

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 718 673**

51 Int. Cl.:

G01N 29/04 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

G01H 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.07.2012 PCT/EP2012/002918**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.01.2013 WO13007382**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.07.2012 E 12747884 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019 EP 2732259**

54 Título: **Procedimiento para determinar la estabilidad de un mástil erigido según lo previsto en un lugar de uso**

30 Prioridad:
11.07.2011 DE 102011107564

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.07.2019

73 Titular/es:
**MEYER, AXEL (50.0%)
Marwick 20
46487 Wesel-Bislich, DE y
SPALTMANN, HORST (50.0%)**

72 Inventor/es:
**SPALTMANN, HORST y
HORTMANN, MICHAEL**

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 718 673 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

Procedimiento para determinar la estabilidad de un mástil erigido según lo previsto en un lugar de uso

La invención se refiere a un procedimiento para determinar la estabilidad de un mástil erigido según lo previsto en un lugar de uso, fijado sobre en el suelo.

5 Además, la invención se refiere a un dispositivo para llevar a cabo este procedimiento.

Se conoce un procedimiento correspondiente, por ejemplo, a partir del documento DE 103 00 947 A1 o del documento WO 2010/128056 A1. Se pretende que la divulgación de esta solicitud de patente internacional se incorpore como referencia en la divulgación de la presente solicitud.

10 En el contexto de la invención, un mástil puede ser un soporte de orientación sustancialmente vertical, por ejemplo, de luces, señales de tráfico, semáforos, cables, antenas, pórticos o similares.

15 Dichos mástiles pueden dañarse, por ejemplo, por influencias ambientales, accidentes o vandalismo, de modo que la estabilidad de un mástil puede ponerse en peligro, por ejemplo, por corrosión, fatiga del material o agrietamiento. En el sentido de la invención, el concepto de estabilidad también incluye, en particular, la capacidad de ascenso del mástil para personas que, por ejemplo, deben realizar trabajos de reparación, mantenimiento o instalación en el mástil. Los procedimientos para determinar la estabilidad de los mástiles en el sentido de la invención cumplen, entre otras cosas, el propósito, inmediatamente antes de abordar el mástil, de verificar esto para determinar si la subida al mástil es segura o no. Independientemente de esto, es necesario verificar la estabilidad de un mástil a intervalos regulares para poder detectar a tiempo si la estabilidad está tan deteriorada que el mástil debe reemplazarse.

20 El objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento novedoso para determinar la estabilidad de un mástil rígido según lo previsto en un lugar de trabajo, que permita una determinación confiable y muy precisa de la estabilidad del mástil.

25 Este objetivo se logra mediante un procedimiento del tipo mencionado anteriormente en el que se detectan las vibraciones, por ejemplo, en la forma del espectro del mástil excitado para vibrar ya sea artificialmente o por influencias ambientales y a partir de este determinar al menos una frecuencia natural del mástil.

Un aspecto esencial de la invención es que se analiza una no linealidad del comportamiento vibratorio del mástil excitado. Sobre la base del resultado de este análisis, se puede determinar directamente si hay daños en el mástil y/o su fijación en el área de la cimentación.

30 La no linealidad del comportamiento de vibración puede, por ejemplo, manifestarse en una dependencia de la frecuencia de oscilación con respecto a la amplitud de oscilación. Esta dependencia puede ser analizada directamente y muy fácilmente. Esta dependencia puede usarse como un indicador de un mástil "sano", es decir, intacto, o un mástil "insalubre", es decir, con la cimentación dañada.

35 Preferentemente, para analizar cualquier no linealidad del comportamiento de la oscilación se determina la dependencia de la frecuencia de oscilación con respecto a la amplitud de la oscilación. Sobre la base de esta dependencia, se puede derivar una frecuencia de calibración con la que se calibra un modelo mecánico predeterminado (estático y / o dinámico) del mástil (por ejemplo, como se describe en el documento WO 2010/128056 A1 citado anteriormente) en el que sobre la base del modelo calibrado luego se determina la rigidez del mástil. Aquí, la masa generalizada conduce en particular como sigue hacia la determinación numérica o computacional de la desviación deseada:

40
$$\Omega^2 \sim 1$$

masa generalizada

con $\Omega = 2\pi \cdot$ frecuencia natural f_e .

45 El mástil a examinar se transforma primero en un sistema generalizado para el análisis más detallado. Este es un procedimiento común para transformar un sistema complejo que consiste en muchas barras, nodos y masas en un oscilador de masa única equivalente. El oscilador de masa única tiene las mismas características dinámicas que el complejo sistema de origen. Esto se relaciona en particular con la rigidez y la frecuencia natural del sistema. Normalmente, el oscilador de masa única virtual se coloca en la posición de máxima deformación de la forma de onda subyacente del sistema. Aquí esta es la punta del mástil.

A través de una consideración energética y el requisito de que la energía debe ser la misma para ambos sistemas durante un período de oscilación, se obtienen las fórmulas correspondientes para la determinación de los parámetros del sistema de sustitución generalizada. Estas son:

M_{gen} masa generalizada y

5 C_{gen} Rigidez generalizada

Las fórmulas para determinar la masa generalizada son:

$$E = \int_0^H \frac{1}{2} \cdot m(z) \cdot \dot{y}^2(z) dz = \frac{1}{2} \cdot M_{gen} \cdot \dot{y}^2(H)$$

$$\dot{y}(z) = y(z) \cdot \omega_e = y_{max} \cdot \phi(z) \cdot \omega_e$$

La energía E es la misma para ambos sistemas. Como el sistema generalizado se coloca aquí en el punto de máxima deformación modal, se aplica lo siguiente:

10
$$\dot{y}(H) = y(H) \cdot \omega_e = y_{max} \cdot \phi(H) \cdot \omega_e = y_{max} \cdot 1,0 \cdot \omega_e$$

La masa generalizada entonces es:

$$M_{gen} = \int_0^H m(z) \cdot \phi^2(z) dz$$

$$\phi(z) = \left(\frac{z}{H}\right)^2$$

Por ejemplo, asumiendo la forma de onda M_{gen} : (forma parabólica), obtenemos la siguiente ecuación para

15
$$M_{gen} = \int_0^H m(z) \cdot \left(\frac{z}{H}\right)^4 dz$$

para $m(z) = m = \text{const.}$ Luego sigue

$$M_{gen} = m \cdot \frac{H}{5}$$

La frecuencia natural f_e del sistema generalizado es:

$$f_e = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C_{gen}}{M_{gen}}} = \frac{\omega_e}{2\pi}$$

20 La determinación de C_{gen} se lleva a cabo midiendo la frecuencia natural del sistema. Para ello, se modifica la fórmula antes mencionada:

$$C_{gen} = (2\pi \cdot f_e)^2 \cdot M_{gen} = \omega_e^2 \cdot M_{gen}$$

La rigidez generalizada C_{gen} así determinada es la rigidez total C_{total} del sistema.

25 Este procedimiento es aplicable para mástiles hechos de diferentes materiales con diferentes formas. Puede usarse, por ejemplo, en un mástil construido cónicamente o discontinuadamente con saltos en la sección transversal. Además, el procedimiento puede aplicarse no solo para postes, postes en el agua o postes elevados, sino también

para otros tipos de mástiles como, por ejemplo, mástiles cónicos, mástiles de pluma, mástiles de semáforo, mástiles dobles, mástiles A, mástiles de celosía, pórticos de señales de tráfico y marcos simples.

5 Una excitación artificial del mástil se puede lograr con un martillo, con la ayuda de un cable, posiblemente un excitador de desequilibrio o similar. Además, se puede realizar una excitación artificial del mástil manualmente. La determinación de la estabilidad de acuerdo con el procedimiento de acuerdo con la invención no se basa únicamente en una comparación de la rigidez teórica con la rigidez derivada de una medición. En cambio, las deformaciones debidas a los efectos externos del mástil, tales como cargas de viento o cargas humanas, se calculan en un modelo calibrado y predeterminado del mástil y luego se comparan con los valores límites. Como resultado, es posible una determinación muy individual de la estabilidad de un mástil. Esta evaluación no solo es específica del mástil, sino que también depende del tipo de estrés. Por lo tanto, por ejemplo, se evalúa tanto la estabilidad en cargas nominales (en general, cargas de viento) como la estabilidad al escalar (cargas humanas).

Los siguientes puntos son importantes en el contexto de la presente invención:

15 Como se mencionó, se puede realizar un cálculo de la dependencia de la amplitud con respecto a la al menos una frecuencia natural y, basándose en esto, se puede realizar un cálculo de las frecuencias naturales relevantes para la evaluación de la estabilidad.

Además, se puede calcular la vida útil esperada de forma no lineal para los mástiles en función de la tasa de daño que surge de los resultados de la medición. Al hacerlo, se puede hacer un aumento (es decir, una mejora en la precisión) de los resultados a partir de la segunda medición.

20 Desde una conexión es posible leer en los datos de identificación del mástil desde, por ejemplo, Datos de Excel o una base de datos.

Es posible realizar una localización automática de mástiles usando datos de GPS existentes y una asignación de datos de mástil desde bases de datos. El contenido de humedad de la madera se puede especificar en función de la fecha correspondiente y se convierte automáticamente al momento de la medición.

25 Se puede usar una rutina para identificar las frecuencias de cable en mástiles cableados y establecer automáticamente las frecuencias de mástil.

El pando del cable se puede calcular automáticamente o calcular a partir de tablas. Se puede tener en cuenta la dependencia del pando de los cables con respecto a la temperatura en la cercanía de los cables. En un programa de cálculo, se puede elegir si el pando del cable y/o la dependencia del pando con respecto a la temperatura se deben especificar o ingresar automáticamente.

30 Puede ser que la relación o la relación entre la rigidez torsional y la rigidez general (véase el documento WO 2010/128056 A1) se pueda usar para evaluar la fuente de daño (eje o cimentación) teniendo en cuenta la dependencia de la amplitud de las frecuencias naturales.

Se puede analizar la distancia entre las primeras frecuencias naturales y los valores de otras frecuencias naturales. A partir de esto, es posible deducir otros parámetros del sistema.

35 El procedimiento también se puede aplicar a los mástiles de plástico reforzado con fibra de vidrio (GFK) teniendo en cuenta las características específicas del material de los plásticos reforzados con fibra de vidrio.

El procedimiento también se puede usar para evaluar piezas de sujeción (por ejemplo, armazones). Para este propósito, las frecuencias naturales y los modos de vibración de las partes agregadas se extraen del resto del sistema (con suficiente desacoplamiento) o se determinan en el sistema general (en formas de onda acopladas).

40 El procedimiento también se puede aplicar a mástiles en torceduras de líneas cableas.

Para llevar a cabo el procedimiento, se pueden usar uno o más sensores, que se pueden conectar al mástil.

45 Se pueden considerar varias características dinámicas medidas en la determinación de la estabilidad, por ejemplo, la consideración de varias frecuencias naturales y/o la consideración de ordenadas medidas de modos de vibración cuando se usan varios sensores. Luego se pueden usar varios parámetros dinámicos si, por ejemplo, no solo se busca la rigidez de la cimentación, sino también tener conocimiento sobre el eje del mástil, las áreas con puntos débiles, la capacidad de carga de barras individuales en armazones, etc.

El procedimiento puede permitir la localización de áreas del sistema con los puntos débiles identificados.

50 El procedimiento es básicamente aplicable a mástiles muy complejos. Ejemplos de esto son los mástiles con brazo (mástiles de semáforos o mástiles de indicadores en carreteras), marcos (pórticos en autopistas o puentes de peaje), mástiles para cables aéreos (ferrocarril, tráfico local), mástiles de teleféricos, etc.

El procedimiento es básicamente aplicable a mástiles de cualquier tipo, como en mástiles de armazones (como los mástiles de cables aéreos del ferrocarril) o mástiles móviles, mástiles de hormigón o mástiles de iluminación (también con sección cuadrada en el pie).

5 A continuación, se explicará una realización para el análisis del comportamiento oscilante no lineal mediante la determinación de la dependencia de la frecuencia natural del mástil con respecto a la amplitud de oscilación:

Primero, se realiza un cálculo de la frecuencia natural en un rango del tiempo. Mediante esta evaluación, se puede determinar una dependencia posiblemente existente de la frecuencia natural con respecto a la amplitud de oscilación. Esta dependencia puede a su vez usarse como un indicador de una cimentación “saludable” o “no saludable”. Además, esta posibilidad de evaluación permite considerar la diferencia entre módulos de elasticidad dinámicos y estáticos, por ejemplo, para el suelo o también para el material de madera, que es importante para la determinación de los valores de rigidez estática. Esta evaluación es particularmente recomendada para mástiles con comportamiento no lineal pronunciado.

15 Primero, el registro de tiempo medido de los valores de aceleración detectados después de la excitación por medio de un sensor de aceleración en el mástil se filtra con paso de banda. La banda de frecuencia se determina usando la frecuencia natural seleccionada de la evaluación estándar ($\pm 20\%$ de la frecuencia natural seleccionada de la evaluación estándar). Del registro de tiempo se eliminan las partes perturbadoras (ruido o componentes de frecuencia más altos que las frecuencias naturales).

20 Usando una rutina de identificación, se calculan primero las curvas envolventes para los máximos locales (curva envolvente superior) y los mínimos (curva envolvente inferior). Luego, estas curvas envolventes se suavizan aproximando las “splines” que tienen los mismos nodos que la curva envolvente (véase la Figura 1). En un paso adicional, esta rutina luego busca el área en la que no se produce más excitación manual y el mástil se desplaza libremente. Esta área suele ser al final del transcurso del tiempo. Esta área se extrae (véase Figura 2).

25 En el área de oscilación extraída, se calculan las distancias de los máximos locales y las distancias de los mínimos locales, así como las correspondientes amplitudes de oscilación $y_{pp,i}$ (aceleraciones). Las distancias son los períodos T_i del transcurso del tiempo a partir de los cuales los valores de frecuencia $f_i = 1/T_i$ se pueden calcular en secciones (por período i). La frecuencia se puede representar como una función de la amplitud de oscilación de aceleración y_{pp} . Un ejemplo se muestra en la Figura 3.

La dependencia así determinada de la frecuencia con respecto a la amplitud de oscilación se aproxima entonces por medio de una función de potencia. Esta función se define de la siguiente manera:

30
$$f(\ddot{y}) = a \cdot \ddot{y}^b$$

Primero, la calidad de la adaptación se verifica a través de un valor de error. Si este error es cercano a cero, prácticamente no hay adaptación. Para un valor de error cercano a 1, hay un ajuste prácticamente perfecto. Preferentemente, no se usan aproximaciones con valores de error inferiores a 0,3. En estos casos se supone que no hay dependencia de la frecuencia con respecto a la amplitud.

35 Si hay una dependencia (error > 0,3), se analiza el exponente b: Si $b < 0$ hay una dependencia decreciente. Es decir, la frecuencia disminuye al aumentar la amplitud. Este caso apunta a problemas en la cimentación, ya que generalmente existe una dependencia progresiva.

40 Si $b \geq 0$ hay una dependencia progresiva. En este caso, la frecuencia aumenta al aumentar la amplitud. Este es el caso normal, que, al igual que el módulo de elasticidad dinámico, se basa en el efecto de que, en el caso de movimientos rápidos en el suelo, el agua en los capilares no puede desplazarse con la misma rapidez y se produce una aparente rigidez del suelo.

En ambos casos, se recalcula una frecuencia de calibración f_a , que se usa para calibrar el modelo matemático del mástil y, por lo tanto, para calcular las desviaciones o deformaciones del mástil, con la ayuda de la dependencia de la frecuencia natural encontrada. Para estos cálculos, se usan las siguientes amplitudes:

45

| Rango de valores de Coeficiente b | Amplitud y para el cálculo de frecuencia con dependencia de amplitud y frecuencia f_a para evaluación | Dependencia de la amplitud | Consecuencia |
|-----------------------------------|---|----------------------------|--------------|
| $0 \leq b < 0,01$ | $f_a = f_e$ | Ninguna | Ninguna |

| Rango de valores de Coeficiente b | Amplitud y para el cálculo de frecuencia con dependencia de amplitud y frecuencia f_a para evaluación | Dependencia de la amplitud | Consecuencia |
|-----------------------------------|--|----------------------------|---|
| $b > 0,01$ | $\ddot{y}_{\text{límite}} = 0,2 \cdot 0,02 \cdot \omega^2 \cdot (0,05 \cdot H)$ $f_a = a \cdot \ddot{y}_{\text{límite}}^b$ | Progresiva | Cimentación bien, pero la frecuencia se reduce en comparación con el valor del espectro. |
| $-0,01 \leq b < 0$ | $\ddot{y}_{\text{límite}} = 0,02 \cdot \omega^2 \cdot (0,05 \cdot H)$ $f_a = a \cdot \ddot{y}_{\text{límite}}^b \cdot 0,95^2$ | Débilmente decreciente | La cimentación aún está bien, pero la frecuencia se reduce ligeramente en comparación con el valor del espectro |
| $-0,02 \leq b < -0,01$ | $\ddot{y}_{\text{límite}} = 0,02 \cdot \omega^2 \cdot (0,05 \cdot H)$ $f_a = a \cdot \ddot{y}_{\text{límite}}^b \cdot 0,9^2$ | Moderadamente decreciente | La cimentación debe ser observada, la frecuencia se reduce en comparación con el valor del espectro. |
| $b < -0,02$ | $\ddot{y}_{\text{límite}} = 0,02 \cdot \omega^2 \cdot (0,05 \cdot H)$ $f_a = a \cdot \ddot{y}_{\text{límite}}^b \cdot 0,85^2$ | Fuertemente decreciente | La cimentación probablemente está dañada, la frecuencia se reduce significativamente en comparación con el valor del espectro |

Las amplitudes límite surgen dependiendo de la altura del mástil H sobre el GOK (borde superior del terreno) y la frecuencia angular natural ω del espectro.

5 Para el caso $b < 0$, se asumió que, a partir de una amplitud máxima del 5 % de la altura del mástil, la región casi estática de la curva de caída se alcanza cuando las amplitudes de vibración han disminuido hasta el 2 % de la amplitud máxima. En este rango de amplitud, se supone que las rigideces dinámicas corresponden a las rigideces que se producen en una tensión casi estacionaria. Dependiendo de la magnitud del parámetro b, la frecuencia de calibración f_a se reduce nuevamente. Estos factores de reducción son factores de casi seguridad que, con una dependencia decreciente, deberían amortiguar, entre otras cosas, las incertidumbres de esta rutina de evaluación. Dependiendo de la magnitud de b, estos factores corresponden a reducciones de rigidez de 5 % ($f: -0,01 \leq b < 0$), 10 % ($f: -0,02 \leq b < -0,01$) y 15 % ($f: b < -0,02$).

Para el caso $b > 0,01$, se usa una amplitud menor para calcular la frecuencia de calibración. Esto es el 20 % de la amplitud para el caso $b < 0$.

15 El cálculo adicional (por ejemplo, de acuerdo con el documento WO 2010/128056 A1) se lleva a cabo con la frecuencia de calibración f_a . Esta frecuencia es en general en una dependencia de amplitud fija, más pequeña o, a lo sumo, del mismo tamaño que la frecuencia natural determinada a partir del espectro.

20 Según otro aspecto importante de la invención, se puede determinar la estabilidad de un mástil erigido según lo previsto en un lugar de uso, fijado sobre en el suelo, mediante el cual las oscilaciones del mástil excitado, artificialmente o por influencias ambientales, se detectan mediante medición y, a partir de esto, se determina al menos una frecuencia natural del mástil, y luego, sobre esta base, se determina la vida del mástil. Por ejemplo, la vida útil restante se puede estimar en función de los resultados de las mediciones de frecuencia que se describen a continuación.

Dependiendo el año de construcción del mástil y/o dependiendo del desplazamiento o la desviación calculados y posiblemente los límites de clase (como se describe, por ejemplo, en el documento WO 2010/128056 A1), se estima una vida útil para el mástil.

25 Como regla general, las mediciones llevan a la conclusión de que los mástiles en el momento de la medición tienen mayores desplazamientos que un mástil perfecto, "sin daños". Las causas de los desplazamientos más grandes son entre otras, debidas a la rigidez de la cimentación (más suave que el mástil perfecto) y debidas a factores dependientes del tiempo que conducen a una disminución de la rigidez del sistema.

30 Dado que en el momento de una primera medición en un mástil no hay conocimiento disponible sobre las propiedades del eje del mástil en un punto anterior, se supone que el mástil es perfecto en el momento de la instalación, es decir estaba intacto. A partir de la disminución de la rigidez del sistema en el período entre la instalación y la primera medición, se puede derivar una tasa de la disminución de la rigidez. Para este propósito, se

5 supone que el mástil siempre está sujeto y que los cambios de rigidez se deben únicamente a la reducción (dependiente del tiempo) de la sección transversal. Se supone que la sección transversal del mástil, es decir, el diámetro exterior, de afuera hacia adentro, se reduce a esta tasa. Este supuesto surge de la consideración de que, por ejemplo, de acuerdo con varias normas (por ejemplo, DIN 4133), la valoración por corrosión debe tenerse en cuenta para el diseño de ciertos componentes. En principio, estos suplementos de corrosión también describen una disminución en la sección transversal estáticamente relevante en función del tiempo. En el caso de los postes de madera, la reducción de las secciones transversales resulta, por ejemplo, de contracción, podredumbre o ataque de hongos.

El diámetro de los mástiles es, pues, una función del tiempo t:

$$10 \quad d_a(t) = d_{a0} - v_s \cdot t$$

Con

d_{a0} diámetro exterior en el momento de instalación

$d_a(t)$ diámetro exterior en el momento t

d_i Diámetro interior en el corte transversal de la circunferencia

15 v_s tasa de disminución del diámetro exterior en mm/año

A partir del modelo mecánico subyacente, sobre esta base, los puntos de cabeza del mástil $\delta(t)$ con una fuerza de actuación (por ejemplo, carga de viento local típica) se pueden calcular en función del tiempo, De este modo, se puede obtener una ecuación de determinación para v_s , ya que la variable v_s es la única desconocida. La solución a esta ecuación y la determinación de v_s se logra, por ejemplo, por medio de un algoritmo de iteración. Con esta tasa v_s se puede calcular, en qué momento se excede la deformación permisible δ_{zul} . Para este propósito, el tiempo t se incrementa hasta que se cumpla la siguiente ecuación: $\delta(t=t_{LD}) = \delta_{zul}$. El tiempo t_{LD} es el tiempo de duración estimado. La diferencia entre el t_{LD} y el tiempo transcurrido desde la instalación hasta el tiempo de medición es la vida útil restante estimada y buscada.

25 La tasa aún se multiplica por un factor de seguridad de 1,5 para aproximar un aumento en la consideración de la tasa de daño. La dependencia temporal de la rigidez que tiene en cuenta el procedimiento descrito no es lineal, ya que la tasa de daño supuesta se relaciona con el diámetro.

A partir de la segunda medición, se puede realizar un cálculo más preciso de la tasa de daño teniendo en cuenta los primeros valores medidos. De esta manera, por un lado, un posible aumento en la tasa de daño puede detectarse con mayor precisión, pero por otro lado, las tasas de daño sobreestimadas también se pueden corregir desde la primera estimación y, por lo tanto, se puede lograr una estimación de la duración más favorable.

A continuación, se proporciona una realización para la consideración de la influencia de la humedad de la madera en las propiedades mecánicas de la estructura en la evaluación de las mediciones de frecuencia en mástiles de madera:

35 El contenido de humedad de la madera influye en las propiedades estructural-mecánicas de la madera material. En el caso de postes de madera a la intemperie, el contenido de humedad de la madera sigue aproximadamente el curso de la temperatura. En el transcurso del año, esto puede llevar a fluctuaciones en la humedad de la madera de aproximadamente 12 % a 20 %. Para los postes de madera es relevante un rango de aproximadamente 12 % a 18 %, ya que allí se pueden asumir temperaturas de $> 0^\circ\text{C}$. A temperaturas inferiores a 0°C , el suelo se puede congelar, por lo que la rigidez del sistema en esta condición no es representativa del caso del viento máximo (tormenta de invierno o tormenta de primavera con una temperatura del aire de aproximadamente $4\text{-}5^\circ\text{C}$). Son posibles aumentos en el corto plazo debidos a la precipitación. Como resultado, se puede lograr hasta un 30 % de humedad en el exterior de la madera, que, sin embargo, generalmente se seca rápidamente debido a la influencia del viento.

Un parámetro mecánico estructural decisivo es el módulo E (de elasticidad) (que también influye en la rigidez a la flexión).

45 Este parámetro depende del contenido de humedad real de la madera. Se puede ver que el módulo E en el rango de humedad relevante $u = (12\% \text{-} 18\%)$ fluctúa desde aproximadamente 9200 MPa a 10000 MPa, o aproximadamente 8 %. Este rango puede considerarse realista para postes de madera impregnados. Un 30 % de humedad en el exterior de la madera es posible por un corto tiempo. Allí, el módulo E luego cae a aproximadamente 8600 MPa. Sin embargo, el módulo E relevante para la rigidez a la flexión es un valor medio, que depende de la distribución de la tensión en la sección transversal. Debido a que las áreas internas del mástil no están o solo están ligeramente

influenciadas por los incrementos a corto plazo de la humedad en el exterior (dependiendo de la duración de la exposición), el rango de fluctuación se puede asumir como se indicó anteriormente.

5 Si la humedad no se introduce explícitamente, se usa un módulo E que es válido para una humedad del 15 %. Esto significa que las desviaciones máximas para la rigidez de flexión calculada y, por lo tanto, las deformaciones calculadas de la componente de flexión son aproximadamente del $\pm 3,5$ %. Estas variaciones a la luz de seguridad implementada deben ser consideradas como tolerables. También debe tenerse en cuenta que la rigidez general consiste en un componente de resorte de torsión (cimentación) y un componente de flexión (mástil). Dado que la proporción de resorte de torsión en mástiles realistas puede ser de hasta 30-40 %, el rango de fluctuación de la rigidez general es menor que el rango de fluctuación de la rigidez de flexión solo, dependiendo del contenido de humedad. Son realistas los márgenes de fluctuación de aproximadamente el $\pm 2,5$ %.

10 Sin embargo, se usa preferentemente una función de corrección, que hace uso de la dependencia de la humedad con respecto a la estación del año.

15 De este modo, la rigidez del sistema se calcula en función de un módulo E, que se aplica para $u = 15$ % o para la medición leída de humedad u_{mess} . Esta rigidez representa el estado durante la medición. Para el sistema perfecto (fijo), esto resulta en una frecuencia de comparación de $f_{\text{voll,mes}}$. Para la evaluación del comportamiento del sistema, el módulo E se convierte a una humedad de $u = 18$ % (se ajusta a 5°C en caso de tormenta). Como resultado, los desplazamientos calculados usados para la evaluación son máximos en aproximadamente un 5 % (para el caso: Medida en $u = 12$ % en verano). La frecuencia del sistema perfecto, $f_{\text{voll,bewertung}}$ en $u = 18$ %, será así más pequeña en un máximo de aproximadamente 2,5 %.

20 La invención se refiere no solo a un procedimiento, sino también a un aparato para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, con una unidad de cálculo que respalda la determinación de la rigidez del mástil. Para este propósito, la unidad aritmética tiene una programación adecuada con los pasos correspondientes del programa. El dispositivo puede tener al menos un sensor de aceleración y medios para transferir los valores de medición de vibración detectados por el sensor a la unidad aritmética. Además, el dispositivo puede tener un sensor de humedad y medios para transferir los valores de humedad detectados por el sensor a la unidad aritmética. Finalmente, el dispositivo comprende convenientemente medios de salida para emitir los datos de estabilidad comprobados del mástil.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para determinar la estabilidad de un mástil erigido en un lugar de uso, montado sobre una cimentación o de pie en el suelo, registrándose mediante medición las oscilaciones del mástil realizadas para vibrar mediante excitación artificial o por influencias ambientales, y, a partir de esto, determinándose al menos una frecuencia natural del mástil, **caracterizado porque** se analiza una no linealidad del comportamiento de vibración del mástil excitado y a partir del resultado de este análisis, se determina si existe un daño en el mástil y/o en su unión al área de la cimentación y **porque** se determina la dependencia de la frecuencia natural con respecto a la amplitud de oscilación y, sobre la base de esta dependencia, se calcula una frecuencia de calibración con la que se calibra un modelo mecánico del mástil y, sobre esta base, se determina la estabilidad del mástil.
- 10 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la frecuencia de calibración es menor que la frecuencia natural determinada o, como máximo, es igual a esta.
- 15 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, sobre la base de la rigidez del mástil derivada del espectro de vibración, se determina una desviación de la cabeza del mástil bajo una carga externa del mástil, comparando la desviación calculada para determinar la estabilidad del mástil con una desviación permisible.
- 20 4. Procedimiento para determinar la estabilidad de un mástil erigido en un lugar de uso, montado sobre una cimentación o de pie en el suelo, en particular de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que se registra el espectro de oscilación del mástil excitado artificialmente o por las influencias ambientales y a partir de ello se determina al menos una frecuencia natural del mástil, determinándose sobre esta base la vida útil del mástil.
- 25 5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** el año de construcción del mástil y/o los límites de clase se usan como un parámetro de condición adicional en la estimación de la vida útil.
6. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 4 o 5, **caracterizado porque**, basándose en la rigidez del mástil derivada de la medición de vibración, se determina una desviación de la parte superior del mástil bajo una carga externa del mástil, usándose la desviación de la parte superior del mástil para determinar la vida útil del mástil.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** la tasa de disminución de la rigidez del mástil se determina suponiendo que, en el momento de la instalación del mástil, el mástil se encuentra en la condición técnica ideal y tiene su máxima rigidez posible.
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, al determinar la rigidez del mástil hecho de madera, se tiene en cuenta la humedad de la madera.
- 30 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado porque** los datos característicos incluyen una humedad de la madera dependiente de la estación predeterminada, que se tiene en cuenta en la determinación de la estabilidad.
- 35 10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, para determinar la estabilidad del mástil, se usa un sistema de navegación por satélite para ubicar automáticamente el mástil y, sobre la base de este proceso de localización, se suministran y/o asignan automáticamente los datos característicos de una base de datos.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la estabilidad de un mástil que lleva cables se obtiene teniendo en cuenta el pandeo del cable dependiente de la temperatura.
- 40 12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** el pandeo del cable dependiente del medio ambiente se determina con referencia a una base de datos o mediante la medición de la temperatura ambiente, teniendo en cuenta los datos característicos específicos del cable.
13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la estabilidad del mástil se determina teniendo en cuenta la masa generalizada del mástil y los eventuales componentes dispuestos en él.
- 45 14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la estabilidad de un mástil equipado con cables portadores de corriente se determina teniendo en cuenta la potencia eléctrica que pasa a través de los cables.
- 50 15. Dispositivo para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, con una unidad de computación que ayuda a determinar la rigidez del mástil.

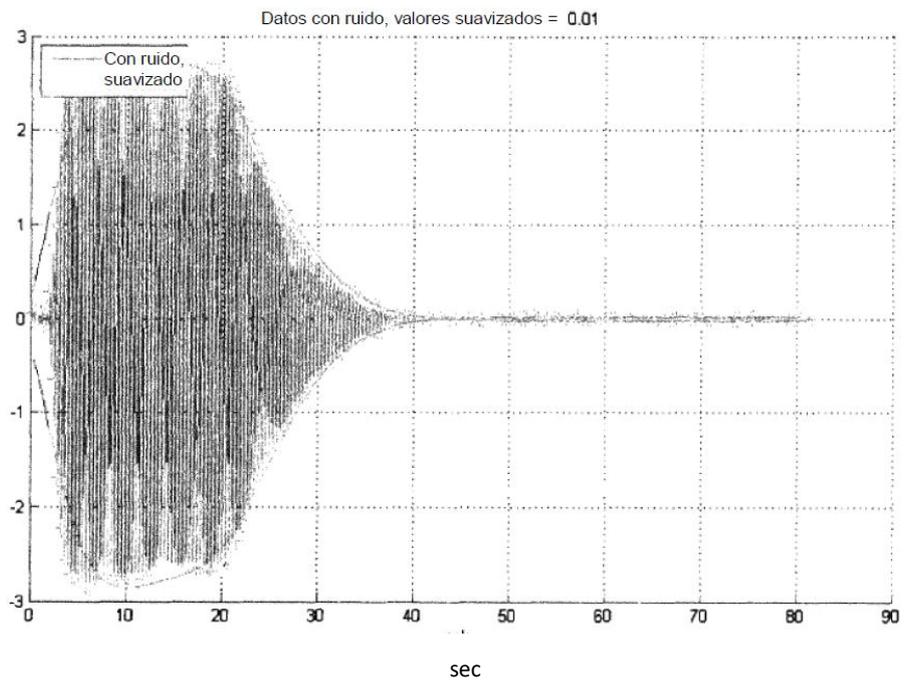


Fig. 1

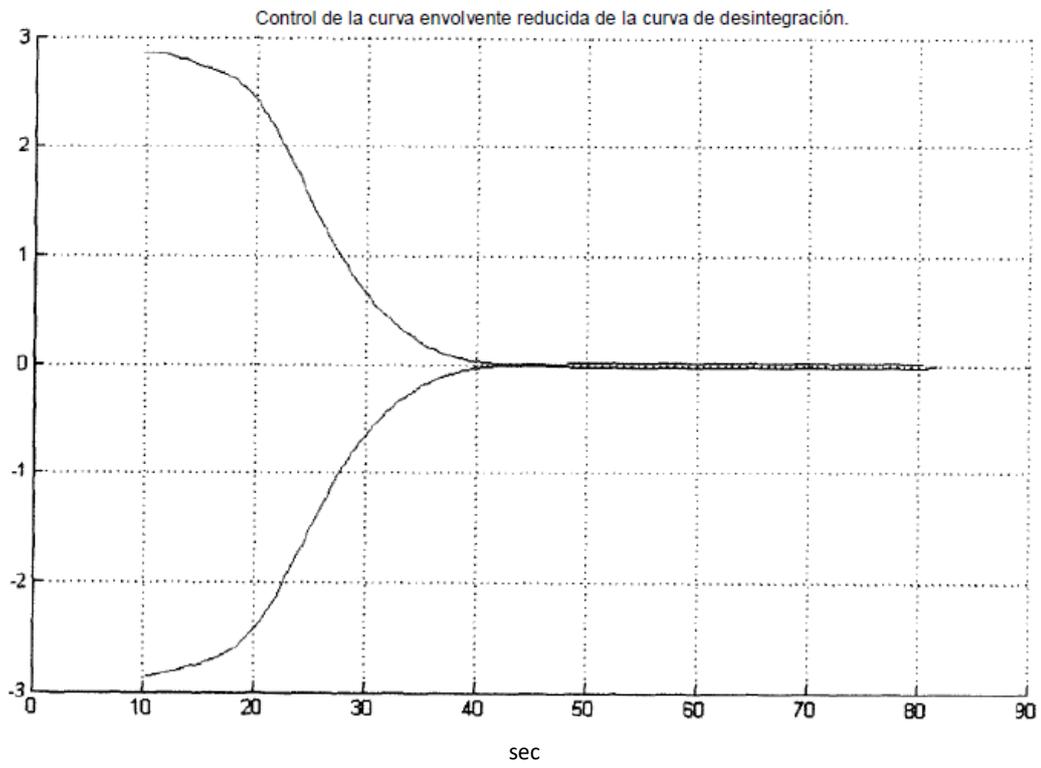


Fig. 2

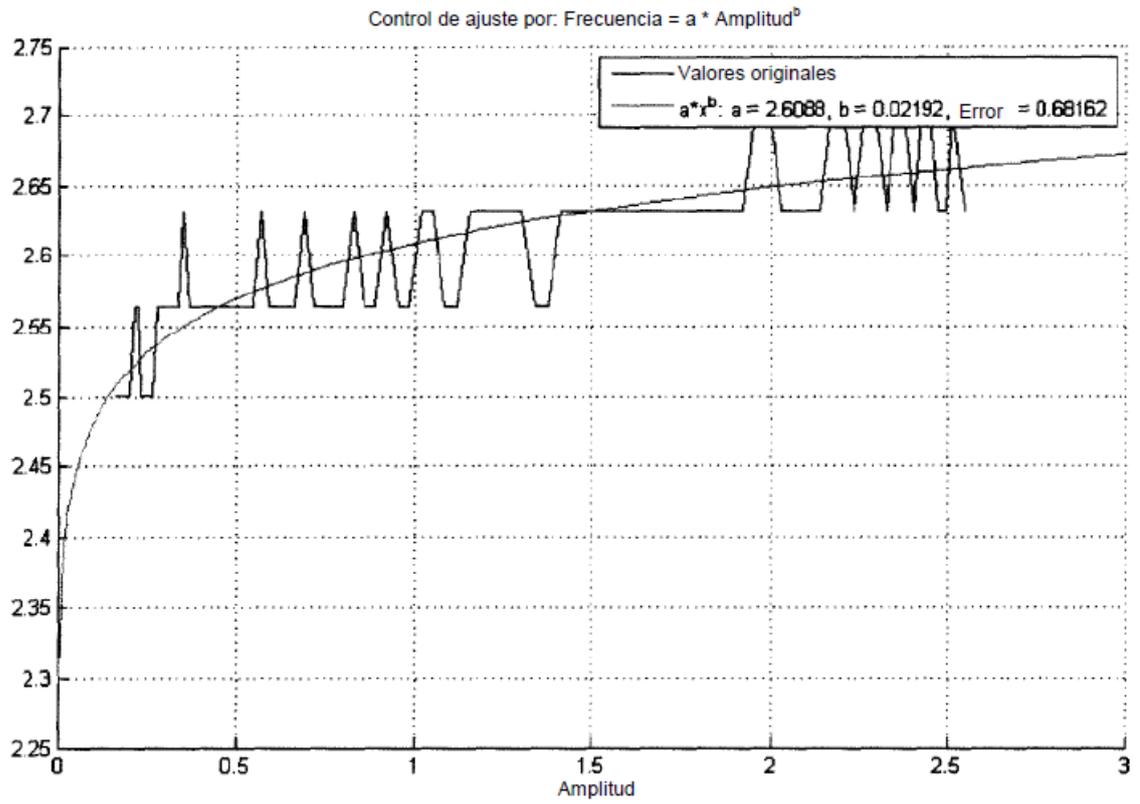


Fig. 3