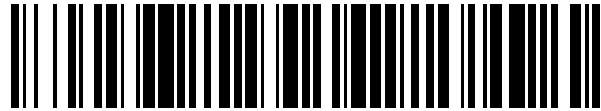


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 318**

51 Int. Cl.:

B66C 13/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2010 E 10006767 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **12.01.2011 EP 2272786**

54 Título: **Unidad de control de grúa para el control de un mecanismo de elevación de una grúa**

30 Prioridad:

08.07.2009 DE 102009032269

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

30.01.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SCHNEIDER, KLAUS;
SAWODNY, OLIVER y
KÜCHLER, SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 394 318 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

Unidad de control de grúa para el control de un mecanismo de elevación de una grúa

5 La presente invención hace referencia a una unidad de control de grúa para el control de un mecanismo de elevación de una grúa. En particular, se trata de una unidad de control electrónica de grúa, que a partir de los elementos de entrada de un operador, particularmente mediante señales de entrada proporcionadas mediante palancas de mano, determina señales de control para el mecanismo de elevación de una grúa. De manera alternativa, las señales de entrada también se generan mediante un sistema de automatización.

10 Cuando se eleva la carga con la grúa, además de las cargas estáticas que, debido al peso de la carga, actúan inevitablemente sobre el cable así como sobre la grúa, se generan otras cargas dinámicas mediante el movimiento de la carga. Para poder soportar también dichas cargas dinámicas, la estructura de la grúa se realiza de manera estable en correspondencia o bien, la carga máxima estática se reduce en correspondencia.

15 En el caso de las unidades de control de grúa conocidas, el operador determina libremente mediante el accionamiento de la palanca de mano, la velocidad del mecanismo de elevación. Por lo tanto, en el caso de una operación correspondiente, se presentan cargas dinámicas considerables que se consideran mediante una construcción estable en correspondencia (y de esta manera costosa) de la grúa. Una grúa de esta clase se conoce de la patente WO 2008/031447A.

El objeto de la presente invención consiste en proporcionar una unidad de control de grúa mejorada.

20 Dicho objeto se resuelve, conforme a la presente invención, mediante una unidad de control de grúa de acuerdo con la reivindicación 1. De esta manera, la presente invención proporciona una unidad de control de grúa para el control de un mecanismo de elevación de una grúa, que durante el control del mecanismo de elevación, considera la dinámica de oscilaciones que se basa en la capacidad de extensión del cable de grúa, y que se reduce o bien, se amortigua mediante un control apropiado del mecanismo de elevación. En particular, se considera la dinámica de oscilaciones del sistema compuesto por el cable y la carga. Además, de manera ventajosa, se puede considerar también el mecanismo de elevación y/o la estructura de la grúa. De esta manera, se pueden reducir las cargas dinámicas que actúan sobre el cable y sobre la estructura de la grúa, mediante la aplicación de la unidad de control de grúa conforme a la presente invención. De esta manera, la estructura de la grúa se puede construir de una manera más simple en correspondencia o bien, se puede accionar con cargas estáticas mayores. En particular, la unidad de control de grúa conforme a la presente invención, puede limitar la fuerza de elevación que actúa sobre la estructura de la grúa, considerando la dinámica de oscilaciones del sistema compuesto por el mecanismo de elevación, el cable y la carga, en un valor máximo admisible.

35 La unidad de control de grúa conforme a la presente invención, comprende de manera ventajosa un funcionamiento de reducción de oscilaciones, en el cual se considera la dinámica de oscilaciones que se basa en la capacidad de extensión del cable de elevación, mientras que durante el control del mecanismo de elevación no se consideran los movimientos eventuales de la zona de apoyo, sobre la cual se apoya la estructura de la grúa. En el funcionamiento con reducción de oscilaciones, el control parte de una zona de apoyo fija. Por lo tanto, el control conforme a la presente invención sólo debe considerar oscilaciones que se generan mediante el cable de elevación y/o el mecanismo de elevación y/o la estructura de grúa. Los movimientos de la zona de apoyo que se generan, por ejemplo, en el caso de una grúa flotante mediante un movimiento ondulatorio, por el contrario, no se consideran en el funcionamiento con reducción de oscilaciones. La unidad de control de grúa se puede conformar de una manera considerablemente más simple.

40 La unidad de control de grúa conforme a la presente invención, se puede utilizar en una grúa que durante la elevación se apoya efectivamente con la estructura de la grúa sobre una zona de apoyo fija, particularmente sobre el suelo. La unidad de control de grúa conforme a la presente invención, se puede aplicar también en una grúa flotante, sin embargo, no considera los movimientos del cuerpo flotante en el funcionamiento con reducción de oscilaciones. 45 En el caso que la unidad de control de grúa presente un modo de funcionamiento con una secuencia de oleaje activa, de esta manera se logra el funcionamiento con reducción de oscilaciones en correspondencia, sin un funcionamiento simultáneo con una secuencia de oleaje activa.

50 Además, de manera ventajosa, el método conforme a la presente invención se utiliza en grúas móviles y/o desplazables. La grúa presenta, de manera ventajosa, medios de apoyo mediante los cuales se puede apoyar en diferentes lugares de elevación. Además, de manera ventajosa, el método se utiliza en grúas de puerto, particularmente en grúas móviles de puerto, en grúas sobre orugas, en grúas autotransportadas, etc.

Además, el mecanismo de elevación de la grúa conforme a la presente invención, se puede accionar de manera hidráulica. De manera alternativa, se puede realizar un accionamiento mediante un motor eléctrico.

La unidad de control de grúa conforme a la presente invención, a partir de los elementos de entrada introducidos por un operador, particularmente señales de entrada introducidas mediante palancas de mano, determina de manera ventajosa señales de control para el mecanismo de elevación de una grúa, en donde cuando se determinan las señales de control, se considera la dinámica de oscilaciones del sistema compuesto por el mecanismo de elevación, el cable y la carga, que se basa en la capacidad de extensión del cable de elevación, para limitar las fuerzas dinámicas que actúan sobre el cable y sobre la estructura de la grúa. De manera alternativa o adicional, la unidad de control de grúa puede presentar un sistema de automatización que predetermina un movimiento de elevación teórico. De manera ventajosa, se limita la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación para la limitación de las sobreoscilaciones en, al menos, una fase del funcionamiento, particularmente durante la elevación y/o el depósito de la carga, en una velocidad de accionamiento máxima admisible. La velocidad de accionamiento máxima admisible puede ser también igual a cero, de manera que la unidad de control de grúa detenga el mecanismo de elevación. De manera ventajosa, la unidad de control de grúa limita, sin embargo, la velocidad de accionamiento en una velocidad mayor a cero, de manera que el movimiento de elevación no sea interrumpido.

La presente invención permite limitar las sobreoscilaciones de la fuerza de elevación más allá de la carga estática, en una magnitud determinada. De manera ventajosa, las sobreoscilaciones se pueden limitar en un factor fijo de la carga máxima en relación con la posición de la pluma.

La consideración de la dinámica de oscilaciones o bien, la limitación de la velocidad de accionamiento, se realiza de manera ventajosa, al menos, en aquellas fases de funcionamiento que resultan particularmente relevantes para las cargas dinámicas del sistema compuesto por el torno de elevación, el cable de elevación y la carga. Además, se puede prever particularmente que la velocidad de accionamiento sólo se limite en determinadas fases de accionamiento y que, por el contrario, en otras fases de funcionamiento se libere para no limitar de manera innecesaria a un operador. En particular, se puede prever que la velocidad de accionamiento se limite sólo durante la elevación y/o el apoyo de la carga y que, de lo contrario, se libere.

De manera ventajosa, se prevé además que la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación se determine mediante las señales de entrada, hasta que la velocidad de accionamiento sea inferior a la velocidad de accionamiento máxima admisible. Justo cuando la velocidad de accionamiento determinada a partir de las señales de entrada del operador, ha excedido la velocidad de accionamiento máxima admisible, la velocidad de accionamiento se limita con dicha velocidad de accionamiento máxima admisible. En cuanto el operador no exceda la velocidad de accionamiento máxima admisible, dicho operador puede controlar libremente el mecanismo de elevación como en el caso de las unidades de control de grúa conocidas.

De manera ventajosa, la unidad de control de grúa determina la velocidad de accionamiento máxima admisible del mecanismo de elevación, de manera dinámica mediante los datos de la grúa. De esta manera, no se predetermina ninguna velocidad de accionamiento máximo admisible fija, sino que dicha velocidad se determina respectivamente en el momento en relación con la situación. De esta manera, la velocidad de accionamiento máxima admisible se puede adaptar continuamente a la respectiva situación de elevación. Esto presenta la ventaja de que la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación no se debe limitar estrictamente de manera innecesaria.

De manera ventajosa, el alcance de la grúa se considera en la velocidad de accionamiento máxima admisible. El alcance de la grúa determina en primer lugar la fuerza máxima que puede soportar la estructura de la grúa y, de esta manera, las fuerzas dinámicas máximas admisibles. En el caso que la grúa presente una pluma basculante que se balancea alrededor de un eje de balanceo horizontal, de esta manera el ángulo de balanceo de la pluma se considera en la determinación de la velocidad de accionamiento máxima admisible.

Además, de manera ventajosa, la velocidad de accionamiento máxima admisible del mecanismo de elevación, se determina en relación con una fuerza de elevación actual medida. Esto permite que las sobreoscilaciones de la fuerza de elevación se limiten en un valor determinado de la fuerza de elevación estática máxima admisible. De manera ventajosa, la velocidad de accionamiento máxima admisible desciende con una fuerza de elevación en aumento. En particular, de manera ventajosa, la velocidad de accionamiento máxima admisible es inversamente proporcional a la raíz obtenida a partir de la fuerza de elevación actual medida. La fuerza de elevación se determina a través de un sensor de peso de carga.

Además, de manera ventajosa, la velocidad de accionamiento máxima admisible del mecanismo de elevación, se determina en relación con la longitud del cable. La longitud del cable influye sobre la rigidez del cable de elevación y, de esta manera, sobre la dinámica del sistema compuesto por el torno de elevación, el cable y la carga. Además, la longitud del cable se determina, de manera ventajosa, mediante una medición del movimiento del mecanismo de elevación, o mediante los datos de control del mecanismo de elevación.

Además, de una manera ventajosa, en el cálculo de la velocidad de accionamiento máxima admisible se consideran además constantes determinadas, que dependen de la conformación de la grúa y del cable.

5 De manera ventajosa, la velocidad de accionamiento máxima admisible del mecanismo de elevación, se determina mediante un modelo físico que describe la dinámica de oscilaciones del sistema compuesto por el mecanismo de elevación, el cable y la carga. De esta manera, se logra alcanzar una limitación precisa de la velocidad de accionamiento máxima admisible. Además, la unidad de control de grúa se adapta de una manera simple a otros modelos de grúa.

Dado que las cargas dinámicas de la grúa y del cable de la grúa resultan muy diferentes en las diferentes fases de una elevación, resulta ventajoso cuando la unidad de control de grúa se controla en las diferentes fases con un respectivo programa de control apropiado.

10 Por lo tanto, la unidad de control de grúa conforme a la presente invención, presenta de manera ventajosa una unidad de identificación de situación, mediante la cual la unidad de control de grúa determina el comportamiento de control. En particular, la unidad de control de grúa conforme a la presente invención, presenta un autómata de estado que mediante la unidad de identificación de situación determina el comportamiento de control de la unidad de control de grúa. En particular, de manera ventajosa, se trata de un autómata de estado discreto que identifica estados discretos, y que en dichos estados ejecuta respectivamente programas de control predeterminados para el mecanismo de elevación.

15 De manera ventajosa, la unidad de identificación de situación identifica un estado de elevación en el que la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación se limita para evitar sobreoscilaciones. De manera ventajosa, el autómata de estado presenta además un estado de elevación en el que la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación, se limita para evitar sobreoscilaciones. Mediante la elevación de una carga, se presentan las mayores cargas dinámicas del cable y de la grúa, de manera que resulta importante que en dicha fase se limite la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación, conforme a la presente invención, para evitar sobreoscilaciones.

20 De manera ventajosa, se cambia al estado de elevación cuando la unidad de identificación de situación identifica la elevación de una carga apoyada sobre el suelo. En tanto que la carga aún se encuentre apoyada sobre el suelo, mediante el enrollamiento del cable de elevación se tensa en primer lugar el cable de elevación, hasta que eleve la carga del suelo. Durante dicha fase, se limita la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación, con el fin de evitar sobresoscilaciones de la carga después de elevar dicha carga.

25 De manera ventajosa, la unidad de identificación de situación identifica además un estado de elevación, en tanto que se monitoriza una variación de la fuerza de elevación medida. De manera ventajosa, la derivada de la fuerza de elevación se considera en la identificación de la situación. En particular, se puede consultar si la derivada de la fuerza de elevación excede, de acuerdo al tiempo, un determinado valor mínimo predeterminado. Además, en la identificación de la situación se puede considerar también el valor absoluto de la fuerza. De manera ventajosa, se consideran además la diferencia entre la fuerza de elevación actual medida, y la fuerza de elevación estática determinada en último término, que está condicionada sólo por el peso estático de la carga. Además, se puede consultar si dicha diferencia excede un determinado valor predeterminado. En tanto que también se consideran los valores absolutos de la fuerza, se puede evitar que se detecte un estado de elevación, aunque la carga cuelgue libremente del gancho y no amenace ninguna sobreoscilación considerable.

30 Además, de manera ventajosa, la unidad de identificación de situación identifica un estado de liberación, en el que la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación se libera, en donde de manera ventajosa se identifica un estado de liberación, cuando la carga se ha elevado y cuelga libre del cable de la grúa. De manera ventajosa, el autómata de estado presenta para ello un estado de liberación, en el que se libera la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación. Esto permite que en las fases de funcionamiento de esta clase, en las que no resulta necesario calcular con una sobreoscilación de la fuerza de elevación, el operador no es limitado por la unidad de control de grúa conforme a la presente invención. Más bien, en dichas fases el mecanismo de elevación puede ser controlado libremente por el operador, sin que la unidad de control de grúa limite la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación.

35 De manera ventajosa, se cambia al estado de liberación, cuando la unidad de identificación de situación identifica que la carga ha sido elevada y que cuelga libremente del cable de la grúa. En dicha situación, no se esperan procesos dinámicos decisivos, de manera que el operador puede controlar libremente el mecanismo de elevación.

40 De manera ventajosa, en la identificación de la situación se consideran además los datos en relación con el movimiento del mecanismo de elevación, para identificar si la carga ha sido elevada. En particular, la unidad de identificación de situación, a partir de la fuerza de elevación medida y de los datos en relación con el comportamiento de extensión del cable, determina el momento en el que el mecanismo de elevación ha enrollado una cantidad de cable suficiente para poder elevar la carga del suelo.

Además, de manera ventajosa, la unidad de identificación de situación identifica un estado de depósito, en el que la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación se limita para evitar que se desenrolle una cantidad de cable innecesaria cuando se deposita la carga. De manera ventajosa, el autómata de estado presenta para ello un estado de depósito, en el que la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación se limita para evitar que se desenrolle una cantidad de cable innecesaria cuando se deposita la carga. Cuando se deposita la carga, no se requieren limitaciones en relación con la estabilidad de la estructura de la grúa. Sin embargo, para evitar que el conductor de la grúa desenrolle una cantidad excesiva de cable de tracción, cuando deposita la carga sobre el suelo, también en esta clase de situaciones interviene la unidad de control de grúa conforme a la presente invención.

Las ejecuciones descritas hasta el momento, de las unidades de control de grúa conformes a la presente invención, intervienen en el control del mecanismo de elevación esencialmente en aquellas fases de la elevación en las que la carga se eleva o se deposita. Esto se basa en la reflexión de que en dichas fases se presentan los mayores efectos dinámicos, de manera que se pueda evitar de manera efectiva una sobreoscilación mediante una limitación de la velocidad, particularmente mediante una limitación de la velocidad en relación con la carga. Mientras la carga cuelga libremente del gancho de la grúa, la unidad de control representada hasta el momento, sin embargo, de manera ventajosa no interviene o sólo interviene en situaciones excepcionales.

La presente invención comprende otra variante de unidad de control, que se utiliza de manera ventajosa durante las fases en las que la carga cuelga del cable de la grúa. En dichas fases, la unidad de control de grúa se utiliza para evitar las oscilaciones propias del cable y/o de la estructura de la grúa, que también pueden ejercer un esfuerzo para los cables y la estructura de la grúa.

Además, la presente invención comprende una unidad de control de grúa, para la cual un movimiento de elevación teórico de la carga sirve como un parámetro de entrada, en base al cual se calcula un parámetro de control para el control del mecanismo de elevación. Además, la unidad de control de grúa conforme a la presente invención, cuando se calcula el parámetro de control, considera la dinámica de oscilaciones que se genera debido a la capacidad de extensión del cable de elevación. De esta manera, se pueden amortiguar las oscilaciones propias del sistema compuesto por el cable y la carga. A partir de las señales de entrada del operador y/o de un sistema de automatización, se genera en primer lugar un movimiento de elevación teórico de la carga, que se utiliza como parámetro de entrada de la unidad de control de grúa conforme a la presente invención. En base a dicho parámetro de entrada y considerando la dinámica de oscilaciones, se calcula un parámetro de control para el control del mecanismo de elevación, con el fin de amortiguar las oscilaciones propias.

De manera ventajosa, además de la capacidad de extensión del cable de elevación, cuando se calcula el parámetro de control, también se considera la dinámica de oscilaciones del mecanismo de elevación debido a la capacidad de compresión del fluido hidráulico. Dicho factor también puede generar oscilaciones propias del sistema compuesto por el mecanismo de elevación, el cable y la carga, que someten a esfuerzos a la estructura de la grúa.

De manera ventajosa, la longitud de cable variable del cable de elevación se incluye en el cálculo del parámetro de control. La longitud del cable de elevación influye en la rigidez del cable y, de esta manera, en su dinámica. Además, de manera ventajosa, la fuerza de elevación medida o bien, el peso determinado a partir de ello, de la carga que cuelga del cable portacarga, se incluyen en el cálculo del parámetro de control. El peso de la carga que cuelga del cable portacarga, influye esencialmente en la dinámica del sistema compuesto por el cable de elevación, el mecanismo de elevación y la carga.

De manera ventajosa, el control del mecanismo de elevación se realiza en base a un modelo físico, que describe el movimiento de elevación de la carga, en relación con el parámetro de control del mecanismo de elevación. De esta manera, se puede lograr una amortiguación muy óptima de las oscilaciones. Además, la aplicación de un modelo físico permite una adaptación rápida de la unidad de control de grúa, conforme a la presente invención, a otras grúas. En particular, una adaptación de esta clase se puede realizar en base a cálculos simples y datos de la grúa. El modelo parte, de manera ventajosa, de un lugar de apoyo fijo para la grúa.

De manera ventajosa, el control del mecanismo de elevación se realiza en base a una inversión del modelo físico. Mediante la inversión del modelo físico, se obtiene el parámetro de control del mecanismo de elevación, en relación con el movimiento de elevación de la carga, que se puede utilizar como un parámetro de entrada para la unidad de control.

Además, resulta concebible la posibilidad de combinar ambas variantes para una unidad de control de grúa conforme a la presente invención. En particular, se puede realizar una limitación de la velocidad del mecanismo de elevación, cuando el autómata de estado se encuentra en el estado de elevación, y el control del mecanismo de elevación se realiza en base al movimiento de elevación teórico de la carga, cuando el autómata de estado ha cambiado al estado de liberación.

Además, la presente invención comprende un método para el control de un mecanismo de elevación de una grúa, mediante una unidad de control de grúa, en donde en el control del mecanismo de control

5 Se considera la dinámica de oscilaciones basada en la capacidad de extensión del cable de elevación, del sistema compuesto por el mecanismo de elevación, el cable y la carga, y se reduce o bien, se amortigua mediante un control apropiado del mecanismo de elevación a través de la unidad de control de grúa. En particular, el control del mecanismo de elevación se realiza mediante una unidad de control de grúa conforme a la presente invención, como se ha presentado anteriormente.

Además, la presente invención comprende una grúa con una unidad de control de grúa, como se ha presentado anteriormente.

10 La presente invención se representa en detalle de acuerdo con los ejemplos de ejecución, así como mediante los dibujos. Muestran:

Figura 1 las sobreoscilaciones en el eje dinamométrico del mecanismo de elevación, cuando se eleva una carga con y sin la aplicación de una unidad de control de grúa de acuerdo con la presente invención,

15 Figura 2: un primer ejemplo de ejecución de una grúa, en el que se utiliza una unidad de control de grúa conforme a la presente invención,

Figura 3: una representación básica de un primer ejemplo de ejecución de una unidad de control de grúa conforme a la presente invención, con una unidad de identificación de situación y una limitación de la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación durante un estado de elevación,

Figura 4: una representación básica del autómata de estado del primer ejemplo de ejecución,

20 Figura 5: la velocidad de accionamiento de un mecanismo de elevación, cuando se eleva una carga con y sin la aplicación de una unidad de control de grúa conforme a la presente invención, de acuerdo con el primer ejemplo de ejecución,

25 Figura 6: la fuerza de elevación que se genera durante el control del mecanismo de elevación, representado en la figura 5, nuevamente con y sin la aplicación de una unidad de control de grúa conforme a la presente invención, de acuerdo con el primer ejemplo de ejecución,

Figura 7: una representación básica del accionamiento hidráulico de un mecanismo de elevación, y

Figura 8: una representación básica del modelo físico que se consulta, en un segundo ejemplo de ejecución, para el sistema compuesto por el mecanismo de elevación, el cable y la carga.

30 En la figura 2 se muestra un ejemplo de ejecución de la grúa conforme a la presente invención, que está provista de un ejemplo de ejecución de una unidad de control de grúa conforme a la presente invención. La grúa presenta una pluma 1 que se encuentra acoplada mediante articulación a la torre 2, y que se puede balancear alrededor a un eje de balanceo horizontal. Para un balanceo de ascenso y de descenso de la pluma 1, en el plano de balanceo se proporciona un cilindro hidráulico 10, que se encuentra acoplado mediante articulación entre la pluma 1 y la torre 2. La torre 2 está dispuesta de manera que pueda rotar alrededor de un eje de rotación vertical. Para ello, la torre 2 se encuentra dispuesta sobre un equipo superior 7, que puede rotar mediante un mecanismo giratorio en relación con un equipo inferior 8. En el ejemplo de ejecución se trata de una grúa móvil, por lo cual el equipo inferior 8 está provisto de un mecanismo de rodadura 9. En el lugar de elevación la grúa se puede apoyar mediante elementos de apoyo 71.

40 La elevación de la carga se realiza mediante un cable de elevación 3, en el que se encuentra dispuesto un elemento de levantamiento de carga 4, en este caso un gancho de grúa. El cable de elevación 3 se conduce a través de poleas de desvío en el extremo de la pluma 5, así como en el extremo de la torre 6, hacia el mecanismo de elevación 30 en el equipo superior, mediante el cual se puede modificar la longitud del cable de elevación. El mecanismo de elevación 30 se conforma como un torno de elevación.

45 Conforme a la presente invención, la unidad de control de grúa considera durante el control del mecanismo de elevación, la dinámica del sistema compuesto por el mecanismo de elevación, el cable de elevación y la carga, para reducir las oscilaciones debidas a la capacidad de extensión (o bien, elasticidad) del cable de elevación.

A continuación, se representa en detalle un primer ejemplo de ejecución de un método de control implementado en una unidad de control de grúa conforme a la presente invención.

1 Introducción en el primer ejemplo de ejecución

De acuerdo con las normas DIN EN 13001-2 y DIN EN 14985, la estructura de acero se reduce a una grúa giratoria con pluma, en tanto que se pueda garantizar una sobreoscilación máxima en el eje dinámico del mecanismo de elevación. Además, mediante la sobreoscilación dinámica durante la elevación de una carga desde el suelo, se puede exceder la fuerza de elevación máxima admisible en relación con el alcance, sólo alrededor de p-veces el valor. Para garantizar una sobreoscilación máxima de esta clase, se puede utilizar un mecanismo automático de elevación.

La figura 1 muestra la fuerza de elevación medida, cuando se eleva una carga sin un mecanismo automático de elevación, y con un mecanismo automático de elevación, que garantiza una sobreoscilación máxima alrededor de p-veces el valor. El mecanismo automático de elevación presentado a continuación, garantiza que la fuerza máxima admisible en relación con el alcance en el mecanismo de elevación, durante la elevación de una carga desde el suelo, nunca exceda p-veces el valor. Adicionalmente, el mecanismo automático de elevación tratado en este caso, reduce la velocidad del mecanismo de elevación cuando se deposita una carga sobre el suelo. De esta manera, se evita que el conductor de la grúa desenrolle una cantidad excesiva de cable de tracción, cuando deposita la carga sobre el suelo.

2 Modelo de grúa en el primer ejemplo de ejecución

A continuación se describe el modelo de grúa que se utiliza en el primer ejemplo de ejecución, para el desarrollo del mecanismo automático de elevación. La figura 2 muestra la estructura completa de una grúa móvil de puerto. La carga con una masa m_1 es elevada por la grúa mediante el medio de levantamiento de carga, y se encuentra unida con el torno de elevación mediante el cable con la longitud completa l_s . El cable es desviado del medio de levantamiento de carga, respectivamente a partir de una polea de desvío en el extremo de la pluma y la torre. En este aspecto, se debe considerar que el cable no se desvía directamente desde el extremo de la pluma hacia el torno de elevación, sino que se desvía desde el extremo de la pluma hacia la torre, de regreso al extremo de la pluma, y después a lo largo de la torre hacia el torno de elevación (observar la figura 2). De esta manera, se obtiene la longitud de cable completa mediante

$$l_s(t) = l_1(t) + 3l_2(t) + l_3(t), \tag{1}$$

en donde l_1 , l_2 y l_3 son las longitudes parciales desde el torno de elevación hacia la torre, desde la torre hacia el extremo de la pluma, y desde el extremo de la pluma hacia el medio de levantamiento de la carga.

Ahora se considera que la grúa se comporta como un sistema amortiguador masa-resorte, durante la elevación de una carga. La rigidez de resorte completa de la grúa durante el levantamiento de una carga, está compuesta por la rigidez de resorte del cable y por la rigidez de resorte de la grúa (flexión de la torre, de la pluma, etc.). La rigidez de resorte de un cable se obtiene mediante

$$c_s = \frac{E_s A_s}{l_s} \tag{2}$$

en este caso, E_s y A_s son el módulo de elasticidad y la superficie de la sección transversal del cable. Dado que en la grúa móvil de puerto n_s cables paralelos elevan la carga (comp. figura 2), la rigidez de resorte c_{cable} del cable se obtiene mediante

$$c_{cable} = n_s c_s. \tag{3}$$

Para calcular la rigidez de resorte total, se considera que la rigidez de la grúa y la rigidez del cable se conectan en serie, es decir,

$$c_{total} = \frac{c_{grúa} c_{cable}}{c_{grúa} + c_{cable}}. \tag{4}$$

3 Mecanismo automático de elevación en el primer ejemplo de ejecución

El mecanismo automático de elevación representado en este caso, se basa en un autómata de estado de resultado discreto, que detecta la elevación de una carga. En cuanto se eleva una carga, la velocidad de elevación se reduce

a un valor predeterminado y, de esta manera, se garantiza una sobreoscilación máxima de la fuerza de elevación dinámica. Después de que la carga haya sido elevada completamente del suelo, se debe liberar nuevamente la velocidad del mecanismo de elevación mediante el mecanismo automático de elevación. Adicionalmente, el mecanismo automático de elevación detecta el depósito de la carga, y también reduce la velocidad del mecanismo de elevación. También en este caso, a continuación del depósito se puede liberar nuevamente el mecanismo de elevación.

El esquema del mecanismo automático de elevación se representa en la figura 3. En el interior del bloque "especificación v_{asce} , v_{dep} " se calculan o bien, se predeterminan las velocidades máximas admisibles para una elevación de carga y un depósito de la carga. El cálculo exacto se describe en el siguiente párrafo. En el bloque "identificación de situación" se detecta si se eleva una carga del suelo o si se deposita sobre el suelo, o si la grúa se encuentra en el modo normal de funcionamiento. En base a la situación actual, se selecciona la velocidad teórica en correspondencia $v_{teór}$. Dicha decisión se basa en un autómata de estado de resultado discreto, como se ha descrito anteriormente.

En la siguiente descripción se observa que el eje z del movimiento de la carga se orienta hacia abajo (observar la figura 2). De esta manera, la carga se desciende mediante una velocidad v_{hw} positiva del mecanismo de elevación, y se eleva mediante una velocidad v_{hw} negativa del mecanismo de elevación.

3.1 Especificación v_{asce} , v_{dep}

En el interior de dicho bloque se calcula la velocidad de elevación máxima admisible v_{asce} durante la elevación de la carga del suelo. Dicha velocidad depende de la fuerza de elevación actual medida F_l , de la carga de elevación máxima admisible m_{max} en relación con el alcance de la pluma, y de la rigidez de resorte total C_{total} . Para calcular, se considera que el movimiento de elevación de la carga, poco después de levantar la carga del suelo, está compuesto por un movimiento de elevación continuo y una oscilación superpuesta. En este caso, la oscilación se describe mediante un sistema masa-resorte sin amortiguación. Por lo tanto, la fuerza de elevación medida se obtiene mediante

$$F_l = F_{const} + F_{din}, \quad (5)$$

en donde $F_{const} = m_l g$ es la fuerza de carga constante en base a la fuerza de gravedad. La fuerza de elevación dinámica F_{din} se describe mediante la fuerza de resorte dinámica del oscilador masa-resorte

$$F_{din} = m_l \ddot{z}_{din}, \quad (6)$$

en donde \ddot{z}_{din} es la aceleración de la carga (sin la aceleración por gravedad). La ecuación diferencial para el sistema masa-resorte sin amortiguación consiste en

$$m_l \ddot{z}_{din} + c_{total} \dot{z}_{din} = 0. \quad (7)$$

Las condiciones iniciales para (7) se obtienen mediante

$$z_{din}(0) = 0, \quad (8)$$

dado que

$$F_{din}(0) = m_l \ddot{z}_{din}(0) = -c_{total} \dot{z}_{din}(0) = 0$$

$$\dot{z}_{din}(0) = -v_{asce} \quad (9)$$

dado que la carga se debe levantar del suelo con la velocidad $-v_{asce}$ (z se orienta de manera positiva hacia abajo). La solución general de (7) se obtiene mediante

$$z(t) = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t) \quad (10)$$

Los coeficientes A y B se pueden calcular mediante las condiciones iniciales (8) y (9), y se obtienen mediante

$$A = -\frac{v_{asce}}{\omega}, \quad (11)$$

$$B = 0 \quad (12)$$

Con $\omega = \sqrt{\frac{c_{total}}{m_l}}$. Por consiguiente, se obtiene el desarrollo en el tiempo de la fuerza dinámica mediante

5

$$F_{din}(t) = m_l v_{asce} \omega \sin(\omega t) \quad (13)$$

y por lo tanto

$$\max(F_{din}(t)) = m_l v_{asce} \sqrt{\frac{c_{total}}{m_l}}, \quad (14)$$

dado que $-1 \leq \sin(\omega t) \leq 1$. Ahora la sobreoscilación máxima en la fuerza de elevación asciende a $pm_{max}g$, por lo tanto, para la velocidad de elevación máxima permitida durante la elevación, se obtiene

$$pm_{max}g = m_l v_{asce} \sqrt{\frac{c_{total}}{m_l}}, \quad (15)$$

10

$$v_{asce} = \frac{pm_{max}g}{\sqrt{c_{total} m_l}}. \quad (16)$$

La carga de elevación actual m_l durante la elevación (la carga aún no ha sido elevada) se puede calcular mediante la fuerza de carga medida. Dado que en dicho momento, aún no existe fuerza dinámica alguna F_{din} . Durante el denominado tensado del cable del mecanismo de elevación, se aplica

$$F_l = F_{const} \quad (17)$$

15 y por lo tanto

$$m_l = \frac{F_l}{g}. \quad (18)$$

20

Además, en el interior de dicho bloque se predetermina la velocidad máxima admisible del mecanismo de elevación cuando se deposita la carga v_{dep} . Dicha velocidad se puede seleccionar en un valor constante, dado que en este caso no se deben respetar restricciones de normas. El frenado en dicha velocidad se utiliza sólo como una medida de seguridad de cable flojo.

3.2 Identificación de la situación

25

En dicho bloque se selecciona la velocidad teórica correspondiente, en base a la situación actual mediante un autómata de estado de resultado discreto. El autómata de estado utilizado en este caso, se representa en la figura 4. Las transiciones y acciones correspondientes en los estados individuales se describen a continuación. Las variables individuales se resumen en la tabla 1.

3.2.1 Cálculos generales

Los cálculos descritos en dicho párrafo, se realizan independientemente del respectivo estado. A continuación, por masa de carga medida m_l se entiende la masa de carga en el gancho medida mediante el eje dinamométrico, despreciando las fuerzas dinámicas, es decir, $m_l = F_l / g$.

Cálculo de \dot{F}_l :

- 5 Esta es la derivada en el tiempo de la fuerza de elevación medida actual.

Cálculo de Δm_{asce} :

- 10 Esta es la diferencia absoluta de la masa de carga medida, en comparación con la masa de carga medida en el último punto más bajo de la señal de medición, que se indica a continuación como $m_{0,asce}$. Además, $m_{0,asce}$ se actualiza ($m_{0,asce} = m_l$), cuando la transición 2 se realiza en el autómata de estado. Este es el caso cuando después de una elevación de carga se detecta que la carga se ha levantado del suelo.

Cálculo de Δm_{dep} :

- 15 Esta es la diferencia absoluta de la masa de carga medida, en comparación con la masa de carga medida en el último punto más alto de la señal de medición, que se indica a continuación como $m_{0,dep}$. Además, $m_{0,dep}$ se actualiza ($m_{0,dep} = m_l$), cuando la transición 6 se realiza en el autómata de estado. Este es el caso cuando después de depositar una carga, se libera nuevamente el mecanismo de elevación.

Cálculo de $\Delta m_{asce,det}$:

- Este es el valor umbral que debe ser excedido por Δm_{asce} , de manera que se pueda realizar una detección de la elevación de la carga. Dicho valor umbral depende del respectivo tipo de grúa y de la señal de medición en el último punto más bajo $m_{0,asce}$.

- 20 Cálculo de $\Delta m_{dep,det}$:

Este es el valor umbral desde el cual Δm_{dep} debe pasar a un nivel inferior, de manera que se pueda realizar una detección del depósito de la carga. Dicho valor umbral depende del respectivo tipo de grúa y de la señal de medición en el último punto más bajo $m_{0,dep}$.

Cálculo de \dot{F}_{umbral} :

- 25 Este es el valor umbral que debe ser excedido por F_l , para detectar una posible elevación de la carga. Dicho valor umbral depende del respectivo tipo de grúa, de la rigidez de resorte total C_{total} , de la sobreoscilación admitida p en el

eje dinamométrico, y de la relación $\frac{m_l}{m_{max}}$, en donde m_{max} es la carga de elevación máxima admisible en relación con el alcance de la pluma.

3.2.2 Descripción de los estados

- 30 Estado 1 (liberación del mecanismo de elevación):

Durante de dicho estado, se libera el mecanismo de elevación y se puede conducir de acuerdo con los estándares. El sistema se inicia después de la iniciación en dicho estado (puesta en marcha de la grúa). Las acciones y cálculos durante la entrada en I:

$$\Delta l = 0$$

- 35 Las acciones y el cálculo durante la detención en I:

Dado que la palanca de mano se encuentra desconectada durante dicho estado, se aplica

$$v_{teór} = v_{hh}$$

Estado II (elevación):

El sistema se encuentra en dicho estado después de que se ha detectado la elevación de una carga. Durante la pasada de la transición a dicho estado, se inicia l_0 y m_0 con l_{rel} y m_l . l_{rel} es el valor relativo del transductor angular del torno de elevación convertido en metros, y m_l es la masa de carga actual medida en el gancho.

5 Las acciones y los cálculos durante la detención en II:

En cuanto el sistema se encuentra en dicho estado, en cada etapa en el tiempo se realiza el cálculo de la longitud de cable enrollado en relación con l_0 , y de la longitud de cable que se requiere teóricamente para el levantamiento Δl_{lev}

$$\Delta l = l_0 - l_{rel}$$

$$\Delta l_{lev} = \frac{(m_l - m_0 + m_{seguri})g}{c_{total}}$$

10 En este aspecto, m_{seguri} es un factor de seguridad, de manera que se debe enrollar más cable que el necesario, antes de que se pueda abandonar dicho estado.

En el cálculo de la señal de control, en dicho estado se deben diferenciar dos casos. Para diferenciar dichos casos, se utilizan la velocidad actual de la palanca de mano v_{hh} , y la velocidad máxima admisible del mecanismo de elevación durante la elevación v_{asce} (16). En este aspecto, se debe considerar que una v negativa equivale a una elevación, y una v positiva a un descenso. Ambos casos son:

15 1. ($v_{hh} < v_{asce}$)

En dicho caso, la velocidad de la palanca de mano se encuentra fuera del rango permitido, por lo tanto, se aplica:

$$v_{teór} = v_{asce}$$

2. ($v_{hh} > v_{asce}$)

En dicho caso, la velocidad de la palanca de mano se encuentra dentro del rango permitido, por lo tanto, se aplica:

$$v_{teór} = v_{hh}$$

20

Estado III (depósito):

El sistema llega a dicho estado, en cuanto se detecta un depósito de la carga. Durante la pasada de la transición a dicho estado, se inicia l_0 con l_{rel} .

Las acciones y los cálculos durante la detención en III:

25 En cuanto el sistema se encuentra en dicho estado, en cada etapa en el tiempo se realiza el cálculo de la longitud de cable desenrollado en relación con l_0

$$\Delta l = l_0 - l_{rel}$$

En el cálculo de la señal de control, se deben diferenciar dos casos.

30 Para diferenciar dichos casos, se utilizan la velocidad actual de la palanca de mano v_{hh} , y la velocidad máxima admisible del mecanismo de elevación durante el depósito v_{dep} . En este aspecto, se debe considerar que una v negativa equivale a una elevación, y una v positiva a un descenso. Ambos casos son:

1. ($v_{hh} > v_{dep}$)

En dicho caso, la velocidad de la palanca de mano se encuentra fuera del rango permitido, por lo tanto, se aplica:

$$v_{teór} = v_{dep}$$

2. ($v_{hh} < v_{dep}$)

5 En dicho caso, la velocidad de la palanca de mano se encuentra dentro del rango permitido, por lo tanto, se aplica:

$$v_{teór} = v_{hh}$$

3.2.3 Descripción de las transiciones

A continuación, se debe observar que la velocidad actual medida v_{hw} del torno de elevación se define de la siguiente manera:

10 . una v_{hw} negativa significa que el torno de elevación conduce a la elevación,

. una v_{hw} positiva significa que el torno de elevación conduce al descenso,

Transición 1:

Se activa en cuanto en el estado „liberación del mecanismo de elevación” se detecta una elevación de carga desde el suelo. El siguiente resultado activa dicha transición:

15
$$(\dot{F}_l > \dot{F}_{umbral}) \& \& (\Delta m_{asce} > \Delta m_{asce, det}) \& \& (v_{hw} < 0).$$

Los siguientes cálculos se realizan durante el paso de dicha transición:

$$l_0 = l_{rel}$$

$$m_0 = m_l$$

Transición 2:

20 Se activa en cuanto el torno de elevación conduce al descenso durante la elevación de la carga, y la longitud del cable relativamente enrollada Δl con anterioridad, haya sido desenrollada nuevamente de manera completa. De esta manera, el sistema se encuentra nuevamente en el estado inicial, antes de que se detecte la elevación de la carga. El siguiente resultado activa dicha transición:

$$(v_{hw} > 0) \& \& (\Delta l < 0).$$

Los siguientes cálculos se realizan durante el paso de dicha transición:

25
$$m_0 = 0$$

Transición 3:

Se activa durante la elevación de la carga del suelo, en cuanto se detecta que la carga se encuentra levantada del suelo. El siguiente resultado activa dicha transición:

$$\Delta l > \Delta l_{lev}$$

Los siguientes cálculos se realizan durante el paso de dicha transición:

5

$$m_0 = 0.$$

Además, en el paso de dicha transición $m_{0,asce}$, para el cálculo de Δm_{asce} se fija la masa de carga m_l actual medida (observar 3.2.1).

Transición 4:

10

Se activa en cuanto en el estado “elevación” se detecta un depósito de la carga, o la carga medida es menor que un peso sin carga determinado del medio de levantamiento de carga. El siguiente resultado activa dicha transición:

$$(v_{hw} > 0) \& \& ((\Delta m_{dep} < \Delta m_{dep,det}) \parallel (m_l < m_{vacio}))$$

Los siguientes cálculos se realizan durante el paso de dicha transición:

$$l_0 = l_{rel}$$

$$m_0 = 0$$

Transición 5:

15

Se activa en cuanto en el estado de „depósito” se detecta una elevación de carga desde el suelo.

El siguiente resultado activa dicha transición:

$$(\dot{F}_l > \dot{F}_{umbral}) \& \& (\Delta m_{asce} > \Delta m_{asce,det}) \& \& (v_{hw} < 0).$$

Los siguientes cálculos se realizan durante el paso de dicha transición:

$$l_0 = l_{rel}$$

$$m_0 = m_l$$

20

Transición 6:

Se activa en cuanto en el estado de „depósito” se detecta que la longitud de cable relativamente enrollada Δl se encuentra nuevamente en el estado inicial (antes del paso de la transición 7). El siguiente resultado activa dicha transición:

$$\Delta l > 0$$

Además, en el paso de dicha transición $m_{0,dep}$, para el cálculo de Δm_{dep} se fija la masa de carga m_i actual medida (observar 3.2.1).

Transición 7:

- 5 Se activa en cuanto en el estado “liberación del mecanismo de elevación” se detecta un depósito de la carga, o la carga medida es menor que un peso sin carga determinado del medio de levantamiento de carga. El siguiente resultado activa dicha transición:

$$(v_{hw} > 0) \& \& ((\Delta m_{dep} < \Delta m_{dep, det}) \parallel (m_i < m_{vacío}))$$

Los siguientes cálculos se realizan durante el paso de dicha transición:

$$l_0 = l_{rel}$$

10 **4 Resultados de la unidad de control de grúa de acuerdo con el primer ejemplo de ejecución**

A modo de ejemplo, en las figuras 5 y 6 se representan los resultados de una medición, en la que se han elevado del suelo 60t de carga con un cable de tracción. Las representaciones contienen respectivamente la medición con y sin el mecanismo automático de elevación, de acuerdo con el primer ejemplo de ejecución de la presente invención.

Tabla 1: Descripción de las variables del mecanismo automático de elevación

Denominación de variable	Descripción
$V_{teór}$	Velocidad teórica que se transmite a la unidad de control del mecanismo de elevación. Un valor positivo corresponde a un descenso, un valor negativo corresponde a una elevación.
V_{asce}	La velocidad absoluta admitida calculada durante la elevación. El cálculo se realiza de acuerdo con (16).
V_{dep}	La velocidad absoluta admisible predeterminada durante el depósito.
V_{nh}	La velocidad teórica predeterminada mediante la palanca de mano.
F_i	La fuerza medida mediante el eje dinamométrico, en el cable del mecanismo de elevación en N.
F_{const}	La fracción de fuerza constante en el cable del mecanismo de elevación en N.
F_{din}	La fracción de fuerza dinámica en el cable del mecanismo de elevación en N.
m_i	Es la masa de carga en el gancho medida mediante el eje dinamométrico, despreciando las fuerzas dinámicas. Se aplica $m_i = F_i / g$.
\dot{F}_i	La derivada en el tiempo de F_i en N/s.
$\Delta m_{\alpha \downarrow \phi}$	La diferencia absoluta de m_i en relación con el último punto más bajo en la medición de m_i en kg.
$m_{0,asce}$	El último punto más bajo en la señal de medición de m_i en kg.
$\Delta m_{\alpha \beta}$	La diferencia absoluta de m_i en relación con el último punto más alto en la medición de m_i en kg.

(continuación)

Denominación de variable	Descripción
$m_{0,dep}$	El último punto más alto en la señal de medición de m_i en kg.
$\Delta m_{asce, det}$	El valor umbral en kg, que debe ser excedido por $\Delta m_{\alpha\beta}$ para detectar una posible elevación de carga.
$\Delta m_{dep, det}$	El valor umbral en kg, desde el cual $\Delta m_{\alpha\beta}$ debe pasar a un nivel inferior para detectar un posible depósito de la carga.
m_{max}	La carga máxima admisible en kg, en relación con el alcance de la pluma.
F_{max}	La fuerza máxima admisible en N, en relación con el alcance de la pluma. Se aplica $F_{max} = m_{max}g$
F_{umbral}	El valor umbral que debe ser excedido por F_i para detectar una elevación de carga.
Δl	La longitud relativa de cable después de detectar una elevación de carga o un depósito de la carga. Se aplica $\Delta l = l_0 - l_{rel}$.
l_0	El valor inicial para el cálculo de la longitud relativa de cable Δl . Se encuentra durante el paso de las transiciones 1, 4, 5, 7.
m_0	La masa de carga medida m_i en la detección de una elevación de carga en kg. Se requiere para calcular la longitud de cable teórica hasta alcanzar el levantamiento $\Delta l_{\alpha\beta}$.
m_{seguri}	Factor de seguridad en el cálculo de $\Delta l_{\alpha\beta}$ en kg.
$\Delta l_{\alpha\beta}$	La longitud de cable teórica en m hasta alcanzar el levantamiento de la carga, después de que se haya detectado una elevación de carga.
v_{hw}	La velocidad del mecanismo de elevación medida en el torno en m/s. Un valor positivo corresponde a un descenso, y un valor negativo corresponde a una elevación.
$m_{vacío}$	El peso sin carga del medio de levantamiento de carga en kg.
l_{rel}	La longitud de cable relativa en m, medida mediante el codificador incremental en el torno de elevación.

5 Introducción al segundo ejemplo de ejecución

- 5 A continuación, se representa un segundo ejemplo de ejecución de un método de control implementado en una unidad de control de grúa conforme a la presente invención, en el que se considera la dinámica del sistema compuesto por el mecanismo de elevación, el cable de elevación y la carga, que se basa en la capacidad de compresión del fluido hidráulico y en la capacidad de extensión de la carga.

10 La figura 7 muestra un diagrama básico del sistema hidráulico del mecanismo de elevación. En este caso se proporciona, por ejemplo, un motor diesel o un motor eléctrico 25, que acciona una bomba de desplazamiento variable 26. La bomba de desplazamiento variable 26 conforma un circuito hidráulico con un motor hidráulico 27, y acciona dicho circuito. El motor hidráulico 27 también se realiza como un motor de desplazamiento variable. De manera alternativa, también se podría utilizar un motor de desplazamiento fijo. Mediante el motor hidráulico 27 se acciona el torno de elevación.

En la figura 8 se representa en detalle el modelo físico, mediante el cual se describe la dinámica del sistema compuesto por el torno de elevación, el cable de carga 3 y la carga, en el segundo ejemplo de ejecución. El sistema compuesto por el cable de carga y la carga, se considera además como un péndulo con resorte amortiguado, con una constante de resorte C y una constante de amortiguación D. En la constante de resorte C se incluye además la longitud del cable de elevación L, que se determina ya sea mediante los valores de medición, o se calcula mediante el control del torno de elevación. Además, en el control se incluye la masa M de la carga, que se mide mediante un sensor de masa de carga.

El segundo ejemplo de ejecución se aplica también para el control de una grúa móvil de puerto, como se representa en la figura 2. En este caso, la pluma, la torre y el torno de elevación se ponen en movimiento mediante accionamientos hidráulicos. Los accionamientos hidráulicos que ponen en movimiento el torno de elevación de la grúa, generan oscilaciones propias debido a la propia dinámica de los sistemas hidráulicos y/o del cable de elevación. Las oscilaciones de fuerza resultantes, influyen en la fatiga a largo plazo de los cables y de la estructura completa de la grúa, hecho que conduce a un mayor mantenimiento. Por consiguiente, conforme a la presente invención, se proporciona un principio de control que suprime las oscilaciones propias generadas por los movimientos de elevación de la grúa y, de esta manera, se reducen los ciclos de esfuerzo dentro del diagrama de Wöhler. Una reducción de los ciclos de esfuerzo incrementa lógicamente la vida útil de la estructura de la grúa.

En el caso de la derivación del principio de control del segundo ejemplo de ejecución, se deben evitar los retrocesos, dado que requieren de aquellas señales de sensor que en las aplicaciones industriales deben cumplir con determinados requisitos de seguridad y, de esta manera, conducen a mayores costes.

Por lo tanto, se requiere de una planificación de un control previo elemental sin retroceso. Dentro de dicho tratamiento, para el mecanismo de elevación se deriva un control previo basado en la planeidad que invierte la dinámica del sistema.

6 Torno de elevación

El torno de elevación de la grúa representada en el ejemplo de ejecución, es accionado por un motor rotativo accionado de manera hidráulica. El modelo dinámico y el principio de control para el torno de elevación, se deducen en el siguiente párrafo.

6.1 Modelo dinámico

Dado que la fuerza de elevación es influenciada directamente por el movimiento de la carga útil, se debe considerar la dinámica del movimiento de carga útil. Como se representa en la figura 2, se aplica la carga útil con la masa m_p en un gancho, y puede ser elevada o descendida por la grúa mediante un cable de longitud l_r . El cable se desvía en el extremo de la pluma y en la torre, mediante una polea de desvío. Sin embargo, el cable no se desvía directamente desde el extremo de la pluma hacia el torno de elevación, sino que se desvía desde el extremo de la pluma hacia la torre, desde dicho punto de regreso hacia el extremo de la pluma, y después a lo largo de la torre hacia el torno de elevación (observar la figura 2). De esta manera, la longitud completa del cable se obtiene mediante:

$$l_r = l_1 + 3l_2 + l_3 \quad (38)$$

en donde l_1 , l_2 y l_3 indican las longitudes parciales desde el torno de elevación hacia la torre, desde la torre hacia el extremo de la pluma, y desde el extremo de la pluma hacia el gancho. El sistema de elevación de la grúa, compuesto por el torno de elevación, el cable y la carga útil, se considera a continuación como un sistema amortiguador masa-resorte, y se representa en la figura 8. Mediante la aplicación del método de Newton-Euler, se obtiene la ecuación de movimiento para la carga útil:

$$m_p \ddot{z}_p = m_p g - \underbrace{\left(c(z_p - r_w \phi_w) + d(\dot{z}_p - r_w \dot{\phi}_w) \right)}_{F_s}, \quad z_p(0) = z_{p0}, \dot{z}_p(0) = 0 \quad (39)$$

con la constante de gravitación g , la constante de resorte c , la constante de amortiguación d , el radio del torno de elevación r_w , el ángulo ϕ_w del torno de elevación, la velocidad angular $\dot{\phi}_w$, la posición de la carga útil z_p , la velocidad de la carga útil \dot{z}_p , y la aceleración de la carga útil \ddot{z}_p . La longitud del cable l_r se obtiene mediante:

$$l_r(t) = r_w \varphi_w(t) \quad (40)$$

en donde

$$\varphi_w(0) = \varphi_{w0} = \frac{l_1(0) + 3l_2(0) + l_3(0)}{r_w} \quad (41)$$

La constante de resorte c_r de un cable de longitud l_r se obtiene mediante la ley de Hooke, y se puede formular como

$$c_r = \frac{E_r A_r}{l_r} \quad (42)$$

5

en donde E_r y A_r indican el módulo de elasticidad y el plano de sección del cable.

La grúa presenta n_r cables paralelos (observar la figura 2), por lo tanto la constante de resorte del mecanismo de elevación de la grúa se obtiene mediante:

$$c = n_r c_r \quad (43)$$

10 La constante de amortiguación d se puede proporcionar con la ayuda de la medida de amortiguación de Lehr D

$$d = 2D\sqrt{cm_p} \quad (44)$$

La ecuación diferencial para el movimiento de rotación del torno de elevación, se obtiene de acuerdo con el método de Newton-Euler como:

$$(J_w + i_w^2 J_m) \ddot{\varphi}_w = i_w D_m \Delta p_w + r_w F_s, \quad \varphi_w(0) = \varphi_{w0}, \quad \dot{\varphi}_w(0) = 0 \quad (45)$$

15 En donde J_w y J_m indican el momento de inercia del torno o bien, del motor, i_w es la relación de transmisión entre el motor y el torno, Δp_w es la diferencia de presión entre la cámara de alta presión y la cámara de baja presión del motor, D_m es el desplazamiento del motor hidráulico, y F_s es la fuerza de resorte obtenida en (39). La condición inicial φ_{w0} para el ángulo del torno de elevación, se obtiene mediante (41). El circuito hidráulico para el torno de elevación se representa en la figura 7. La diferencia de presión Δp_w entre ambas cámaras de presión del motor, se describe mediante la ecuación del establecimiento de la presión, suponiendo que no se generan fugas interiores ni exteriores. Además, a continuación se desatiende la variación reducida del volumen debido al ángulo del motor φ_w . Por consiguiente, el volumen en ambas cámaras de presión se supone constante y se indica con V_m . Con la ayuda de dicha suposición, se puede formular la ecuación de establecimiento de la presión como:

20

$$\Delta \dot{p}_w = \frac{4}{V_m \beta} (q_w - D_m i_w \dot{\varphi}_w), \quad \Delta p_w(0) = \Delta p_{w0} \quad (46)$$

25 en donde β es la capacidad de compresión del aceite. El caudal de aceite q_w se controla mediante el ángulo de la bomba, y se obtiene mediante:

$$q_w = K_w u_w \quad (47)$$

en donde u_w y K_w son la corriente de control del ángulo de la bomba, y el factor de proporcionalidad.

6.2 Principio de control

A continuación, el modelo dinámico se transforma para el torno de elevación en el espacio de estado, para eliminar un control previo basado en la planeidad. La derivación del principio de control desatiende la amortiguación, por lo tanto se aplica $D = 0$. El vector de estado del mecanismo de elevación de la grúa se define como $\mathbf{x} = [\varphi_w, \dot{\varphi}_w, z_p, \dot{z}_p, \Delta\rho_w]^T$. De esta manera, el modelo dinámico compuesto por (39), (40), (43), (45), (46) y (47), se puede formular como un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden, que se obtiene mediante:

5

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})u, \quad y = h(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \quad t \geq 0 \quad (48)$$

en donde

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} x_2 \\ \frac{1}{J_w + i_w^2 J_m} \left(i_w D_m x_5 + r_w \left(\frac{E_r A_r n_r}{r_w x_1} (x_3 - r_w x_1) \right) \right) \\ x_4 \\ g - \frac{E_r A_r n_r}{r_w x_1 m_p} (x_3 - r_w x_1) \\ \frac{-4 D_m i_w x_2}{V_m \beta} \end{bmatrix} \quad (49)$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{4K_w}{V_m \beta} \end{bmatrix} \quad (50)$$

$$h(\mathbf{x}) = x_3 \quad (51)$$

10 y $u = u_w$.

Para la planificación de un control previo basado en la planeidad, el grado relativo r en relación con la salida del sistema debe ser igual al orden n del sistema. Por lo tanto, a continuación se comprueba el grado relativo del sistema considerado (48).

El grado relativo en relación con la salida del sistema, se establece mediante las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} L_g L_f^i h(\mathbf{x}) &= 0 \quad \forall i = 0, \dots, r-2 \\ L_g L_f^{r-1} h(\mathbf{x}) &\neq 0 \quad \forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \end{aligned} \quad (52)$$

15

Los operadores L_f y L_g representan las derivadas de Lie a lo largo del campo de vectores f o bien, g . La aplicación de (52) resulta en $r = n = 5$, de esta manera el sistema (48) con (49), (50) y (51) resulta plano, y se puede planificar un control previo basado en la planeidad para $D = 0$.

La salida del sistema (51) y sus derivadas en el tiempo, se utilizan para invertir la dinámica del sistema, como se ha realizado para el mecanismo de rotación y de balanceo. Las derivadas se obtienen mediante las derivadas de Lie, es decir:

$$y = h(\mathbf{x}) \quad (53)$$

$$\dot{y} = \frac{\partial h(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f h(\mathbf{x}) + \underbrace{L_g h(\mathbf{x}) u}_{=0} \quad (54)$$

$$\ddot{y} = \frac{\partial L_f h(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f^2 h(\mathbf{x}) + \underbrace{L_g L_f h(\mathbf{x}) u}_{=0} \quad (55)$$

$$\ddot{\ddot{y}} = \frac{\partial L_f^2 h(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f^3 h(\mathbf{x}) + \underbrace{L_g L_f^2 h(\mathbf{x}) u}_{=0} \quad (56)$$

$$y^{(4)} = \frac{\partial L_f^3 h(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f^4 h(\mathbf{x}) + \underbrace{L_g L_f^3 h(\mathbf{x}) u}_{=0} \quad (57)$$

$$y^{(5)} = \frac{\partial L_f^4 h(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = L_f^5 h(\mathbf{x}) + L_g L_f^4 h(\mathbf{x}) u \quad (58)$$

5

Los estados en relación con la salida del sistema y sus derivaciones, resultan de (53), (54), (55), (56) y (57), y se pueden formular como:

$$x_1 = \frac{A_r E_r n_r y}{r_w (g m_p + A_r E_r n_r - m_p \ddot{y})} \quad (59)$$

$$x_2 = x_2(y, \dot{y}, \ddot{y}, \ddot{\ddot{y}}) \quad (60)$$

$$x_3 = y \quad (61)$$

$$x_4 = \ddot{y} \quad (62)$$

$$x_5 = x_5 \left(y, \dot{y}, \ddot{y}, \ddot{\ddot{y}}, y^{(4)} \right) \quad (63)$$

La solución de (58) de acuerdo con la entrada del sistema u , utilizando (59), (60), (61), (62) y (63) obtiene el principio de control para el control previo basado en la planeidad, para el mecanismo de elevación,

$$u_w = f\left(y, \dot{y}, \ddot{y}, \overset{(4)}{y}, \overset{(5)}{y}\right) \quad (64)$$

- 5 que invierte la dinámica del sistema. La señal de referencia y , y sus derivadas se obtienen mediante la generación numérica de trayectorias, a partir de la señal de la palanca de mano del operador de la grúa.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Unidad de control de grúa para el control de un mecanismo de elevación de una grúa, que durante el control del mecanismo de elevación considera la dinámica de oscilaciones que se basa en la capacidad de extensión del cable de elevación, y que se reduce mediante el control apropiado del mecanismo de elevación, en donde la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación se limita para la limitación de la sobreoscilación en una velocidad de accionamiento máxima fiable, **caracterizado porque** la velocidad de accionamiento máxima admisible del mecanismo de elevación, se determina mediante un modelo físico que describe la dinámica de oscilaciones del sistema compuesto por el mecanismo de elevación, el cable y la carga.
- 10 2. Unidad de control de grúa de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la velocidad de accionamiento máxima admisible del mecanismo de elevación, se determina de manera dinámica mediante los datos de la grúa.
3. Unidad de control de grúa de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en donde la velocidad de accionamiento máxima admisible del mecanismo de elevación, se determina en relación con una fuerza de elevación actual medida, y/o en relación con la longitud del cable.
- 15 4. Unidad de control de grúa de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, con un sistema de identificación de situación, mediante la cual la unidad de control de grúa determina el comportamiento de control.
5. Unidad de control de grúa de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la unidad de identificación de situación identifica un estado de elevación, en el cual la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación se limita para evitar sobreoscilaciones, en donde de manera ventajosa la unidad de identificación de situación identifica un estado de elevación, cuando se eleva una carga apoyada.
- 20 6. Unidad de control de grúa de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la unidad de identificación de situación identifica un estado de liberación, en el que la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación se libera, en donde de manera ventajosa se identifica un estado de liberación, cuando la carga se ha elevado y cuelga libre del cable de la grúa.
- 25 7. Unidad de control de grúa de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la unidad de identificación de situación identifica un estado de depósito, en el que la velocidad de accionamiento del mecanismo de elevación se limita para evitar que se desenrolle una cantidad de cable innecesaria cuando se deposita la carga.
- 30 8. Unidad de control de grúa de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en donde un movimiento de elevación teórico de la carga, se utiliza como un parámetro de entrada, en base al cual se calcula un parámetro de control para el control del mecanismo de elevación, en donde cuando se calcula el parámetro de control, se considera la dinámica de oscilaciones debida a la capacidad de extensión del cable de elevación, para reducir las oscilaciones propias.
- 35 9. Unidad de control de grúa de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el mecanismo de elevación se acciona de manera hidráulica, y cuando se calcula el parámetro de control, se considera la dinámica de oscilaciones debida a la capacidad de compresión del fluido hidráulico.
- 40 10. Unidad de control de grúa de acuerdo con la reivindicación 8 ó 9, en donde la longitud de cable variable del cable de elevación y/o la fuerza de elevación medida, se incluyen en el cálculo del parámetro de control.
11. Unidad de control de grúa de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 10, en donde el control del mecanismo de elevación se basa en un modelo físico de la grúa, que describe el movimiento de elevación de la carga en relación con el parámetro de control del mecanismo de elevación, en donde de manera ventajosa el control del mecanismo de elevación se basa en la inversión del modelo físico.
- 45 12. Método para el control de un mecanismo de elevación de una grúa, mediante una unidad de control de grúa de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, que durante el control del mecanismo de elevación considera la dinámica de oscilaciones que se basa en la capacidad de extensión del cable de elevación, y que se reduce mediante el control apropiado del mecanismo de elevación.
13. Grúa con una unidad de control de grúa, de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11.

Fig. 1

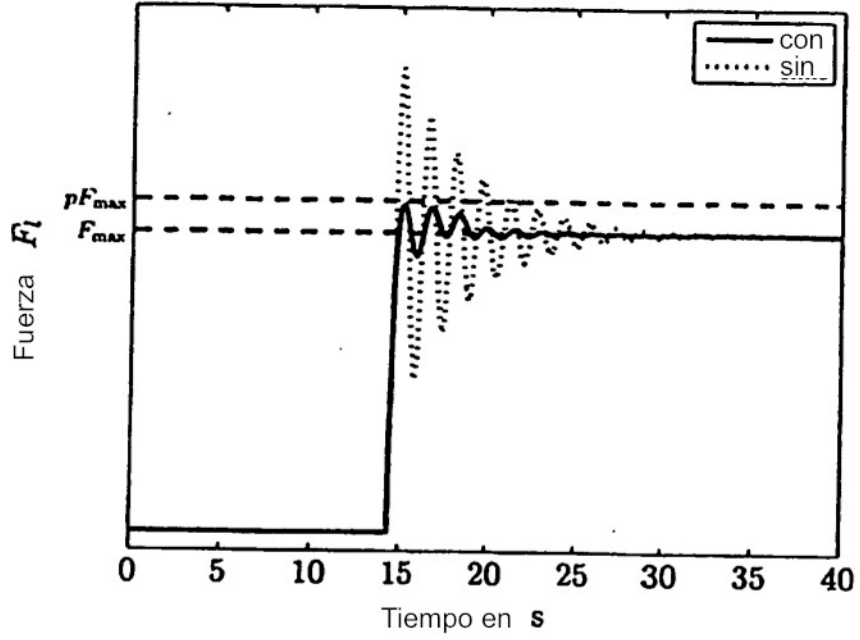


Fig. 2

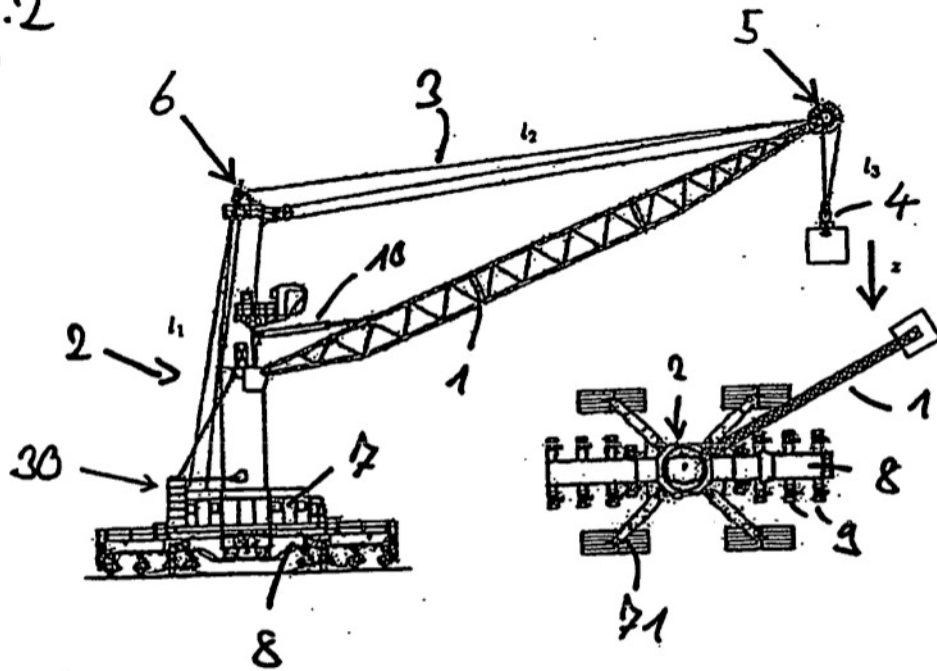


Fig. 3

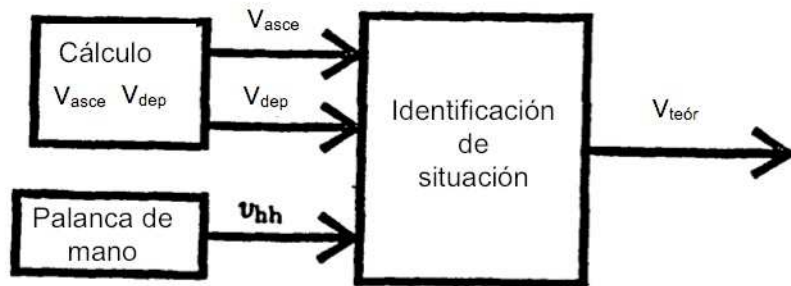
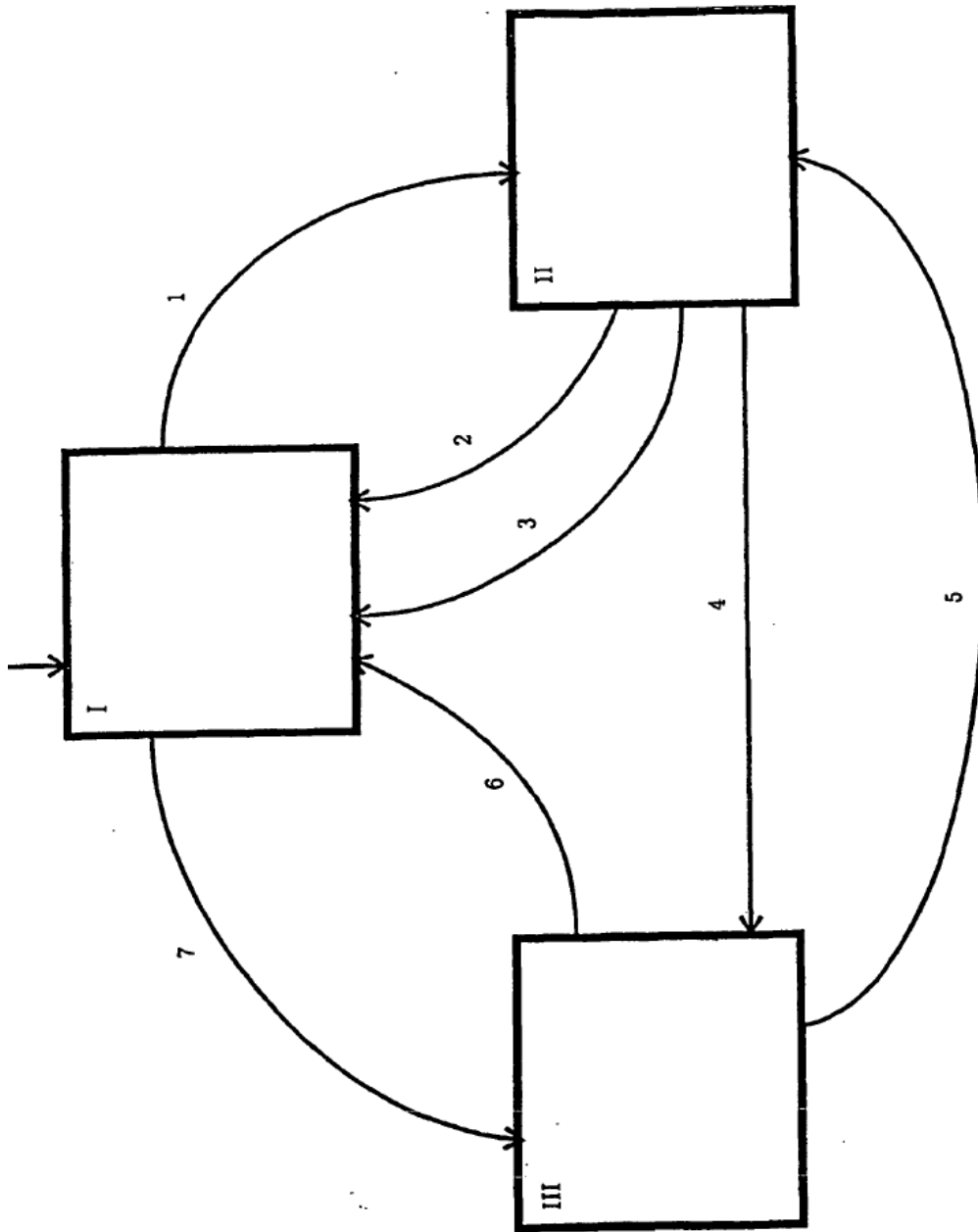


Fig. 4



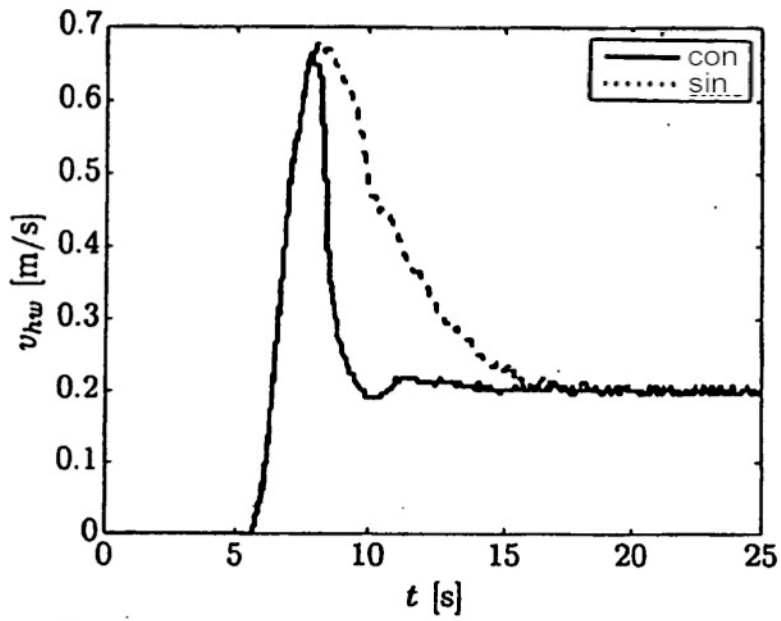


Fig. 5

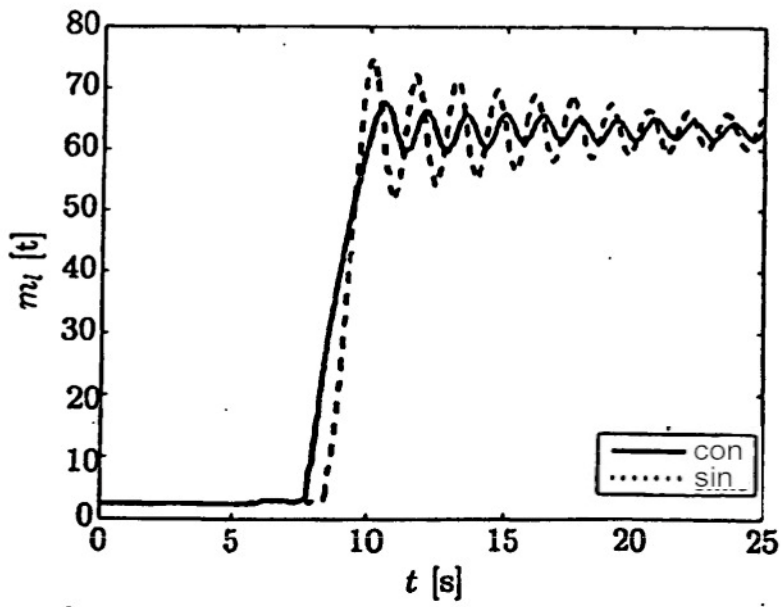


Fig. 6

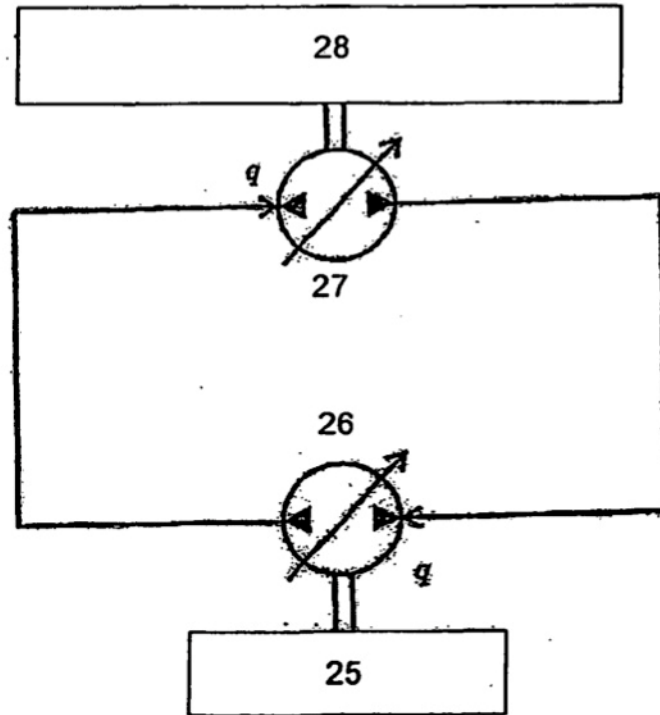


FIGURA 7

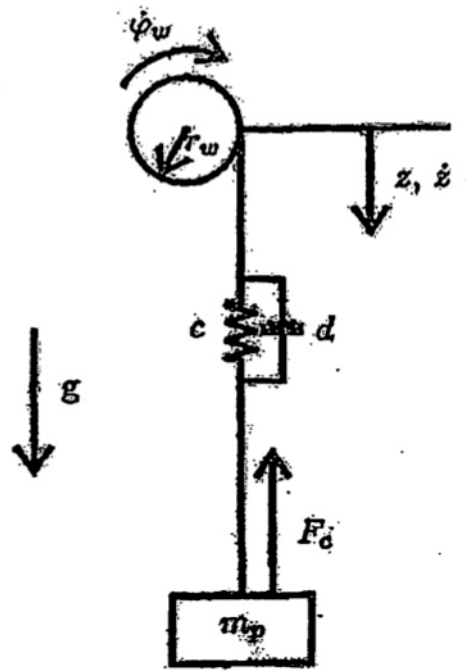


FIGURA 8