

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 447 018**

51 Int. Cl.:

B66C 13/06 (2006.01)

B66C 13/08 (2006.01)

F02D 41/02 (2006.01)

F02D 41/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2011 E 11006987 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2014 EP 2562125**

54 Título: **Aparato de control de grúa**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.03.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SCHNEIDER, KLAUS DR.-ING.;
SAWODNY, OLIVER PROF. DR. ING.;
SAGERT, CONRAD y
SCHAPER, ULF**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 447 018 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

Aparato de control de grúa.

La presente invención está dirigida a un aparato de control de grúa para una grúa donde la carga está suspendida en un cable de una grúa desde un punto de suspensión del cable de la grúa.

5 Para el control de la grúa, la información exacta de la posición y/o la velocidad de la carga es de gran importancia. Sin embargo, esta posición y/o velocidad de la carga puede usualmente no ser medida directamente, sino que tiene que ser calculada de las mediciones que no describen directamente la posición de la carga y/o la velocidad de la carga sino de cantidades relacionadas.

10 Por ejemplo, en muchos aparatos de control de grúa, el ángulo del cable y/o la velocidad del ángulo del cable se miden por un detector, del cual se calcula la posición y/o la velocidad de la carga. Por ejemplo, un giroscopio localizado en el rodillo de leva de un cable se puede utilizar para medir la velocidad angular del cable.

Sin embargo, debido al ruido de la medición y a otras incertidumbres, un modelo puramente cinemático para calcular la posición y/o la velocidad de la carga de lo introducido por el detector es a menudo insuficiente para suministrar la exactitud requerida por las aplicaciones de control de grúa usuales.

15 Por lo tanto, observadores de estado se han utilizado para estimar al menos la posición y/o velocidad de la carga desde lo ingresado por el detector al utilizar un modelo físico de la carga suspendida en el cable de la grúa. Un ejemplo de tal sistema es el mostrado en el documento DE 100 641 82.

20 Tales observadores usualmente utilizan el ángulo del cable y/o la velocidad del ángulo de cable como variables de estado, en razón a que esto simplifica los cálculos de las señales de medición esperadas de los detectores, que se relacionan con las mismas cantidades. La posición de la carga y/o la velocidad es luego derivada de estas variables de estado.

La presente invención está dirigida a mejorar tal aparato de control de grúa que comprende un observador para destinar al menos la posición y/o la velocidad de la carga.

Ese objeto se resuelve mediante un aparato de control de grúa de acuerdo a la reivindicación 1.

25 Las realizaciones preferidas de la presente invención son la materia objeto de las reivindicaciones dependientes.

30 La presente invención muestra un aparato de control de grúa para una grúa donde la carga está suspendida en un cable de grúa desde un punto de suspensión del cable de la grúa. El aparato de control de grúa comprende un observador para estimar al menos la posición y/o la velocidad de la carga desde al menos lo introducido por el detector en un primer detector al utilizar un modelo físico de la carga suspendida en el cable de la grúa. El aparato de control de la grúa de la presente invención se caracteriza porque el modelo físico del observador utiliza la posición de la carga y/o la velocidad de la carga como una variable de estado. Los inventores de la presente invención se han dado cuenta que esta elección del vector de estado tiene un fuerte impacto en los valores de entrada necesarios para el observador.

35 En particular, los inventores de la presente invención se han dado cuenta de que si el ángulo del cable y su derivada se utilizan como variables de estado, las dinámicas del vector de estado dependerán directamente de la aceleración del punto de suspensión del cable. En contraste, si la posición de carga y/o la velocidad de la carga son utilizados como variables de estado, como en el observador de la presente invención, las dinámicas de este estado dependerán, al menos en una primera aproximación de orden, solamente de la posición del punto de suspensión del cable y no de la aceleración del punto de suspensión del cable.

40 Este fenómeno se puede entender mejor cuando uno mira el impacto del movimiento del punto de suspensión del cable en el ángulo del cable de una parte, y en la posición de la carga de otra parte: es evidente que un movimiento del punto de suspensión del cable tendrá un efecto inmediato en el ángulo del cable, mientras que la carga, en razón de su inercia, permanecerá al menos en su posición. Por lo tanto, el observador de la presente invención, donde la posición de la carga y/o la velocidad de la carga son utilizadas como variables de estado, dependerá menos o no finalmente de la aceleración del punto de suspensión del cable.

45 En implementaciones industriales, la posición del punto de suspensión es usualmente medible con alta precisión. Sin embargo, la aceleración del punto de suspensión no es tan fácil de cuantificar. Los métodos de diferenciación consiguen estar muy involucrados cuando estos se diferencian dos veces. Los modelos de accionador que reconstruyen la aceleración de las corrientes de válvula y los modelos de fricción también conllevan grandes

incertidumbres. La presente invención por lo tanto suministra un mejor diseño de observador, porque el observador depende menos o nada de este valor.

5 En una realización preferida, la presente invención suministra un aparato de control de grúa para controlar la posición y/o velocidad de la carga suspendida en la cuerda al utilizar un control de retroalimentación, donde la posición y/o la velocidad de la carga se determinan por el observador y se utiliza como retroalimentación. La presente invención utiliza un diseño de observador donde el sistema de coordenadas inercial se utiliza para modelar la oscilación de la carga. Esto elimina la necesidad de medir la aceleración de la punta de la pluma y por lo tanto mejora el desempeño del observador durante las fases de aceleración.

10 En una realización preferida de la presente invención, el observador utiliza la posición del punto de suspensión del cable como una entrada. En particular, en la presente invención, el modelo físico del observador describe las dinámicas de la posición de la carga y/o la velocidad de la carga en dependencia de la posición del punto de suspensión del cable utilizando un modelo de dinámicas de péndulo de la carga suspendida en el cable.

15 La posición del punto de suspensión del cable utilizada como una entrada para el observador de la presente invención se puede calcular desde al menos una entrada del detector de un segundo detector. Por ejemplo, este detector puede medir un ángulo de plegado y/o de giro de la pluma de la grúa. Alternativamente o adicionalmente, las señales de control para los accionadores para controlar la posición del punto de suspensión del cable se puede utilizar para determinar la posición del punto de suspensión del cable.

20 El modelo físico utilizado en el observador puede ser un modelo lineal de la carga suspendida sobre la cuerda, por ejemplo, un modelo de péndulo lineal. Sin embargo, una realización preferida del modelo físico es un modelo no lineal.

25 El observador de la presente invención puede utilizar la velocidad del punto de suspensión del cable como una entrada. En particular, esta velocidad del punto de suspensión del cable podría ser necesaria como una entrada si se utiliza un modelo no lineal y/o si la velocidad del cable se mide mediante el primer detector. La velocidad del punto de suspensión del cable puede por ejemplo ser calculada numéricamente de la posición medida del punto de suspensión del cable o de los modelos de accionador que reconstruyen la velocidad desde las corrientes de la válvula.

Sin embargo, en una realización preferida, el observador de la presente invención es independiente de la aceleración del punto de suspensión del cable. De esta manera, se evitan las grandes incertidumbres involucradas para obtener esta aceleración.

30 Esto es posible en la presente invención porque la aceleración del punto de suspensión del cable solo juega un papel menor para las variables de estado utilizadas para el observador. Se tiene que notar que cuando se utiliza un modelo no lineal exacto, la aceleración del punto de suspensión del cable juega un papel en órdenes mayores de las dinámicas de la posición de carga y/o la velocidad de carga. Sin embargo, en la presente invención, la aceleración del punto de suspensión del cable se puede ajustar a 0 sin un deterioro significativo del resultado del modelo. Por lo tanto, cuando se utiliza un modelo no lineal, la aceleración del punto de suspensión del cable se ajusta preferiblemente a 0.

35 El observador de la presente invención preferiblemente trabaja como sigue: este predice un estado futuro del sistema con base en la estimación actual del estado del sistema y las entradas, en donde estas entradas pueden comprender una entrada previa del detector o el primer detector y/o la posición del punto de suspensión del cable, y puede comprender datos adicionales. Adicionalmente, el observador predice un valor del detector futuro del primer detector. La diferencia entre la medición real y la medición predicha del primer detector se utiliza entonces para corregir al menos el estado estimado.

40 El modelo utilizado en el observador puede al menos comprender un modelo de las dinámicas del péndulo de la carga suspendida en el cable. Sin embargo, el modelo también puede tener en cuenta otros efectos que podrían tener una influencia en los valores de medición del primer detector. Por ejemplo, el observador puede comprender un modelo de afectación para el desfase del detector. De esta manera, los efectos de un desfase del detector se pueden eliminar. Adicionalmente, el observador puede comprender un modelo de afectación para la oscilación del a cuerda del cable. De esta manera las influencias de tales oscilaciones se pueden reducir. Además, el observador de la presente invención puede tener en cuenta el ruido del detector y/o el ruido del proceso.

50 En una realización preferida de la presente invención, el modelo físico del observador se basa en un modelo de péndulo único de las cargas suspendida en el cable. Sin embargo, para ciertas aplicaciones, donde los medios de suspensión de carga con una gran masa y/o gran distancia forman una carga que utilizan para suspender la carga, el observador puede también estar basado en las dinámicas del doble péndulo de la carga suspendida en los medios de suspensión que son a su vez suspendidos en el cable. Por ejemplo, la carga se puede suspender sobre

una viga transversal mediante cadenas y la viga transversal suspendida sobre el cable. Para tales propósitos, el observador se puede basar en el modelo de doble péndulo

5 Preferiblemente, en la presente invención, al menos una posición de carga absoluta y/o velocidad de carga absoluta en al menos una posición de carga y/o la velocidad de carga en la dirección radial de la grúa se utiliza como una variable de estado. Sin embargo, en una realización preferida, la posición de la carga horizontal y/o la velocidad en las dos direcciones se utiliza como una variable de estado. Además, se pueden utilizar la posición de carga vertical y/o la velocidad.

10 Por ejemplo, la posición de la carga y/o la velocidad de la carga se pueden describir en coordenadas cartesianas. Alternativamente, las coordenadas polares se pueden utilizar para la posición de la carga y/o la velocidad de la carga. Las coordenadas cartesianas ya se utilizaron en el documento DE 10 2009 032 267 A1 para el control de la grúa misma. Sin embargo, en este documento, ninguna configuración de observador.

En una realización preferida de la presente invención, el ángulo del cable no se utilizó como una variable de estado, de esta manera se evitan los problemas anteriormente descritos.

15 Sin embargo, el observador de la presente invención se puede utilizar con un primer detector que mide el ángulo del cable y/o la velocidad del ángulo del cable. Desde estas entradas del detector, el observador de la presente invención estima el vector de estado, este vector de estado comprende la posición de la carga y/o la velocidad de la carga. Además, el observador predice los valores de medición esperados para tal detector, con el fin de compararlos con las mediciones reales.

20 Preferiblemente, el detector es un giroscopio. Además, el detector se puede localizar en un rodillo de leva de cable. En particular, tal rodillo de leva de cable se puede unir a una punta de la pluma de la grúa. En particular mediante una unión de cardán. El rodillo de leva preferiblemente sigue el movimiento del cable, de tal manera que el sensor unido al rodillo de leva de cable seguirá el movimiento del cable, también.

25 En una realización preferida, el observador de la presente invención utiliza el filtro Kalman extendido para estimar la posición de la carga y/o la velocidad de la carga. Tal filtro extendido comprende una estimación de estado basada en el estado corriente y en las entradas. Además, el filtro de Kalman comprende una estimación de covarianza para estimar una covarianza de la estimación del estado. Además, el filtro de Kalman predecirá una medición esperada. La medición esperada se comparará con la medición real con el fin de corregir tanto el estimado de estado como el estimado de covarianza.

30 Preferiblemente, el filtro de Kalman utiliza un tiempo en discreción de las dinámicas del modelo. Preferiblemente, para este propósito se utiliza una etapa de Newton simple.

35 El aparato de control de grúa de la presente invención se utiliza preferiblemente con el fin de controlar la medición de la grúa sobre la base de una entrada de operador y/o de un sistema de control automatizado. En particular, el aparato de control de grúa se puede utilizar con el fin de controlar los motores de la grúa. Además, el aparato de control de grúa se puede utilizar para mover o ubicar la carga en una pista deseada o en una posición deseada. Este control se basa ahora en la posición de la carga y/o la velocidad estimada por el observador en la presente invención.

40 Además, el aparato de control de grúa de la presente invención puede comprender un control anti balanceo para evitar el movimiento de péndulo o rotacional no deseado de la carga. Preferiblemente, este control anti balanceo se basa en la estimación de la posición y/o la velocidad de la carga suministrada por el observador de la presente invención como una retroalimentación de estado.

Además, el aparato de control de grúa de la presente invención puede comprender un módulo de planeamiento de trayectoria para planear las trayectorias de las cargas suspendidas en el cable.

45 La presente invención puede en particular ser utilizada para controlar una grúa que tiene un pescante que tiene un eje de plegado horizontal, alrededor del cual el pescante puede ser desplegado y plegado en un plano vertical. Para este propósito, por ejemplo, se puede utilizar un cilindro de plegado, el pescante se puede unir a una torre que se puede rotar alrededor del eje de giro. Además, la longitud del cable se puede controlar mediante un cabrestante de izado de la grúa.

En una realización preferida, el cable se dirige desde el cabrestante de izado alrededor de un punto de suspensión del cable localizado en la punta del pescante a la carga.

50 La grúa de la presente invención puede en particular ser una grúa de puerto y/o una grúa móvil. En una realización preferida, la grúa de la presente invención es una grúa de puerto móvil.

5 La presente invención comprende además un método de control de grúa para una grúa donde una carga está suspendida en un cable de grúa desde un punto de suspensión de la grúa, en donde se utiliza un observador para estimar al menos la posición y/o la velocidad de la carga desde al menos una entrada de detector al utilizar un modelo físico de la carga suspendida en el cable de la grúa, en donde el modelo físico del observador utiliza la posición de la carga y/o la velocidad de la carga como una variable de estado.

El método de la presente invención tiene las mismas ventajas que el aparato de control de grúa descrito anteriormente.

10 Preferiblemente, el método de control de grúa de la presente invención tiene las características de las realizaciones preferidas del aparato de control de grúa descrito anteriormente. En particular, el método de control de grúa puede utilizar un aparato de control de grúa tal como se describió anteriormente.

La presente invención comprender además un software de control de grúa, en particular un software de control de grúa almacenado en un medio de almacenamiento leíble por ordenador, que comprende el código que implementa el aparato de control de la grúa o un método de control de grúa como se describió anteriormente. Tal software de control de grúa puede, por ejemplo, ser utilizado para actualizar un aparato de control de grúa existente.

15 Preferiblemente, el aparato de control de grúa puede utilizar un ordenador que puede correr el software de control de grúa de la presente invención.

Además, la presente invención comprende una grúa que tiene un aparato de control de grúa como se describió anteriormente. Además, la grúa puede ser una grúa como se describió anteriormente en conjunto con el aparato de control de la presente invención.

20 La presente invención se describe ahora por vía de las realizaciones y figuras. De esta manera, las Figuras 1 a 9 muestran:

Figura 1 una realización de una grúa que utiliza un aparato de control de grúa de la presente invención;

Figura 2: un modelo de grúa simple que explica la influencia de las diferentes definiciones de estado,

Figura 3: un diagrama que muestra un modelo de péndulo para un observador de péndulo único,

25 Figura 4: una realización del primer detector montado en el rodillo de levas de cable montado en el cable de una grúa,

Figura 5: un diagrama que muestra el movimiento de la grúa y la oscilación de la carga durante una secuencia de plegado, con una longitud de cuerda de $L = 48$ m,

30 Figura 6: una comparación entre la estimación de la velocidad de carga del observador de la presente invención y una medición de referencia con GPS,

Figura 7: una realización de una grúa con una configuración de carga de doble péndulo.

Figura 8: un diagrama que muestra un modelo de péndulo para un observador de doble péndulo y

35 Figura 9: una comparación de la estimación de velocidad del gancho de acuerdo a un observador de la presente invención y la velocidad medida del gancho mediante GPS para el caso de doble péndulo, con una masa del gancho de $M_h = 2, 2$ t, una masa de carga de $m_L = 2,5$ t, y longitudes de cable de $L_1 = 35$ m y $L_2 = 5$ m.

La Figura 1 muestra una realización de una grúa de acuerdo con la presente invención, en particular con una grúa móvil de puerto como se utiliza para mover cargas en un puerto. La grúa puede tener una capacidad de carga de hasta 140 t y una longitud de cable o cuerda de hasta 80 m.

40 La realización de la grúa de la presente invención comprende un pescante 1, que puede ser plegado y desplegado alrededor de un eje de plegado horizontal 2, con el cual el pescante está ligado a una torre 3. La torre 3 puede ser girada alrededor de un eje de giro vertical mediante el cual el pescante es girado, también. La torre 3 está adicionalmente montada sobre un bastidor de rueda 6, que es movable mediante unidades de impulsión 7. Para girar la torre 3, se utiliza un impulsor de giro que no se muestra en la Figura 3. Para el plegado del pescante 1, se utiliza un cilíndrico hidráulico 4.

El cable o cuerda 20, la cual la carga 10 está unida es guiada alrededor de una polea dispuesta en la punta del pescante, la punta del pescante por lo tanto forma un punto de suspensión de cable para los propósitos de la presente invención. La longitud del cable 20 se podría controlar mediante un cabrestante de izado.

5 En el extremo del cable 20, los medios de suspensión de carga se pueden disponer, por ejemplo un manipulador o un separador mediante el cual la carga 10 se podría suspender en el cable.

La grúa de la presente invención puede comprender dos hebras de cable que van desde la punta del pescante a la carga.

10 Además, la Figura 4 muestra una realización de un primer detector que se puede utilizar para suministrar válvulas de entrada para el observador de la presente invención. En particular, el primer detector 36 se puede montar en un rodillo de leva de cable 35 para medir el ángulo del cable y/o la velocidad del cable. En particular, el detector 36 podría ser un giroscopio para medir la velocidad del cable. El primer detector puede medir el ángulo del cable o la velocidad del cable tanto en la dirección tangencial como en la radial de la grúa, por ejemplo al utilizar dos giroscopios dispuestos correspondientemente.

15 El rodillo de leva del cable mostrado en la Figura 4 se puede unir a la punta del pescante 30 del pescante 1 mediante enlaces de cardán 32 y 33 justo bajo la polea del cable principal 31. El rodillo de leva del cable 35 comprende las poleas 36, mediante la cual esta es guiada sobre el cable 20, de tal manera que el rodillo de leva del cable 35 sigue los movimientos del cable 20. Los enlaces de cardán 32 y 33 le permiten al rodillo de leva del cable moverse libremente alrededor del eje horizontal y vertical. Sin embargo, los movimientos de cambio del rodillo de leva del cable se evitan.

20 La presente invención suministra ahora un aparato de control de grúa para controlar la posición y/o velocidad de la carga suspendida del cable al utilizar un control de retroalimentación, donde la posición y/o la velocidad de la carga se determinan con base en las mediciones y se utiliza como retroalimentación. La presente invención suministra ahora un diseño de observador donde se utiliza un sistema de coordenadas inercial para modelar el oscilamiento de la carga. Esto elimina la necesidad de medir la aceleración de la punta del pescante y por lo tanto mejora el desempeño del observador durante las fases de aceleración.

25 El resto de la descripción se organiza como sigue:

En la sección 2 se introduce el sistema de coordenadas. La elección es de particular importancia para el diseño del observador de la grúa en razón a que este elimina la necesidad de medir la aceleración del punto de suspensión. El modelo de péndulo único y el observador se diseñan en la sección 3. Posteriormente, la sección 4 trata con un modelo de doble péndulo. El desempeño de ambos observadores se valida utilizando las mediciones de referencia.

2. Selección del sistema de Coordenadas

Los sistemas de la técnica anterior utilizan la posición del punto de suspensión de carga y su velocidad como variables de estado, y también el así p llamado "ángulo tope" y su derivada. En la Figura 2 estas cantidades se denominan p_A, \dot{p}_A, φ y $\dot{\varphi}$. Asumiendo la entrada al modelo u para que sea la aceleración del punto de suspensión, l es la longitud de la cuerda y g la aceleración gravitacional, el modelo dinámico lineal será:

$$\ddot{p}_A = u, \quad (1a)$$

$$\ddot{\varphi} = -\frac{g}{l}\varphi - \frac{1}{l}u. \quad (1b)$$

La ecuación (1b) es la ecuación diferencial que describe el balanceo de la carga. Se puede ver que el péndulo es excitado por la aceleración u del punto de suspensión.

En esta invención una elección diferente del vector de estado se utiliza para modelar la grúa. Introducir la posición de la carga horizontal $p_L = p_A + l\varphi$ y su derivada $\dot{p}_L = \dot{p}_A + l\dot{\varphi}$ tal como se establece, el modelo dinámico (1) se puede restablecer como:

$$\ddot{p}_A = u, \quad (2a)$$

$$\ddot{\underline{p}}_L = -\frac{g}{l}(\underline{p}_L - \underline{p}_A). \quad (2b)$$

Las dinámicas de (1) y (2) son idénticas. Subsiste una diferencia importante cuando este viene al diseño del observador (1b) y (2b): ecuación (2b) no depende de la aceleración u sino de la posición del punto de suspensión \underline{p}_A .

5 Las implementaciones industriales, la posición del punto de suspensión \underline{p}_A es usualmente medible con alta precisión¹ sin embargo, la aceleración del punto de suspensión u no es fácil de cuantificar. Los métodos de diferenciación están muy involucrados cuando estos se diferencian dos veces. Los modelos del accionador que reconstruye la aceleración u de las corrientes de válvula y los modelos de fricción también lleva grandes incertidumbres. Estando consiente de este hallazgo, la posición de la carga \underline{p}_L se utiliza como una variable de estado en esta contribución.

3. Observador de Péndulo Único

10 La meta de esta sección es diseñar un observador de péndulo único. Contario al examen preliminar en la sección 2, el modelo no lineal completo de las dinámicas del péndulo principal se presentan en la Subsección 3.1. Después de que se determina la ecuación de medición (Subsección 3.2), se compone un filtro extendido Kalman (Subsección 3.3) y se muestran finalmente los resultados experimentales (Subsección 3.4). Por simplicidad, todos los cálculos se presentan solo para el caso plano (bidimensional).

15 9.1 Modelamiento del péndulo

En los sistemas de control de grúa, se asume de manera general que la cuerda no tiene masa y que la carga se puede modelar como una masa puntual. Esto conduce a un modelo de grúa de "péndulo único".

La posición de la punta del pescante $\underline{p}_A = (p_{A1}, p_{A2})^T$ y sus derivadas de tiempo se asumen como conocidas. Las mismas mantienen la longitud de la cuerda L. Con estas entradas, la dinámica de la posición de carga $\underline{p}_L = (p_{L1}, p_{L2})^T$

20 Se puede configurar utilizando el método Newton – Euler (ver Figura 3). Como una coordenada generalizada q se utiliza la posición de la carga horizontal q = p_{L1} la posición de la carga total \underline{p}_L se puede expresar en términos de estas coordenadas:

$$\underline{p}_L = \begin{pmatrix} q \\ p_{A2} - \sqrt{l^2 - (q - p_{A1})^2} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

La velocidad de la carga $\dot{\underline{p}}_L$ se puede escribir como:

$$\dot{\underline{p}}_L = \frac{\partial \underline{p}_L}{\partial q} \dot{q} + \frac{\partial \underline{p}_L}{\partial t} = \underline{J} \dot{q} + \underline{\bar{v}} \quad (4)$$

25

Con las abreviaturas:

$$\underline{J} = \frac{\partial \underline{p}_L}{\partial q} = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{q - p_{A1}}{\sqrt{l^2 - (q - p_{A1})^2}} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

$$\underline{\bar{v}} = \frac{\partial \underline{p}_L}{\partial t} = \begin{pmatrix} 0 \\ \dot{p}_{A2} - \frac{l\dot{l} + (q - p_{A1})\dot{p}_{A1}}{\sqrt{l^2 - (q - p_{A1})^2}} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

De manera similar, la aceleración de la carga se puede expresar como:

$$\ddot{\underline{p}}_L = \underline{J}\ddot{q} + \frac{\partial \underline{J}}{\partial t}\dot{q} + \frac{\partial \underline{J}}{\partial q}\dot{q}^2 + \frac{\partial \underline{v}}{\partial t} + \frac{\partial \underline{v}}{\partial q}\dot{q}, \quad (7)$$

Dónde: $\frac{\partial \underline{J}}{\partial t}$, $\frac{\partial \underline{J}}{\partial q}$, $\frac{\partial \underline{v}}{\partial t}$ y $\frac{\partial \underline{v}}{\partial q}$ se pueden calcular de las ecuaciones (5) y (6). La segunda ley de Newton para la masa de la carga es:

$$m \ddot{\underline{p}}_L = \begin{pmatrix} 0 \\ -mg \end{pmatrix} + \underline{F}_R, \quad (8)$$

- 5 Con la masa de la carga m , la aceleración gravitacional g y el vector de la fuerza de la cuerda \underline{F}_R con (7) introducido y la fuerza de la cuerda \underline{F}_R siendo eliminada utilizando el principio de D'Alembert, las dinámicas del péndulo son:

$$(\underline{J}^T \underline{J}) \ddot{q} = \underline{J}^T \left[\begin{pmatrix} 0 \\ -g \end{pmatrix} - \frac{\partial \underline{J}}{\partial t}\dot{q} - \frac{\partial \underline{J}}{\partial q}\dot{q}^2 - \frac{\partial \underline{v}}{\partial t} - \frac{\partial \underline{v}}{\partial q}\dot{q} \right], \quad (9)$$

Que se pueden considerar como una ecuación diferencial

$$\ddot{q} = f_q(q, \dot{q}, \underline{u}). \quad (10)$$

- 10 Las entradas del modelo \underline{u} son la posición, velocidad, y aceleración de la punta del pescante, así como también la longitud de la cuerda y sus derivadas de tiempo. Se requiere evaluar todas estas cantidades para evaluar \underline{J} y \underline{v} y las derivadas de estos términos en la ecuación (9)²:

$$\underline{u} = \left(p_{A1}, p_{A2}, \dot{p}_{A1}, \dot{p}_{A2}, \ddot{p}_{A1}, \ddot{p}_{A2}, l, \dot{l}, \ddot{l} \right). \quad (11)$$

- 15 Una condición inicial razonable para este modelo es asumir que la carga este verticalmente por debajo de la punta del pescante $q(0) = p_{A1}$, que no tiene oscilación de carga, $\dot{q}(0) = \dot{p}_{A1}$.

- ²La posición y velocidad de la punta del pescante se puede medir utilizando decodificadores incrementales. Desafortunadamente aquellas señales fueron demasiado ruidosas para hallar las aceleraciones y \ddot{p}_{A1} , \ddot{p}_{A2} , y \ddot{l} . Sin embargo, los experimentos han mostrado que estas aceleraciones no influyen mucho los resultados de filtrado. En razón a que el análisis de la sección 2 reveló que el modelo lineal no depende de las aceleraciones de ninguna manera, esta observación no se esperaba. Por lo tanto $\ddot{p}_{A1} \approx \ddot{p}_{A2} \approx \ddot{l} \approx 0$ se puede asumir.
- 20

3.2 Señal de medición esperada.

- Los giroscopios se unen a la cuerda cerca a la punta del pescante (ver Figura 4). En general, los giroscopios miden la tasa de rotación del dispositivo y su propio sistema de coordenadas de cuerpo fijo. Sin embargo, en razón a que solamente se configuró el problema plano se consideró, la tasa de rotación del cuerpo fijo es igual a la tasa de rotación inercial. Por lo tanto la tasa de rotación ω_{rope} es simplemente la derivada del tiempo del ángulo de la cuerda φ (Figura 2). El ángulo de la cuerda se puede expresar como:
- 25

$$\varphi = \arccos\left(\frac{q - p_{A1}}{l}\right). \quad (12)$$

Asumiendo que los cambios en la longitud de la cuerda sean despreciables, $\dot{l} \approx 0$ la señal de medición ideal es por lo tanto:

$$\omega_{\text{cuerda}} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\dot{q} - \dot{p}_{A1}}{\sqrt{l^2 - (q - p_{A1})^2}}. \quad (13)$$

Las mediciones del giroscopio real incluyen un número de afectaciones.

En este caso el error del giroscopio principal es un desfase de señal simple (principalmente dependiente de la temperatura). Este desfase es un problema común en los sensores MEMS, pero en razón a que los cambios en el desfase del sensor son mucho más lentos que las dinámicas del péndulo, ellos no causan problemas. Un modelo de afectación de desfase simple es:

$$\dot{\omega}_{\text{desfase}} = 0. \quad (14)$$

Una afectación de medición importante son las oscilaciones de la cuerda de orden mayor. Especialmente para las cuerdas largas y las masas de carga bajas, las cuerdas de la grúa resuenan justo como las cuerdas de la guitarra. Estas oscilaciones también se pueden tratar fácilmente. Las primeras dos frecuencias armónicas de la cuerda vibrante son

$$f_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F_R}{\mu}} \quad \text{y} \quad f_2 = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{F_R}{\mu}}, \quad (15)$$

Donde l es la longitud de la cuerda, F_R es la fuerza de la cuerda y μ es la masa por metro de la cuerda. Las frecuencias armónicas de orden superior o de orden mayor se pueden calcular de la misma manera, sin embargo, ellas todavía no son dominantes en las longitudes de la cuerda bajo consideración. En razón a que estas oscilaciones de cuerda son muy sinusoidales, un modelo de afectación simple es:

$$\ddot{\omega}_{\text{armónico},1} = -2\pi f_1 \omega_{\text{armónico},1}, \quad (16)$$

$$\ddot{\omega}_{\text{armónico},2} = -2\pi f_2 \omega_{\text{armónico},2}. \quad (17)$$

Otra afectación de péndulo bien conocida es el viento. Sin embargo, la experiencia muestra que aun para grandes recipientes, las fuerzas del viento no son un reto para el control de la grúa. Por lo tanto este modelo no suministra compensación por afectación del viento aunque las grúas LHM están equipadas con sensores de viento.

El modelo de la grúa presentado es observable en tanto que las frecuencias de los diferentes osciladores no coincidan. En el caso de las grúas LHM, el peso del gancho mismo garantiza que las frecuencias armónicas son considerablemente mayores que la frecuencia de oscilación del péndulo principal aún para longitudes de cuerda cortas.

3.3. Configuración del observador

Un Filtro Kalman Extendido requiere que se establezca el problema del observador en la forma:

$$\hat{\underline{x}}(t_k) = \underline{f}(\hat{\underline{x}}(t_{k-1}), \underline{u}(t_{k-1})), \quad \hat{\underline{x}}(t_0) = \hat{\underline{x}}_0, \quad (18)$$

$$\hat{\underline{y}}(t_k) = \underline{h}(\hat{\underline{x}}(t_k), \underline{u}(t_k)), \quad (19)$$

Donde $\hat{\underline{x}}$ es el vector de estado estimado, \underline{u} la entrada del modelo $\hat{\underline{y}}$ la medición esperada. Aquí, el vector de estado combina las dinámicas del péndulo (9) y las dinámicas del modelo de afectación (14), (16) y (17):

$$\hat{\underline{x}} = \left(q, \dot{q}, \omega_{\text{desfase}}, \omega_{\text{armónico},1}, \dot{\omega}_{\text{armónico},1}, \omega_{\text{armónico},2}, \dot{\omega}_{\text{armónico},2} \right). \quad (20)$$

5 La ecuación 18 está en la forma discreta en el tiempo mientras que la (10), (14), (16) y (17) fueron dadas en forma de tiempo continuo. Por lo tanto, ellas tienen que ser puestas en forma discreta. Los modelos de afectación (14), (16) y (17) son lineales con parámetros no variantes en el tiempo³ y pueden por lo tanto ser discretas analíticamente. Para ser discretas las dinámicas del péndulo no lineal (10) sin embargo, se requiere un esquema de integración. Este esquema de integración tiene que ser estable cuando se aplica a osciladores no amortiguados. Una fórmula de Rosenbrock de una etapa modificada se encuentra para cumplir con estos requisitos. Está implícito por lo tanto que una serie de iteraciones Newton se pueda utilizar para calcular la solución. A su vez una etapa Newton única es suficiente para generar una predicción del movimiento del péndulo estable aun sin la retroalimentación del observador⁴. Por lo tanto la predicción del estado del péndulo $\hat{\underline{x}}_{12}(t_k)$ se puede encontrar al resolver el sistema de ecuaciones lineales:

$$\left[I - 0.5h \left. \frac{\partial f_q}{\partial \hat{\underline{x}}_{12}} \right|_{t_{k-1}} \right] \cdot [\hat{\underline{x}}_{12}(t_k) - \hat{\underline{x}}_{12}(t_{k-1})] = h \cdot \underline{f}_q \Big|_{t_{k-1}}. \quad (21)$$

15 Donde $h = t_k - t_{k-1}$ en el tiempo discreto, \underline{f}_q son las dinámicas de péndulo de tiempo continuo, y $\hat{\underline{x}}_{12}(t_k) = [q(t_k), \dot{q}(t_k)]$ denotan los primeros dos elementos de $\hat{\underline{x}}(t_k)$.

³los cambios en las frecuencias armónicas f_1 y f_2 ocurren lentamente y pueden ser por lo tanto despreciables.

20 ⁴Otra ventaja de hacer solo una etapa Newton única es que el jacobiano requerido también es necesario para la predicción de covarianza EKF. Eso significa que la primera etapa Newton se puede hacer sin casi ningún costo de cómputo adicional.

La ecuación de salida (19) no requiere que se haga discreta. Esta combina la señal de medición ideal (13) con los modelos de señal de afectación (14), (16) y (17).

$$\hat{\underline{y}} = h(\hat{\underline{x}}, \underline{u}) = \omega_{\text{cuerda}} + \omega_{\text{desfase}} + \omega_{\text{armónico},1} + \omega_{\text{armónico},2}. \quad (22)$$

25 Con el modelo del sistema de la forma (18), (19), el método de filtrado de predicción –corrección EKF bien conocido se puede aplicar repetidamente. Cuando el algoritmo es llamado en el tiempo t_k , el estimado de estado antiguo $\hat{\underline{x}}(t_{k-1})$ es tomado y su propagación sobre el tiempo discreto h se simula. Al mismo tiempo, la matriz del sistema del modelo lineal $A(t_{k-1}) = \left. \frac{\partial f}{\partial \hat{\underline{x}}} \right|_{t_{k-1}}$ se utiliza para predecir la covarianza de la estimación de estado. El estado predicho y la covarianza asociada se denomina $\hat{\underline{x}}^-(t_k)$ y $P^-(t_k)$:

$$\hat{\underline{x}}^-(t_k) = f(\hat{\underline{x}}(t_{k-1}), \underline{u}(t_{k-1})), \quad (23)$$

$$P^-(t_k) = A(t_{k-1}) \cdot P(t_{k-1}) \cdot A(t_{k-1})^T + \frac{h}{2} (Q + A(t_{k-1}) \cdot Q \cdot A(t_{k-1})^T). \quad (24)$$

La covarianza de la estimación predicha $P^-(t_k)$ y la linealidad de la ecuación de salida $H(t_k) = \left. \frac{\partial h}{\partial \underline{x}} \right|_{t_k}$ se utilizan para calcular la ganancia Kalman $K(t_k)$:

$$K(t_k) \cdot [H(t_k) \cdot P^-(t_k) \cdot H^T(t_k) + R] = P^-(t_k) \cdot H^T(t_k) \quad (25)$$

5 Cuando la diferencia de la medición real y a la medición predicha \hat{y} en el momento t_k se utiliza para corregir tanto el estado como el estimado de covarianza:

$$\hat{\underline{x}}(t_k) = \hat{\underline{x}}^-(t_k) + K(t_k) \cdot (y(t_k) - \hat{y}(t_k)), \quad (26)$$

$$P(t_k) = P^-(t_k) - K(t_k) \cdot H(t_k) \cdot P^-(t_k). \quad (27)$$

Los parámetros utilizados para este algoritmo en la grúa LHM Liebherr son dados en la Tabla 1. Por favor note que solamente los elementos diagonales de la matriz de ruido del proceso Q fueron establecidos. Por lo tanto, solo aquellos son dados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros y Rangos

| Símbolo | Nombre | Valor |
|-----------------------------|---------------------------------|--|
| l | Longitud de la cuerda | 5 – 120 m |
| g | Aceleración gravitacional | 9.81 m/s ² |
| ρ_{A1}, ρ_{A2} | Espacio de trabajo del pescante | 10 – 48 m |
| FR | Fuerza de la cuerda | 9 – 1020 kN |
| μ | Peso de la cuerda | 9 kg/m |
| R | Ruido del detector | $2 \cdot 10^{-5} \text{ rad}^2/\text{s}^2$ |
| Qq | Ruido del proceso | $0.2 \text{ m}^2/\text{s}^2$ |
| Qq | | $2 \text{ m}^2/\text{s}^2$ |
| $Q\omega_{\text{desfase}}$ | | $2 - 10^{-5} \text{ rad}^2/\text{s}^4$ |
| $Q\omega_{\text{armónico}}$ | | $1 \text{ rad}^2/\text{s}^2$ |
| $Q\omega_{\text{armónico}}$ | | $1 - 10^{-4} \text{ rad}^2/\text{s}^6$ |
| h | Tiempo discreto | 0.026 s |

10

3.4 Resultados

15 La Figura 5 muestra la posición de la punta del pescante durante una secuencia de plegado así como también la posición de la carga observada. Se puede ver que la carga está siempre acelerada hacia la punta del pescante. Para la misma secuencia de plegado, la Figura 6, compara la estimación de la velocidad de la carga del observador presentado con las mediciones de referencia GPS. Aquellas mediciones de referencia se registraron con un receptor Novatel RT-2 con capacidades cinemáticas en tiempo real (RTK-GPS)^{5 6}. Se puede ver que la estimación de estado observada está en buen acuerdo con las mediciones de referencia GPS.

⁵La antena se colocó en la carga y por lo tanto se midió la posición de carga horizontal p_{L1} y no la velocidad graficada \dot{p}_{L1} , sin embargo, hubo un sesgo sistemático en las mediciones de posición GPS comparadas con el observador. La razón de este desfase fue una deflexión de la torre de la grúa pequeña, no modelada que depende de la carga de la grúa. Por lo tanto, las mediciones de posición del GPS se diferenciaron y la velocidad de la carga del GPS resultante se utilizó como una referencia para la estimación de la velocidad de la carga del observador.

⁶Se debe notar que el sistema de RTK-GPS es adecuado solo para la medición de referencia experimental. En aplicaciones de grúa real el gancho se puede rodear fácilmente por contenedores o se podría bajar al casco del barco donde la antena del GPS no tiene recepción.

4. Observador de Doble Péndulo

10 Cuando se maneja carga general, las configuraciones de doble péndulo como se ven en la Figura 7 son comunes.

En esta sección el modelo de grúa es por lo tanto extendido a una configuración de doble péndulo.

4.1 Modelamiento de doble péndulo.

15 El modelamiento de doble péndulo es esencialmente análogo a la sección 3.1. La longitud de la cuerda entre la punta del pescante y el gancho es l_1 y la longitud de la cuerda entre el gancho y la carga es l_2 . A diferencia de l_1 , la distancia entre el gancho y la carga no pueden cambiar. Por lo tanto l_2 se considera constante. Como se muestra en la figura 8, el gancho y la carga están modelados como masas puntuales con las posiciones $\underline{p}_H = (p_{H1}, p_{H2})^T$ y $\underline{p}_L = (p_{L1}, p_{L2})^T$. Con el fin de acortar los cálculos, ambas posiciones se pueden escribir como un vector simple:

$$\underline{p} = (p_{H1}, p_{H2}, p_{L1}, p_{L2})^T \quad (28)$$

20 Utilizando las coordenadas horizontales del gancho y de la carga como coordenadas generalizadas, $q_1 \approx p_{H1}$ y $q_2 \approx p_{L1}$ el vector de posición se puede expresar como sigue (ver Figura 8):

$$\underline{p} = \begin{pmatrix} q_1 \\ p_{A2} - s_1 \\ q_2 \\ p_{A2} - s_1 - s_2 \end{pmatrix}. \quad (29)$$

Donde s_1 y s_2 son:

$$s_1 = \sqrt{l_1^2 - (q_1 - p_{A1})^2}, \quad s_2 = \sqrt{l_2^2 - (q_2 - q_1)^2}. \quad (30)$$

25 Aunque la dimensión del problema ha cambiado, las expresiones para velocidad y aceleración son aproximadamente las mismas que para el péndulo único en (4) y (7):

$$\dot{\underline{p}} = \frac{\partial \underline{p}}{\partial \underline{q}} \dot{\underline{q}} + \frac{\partial \underline{p}}{\partial t} = \underline{J} \dot{\underline{q}} + \underline{\bar{v}}, \quad (31)$$

$$\ddot{\underline{p}} = \underline{J} \ddot{\underline{q}} + \left(\frac{\partial \underline{J}}{\partial t} + \frac{\partial \underline{J}}{\partial q_1} \dot{q}_1 + \frac{\partial \underline{J}}{\partial q_2} \dot{q}_2 \right) \dot{\underline{q}} + \frac{\partial \underline{\bar{v}}}{\partial t} + \frac{\partial \underline{\bar{v}}}{\partial \underline{q}} \dot{\underline{q}}. \quad (32)$$

Aplicando la segunda ley de Newton las masas puntuales dan:

$$M \ddot{\underline{p}} = \begin{pmatrix} 0 \\ -m_H g \\ 0 \\ -m_L g \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \underline{F}_{R1} - \underline{F}_{R2} \\ \underline{F}_{R2} \end{pmatrix}, \quad (33)$$

Donde \underline{F}_{R1} y \underline{F}_{R2} son los vectores de fuerza de la cuerda y M es la matriz de la masa: $M = \text{diag}(M_H, M_H, M_L)$. Con (32) insertado (33) y siendo aplicado el principio de D'Alembert, se pueden obtener las siguientes dinámicas de péndulo doble:

$$(J^T M J) \ddot{\underline{q}} = J^T M \left[\begin{pmatrix} 0 \\ -g \\ 0 \\ -g \end{pmatrix} - \left(\frac{\partial J}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial q_1} \dot{q}_1 + \frac{\partial J}{\partial q_2} \dot{q}_2 \right) \dot{\underline{q}} \right. \\ \left. \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial \underline{q}} \dot{\underline{q}} \right]. \quad (34)$$

5

La estructura de la ecuación diferencial $\ddot{\underline{q}} = f_{\underline{q}}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}, u)$ así como también las entradas \underline{u} no han cambiado comparadas con el caso de péndulo único. También, la ecuación de medición no ha cambiado comparado con (13) excepto para los nombres variables:

$$\omega_{\text{cuerda}} = \frac{\dot{q}_1 - \dot{p}_{A1}}{\sqrt{l_1^2 - (q_1 - p_{A1})^2}}. \quad (35)$$

10 Por lo tanto el Filtro Kalman Extendido se implementa de la misma manera que en el caso del péndulo único.

Se debe notar que es posible perder la capacidad de observación si una de las frecuencias de oscilación armónicas naturales (15) coincide con la segunda frecuencia propia del doble péndulo. En el caso de las grúas LHM, estas solo pueden ocurrir en longitudes de cuerda larga ($l_1 > 80$ m) y cargas ligeras ($m_2 < 2000$ kg). Un sistema detector adicional en el gancho se puede utilizar para distinguir entre las oscilaciones armónicas y las dinámicas de doble péndulo.

15

4.2 Resultados.

Para validar los resultados del observador de doble péndulo, el sistema RTK-GPS se instaló en la grúa; la antena se puso en el gancho. La Figura 9 muestra tanto la velocidad de carga observada como la velocidad medida vía GPS. Hasta aproximadamente 380 s en la medición, se pueden ver ambas frecuencias propias del doble péndulo. Posteriormente, la oscilación primaria se atenúa mediante la operación de la grúa, dejando solamente el segundo modo propio oscilante. Se puede ver que la velocidad de la carga observada coincide con la medición de referencia muy bien.

20

5. Conclusión

Un observador de posición de carga se presentó tanto para la configuración de grúa de péndulo único como de doble péndulo. Los observadores se ejecutan como Filtros Kalman Extendidos. Las señales de entradas requeridas son la posición de punta del pescante que se puede medir utilizando los codificadores de incremento y la velocidad angular de la cuerda, medida mediante giroscopios. Las oscilaciones armónicas naturales de la cuerda de la grúa así como también el desfase del sensor del giroscopio fueron tenidos en cuenta. Los observadores presentes fueron probados en grúas móviles de puerto Liebherr. En una configuración experimental, se utilizó un sistema de RTK-GPS para medir la posición del gancho por referencia. Las mediciones RTK-GPS han mostrado que el observador trabaja como se esperaba tanto en el péndulo único como en el caso de doble péndulo.

30

REIVINDICACIONES

- 5 1. Aparato de control de grúa para una grúa donde la carga está suspendida en un cable de grúa desde un punto de suspensión del cable de la grúa, que comprende un observador para estimar al menos la posición y/o velocidad de la carga desde al menos una entrada de detector de un primer detector al utilizar un modelo físico de la carga suspendida en el cable de la grúa, caracterizado porque
- El modelo físico del observador utiliza la posición de la carga y/o la velocidad de la carga como una variable de estado.
- 10 2. El aparato de control de grúa de acuerdo a la reivindicación 1, en donde el observador utiliza la posición del punto de suspensión del cable como una entrada y/o en donde el modelo físico del observador describe las dinámicas de la posición de la carga y/o la velocidad de la carga e independencia de la posición del punto de suspensión del cable utilizando un modelo de las dinámicas del péndulo de la carga suspendida en el cable.
3. Aparato de control de grúa de acuerdo a la reivindicación 2, en donde la posición del punto de suspensión del cable se calcula de al menos una entrada de detector de un segundo detector y/o de las señales de control para los accionadores que controlan la posición del punto de suspensión del cable.
- 15 4. Aparato de control de grúa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el modelo físico es un modelo no lineal y/o en donde el observador utiliza la velocidad del punto de suspensión del cable como una entrada.
5. Aparato de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el observador es independiente de la aceleración del punto de suspensión del cable.
- 20 6. Aparato de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el observador comprende un modelo de afectación para el desfase del detector y/o las oscilaciones de cuerda del cable para predecir los valores de medición del primer detector.
7. Aparato de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el modelo físico del observador se basa en la dinámica del doble péndulo de la carga suspendida en los medios de suspensión suspendidos en el cable.
- 25 8. Aparato de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde una posición de carga absoluta y/o una velocidad de carga absoluta en un sistema de coordenadas que es independiente de la posición del punto de suspensión del cable se utiliza como una variable de estado y/o donde el ángulo del cable no se utiliza como variable de estado.
- 30 9. Aparato de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el primer detector mide el ángulo del cable y/o la velocidad del ángulo del cable, en donde el detector es preferiblemente un giroscopio y/o se localiza en un rodillo de leva del cable, en particular un rodillo de leva de cable unido a la punta del pescante en la grúa mediante una junta de cardán.
- 35 10. Aparato de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el observador utiliza un filtro extendido Kalman para estimar la posición de carga y/o la velocidad de carga.
- 40 11. Aparato de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende un control anti balanceo para evitar el movimiento de péndulo y rotacional no deseado de la carga y/o un módulo de planeación de trayectoria para planear las trayectorias de la carga suspendida en el cable, en donde preferiblemente el control anti balanceo y/o el módulo de planeación de la trayectoria se basan en la estimación de la posición y/o la velocidad de la carga suministrada por el observador.
12. Aparato de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, para una grúa que tiene un pescante que tiene un eje de plegado horizontal y/o un eje de rotación vertical y/ en donde la longitud del cable se puede controlar utilizando un cabrestante de izado, en donde preferiblemente el cable se dirige desde el cabrestante de izado alrededor del punto de suspensión del cable localizado en la punta del pescante.
- 45 13. Método de control de grúa, en particular un método de control de grúa que utiliza un aparato de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, para una grúa donde la carga se suspende sobre un cable de grúa desde el punto de suspensión de la grúa, en donde se utiliza un observador para estimar al menos la posición y/o velocidad de la carga desde al menos una entrada de detector al utilizar un modelo físico de la carga suspendida sobre el cable de grúa,

caracterizada porque el modelo físico del observador utiliza la posición de carga y/o la velocidad de carga como una variable de estado.

5 14. Software de control de grúa, en particular software de control de grúa en un medio de almacenamiento leíble por ordenador, que comprende implementar un código en un aparato de control de grúa o un método de control de grúa de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

15. Grúa que comprende un aparato de control de grúa de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

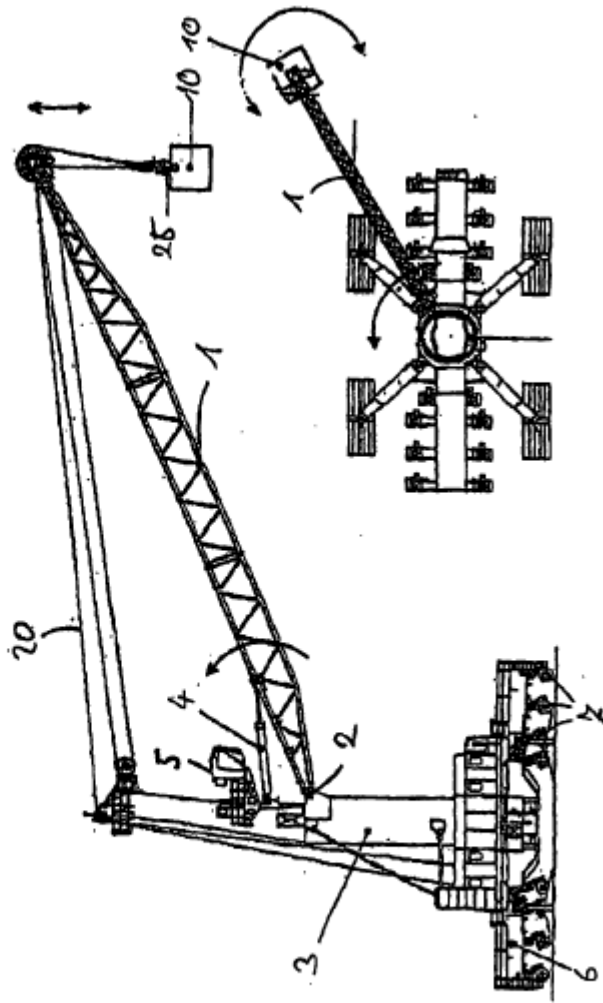


Fig. 1

Fig. 2

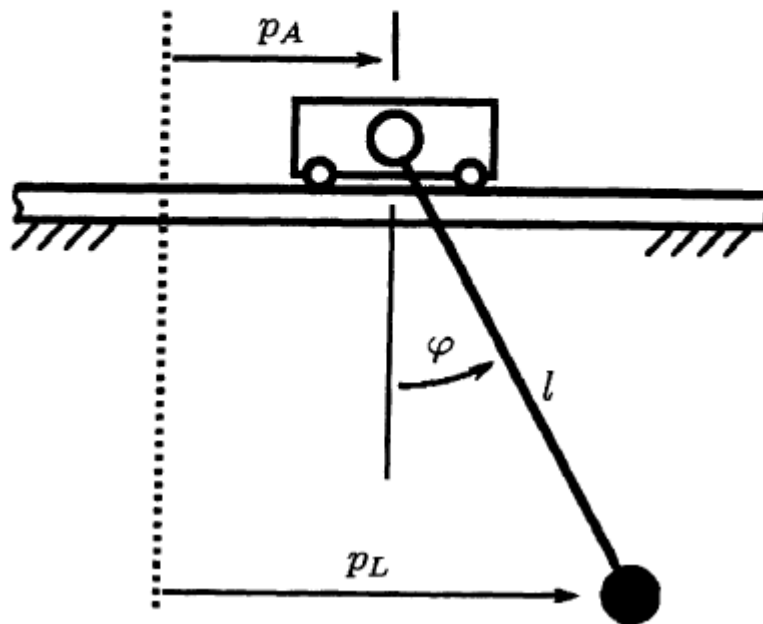


Fig. 3

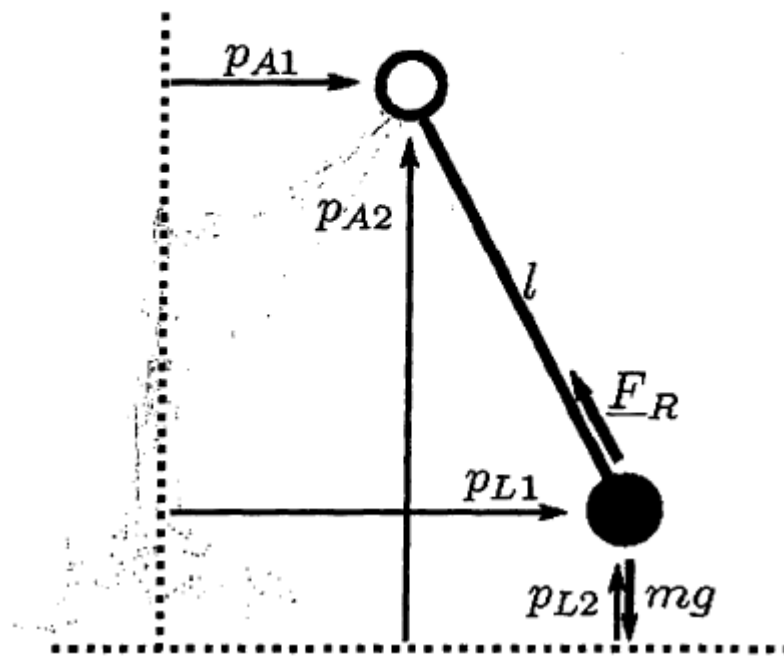


Fig. 4

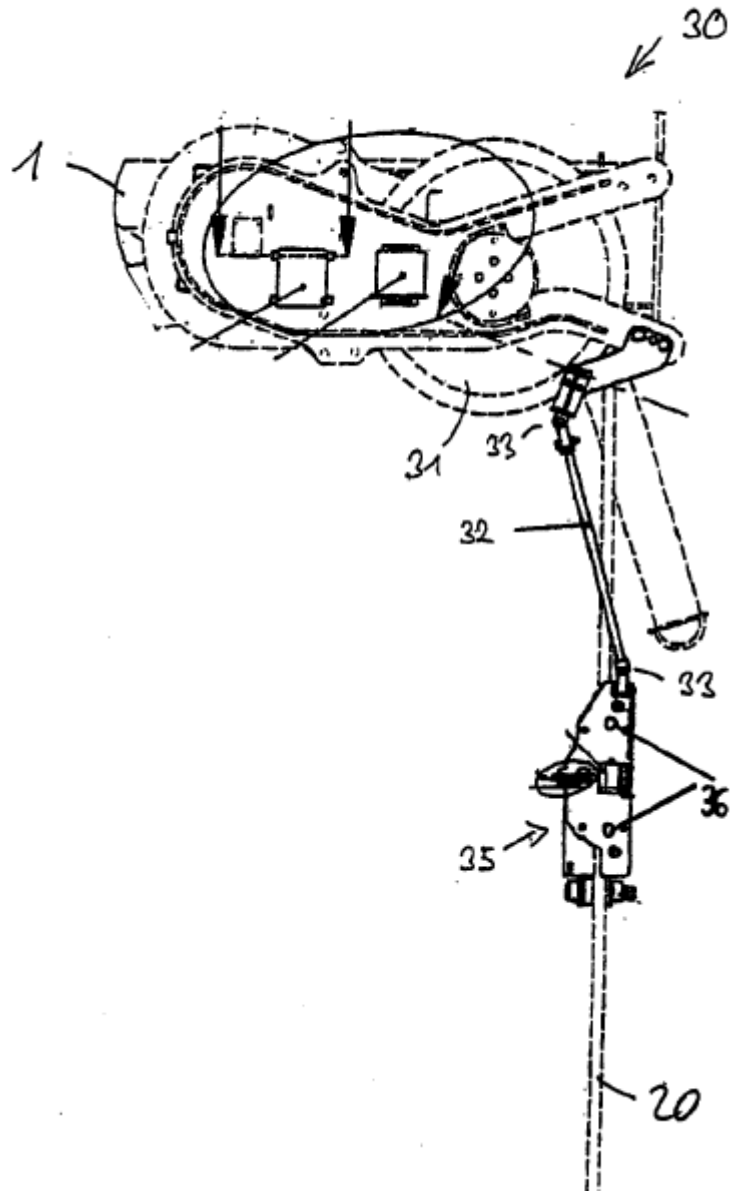


Fig. 5

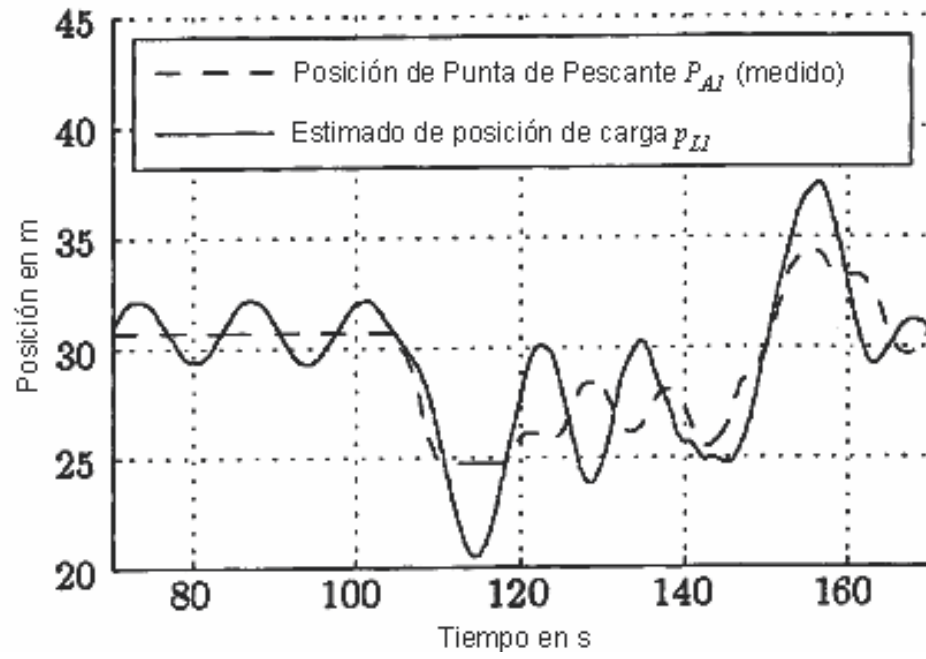


Fig. 6

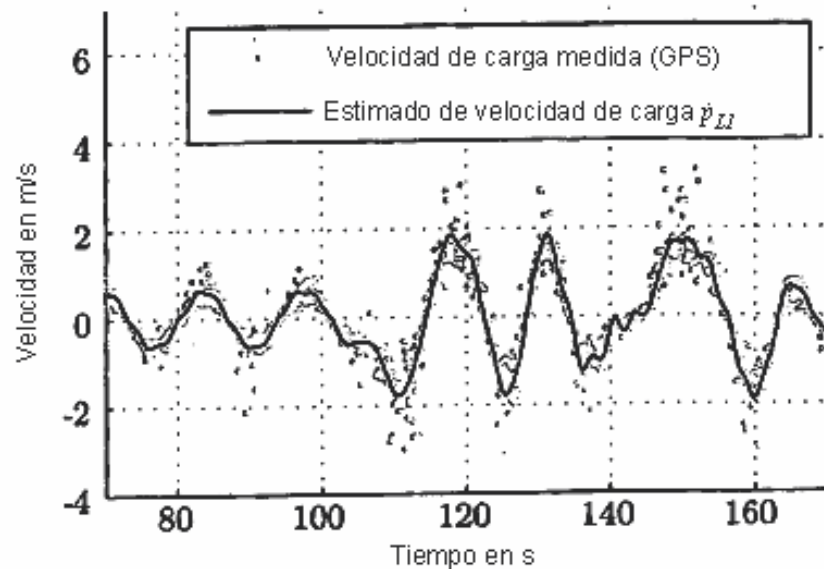


Fig. 7

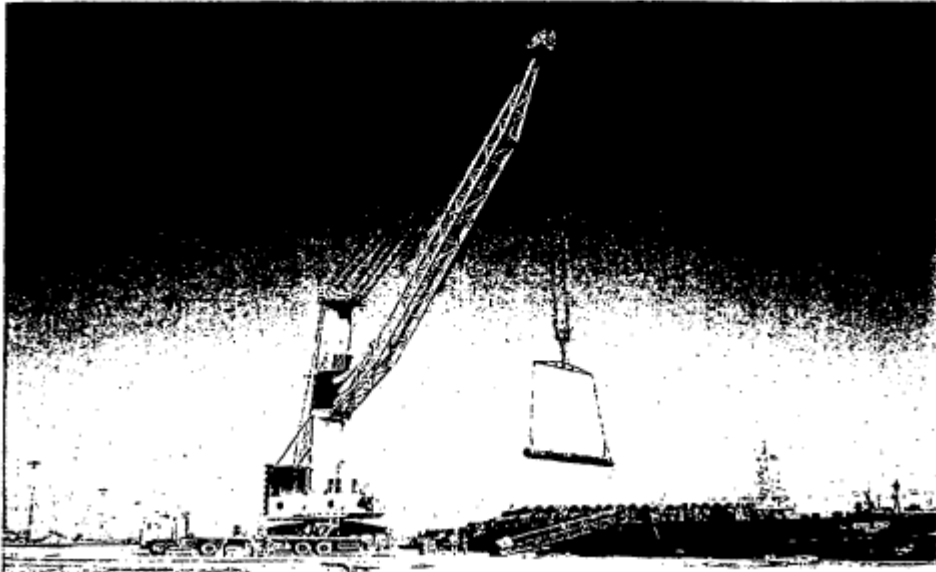


Fig. 8

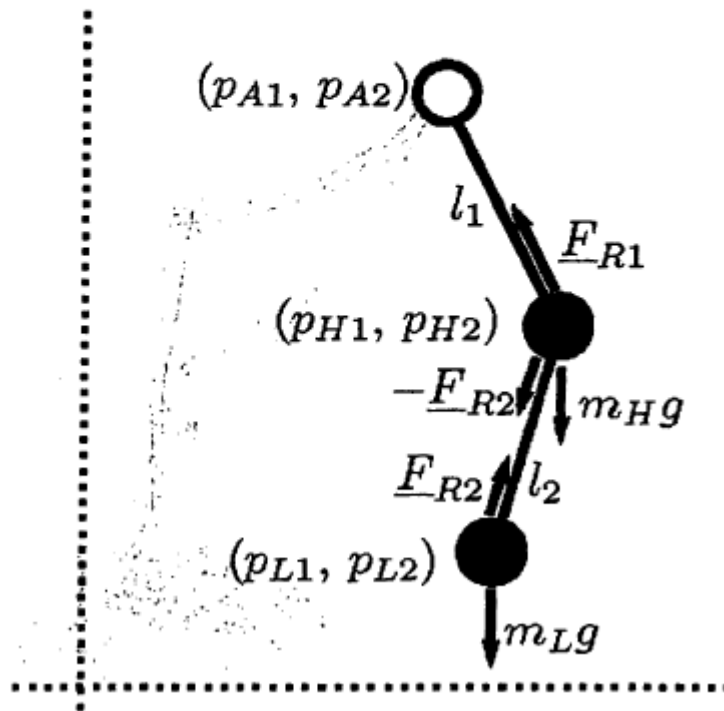


Fig. 9

