

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 505**

51 Int. Cl.:

B66C 13/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.09.2010 E 10009567 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 2298687**

54 Título: **Sistema para detectar la masa de carga de una carga que se suspende en un cable de elevación de una grúa**

30 Prioridad:

16.09.2009 DE 102009041662

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

19.06.2017

73 Titular/es:

**LIEBHERR-WERK NENZING GMBH (100.0%)
Dr.-Hans-Liebherr-Strasse 1
6710 Nenzing, AT**

72 Inventor/es:

**SCHNEIDER, KLAUS, DR.;
AMANN, MARTIN;
SCHNELLER, MATHIAS;
SAWODNY, OLIVER, PROF., DR. y
KÜCHLER, SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 617 505 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema para detectar la masa de carga de una carga que se suspende en un cable de elevación de una grúa

5 La presente invención comprende un sistema para detectar la masa de carga de una carga que se suspende en un cable de elevación de una grúa, con una disposición de medición para medir la fuerza del cable en el cable de elevación y con una unidad de cálculo para determinar la masa de carga en base a la fuerza del cable.

Por la solicitud US 2002/144968 se conoce un sistema de esa clase.

10 La determinación exacta de la masa de carga de una carga elevada por una grúa es muy importante para una pluralidad de aplicaciones: por ejemplo, la masa de carga es importante para limitar el par de carga de la grúa, es decir, para la seguridad contra vuelcos y para proteger la estructura. Además, la masa de carga es relevante para el registro de datos en cuanto a la potencia de la grúa. En particular, a través de una determinación exacta de la masa de carga puede determinarse la carga útil total que se vuelca. Además, la masa de carga es muy importante como parámetro para otras tareas de control en la grúa, como por ejemplo para una atenuación de la pendulación de la carga.

15 Un método corriente para determinar la masa de carga consiste en la medición de la fuerza del cable en el cable de elevación. La fuerza del cable en el cable de elevación, al menos en un estado estático, corresponde esencialmente a la masa de carga.

20 La disposición de medición para medir la fuerza del cable puede disponerse directamente en el medio de recepción de la carga. La disposición mencionada en el medio de recepción de la carga ofrece la ventaja de que en ese caso sólo se encuentran presentes pocas influencias perjudiciales externas, de manera que puede alcanzarse una mayor precisión. Sin embargo, en esta solución se considera desventajosa la necesidad de un suministro de corriente y de una línea de señal correspondiente hacia el medio de recepción de la carga.

25 Otra posibilidad consiste en disponer una disposición de medición en un área de unión entre la estructura de la grúa y el cable de elevación, por ejemplo en una polea o en el mecanismo elevador. Lo mencionado ofrece la ventaja de que la disposición de medición puede realizarse muy robusta y el cableado es relativamente sencillo. No obstante, al disponer de ese modo la disposición de medición se considera como una desventaja el hecho de que otras influencias perjudiciales dificultan una determinación exacta de la masa de carga a partir de la fuerza del cable.

Es conocido el hecho de utilizar filtros intermedios para determinar la fuerza del cable. Por una parte, sin embargo, esto presenta la desventaja de que debe contarse con un retraso relativamente elevado en la emisión de la señal. Por otra parte, además, no puede eliminarse una pluralidad de influencias perjudiciales mediante un filtro intermedio.

30 Por lo tanto, el objeto de la presente invención consiste en proporcionar un sistema para detectar la masa de carga de una carga que se suspende en el cable de elevación de una grúa, el cual posibilite una determinación mejorada de la masa de carga en base a la fuerza del cable.

35 De acuerdo con la invención, dicho objeto se alcanzará a través de un sistema según la reivindicación 1. El sistema de acuerdo con la invención para detectar la masa de carga de una carga que se suspende en un cable de elevación de una grúa comprende una disposición de medición para medir la fuerza del cable en el cable de elevación y una unidad de cálculo para determinar la masa de carga en base a la fuerza del cable. De acuerdo con la invención, la unidad de cálculo presenta una unidad de compensación y un observador de masa de carga que se basa en un modelo de resorte -masa del cable y de la carga, donde la unidad de cálculo describe la influencia de la determinación indirecta de la masa de carga mediante el cable de elevación en un modelo dinámico, en base a ello calcula la masa de carga y la compensa al menos de forma parcial.

40 Por una parte, puede preverse que la unidad de compensación compense al menos parcialmente influencias estáticas de la determinación indirecta de la masa de carga mediante la fuerza del cable. Para ello, de acuerdo con la invención, las influencias estáticas de la determinación indirecta son modeladas y son compensadas a través de la unidad de compensación. Gracias a ello resulta una determinación considerablemente más precisa de la masa de carga, la cual no era posible en absoluto mediante filtros intermedios, ya que esas influencias estáticas no pueden eliminarse en absoluto.

45 De manera alternativa o adicional puede preverse que la unidad de compensación compense al menos parcialmente influencias dinámicas de la determinación indirecta de la masa de carga mediante la fuerza del cable. También se prevé que la unidad de compensación modele las influencias dinámicas y compense la masa de carga durante la determinación.

50

De manera ventajosa, de acuerdo, con la invención, se prevé que la unidad de compensación se base en un modelo físico del proceso de elevación, el cual modela las influencias estáticas y/o dinámicas de la determinación indirecta de la masa de carga mediante la fuerza del cable. A través de ese modelo, la unidad de compensación puede compensar al menos de forma parcial las influencias estáticas y/o dinámicas.

5 De manera ventajosa se prevé que la unidad de compensación opere en base a datos sobre la posición y/o el movimiento de la grúa. En particular, de manera ventajosa, en la unidad de compensación se consideran datos sobre la posición y/o el movimiento del mecanismo elevador, y/o datos sobre la posición y/o el movimiento del brazo y/o de la torre

10 El sistema de acuerdo con la invención se emplea en particular en grúas de brazo giratorio, en las cuales un brazo puede elevarse y balancearse hacia abajo alrededor de un eje basculante horizontal y, mediante una torre o una superestructura, puede rotar alrededor de un eje de rotación vertical.

15 De manera ventajosa se prevé que la disposición de medición se encuentre dispuesta en un elemento de unión entre un elemento de la estructura de la grúa y el cable de elevación, en particular en una polea o en el mecanismo elevador. De manera ventajosa, se prevé que la unidad de compensación compense al menos de forma parcial influencias estáticas y/o dinámicas de la disposición, de la disposición de medición. De manera ventajosa, la unidad de compensación modela las influencias de la disposición, de la disposición de medición, con respecto a la fuerza del cable.

20 De manera ventajosa, se prevé que la unidad de compensación comprenda una compensación de la masa del cable, la cual considera el peso propio del cable de elevación. El cable de elevación posee un peso propio que debe tomarse en cuenta, el cual, a través de la presente invención, ya no altera la determinación de la masa de carga. De manera ventajosa, la unidad de compensación, al calcular la masa de carga, considera la influencia de la modificación de la longitud del cable al elevar y/o bajar la carga. A través de la modificación de la longitud del cable, el peso propio del cable de elevación, dependiendo de la fase de elevación, posee una influencia diferente sobre la fuerza del cable. El sistema de acuerdo con la invención considera este hecho.

25 De manera ventajosa, el sistema se utiliza en un mecanismo elevador que comprende un cabrestante, donde el ángulo de rotación y/o la velocidad de rotación del cabrestante están incluidos como variables de entrada en la compensación de las masas del cable. En base al ángulo de rotación y/o a la velocidad de rotación puede determinarse la longitud de cable y/o la velocidad del cable y, de este modo, puede considerarse su influencia sobre la fuerza del cable al calcular la masa de carga.

30 De manera alternativa, la longitud del cable y/o la velocidad del cable pueden ser registradas también mediante un rodillo de medición. El mismo puede estar dispuesto por ejemplo separado en el cable o puede estar realizado como polea.

35 De manera ventajosa se prevé además que la compensación de la masa del cable considere el peso propio del cable de elevación enrollado en el cabrestante. Esto se considera ventajoso en particular cuando la disposición de medición para medir la fuerza del cable está dispuesta en el cabrestante de elevación, en particular en un soporte de torque del cabrestante de elevación, ya que el cable que se encuentra enrollado en el cabrestante se apoya sobre la disposición de medición, influenciando así los valores de medición.

40 De manera ventajosa se prevé además que la compensación de las masas del cable considere una longitud variable a través del movimiento de la estructura de la grúa y/o la alineación de secciones del cable de elevación. Esto es importante en particular en el caso de grúas en las cuales el cableado de elevación, durante un movimiento de la estructura de la grúa, en particular en el caso de un movimiento del brazo, se modifica en su longitud o alineación. Ése es el caso en particular cuando el cable no es guiado paralelamente con respecto al brazo en la grúa, sino que el cable adopta un ángulo con el brazo, el cual se modifica a través de un movimiento basculante hacia arriba y hacia abajo del brazo. Dependiendo de la posición de la estructura de la grúa, en particular del brazo, resultan así
45 diferentes longitudes y/o alineaciones de las secciones del cable de elevación, lo cual a su vez influye en la influencia del peso propio del cable de elevación en la señal de salida de la disposición de medición.

50 De manera ventajosa se prevé además que la unidad de compensación comprenda una compensación de poleas, la cual considera efectos de fricción a través de la desviación del cable de elevación alrededor de una o de varias poleas. De manera ventajosa, de este modo, se considera en particular como efecto de fricción el trabajo de flexión requerido para desviar el cable de elevación. De manera alternativa o adicional, puede considerarse también la fricción de los rodillos en las poleas.

De manera ventajosa se prevé que la compensación de poleas considere la dirección de rotación y/o la velocidad de rotación de las poleas. En particular la dirección de rotación posee una influencia considerable sobre la fuerza del cable.

5 De manera ventajosa, la compensación de poleas calcula la dirección de rotación y/o la velocidad de rotación de las poleas, condicionadas por el movimiento de la estructura de la grúa y por el movimiento del mecanismo elevador. En particular en el caso de desviaciones múltiples del cable de elevación entre la torre y el brazo pueden resultar aquí patrones de movimiento complicados, los cuales actúan de forma correspondiente sobre la señal de salida de la disposición de medición.

De manera ventajosa, la compensación de poleas determina los efectos de fricción en función de la fuerza del cable medida. La fuerza del cable posee una influencia determinante sobre los efectos de fricción. De manera ventajosa, los efectos de fricción se determinan en base a una función lineal de la fuerza del cable medida, puesto que una función lineal representa una aproximación relativamente buena de la situación física.

10 De manera ventajosa, en el sistema de acuerdo con la invención se prevé además que la unidad de compensación, al determinar la masa de carga, considere la influencia de la aceleración de la masa de carga y/o del mecanismo elevador en la fuerza del cable. La aceleración de la masa de carga y/o del mecanismo elevador genera un componente dinámico de la fuerza del cable, el cual se compensa al menos de forma parcial a través de la compensación de acuerdo con la invención. De este modo, la unidad de compensación opera ventajosamente en base a un modelo físico que describe la influencia de la aceleración de la masa de carga y/o del mecanismo elevador en la fuerza del cable.

15 De manera ventajosa se prevé además que la unidad de cálculo, al determinar la masa de carga, considere la dinámica de oscilación que se produce debido a la extensibilidad del cable de elevación. De manera adicional con respecto a las aceleraciones que son causadas por las aceleraciones inducidas mediante el mecanismo elevador, el sistema compuesto por cable y carga presenta además una dinámica de oscilación que se produce debido a la extensibilidad del cable de elevación. De manera ventajosa, la unidad de compensación compensa al menos de forma parcial esa dinámica de oscilación. Ventajosamente, la unidad de compensación para la compensación de la dinámica de oscilación se basa en un modelo físico.

20 De acuerdo con la presente invención, la unidad de cálculo del sistema de acuerdo con la invención comprende un observador de la masa de carga, el cual se basa en un modelo de resorte - masa del cable y de la carga. De manera ventajosa, en el modelo se describe como masa la carga propiamente dicha, así como la masa del medio de recepción de la carga y el medio de tope. Como resorte, en el modelo se considera en cambio el cable entre el cabrestante y el medio de recepción de la carga.

25 De manera ventajosa, el observador de masas de carga compara constantemente la fuerza del cable medida con la fuerza del cable prevista mediante el modelo de resorte - masa en base a la fuerza del cable medida previamente. En base a dicha comparación, el observador de masas de carga estima la masa de carga de la carga que considera como parámetros el modelo de resorte - masa del cable y la carga. Gracias a ello, la masa de carga puede determinarse con mayor precisión, compensando influencias dinámicas.

30 De manera ventajosa, el observador de masas de carga considera los ruidos de medición de las señales de medición. De manera ventajosa se utiliza para ello un ruido blanco de medio cero.

35 De manera ventajosa, como señales de medición, junto con la señal de salida de la disposición de medición se consideran aun datos sobre la longitud del cable, para determinar la fuerza del cable. De manera ventajosa, como parámetro del observador de masas de carga se utiliza una fuerza estándar con respecto a la carga máxima admisible.

40 La presente invención comprende además una grúa con un sistema para detectar la masa de carga de una carga que se suspende en un cable de elevación, tal como se explicó anteriormente. La grúa se trata en particular de una grúa de brazo, donde el brazo puede realizar un movimiento basculante hacia arriba y hacia abajo alrededor de un eje basculante horizontal. Asimismo, de manera ventajosa, la grúa puede rotar alrededor de un eje de rotación vertical. En particular, el brazo se encuentra articulado en una torre, la cual puede rotar alrededor de un eje de rotación vertical con respecto a una estructura inferior. En particular, la grúa puede tratarse de una grúa portuaria móvil. El sistema de acuerdo con la invención puede utilizarse igualmente también en otros tipos de grúa, por ejemplo en puentes - grúa o grúas giratorias de torre.

45 De manera ventajosa, el sistema se utiliza en una grúa en la cual la disposición de medición para medir la fuerza del cable está dispuesta en un elemento de unión entre un elemento de la estructura de la grúa y el cable de elevación, en particular en una polea o en el mecanismo elevador. Gracias a ello resulta una disposición muy robusta, a través de la cual el sistema de acuerdo con la invención posibilita además una determinación exacta de la masa de carga.

50 A través del sistema de acuerdo con la invención son posibles además una pluralidad de aplicaciones, las cuales no podían realizarse con los sistemas imprecisos conocidos. Por ejemplo, puede preverse una detección de un cable flojo, en donde en base al sistema de acuerdo con la invención se detecta que la carga fue bajada. Después de ello

se aplica una desconexión inmediata del mecanismo elevado, la cual impide daños en el cable, a través de cables desenrollados. Debido a ello, eventualmente pueden suprimirse interruptores mecánicos para cables flojos. Además, una detección de cargas muy pequeñas es igualmente posible, por ejemplo de contenedores vacíos.

5 Además, en comparación con los filtros intermedios, el sistema de acuerdo con la invención presenta la gran ventaja de que la masa de carga puede determinarse sin un retardo mayor. Debido a ello resulta un traspaso más elevado, ya que se presentan menos detenciones cuando la señal de masa de carga se utiliza para limitar el par de carga. Se prolonga además la vida útil de la grúa, puesto que la limitación del par de carga puede realizarse sin un retardo temporal mayor.

10 Junto con el sistema y la grúa, la presente invención comprende además un método para detectar la masa de carga de una carga que se suspende en el cable de elevación, con un sistema de esa clase, con los pasos:

Medición de la fuerza del cable en el cable de elevación; cálculo de la masa de carga en base a la fuerza del cable, donde la influencia de la determinación de la masa de carga se describe mediante la fuerza del cable en un modelo y se compensa al menos de forma parcial.

15 En particular, la compensación tiene lugar en base a un modelo de las influencias estáticas y/o dinámicas de esa determinación. Debido a ello pueden calcularse las influencias y pueden ser compensadas al menos de forma parcial por la unidad de compensación.

De manera ventajosa, el método de acuerdo con la invención tiene lugar del modo que se representó anteriormente con respecto al sistema y a la grúa. En particular, el método de acuerdo con la invención tiene lugar mediante un sistema como el que se representó más arriba.

20 La presente invención se explica a continuación en detalle mediante ejemplos de ejecución, así como de dibujos correspondientes.

Las figuras muestran:

Figura 1: un ejemplo de ejecución de una grúa de acuerdo con la invención;

25 Figura 2: una representación esquemática de un ejemplo de ejecución de un sistema y un método de acuerdo con la invención;

Figuras 3a y 3b: la disposición de una disposición de medición en el cabrestante de elevación;

Figura 4: la disposición de una disposición de medición en el cabrestante de elevación y el guiado del cable de elevación mediante poleas;

Figura 5: una representación de las fuerzas consideradas en la compensación de poleas;

30 Figura 6: una representación de las fuerzas consideradas en la compensación de masas del cable;

Figura 7: una representación básica del modelo de masa - resorte, basado en el observador de masas del cable de acuerdo con la invención; y

Figura 8: una representación esquemática de un ejemplo de ejecución de un observador de masas del cable de acuerdo con la invención.

35 La figura 1 muestra un ejemplo de ejecución de una grúa de acuerdo con la invención, en donde se utiliza un ejemplo de ejecución de un sistema de acuerdo con la invención para detectar la masa de carga de la carga que se suspende en el cable de la grúa. En el ejemplo de ejecución, la grúa se trata de una grúa portuaria móvil. La grúa presenta una estructura inferior 1 con un chasis 9. De este modo la grúa puede desplazarse en el puerto. En el lugar de elevación la grúa puede ser soportada mediante unidades soporte 10.

40 Sobre la estructura inferior 1 se encuentra dispuesta una torre 2 que puede girar alrededor de un eje de rotación vertical. En la torre 2 un brazo 5 se encuentra articulado alrededor de un eje horizontal. El brazo 5 puede realizar un movimiento pivotante hacia arriba y hacia abajo en el plano de basculación mediante el cilindro hidráulico 7.

45 La grúa presenta un cable de elevación 4 que es conducido alrededor de una polea 11 en la punta del brazo. En el extremo del cable de elevación 4 se encuentra dispuesto un medio de recepción de la carga 12, mediante el cual puede ser recogida una carga 3. El medio de recepción de la carga 12, así como la carga 3, son elevados o

descendidos a través del movimiento del cable de elevación 4. La modificación de la posición del medio de recepción de la carga 12, así como de la carga 3, en dirección vertical, se efectúa reduciendo o agrandando la longitud l_s del cable de elevación 4. Se proporciona para ello un cabrestante 13 que desplaza el cable de elevación. El cabrestante 13 se encuentra dispuesto en la estructura superior. Además, el cable de elevación 4 es conducido primero desde el cabrestante 13, mediante una primera polea 6 en la punta de la torre 2, hacia una primera polea 14 en la punta del brazo 5, y desde allí es conducido nuevamente hacia la torre 2, donde mediante una segunda polea 8 es conducido hacia una polea 11 en la punta del brazo, desde donde el cable de elevación se extiende hacia abajo, hacia la carga 3.

El medio de recepción de la carga 12, así como la carga, pueden ser desplazados además a través de la rotación de la torre 2 alrededor del ángulo ϕ_D y a través del movimiento basculante hacia arriba y hacia abajo del brazo 5 alrededor del ángulo ϕ_A en la dirección horizontal. A través de la disposición del cabrestante 13 en la estructura superior, al realizar el brazo 5 el movimiento basculante hacia arriba y hacia abajo, de forma adicional con respecto al movimiento de la carga en dirección radial, se produce un movimiento de elevación de la carga 3. Dicho movimiento debe ser compensado igualmente a través de una activación correspondiente del cabrestante 13.

La figura 2 muestra un ejemplo de ejecución de un sistema de acuerdo con la invención para detectar la masa de carga de una carga que se suspende en un cable de elevación de una grúa. Como variable de entrada del sistema se utiliza la señal 20 que es generada por una disposición de medición para medir la fuerza del cable en el cable de elevación. Dicha señal es suministrada a la unidad de cálculo 26 de acuerdo con la invención, para determinar la masa de carga. Como señal de salida 24, la unidad de cálculo 28 proporciona la masa de carga exacta. La unidad de cálculo presenta una unidad de compensación que, mediante la fuerza del cable, compensa al menos parcialmente las influencias de la determinación indirecta de la masa de carga. La unidad de compensación calcula las influencias en base a datos relativos al estado de la grúa, los cuales son transmitidos desde la unidad de estado de la grúa 25 hacia la unidad de cálculo 26. En particular, en la unidad de cálculo se utiliza el ángulo de rotación o de basculación, o la velocidad de rotación o de basculación del brazo. Además, en la unidad de cálculo pueden considerarse la longitud del cable y/o la velocidad del cable, donde en particular éstas se determinan mediante la posición y/o la velocidad del cabrestante de elevación 13.

La unidad de compensación se basa en un modelo físico del sistema de elevación, a través del cual pueden calcularse las influencias de los componentes individuales del sistema de elevación en cuanto a la fuerza del cable y a la masa de carga. Gracias a ello, la unidad de compensación puede calcular esas influencias y compensarlas al menos de forma parcial.

En el ejemplo de ejecución, la unidad de compensación comprende tres componentes, los cuales sin embargo podrían utilizarse también de forma independiente unos de otros. La unidad de compensación comprende en primer lugar una compensación de poleas 21 que compensa la fricción del cable en las poleas. Además, la unidad de compensación comprende una compensación de masas del cable que compensa la influencia del peso del cable en la fuerza del cable y, con ello, en la masa de carga. La unidad de compensación comprende además un observador de las masas de carga 23 que considera interferencias dinámicas de la señal debido a la aceleración de la masa de carga, así como del mecanismo elevador, y en particular aquellas que se producen debido a la dinámica propia del sistema formado por el cable de elevación y la carga.

A continuación se representan de forma separada, con mayor detalle, los componentes del sistema de acuerdo con la invención:

En las figuras 3a y 3b se representa el cabrestante de elevación de la grúa de acuerdo con la invención, en el cual se encuentra dispuesta una disposición de medición 34 para medir la fuerza del cable. El cabrestante de elevación 30 se encuentra montado en dos elementos del bastidor 31 y 35, de modo que puede rotar alrededor de un eje de rotación 32. En el elemento del bastidor 31 se encuentra montada la disposición de medición de fuerza 34 como soporte de torques. El elemento del bastidor 31 se encuentra articulado en la grúa alrededor del eje 33. Sobre el lado opuesto, el elemento del bastidor 31 se encuentra articulado en la grúa mediante la disposición de medición de la fuerza 34. La disposición de medición de la fuerza 34 está realizada en forma de una barra y, mediante pernos 36 se encuentra unida con el elemento de bastidor 31 y, mediante pernos 37, se encuentra unida con la grúa. Como disposición de medición de la fuerza 34 se utiliza una celda de carga de tensión (TLC), es decir, una brida de medición de fuerza. De manera alternativa, como disposición de medición de la fuerza podrían utilizarse también un perno de medición de fuerza o una celda de presión.

A través de la disposición de la disposición de medición de la fuerza 34 entre la estructura de la grúa y el cabrestante, la fuerza del cable F_S actúa primero sobre el cabrestante y, mediante el bastidor del cabrestante, actúa sobre la disposición de medición de la fuerza, en la cual, a través de la fuerza del cable F_S se produce una fuerza F_{TLC} .

Para calcular la fuerza del cable F_S a partir de la fuerza F_{TLC} medida a través de la disposición de medición de la fuerza 34 debe considerarse la geometría de la disposición, de la disposición de medición de la fuerza 34, en el

cabrestante. Debe considerarse también la masa del cabrestante en sí misma, la cual es soportada en la disposición de medición de la fuerza 34, contrarrestando así la fuerza del cable.

5 Debe considerarse además eventualmente que la disposición de medición de la fuerza 34, tal como se muestra en la figura 3b, se encuentra dispuesta sólo en uno de los dos elementos del bastidor 31 y 35. De este modo, el elemento del bastidor 35 se encuentra unido de forma fija mediante pernos con la estructura de la grúa. En ese elemento del bastidor 35 se encuentra dispuesto el accionamiento para el cabrestante de elevación.

El principio de la medición de la masa de carga mediante la fuerza del cable, así como mediante la fuerza que es medida por la disposición de medición 34, así como las fuerzas que se presentan, se representan a modo de resumen nuevamente en la figura 4.

10 El cable de elevación 4 se extiende desde el cabrestante 30 mediante poleas 6, 14 y 8, hacia la polea 11 en la punta del mecanismo elevador, desde donde el cable de elevación 4 es guiado hacia la carga 3. De este modo, la masa de la carga 3 genera una fuerza en el cable de elevación, la cual coloca el cable de elevación en el cabrestante 30. El cabrestante 30 está articulado en un bastidor del cabrestante, cargándolo al mismo con una fuerza correspondiente. Debido a ello, una fuerza F_{TLC} es aplicada en la disposición de medición de la fuerza 34, la cual une el elemento del
15 bastidor 31, del bastidor del cabrestante, con la estructura de la grúa. A través de las relaciones geométricas entre el cable de elevación, el cabrestante de elevación, el bastidor del cabrestante y la disposición de medición de la fuerza puede inferirse así la masa de la carga a partir de la fuerza medida a través de la disposición de medición de la fuerza 34.

20 A través de la disposición de la disposición de medición en un elemento de unión entre la estructura de la grúa y el cable de elevación se producen sin embargo una serie de influencias que, sin una compensación, conducirían a imprecisiones considerables durante la determinación de la masa de carga. Por lo tanto, la unidad de cálculo de acuerdo con la invención presenta una unidad de compensación correspondiente que compensa las influencias mencionadas.

25 De este modo, en primer lugar, mediante la figura 5 se describirá en detalle la compensación de poleas de acuerdo con la invención, a través de la cual son compensados efectos de fricción en las poleas. El cable de elevación se encuentra articulado respectivamente en un ángulo determinado en las poleas 6, 14, 8 y 11. Debido a ello se producen una serie de influencias de fricción en la fuerza del cable. De este modo, en cada polea se produce una fuerza de fricción que, dependiendo de la situación, en particular según la dirección de rotación de la polea, aumenta o disminuye la fuerza medida a través de la disposición de medición.

30 De este modo se produce en primer lugar una fricción del rodillo en el cojinete de la polea, la cual se determina conforme a la curva de Striebeck. La fricción del rodillo mencionada, sin embargo, es relativamente reducida y, por lo tanto, puede no ser tenida en cuenta. La inclinación angular del cable de elevación en las poleas posee la mayor influencia. El cable de elevación, tanto al ingresar como al salir de la polea, se encuentra expuesto a una deformación que requiere un trabajo de deformación correspondiente. La magnitud de esa fricción que se produce
35 debido a la deformación del cable de elevación en las poleas es determinada esencialmente a través del radio de las poleas, así como a través de la fuerza del cable.

40 En base a mediciones se ha comprobado que la fricción total en cada polea se extiende esencialmente de forma lineal con respecto a la fuerza del cable. En cambio, la velocidad angular de las poleas sólo ejerce una influencia muy reducida sobre la fricción. Debe considerarse sin embargo que la fricción en cada polea, dependiendo de la dirección de rotación de la polea, debe sumarse a la fuerza del cable medida o debe sustraerse de la misma. Al elevarse la carga, la fuerza de fricción de las poleas actúa en contra de la fuerza de elevación generada a través del cabrestante de elevación, de manera que la fuerza del cable medida aumenta en las fuerzas de fricción. Al bajar la carga a través del mecanismo elevador se reduce en cambio la fuerza del cable medida en una cantidad correspondiente.

45 Debe tenerse en cuenta además que el cable de elevación es guiado de un lado hacia otro entre la punta de la torre y la punta del brazo, donde las dos poleas 6 y 8 están dispuestas en la punta de la torre y las dos poleas 14 y 11 están dispuestas en la punta del brazo. Por consiguiente, durante el movimiento basculante hacia arriba y hacia abajo del brazo se produce igualmente un movimiento de las poleas 8, 11 y 14, mientras que la polea 6 no se desplaza sin un movimiento del mecanismo elevador. De manera correspondiente, durante el movimiento basculante
50 hacia arriba y hacia abajo del brazo se produce una fuerza de fricción que esencialmente corresponde en % a la fuerza de fricción al elevar y bajar la carga mediante el mecanismo elevador.

55 La unidad de compensación de acuerdo con la invención compensa así las influencias que se producen a través de la fricción en las poleas. Para ello, la unidad de compensación determina respectivamente la dirección de rotación de las poleas en base a la posición y/o al movimiento del mecanismo elevador, así como del brazo. Debe considerarse que, en el caso de un movimiento combinado del mecanismo elevador y del brazo, pueden producirse patrones de

movimiento muy complejos, de manera que no todas las poleas se consideran con el mismo signo en la fuerza del cable. Por lo tanto, la compensación de poleas tiene lugar ventajosamente en base a la velocidad del cabrestante y a la velocidad de rotación del brazo.

5 La unidad de cálculo de acuerdo con la invención comprende además una compensación de las masas de carga, la cual se representa en detalle mediante la figura 6. Del modo antes descrito, al calcular la fuerza del cable a partir de la señal de medición de la disposición de medición 34 debe considerarse en primer lugar el peso F_w 36 del cabrestante, la cual es soportada en la disposición de medición de la fuerza 34. Sin embargo, de manera adicional, sobre el cabrestante se encuentra enrollado el cable de elevación, al menos de forma parcial. La masa del cable de elevación que está enrollado sobre el cabrestante, es soportada igualmente en la disposición de medición de la fuerza 34. Por lo tanto debe considerarse también el peso F_{RW} 37 del cable de elevación enrollado sobre el cabrestante. El peso mencionado puede determinarse por ejemplo en base al ángulo de rotación del cabrestante de elevación.

15 Además, las masas de las secciones del cable individuales entre las poleas tienen también una influencia sobre la fuerza del cable y, con ello, sobre la determinación de la masa de carga. De este modo, las secciones del cable 41 y 42; a través de la masa del cable, aumentan la fuerza del cable medida, mientras que las secciones del cable 43, 44 y 45 reducen la fuerza del cable medida. En el cálculo de esa influencia debe considerarse respectivamente la longitud, así como el ángulo de las secciones del cable con respecto a las horizontales. Lo mencionado debe considerarse, de manera que sólo para la sección del cable 45 se encuentran presentes una longitud constante y un ángulo constante. En cambio, la sección 41 se modifica en su longitud a través del ascenso y el descenso de la carga. Las secciones 42 - 44 se modifican a su vez a través del movimiento basculante hacia arriba y hacia abajo del brazo, tanto en su longitud, como también en su rotación. La compensación de las masas del cable, por tanto, tiene lugar en base a la posición del brazo, así como del cabrestante de elevación.

25 De este modo, la compensación de las poleas y la compensación de las masas del cable compensan esencialmente la influencia de la disposición de la disposición de medición en el cabrestante de elevación. De manera alternativa con respecto a la disposición de la disposición de medición en el cabrestante de elevación es igualmente posible integrar una disposición de medición en una de las poleas, en particular en la polea 8, en la punta del brazo. En esa disposición de la disposición de medición, la compensación tiene lugar nuevamente según los principios representados, donde sin embargo los efectos de fricción, así como las influencias de la masa del cable deben adecuarse de forma correspondiente a la fuerza medida a través de la otra disposición de la disposición de medición.

35 El sistema de acuerdo con la invención considera no sólo las influencias sistemáticas que posee la disposición de la disposición de medición en un elemento de unión entre la estructura de la grúa y el cable de elevación sobre la determinación de la masa de carga, sino que compensa también efectos dinámicos debido a la aceleración de la masa de carga y/o del mecanismo elevador, y a la extensibilidad del cable de elevación.

40 A través de la elasticidad del cable de elevación, el sistema formado por el cable de elevación y la carga conforma esencialmente un péndulo de resorte - masa que es activado a través del mecanismo elevador. Debido a ello se producen vibraciones que se superponen a la parte estática de la señal de fuerza del cable, la cual corresponde a la masa de carga. El observador de las masas de carga se basa en un modelo físico del sistema de resorte - masa formado por el cable de elevación y la carga. El modelo se representa esquemáticamente en la figura 7. A través de la comparación de la fuerza del cable que resulta en base a dicho modelo con la fuerza del cable medida, el observador de las masas de carga 23 estima la masa de carga exacta que se considera como parámetro en el modelo físico.

Un ejemplo de ejecución del observador de las masas de carga de acuerdo con la invención, el cual se implementa como filtro de Kalman (EFK) ampliado, se representa a continuación en detalle:

45 2 Modelización - línea del mecanismo elevador

En el siguiente párrafo se desarrolla el modelo dinámico para la línea del mecanismo elevador. La ilustración 1 muestra la estructura completa de una grúa portuaria móvil (LHM). La carga con la masa m_l es elevada desde la grúa con el medio de recepción de la carga y , mediante el cable, con la longitud total l_s , es unida al cabrestante de elevación. El cable es desviado desde el medio de recepción de la carga mediante una polea en la parte superior del brazo y en la torre. Debe tenerse en cuenta que el cable no es desviado directamente desde la parte superior del brazo hacia el cabrestante de elevación, sino que desde la parte superior del brazo es desviado hacia la torre, de regreso hacia la parte superior del brazo y después, mediante la torre, es desviado hacia el cabrestante de elevación (véase la ilustración 1). De este modo resulta la longitud total del cable

$$l_s(t) = l_1(t) + 3l_2(t) + l_3(t),$$

donde l_1 , l_2 y l_3 son las longitudes parciales desde el cabestrante de elevación hacia la torre, desde la torre hacia la parte superior del brazo y desde la parte superior del brazo hacia el medio de recepción de la carga. La línea del mecanismo elevador, compuesta por el cabestrante de elevación y la masa de carga, se modela a continuación de forma simplificada como sistema de resorte - masa y se representa en la ilustración 7.

- 5 Según la Ley del movimiento de Newton, resulta de este modo la ecuación de movimiento para el sistema de atenuación de resorte - masa

$$m_l \ddot{z}(t) = m_l g - \underbrace{(c(z(t) - l_s(t)) + d(\dot{z}(t) - \dot{l}_s(t)))}_{F_c} \quad (2)$$

- 10 con la aceleración de la tierra g , la constante del resorte c , la constante de atenuación d , la posición de la carga z , la velocidad de la carga \dot{z} y la aceleración de la carga \ddot{z} . La velocidad del cable \dot{l}_s resulta de la velocidad del cabrestante $\dot{\phi}_w$ y del radio del cabrestante r_w , donde

$$\dot{l}_s(t) = r_w \dot{\phi}_w(t). \quad (3)$$

La rigidez del resorte c_s de un cable de la longitud l_s , mediante la Ley de Hooke puede calcularse de modo que

$$c_s = \frac{E_s A_s}{l_s} \quad (4)$$

- 15 En este caso E_s y A_s son el módulo de elasticidad y la superficie de la sección transversal del cable. Puesto que en la grúa portuaria móvil n_s cables paralelos elevan la carga (véase la ilustración 1), la rigidez del resorte c de la línea del mecanismo elevador resulta en

$$c = n_s c_s. \quad (5)$$

La constante de atenuación d de la línea del mecanismo elevador está dada a través de

$$d = 2D\sqrt{cm_l} \quad (6)$$

- 20 donde D representa la característica de atenuación de Lehr del cable.

Puesto que la función principal del observador de masas de carga consiste en la estimación de la masa de carga actual, para la masa de carga debe deducirse una ecuación dinámica. Dentro de ese trabajo, la masa de carga m_l se modela como proceso de caminata aleatoria, es decir que m_l es perturbada a través de un ruido blanco, de medio cero, aditivo. De este modo, para la masa de carga resulta la siguiente ecuación dinámica

$$25 \quad \dot{m}_l = \gamma_l, \quad (7)$$

donde γ_l

l representa un ruido blanco de medio cero.

3 Diseño del observador

- 30 En este párrafo se desarrolla un observador en base a EKF [3]. Debe tenerse en cuenta que los rangos de valores de las variables individuales son muy diferentes. De este modo, la longitud del cable l_s y la posición de la carga z se ubican generalmente entre 100 m y 200 m, la velocidad del cable \dot{l}_s y la velocidad de la carga \dot{z} entre $0 \frac{m}{s}$ y $2.2 \frac{m}{s}$ la masa de carga entre 0 kg y 150×10^3 kg. Además, los dos parámetros E_s y A_s poseen también rangos de valores muy diferentes. Los rangos de valores diferentes mencionados pueden conducir a problemas numéricos durante la

estimación en línea del observador. Para evitar esos problemas numéricos se introduce un nuevo parámetro para el diseño del observador

$$a_{hw} = \frac{E_s A_s n_s}{m_{max}} \quad (8)$$

donde m_{max} es la carga de elevación máxima admisible para el respectivo tipo de grúa. Además, en el observador no se utiliza directamente la masa de carga m_l , sino la masa de carga estándar $\frac{m_l}{m_{max}}$.

Mediante un codificador incremental se mide en la grúa la posición del cabrestante ϕ_w y se calcula la velocidad del cabrestante $\dot{\phi}_w$. Un sensor de medición de fuerza proporciona la fuerza del cable F_w medida en el cabrestante. A partir de la posición y la velocidad del cabrestante, mediante la ecuación (3), pueden calcularse la longitud y la velocidad del cable. En la fuerza del cable medida en el cabrestante F_w debe tenerse en cuenta que aquí no sólo se mide la fuerza en base a la masa de carga, sino también las influencias de fricción de las poleas y el peso propio del cable. Sin embargo, esas influencias perjudiciales pueden remediarse a través de un algoritmo de compensación y la fuerza elástica actual F_c (véase la ecuación (2)) puede calcularse en base a la fuerza del cable medida en el cabrestante F_w .

Para un diseño del observador deben definirse primero las variables de entrada u y las variables de salida (o variables de medición) y del sistema. Para el problema que se presenta aquí, como única entrada del sistema se selecciona la velocidad del cable l_s . Como variables de salida se seleccionan la longitud del cable l_s y la fuerza elástica estándar $\frac{F_c}{m_{max}}$. Con el vector de estado $\mathbf{x} = \left[l_s, z, \dot{z}, \frac{m_l}{m_{max}} \right]^T$, el modelo dinámico compuesto por las ecuaciones (2), (4), (5), (6), (7) y (8), puede transformarse en el espacio de estados.

[0075] El sistema resultante de ecuaciones diferenciales de primer orden indica

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}, u), & \mathbf{x}(0) &= \mathbf{x}_0, \\ \mathbf{y} &= \mathbf{h}(\mathbf{x}, u), & t &\geq 0, \end{aligned} \quad (9)$$

donde

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} u \\ x_3 \\ g - a_{hw} \frac{x_2 - x_1}{x_1 x_4} - 2D \sqrt{a_{hw} \frac{x_2 - u}{sqr(x_1 x_4)}} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} x_1 \\ a_{hw} \frac{x_2 - x_1}{x_1} + 2D \sqrt{a_{hw} \frac{x_1}{x_1}} (x_3 - u) \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$u = l_s. \quad (12)$$

Del modo antes mencionado, el observador se realiza como EKF. El EKF es un observador para sistemas no lineales, de temporización discreta, el cual en cada paso temporal reduce al mínimo la covarianza de errores del error de estimación $\hat{\mathbf{x}}_k - \mathbf{x}_k$ [3]

$$\mathbf{P}_k = E \left[(\hat{\mathbf{x}}_k - \mathbf{x}_k) (\hat{\mathbf{x}}_k - \mathbf{x}_k)^T \right] \quad (13)$$

donde $\hat{\mathbf{x}}_k$ representa el estado actualmente estimado. En la ecuación (13) y a continuación es válido $[\bullet]_k = [\bullet](k\Delta t)$ con la frecuencia de muestreo discreta Δt . Puesto que la representación del espacio de estados (9) representa sin embargo un sistema continuo, el sistema antes descrito se discretiza a continuación con el método de Euler [2].

Para la estimación del estado, el EKF ejecuta en cada paso temporal un paso de predicción y un paso de corrección. Dentro del paso de predicción se predice el estado hacia el siguiente paso temporal, en base al sistema de ecuaciones (9)

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}}_k^- &= \hat{\mathbf{x}}_{k-1} + \Delta t \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}_{k-1}, u_k), \\ \hat{\mathbf{y}}_k^- &= \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}_k^-, u_k).\end{aligned}\tag{14}$$

5 Junto con los estados del sistema, dentro del paso de predicción se predice también la matriz de varianza de errores

$$\mathbf{P}_k^- = \mathbf{A}_k \mathbf{P}_{k-1} \mathbf{A}_k^T + \mathbf{Q}_k,\tag{15}$$

donde \mathbf{P}_{k-1} es la matriz de varianza de errores con respecto al paso temporal $(k - 1)\Delta t$, \mathbf{A}_k es la matriz de transición del sistema linealizado en el estado actual y \mathbf{Q}_k es la matriz de covarianza de temporización discreta del ruido del sistema. \mathbf{A}_k se calcula aproximadamente a través de la serie de Taylor de la función exponencial de la matriz con respecto a un primer miembro

10

$$\mathbf{A}_k = \mathbf{I} + \left. \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{x}, u_k)}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\mathbf{x}=\hat{\mathbf{x}}_k^-},\tag{16}$$

La figura 8 muestra una vez más el ejemplo de ejecución del observador de masas de carga en un diagrama de bloques. Como señales de medición, junto con la fuerza F_w medida en el cabrestante, se considera la longitud del cable de elevación l_s en el observador de masas de carga. La fuerza medida se representa tal como se describió anteriormente, compensada primero en cuanto al peso del cable y a los efectos de fricción, y normalizada con la masa de carga máxima admisible m_{max} . El observador de masas de carga estima entonces como x_4 la masa de carga normalizada que, de manera correspondiente, a través de multiplicación con m_{max} , convierte nuevamente la masa de carga m_l . Además, el observador de masas de carga estima también la longitud del cable l_s , la posición de la carga z y la velocidad de la carga \dot{z} , las cuales igualmente pueden emplearse con el fin de un control.

15

20

25

La presente invención posibilita una determinación exacta de la masa de carga, en donde se consideran tanto los efectos de la disposición de la disposición de medición para medir la fuerza del cable mediante un elemento de unión entre la estructura de la grúa y el cable de elevación, como por ejemplo en un soporte de torques del cabrestante de elevación o de una polea, así como también efectos dinámicos que se producen a través de la extensibilidad del cable de elevación. La masa de carga puede emplearse para tareas de control o para la evaluación de datos. En particular, la masa de carga para cada elevación puede almacenarse en una unidad de memoria, por ejemplo en una base de datos, evaluándose de esa manera.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para detectar la masa de carga de una carga (3) que se suspende en un cable de elevación (4) de una grúa, el cual comprende:
- una disposición de medición para medir la fuerza del cable en el cable de elevación (4), y
- 5 una unidad de cálculo (26) para determinar la masa de carga en base a la fuerza del cable, caracterizado porque,
- la unidad de cálculo (26) presenta una unidad de compensación y un observador de masa de carga que se basa en un modelo de resorte -masa del cable (4) y de la carga (3), donde la unidad de cálculo (26) describe la influencia de la determinación indirecta de la masa de carga mediante el cable de elevación en un modelo dinámico, en base a
- 10 ello calcula la masa de carga y la compensa al menos de forma parcial.
2. Sistema según la reivindicación 1, donde la unidad de compensación opera en base a datos sobre la posición y/o el movimiento de la grúa, en particular en base a datos sobre la posición y/o el movimiento del mecanismo elevador, y/o en base a datos sobre la posición y/o el movimiento del brazo (5) y/o de la torre (2).
3. Sistema según la reivindicación 1 ó 2 para una grúa con un mecanismo elevador para elevar y bajar la carga (3) que se suspende en el cable de elevación de la grúa, donde el cable de elevación (4) es guiado desde la disposición de medición, mediante al menos una polea de la grúa, hacia la carga (3), y/o donde la disposición de medición para medir la fuerza del cable en el cable de elevación está dispuesta en una polea o en el mecanismo elevador, donde la unidad de compensación (26) compensa al menos parcialmente la influencia de la disposición, de la disposición de medición, sobre la masa de carga resultante.
- 15 4. Sistema según la reivindicación 3, donde la unidad de compensación comprende una compensación de masas del cable que considera en el cálculo el peso propio del cable de elevación y en particular la influencia de la modificación de la longitud del cable al elevar y/o al bajar la carga, donde ventajosamente el mecanismo elevador comprende un cabrestante (13), y el ángulo de rotación y/o la velocidad de rotación del cabrestante (13) están incluidos como variables de entrada en la compensación de las masas del cable.
- 20 5. Sistema según la reivindicación 4, donde la compensación de las masas del cable considera el peso propio del cable de elevación (4) enrollado en el cabrestante (13).
6. Sistema según una de las reivindicaciones 3 a 5, donde la compensación de las masas del cable considera una longitud variable a través del movimiento de la estructura de la grúa y/o la alineación de secciones del cable de elevación.
- 30 7. Sistema según una de las reivindicaciones precedentes, donde la unidad de compensación comprende una compensación de las poleas, la cual considera efectos de fricción a través de la desviación del cable de elevación (4) alrededor de una o de varias poleas (6, 8, 11, 14).
8. Sistema según la reivindicación 7, donde la compensación de las poleas considera la dirección de rotación y/o la velocidad de rotación de las poleas (6, 8, 11, 14), donde la compensación de las poleas, ventajosamente, calcula la dirección de rotación y/o la velocidad de las poleas (6, 8, 11, 14), condicionadas por el movimiento de la estructura de la grúa junto con el movimiento del mecanismo elevador.
- 35 9. Sistema según una de las reivindicaciones 7 u 8, donde la compensación de las poleas calcula los efectos de fricción en función de la fuerza del cable medida, en particular en base a una función lineal de la fuerza del cable medida.
- 40 10. Sistema según una de las reivindicaciones precedentes, donde la unidad de compensación, al determinar la masa de carga, considera la influencia de la aceleración de la masa de carga y/o del mecanismo elevador en la fuerza del cable.
11. Sistema según la reivindicación 10, donde la unidad de cálculo, al determinar la masa de carga, considera la dinámica de oscilación que se produce debido a la extensibilidad del cable de elevación (4).
- 45 12. Grúa con un sistema para detectar la masa de carga de una carga (3) que se suspende en un cable de elevación (4), según una de las reivindicaciones precedentes.

13. Método para detectar la masa de carga de una carga (3) que se suspende en un cable de elevación (4), con un sistema según una de las reivindicaciones 1 - 11, con los pasos:

medición de la fuerza del cable en el cable de elevación (4),

5 cálculo de la masa de carga en base a la fuerza del cable, donde la influencia de la determinación de la masa de carga se describe mediante la fuerza del cable en un modelo y se compensa al menos de forma parcial.

FIGURA 1

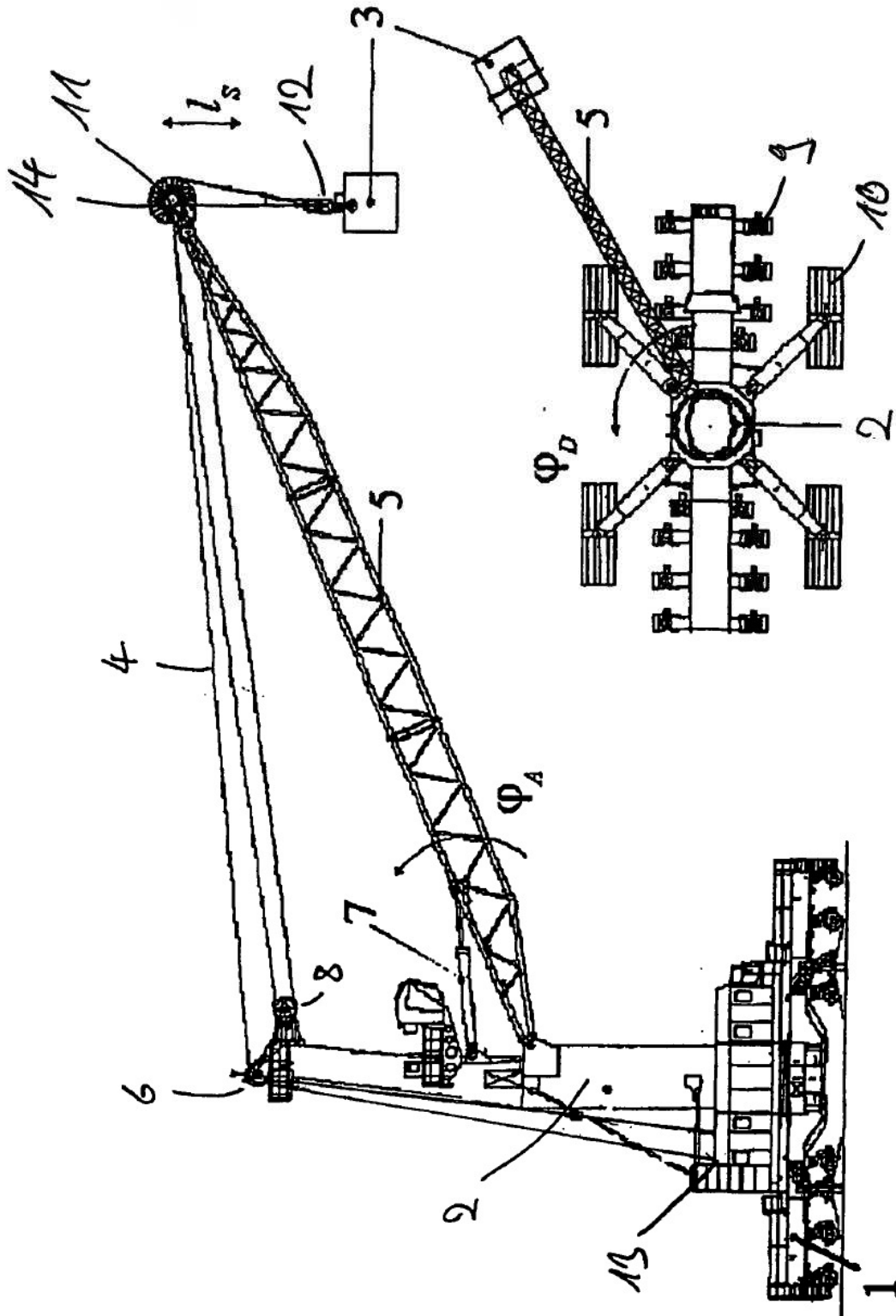


FIGURA 2

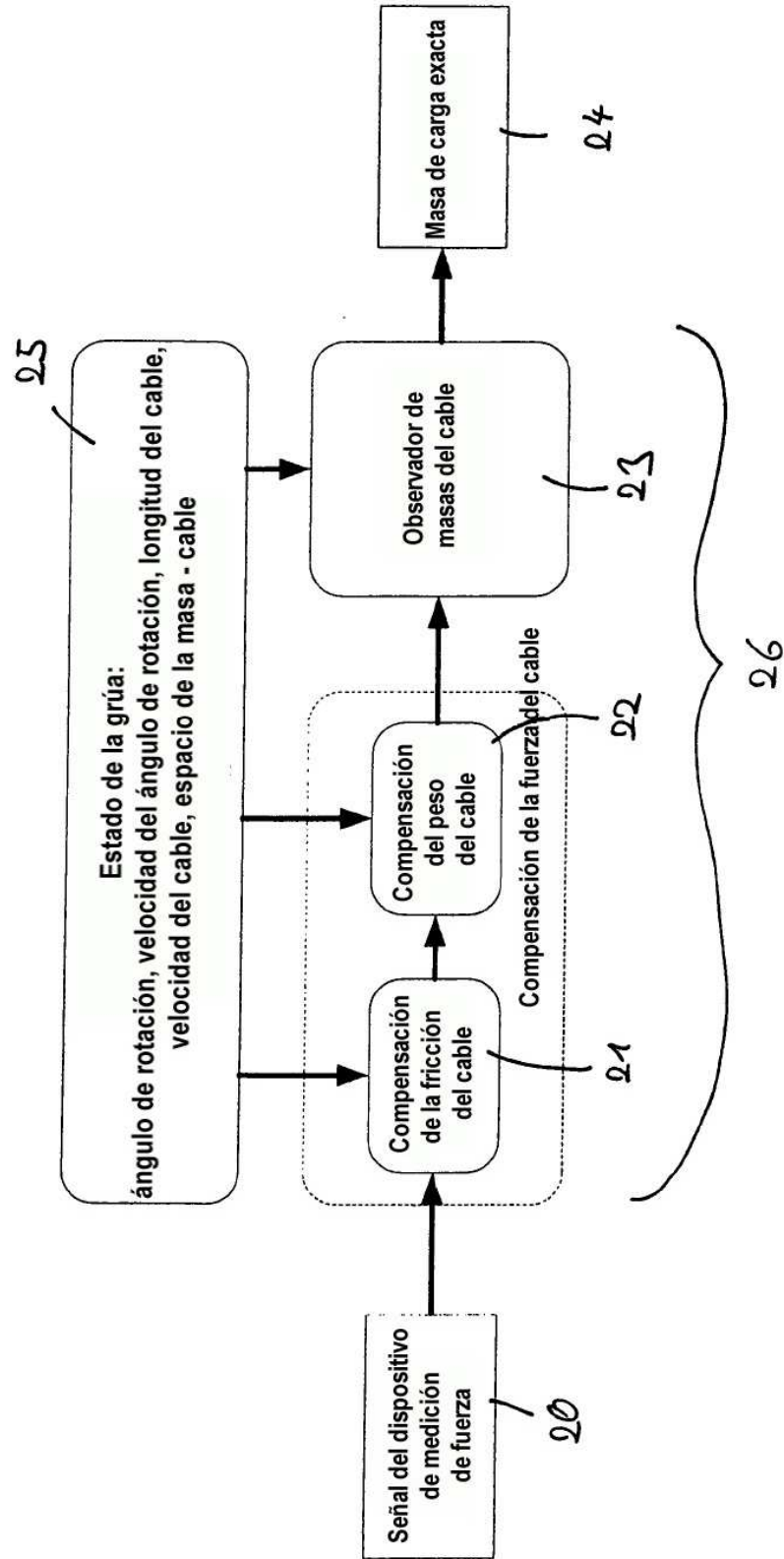


FIGURA 3a

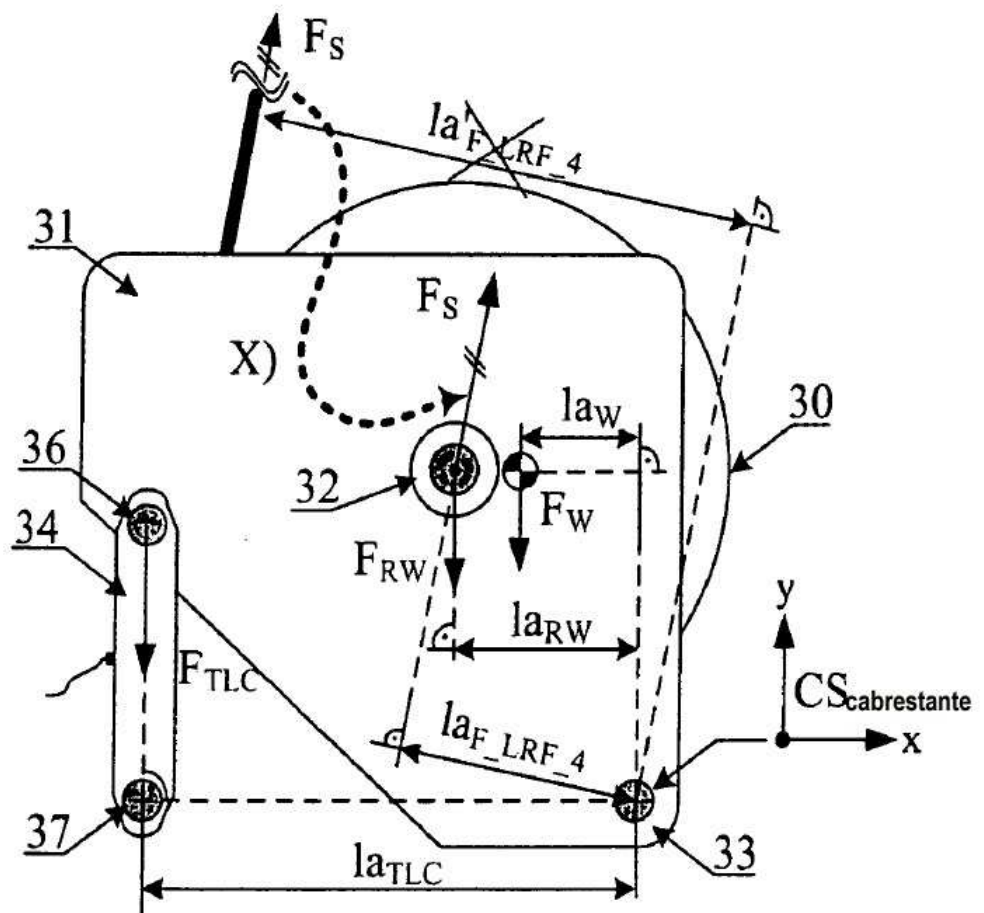


FIGURA 3b

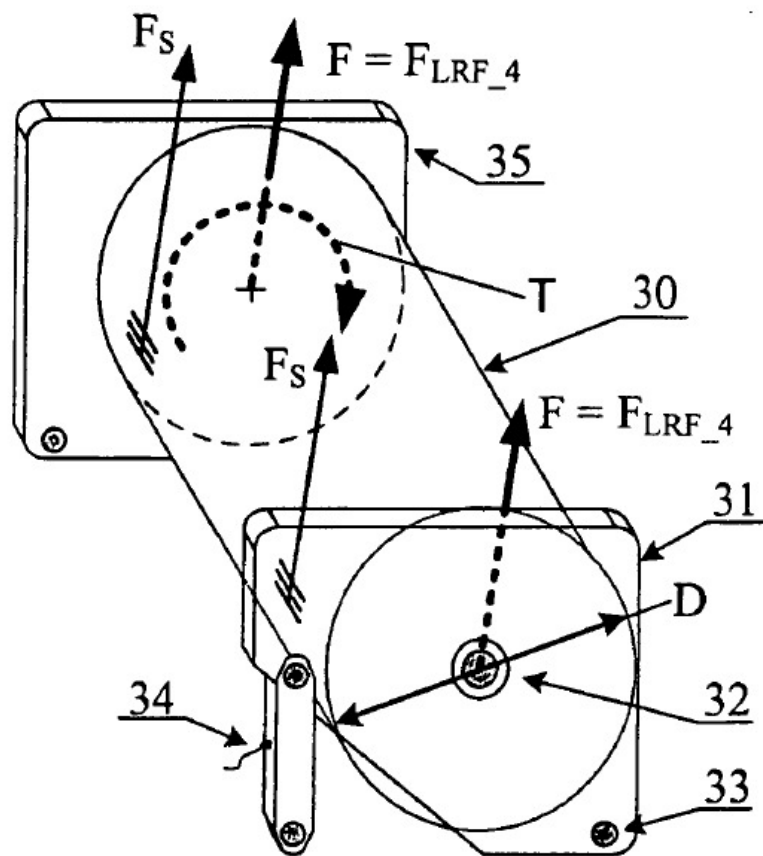


FIGURA 5

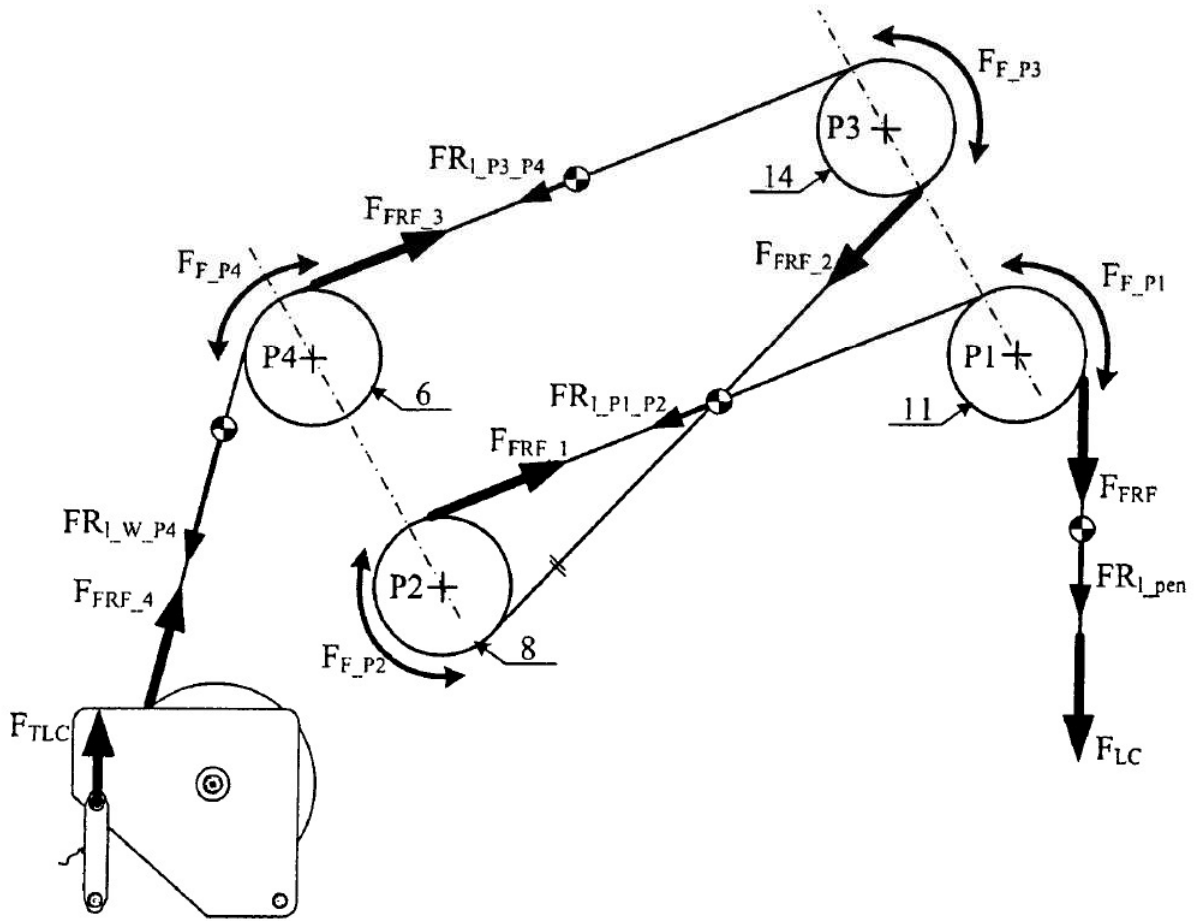


FIGURA 6

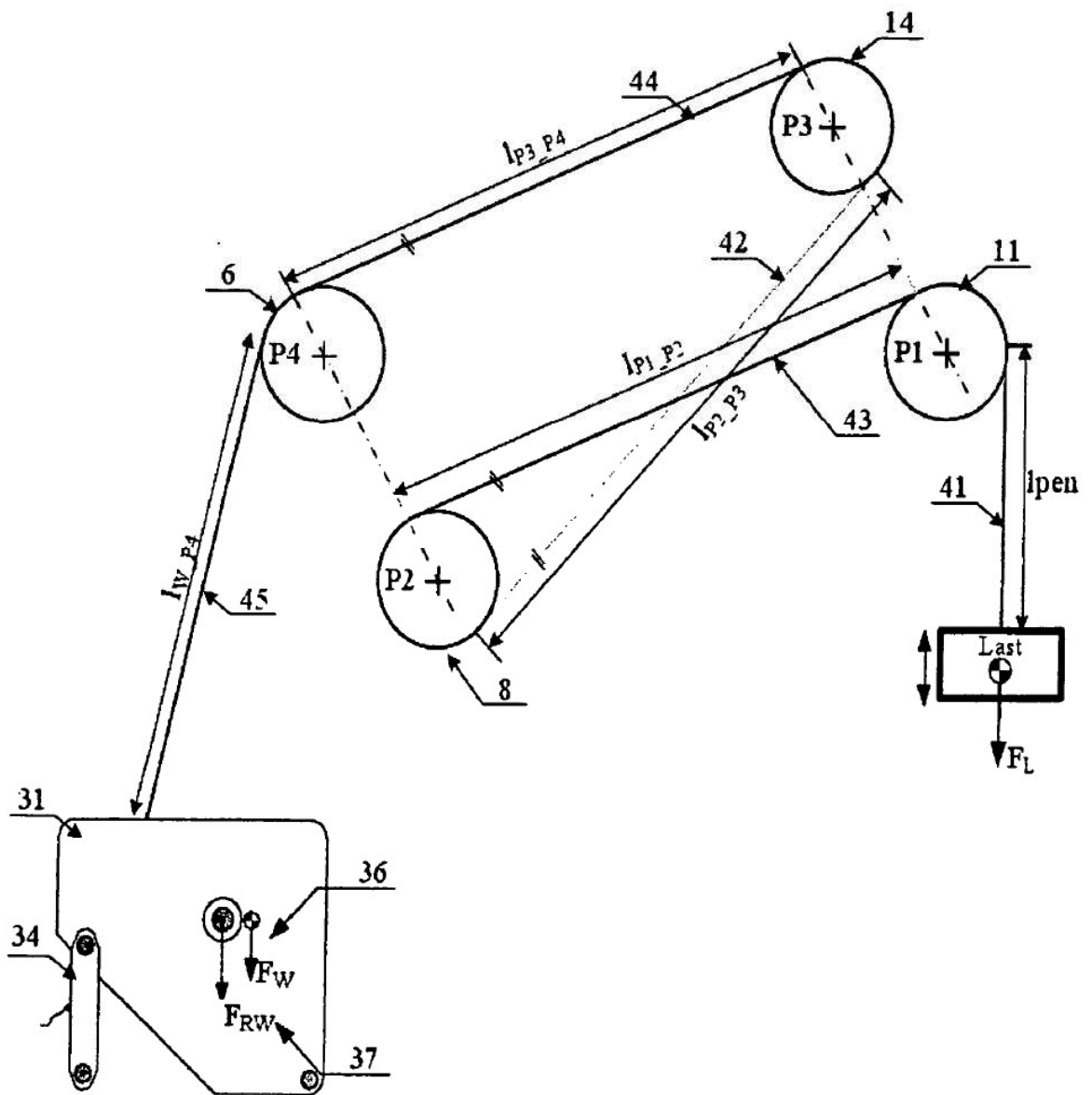


FIGURA 7

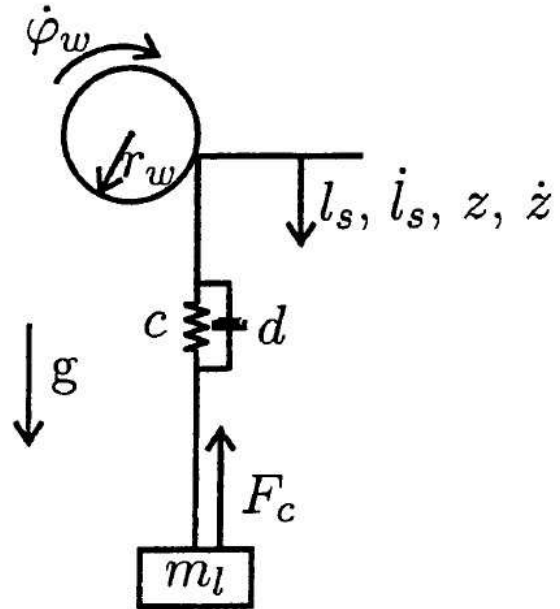


FIGURA 8

