consideración el valor representativo del ángulo monitorizado de inclinación y la variación del mismo con el paso del tiempo.
- 15 10. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que se llevan a cabo independientemente la etapa de cálculo y la etapa de aplicación de la acción calculada de control para cada uno de los motores (24) de los elementos deslizantes (19, 20), dando instrucciones a los respectivos inversores (24').
11. Un programa informático para llevar a cabo el procedimiento de las reivindicaciones de 7 a 10.
12. Un aparato de control para un aparato de elevación que comprende una unidad de control, una memoria y un programa informático como en la reivindicación 11, almacenado en la memoria.

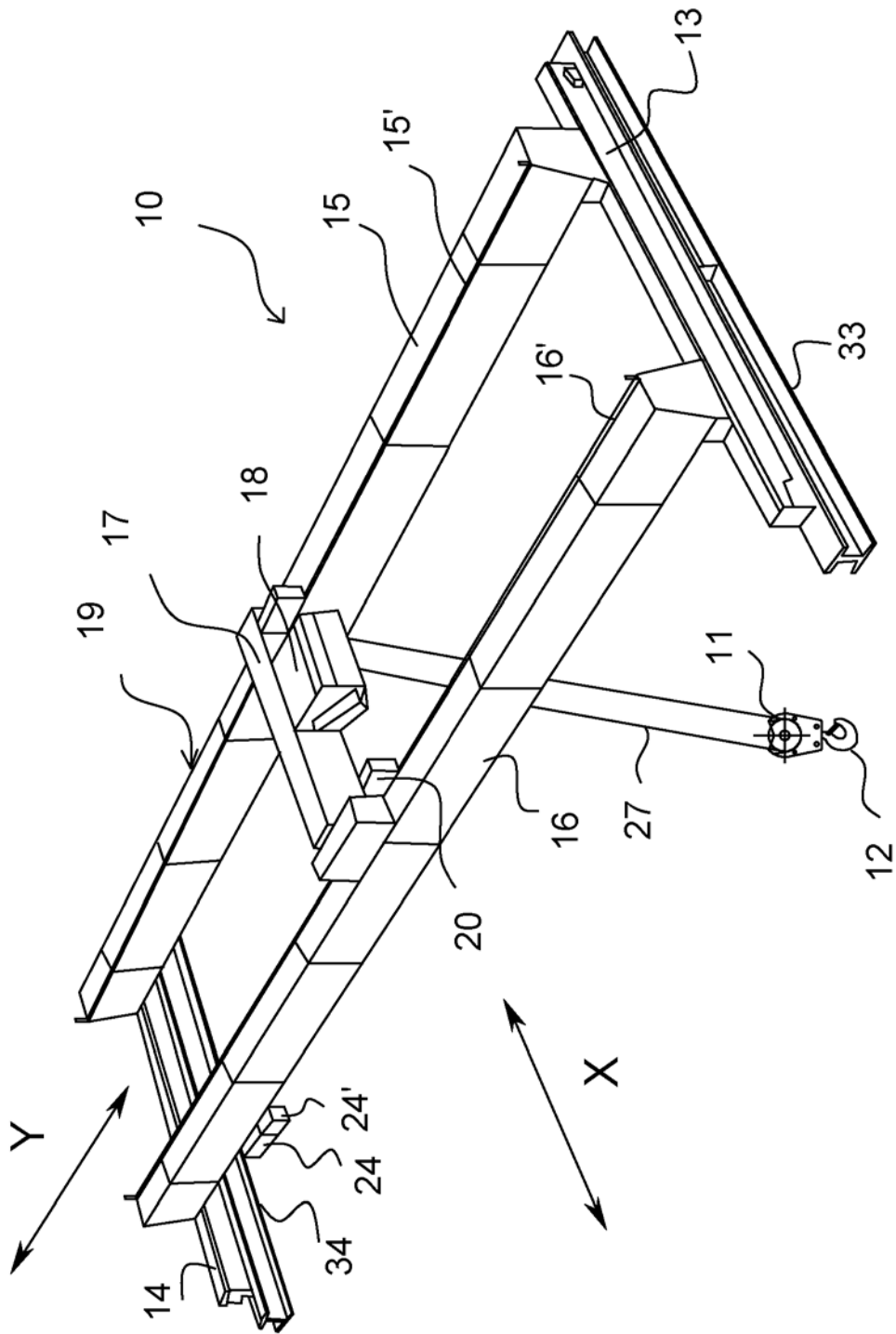


FIG. 1

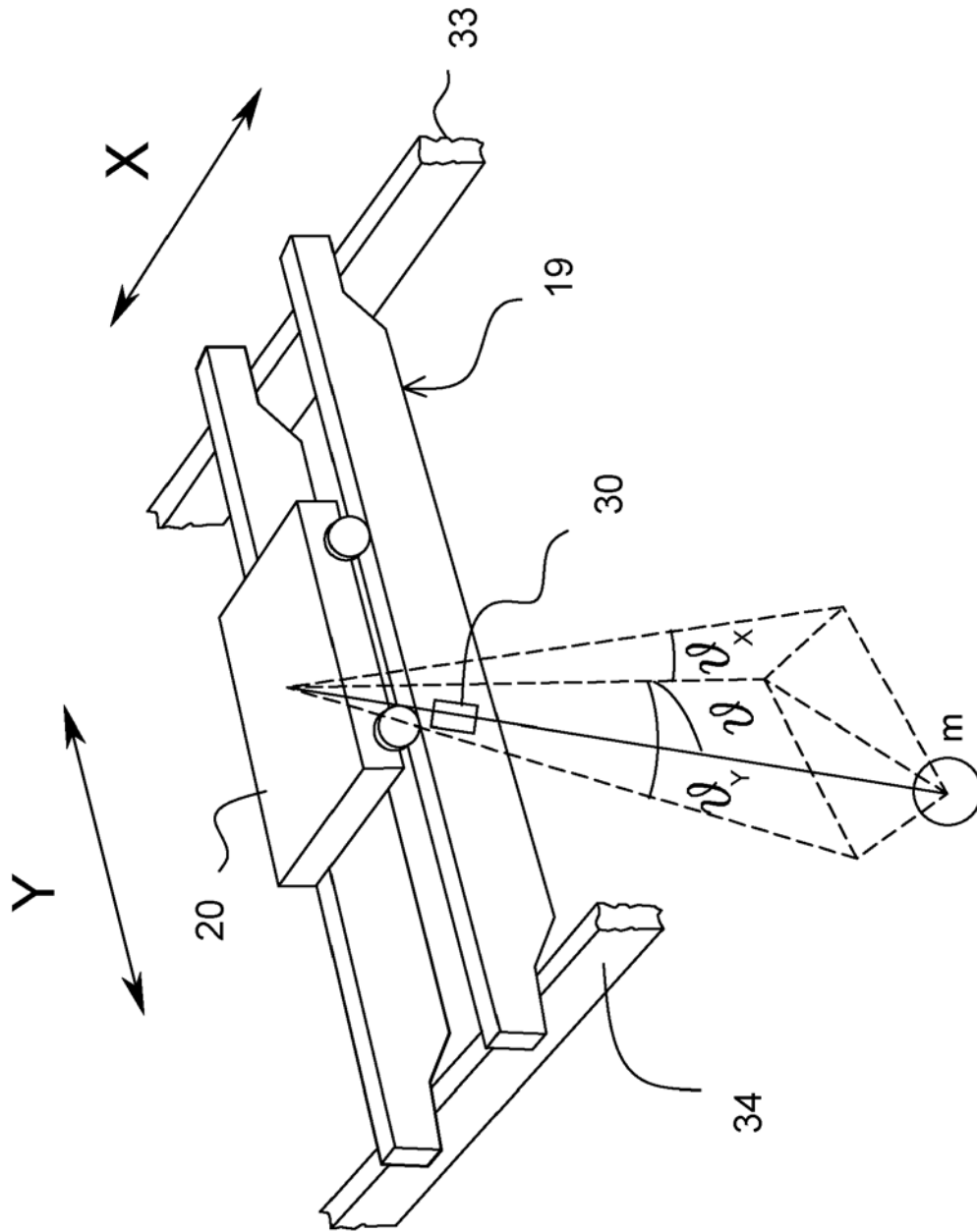


FIG. 2

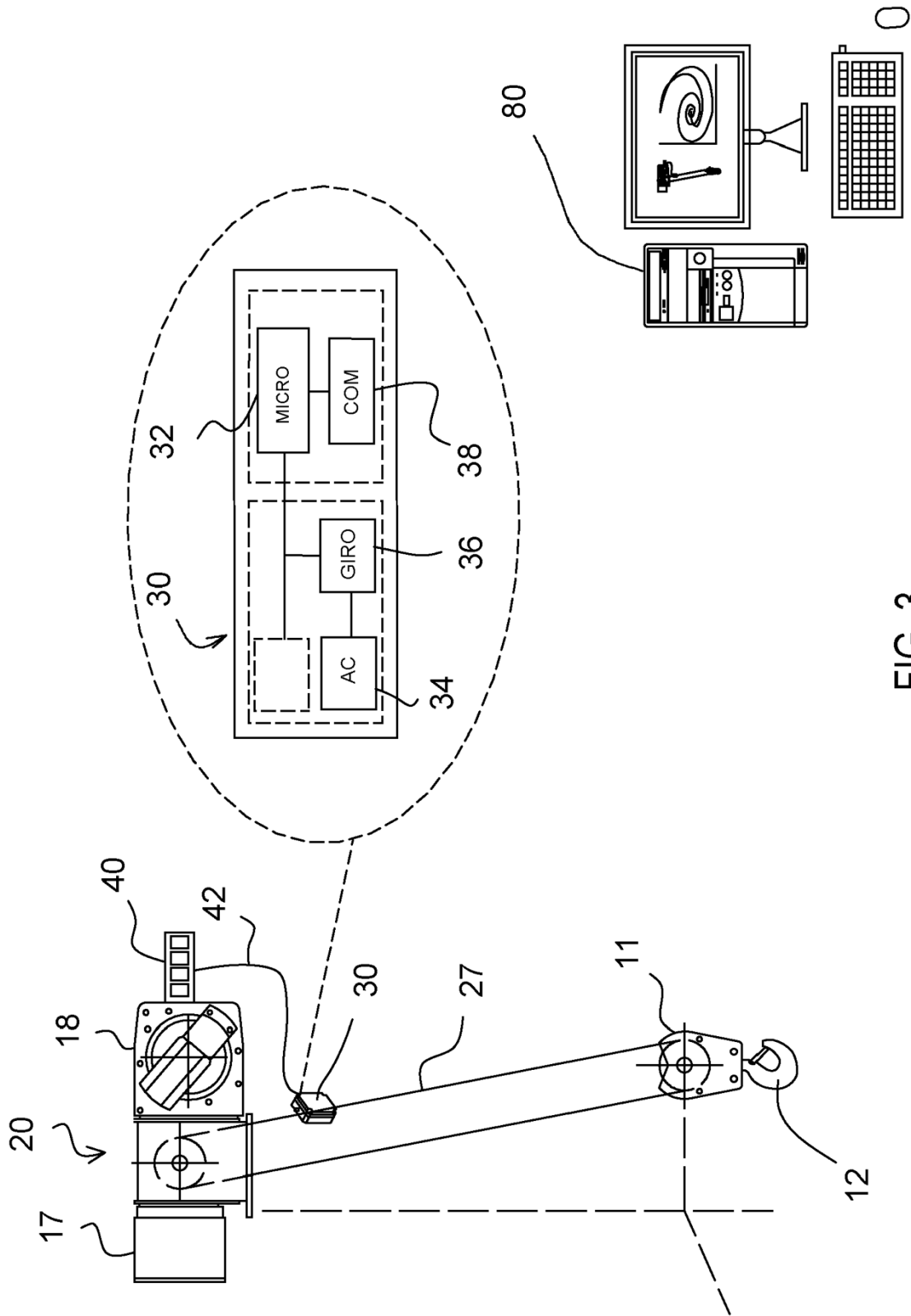


FIG. 3

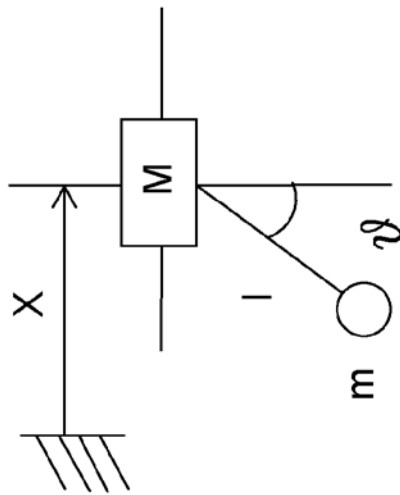


FIG. 4

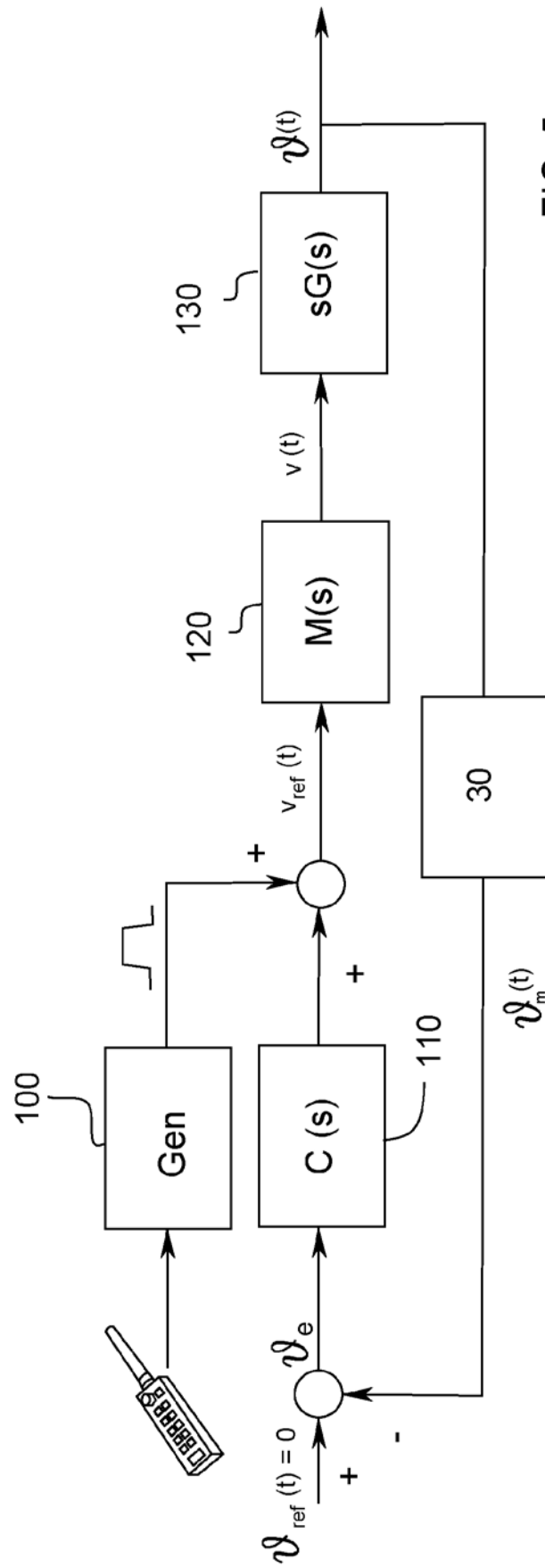


FIG. 5

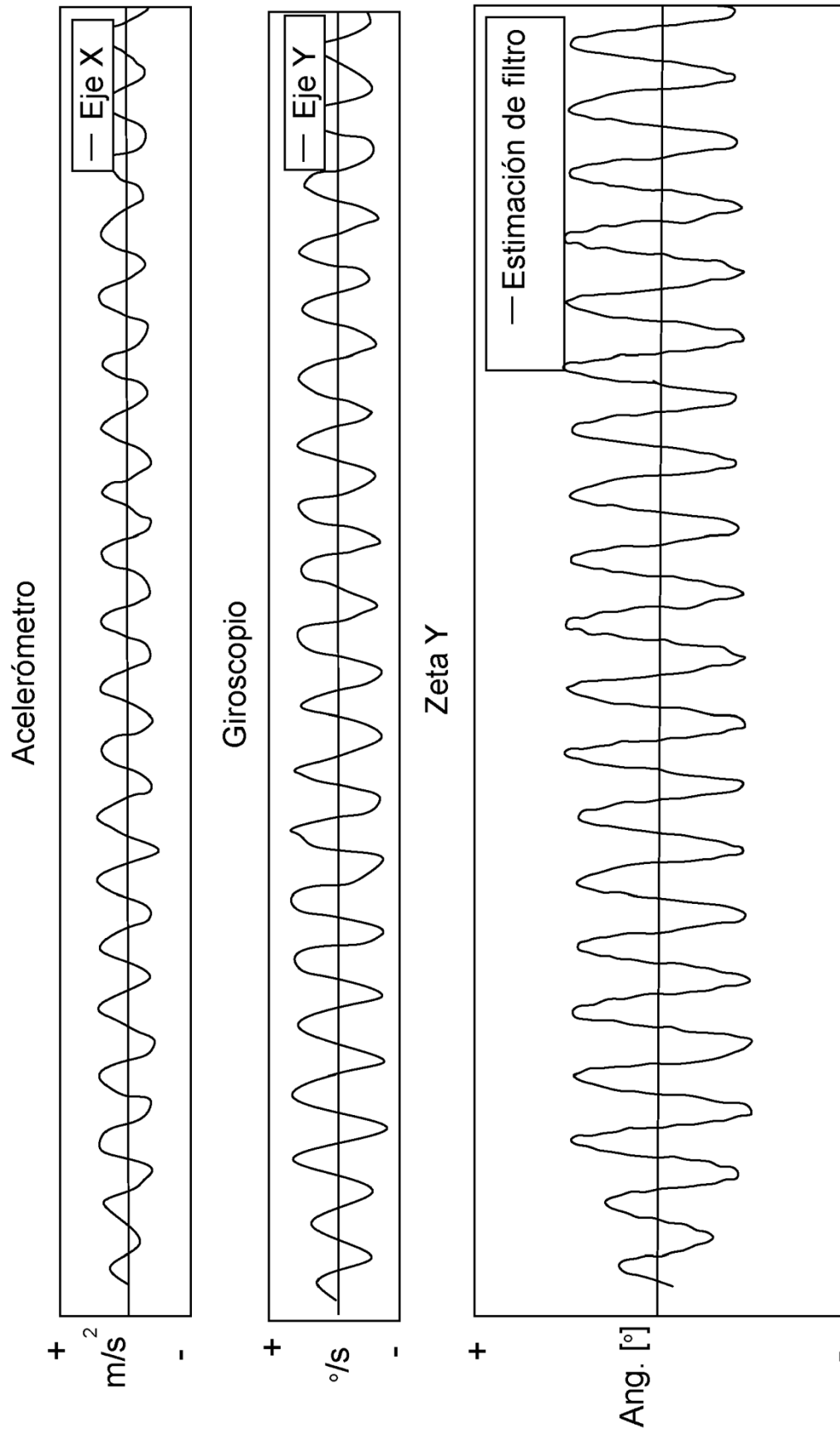


FIG. 6



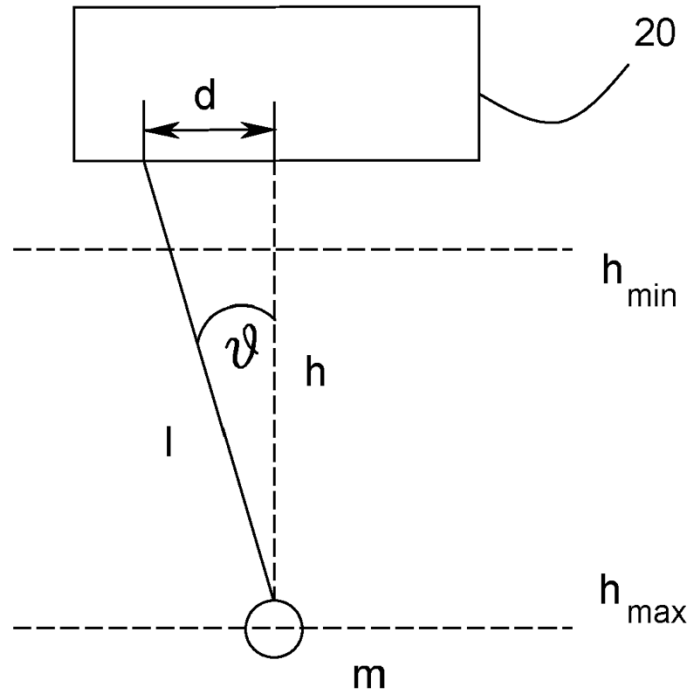


FIG. 7

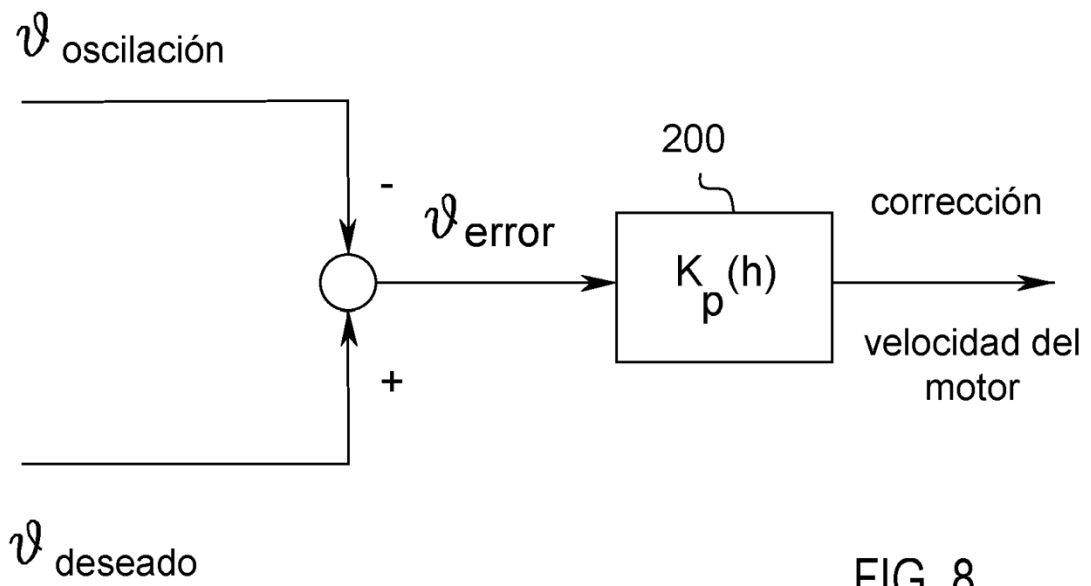


FIG. 8