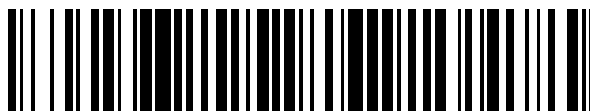


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 723 048**

51 Int. Cl.:

G01M 5/00 (2006.01)

G01M 7/00 (2006.01)

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.05.2010 PCT/EP2010/056052**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.11.2010 WO10128056**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2010 E 10718575 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2019 EP 2427747**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para examinar la estabilidad de un poste**

30 Prioridad:

05.05.2009 DE 102009002818

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

21.08.2019

73 Titular/es:

**SPALTMANN, HORST (50.0%)
Kormoranweg 7
46487 Wesel-Blumenkamp, DE y
MEYER, AXEL (50.0%)**

72 Inventor/es:

**SPLATMANN, HORST;
ZAHLTEN, WOLFHARD;
EUSANI, RENATO y
HORTMANN, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 723 048 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 y dispositivo para examinar la estabilidad de un poste

La invención se refiere a un procedimiento para examinar la estabilidad de un poste en vertical sobre un subsuelo o un sistema en vertical similar.

5 En el documento EP 0 379 622 A1 se describe un procedimiento en el que la desviación de la punta de poste puede calcularse mediante un modelo mecánico. Como medida para la estabilidad del poste en el procedimiento previamente conocido la desviación calculada de la punta de poste durante la acción de una fuerza discrecional se relaciona con aquella desviación que se produciría en teoría, cuando se toma una rigidez a la torsión muy alta del poste que va a examinarse en la zona de la base. Las influencias externas, como la acción del viento o una carga humana, no tienen importancia en esta reflexión.

10 El documento WO 2007/052239 A2 da a conocer un procedimiento para registrar un estado de un poste, en el que el poste comienza a vibrar artificialmente y se registra el espectro de frecuencia generado por ello mediante sensores de aceleración. El comportamiento de vibración del poste se interpreta con respecto a resonancias y amortiguación para obtener informaciones sobre el estado del poste. Mediante una comparación del comportamiento de vibración registrada con propiedades previamente determinadas puede obtenerse una afirmación sobre el estado del poste.

15 El documento DE 10 2005 038033 A1 muestra un procedimiento para examinar la estabilidad y/o rigidez a la flexión de postes, en el que un poste mediante un excitador de masas no equilibradas o un impulso de fuerza comienza a vibrar y se registra el comportamiento de vibración correspondiente mediante sensores de aceleración. Mediante la comparación del comportamiento de vibración con valores de referencia puede deducirse la estabilidad y/o rigidez a la flexión del poste. En el procedimiento previamente conocido la desviación de poste en la excitación de vibraciones se mide directamente.

20 En el documento DE 197 01 247 A1 se describe un procedimiento para examinar la estabilidad de un poste en el que el poste se somete a una carga con una fuerza de flexión creciente y a este respecto se desvía lateralmente y en el que el poste tras finalizar la operación de carga se libera de carga de nuevo y en este sentido se somete a una fuerza de retroceso que se reduce a cero.

25 Los postes se utilizan por ejemplo como soportes de iluminación (por ejemplo postes de iluminación por proyección), señales de tráfico, semáforos, cables como cables aéreos para corriente o cables para funiculares (por ejemplo postes de alta tensión, postes de catenaria de ferrocarriles o tranvías) o antenas (por ejemplo, torres para radio, televisión o telefonía móvil). Un poste de corriente eléctrica es un pilote o pilar que se compone por ejemplo de madera o metal, anclado en el subsuelo con al menos un conductor eléctrico bajo corriente fijado en la zona superior.

30 Sobre todo influencias medioambientales como la humedad del suelo y viento o vandalismo pueden dañar un poste o un sistema en vertical similar por ejemplo debido a la corrosión, fatiga del material o formación de grietas y poner en peligro la estabilidad. La estabilidad de un poste ha de comprobarse por tanto a intervalos regulares. Debe verificarse por tanto si un poste que va a comprobarse está dañado de tal modo que este deba reemplazarse.

35 Para examinar la estabilidad de un poste a menudo con ayuda de un aparato móvil se aplica sobre los postes una carga que actúa horizontalmente. Se miden las desviaciones que aparecen a este respecto. Tras la eliminación de la carga se controla a continuación si el poste ha alcanzado de nuevo su posición inicial. Este método es en muchos casos desventajoso y destructivo dado que por ejemplo:

- 40 • los postes dañados no alcanzan de nuevo su posición inicial y después por regla general están torcidos.
- Las cargas aplicadas son superiores que las cargas verdaderamente posibles mediante una acción del viento. Los postes pueden quedar dañados a este respecto debido a la carga de examen, aunque todavía sean estables.

45 Los postes torcidos o dañados deben reemplazarse por regla general inmediatamente, en particular cuando los postes portan un cableado bajo tensión. Esto es para la empresa explotadora un gasto en logística considerable que por regla general debe organizarse a corto plazo. Los métodos de examen con introducción de carga tienen además la desventaja de que solo examinan fallos por debajo del punto de introducción de carga. Por ello los puntos defectuosos por encima de la introducción de carga no se examinan

50 Un método adicional en el caso de postes de madera es la perforación de los postes con ayuda de aparato de perforación especial. A este respecto se graba la fuerza que es necesaria para un avance de perforación constante. Si la fuerza disminuye esto permite deducir puntos defectuosos dentro de la sección transversal de madera. Este método tiene igualmente diferentes desventajas:

- En primer lugar el método es destructivo;

- Dado que por regla general solo se perfora en el pie, pueden realizarse afirmaciones también solo para esta zona. Estrictamente solo puede valorarse el punto de perforación mismo, no es posible una afirmación sobre el comportamiento de la base en conjunto.

5 Un método complejo es el examen con ayuda de aparatos de ultrasonido especiales. Este examen es inicialmente discreto, es decir siempre se examina solo un punto de medición determinado o una sección transversal determinada. Para obtener una imagen global las mediciones deben llevarse a cabo en puntos diferentes del poste. Esto es relativamente complejo, solo puede deducirse si los puntos examinados presentan un daño o no. No es posible una valoración estática directa.

10 Los procedimientos para examinar la estabilidad de un poste, según los cuales un poste se carga estáticamente, se conocen por ejemplo por los documentos DE 1 573 752, así como EP 0 638 794 B1. La medida para la estabilidad es según estos documentos la desviación de un poste en una fuerza predeterminada, con la que se solicita un poste.

15 El documento DE 299 10 833 U se refiere a una unidad de examen móvil para medir la estabilidad de un poste, que se compone de un bastidor que se apoya en el suelo y que se une con el pie de poste que comprende medios para someter a carga el poste con una carga de examen. En el bastidor está instalada una primera unidad de medición, para el control de la desviación de poste provocada por la carga de examen. Una segunda unidad de medición independiente mecánicamente del bastidor sirve para averiguar movimientos de la primera unidad de medición. Esta unidad de examen es relativamente compleja y no puede transportarse fácilmente en particular hacia otro poste que va a examinarse.

20 El documento DE 100 28 872 A1 da a conocer un procedimiento del tipo mencionado al principio para comprobar la estabilidad de una base de hormigón. En un poste de cable aéreo creado en el modo de construcción de enrejado se ejerce un impulso de fuerza sobre el montante de esquina y se mide y se evalúa la reacción del entorno con ayuda de sensores sismográficos. Este procedimiento no puede proporcionar resultados exactos para diferentes tipos de poste.

25 Además se sabe cómo aplicar en un poste a una altura deseada una masa que rota alrededor del poste. El poste comienza de este modo a vibrar de modo que va a representar una medida para la estabilidad. Un procedimiento de este tipo según el cual un poste se solicita de este modo periódicamente con una fuerza puede desprenderse por ejemplo del documento DE 103 00 947 A1. Con ayuda de sensores de aceleración se averigua el comportamiento de vibración del poste. El comportamiento de vibración se valora mediante distintos criterios. De ello se deduce la estabilidad del poste examinado. Se trata en el caso de un procedimiento de este tipo desventajosamente asimismo de un procedimiento relativamente inexacto no estandarizado. Un procedimiento de este tipo es en particular inexacto cuando el comportamiento de vibración depende de las condiciones del entorno. Esto es válido sobre todo para un poste que porta líneas aéreas. Dependiendo de la temperatura predominante varía concretamente la flecha de cable y con ello el comportamiento de vibración o la frecuencia propia de un poste que va a examinarse. Hay por tanto variaciones en el comportamiento de vibración que deben atribuirse a las condiciones del entorno
35 predominantes en cada caso y no por ejemplo a los daños de un poste originados que pueden poner en peligro su estabilidad.

40 Por el documento EP 1 517 141 A se desprende un procedimiento para comprobar la estabilidad, en particular el deterioro por la corrosión de postes de metal que están encastrados parcialmente en un subsuelo. El poste de metal comienza a vibrar y estas vibraciones se miden con un dispositivo de medición. Los datos de medición de vibración obtenidos a este respecto se comparan con datos de medición de vibración grabados de un poste idéntico intacto. Si aparecen variaciones entre los datos de medición de vibración obtenidos y los grabados entonces estas variaciones indican un deterioro. Desventajosamente para cada poste nuevo debe averiguarse de nuevo el comportamiento de vibración de un poste intacto. Para cada poste nuevo debe establecerse de nuevo cómo son las desviaciones de un comportamiento de vibración para que un poste tenga que reemplazarse debido a la falta de estabilidad. Quedan sin
45 considerar aquellas variaciones del comportamiento de vibración que pueden atribuirse en cada caso a las condiciones individuales predominantes. De nuevo se trata de un procedimiento de examen no estandarizado, relativamente inexacto.

50 El objetivo de la invención es facilitar un procedimiento y un dispositivo con los que pueda comprobarse la estabilidad de un poste sin destrucción y de manera fiable de forma practicable. Para conseguir el objetivo se averigua una frecuencia propia de un poste que va a examinarse. La frecuencia propia averiguada se emplea para averiguar a partir de esta una medida para la estabilidad de un poste, de acuerdo con el procedimiento según la reivindicación 1. Dependiendo de la medida para la estabilidad averiguada a partir de la frecuencia propia se verifica si un poste es suficientemente estable.

55 Para poder averiguar una frecuencia propia de un poste, es suficiente con que un poste que va a examinarse comience a vibrar ligeramente y el comportamiento de vibración se grave con uno o varios sensores de aceleración. El poste no debe y tampoco va a someterse a ninguna carga intensa, también por los motivos anteriormente citados, especialmente porque las cargas intensas pueden dañar el poste. Para poder averiguar frecuencias propias, tampoco es necesario que un poste que va a examinarse comience a vibrar en un modo idéntico definido exactamente. Con frecuencia ni siquiera es necesario ni tampoco deseable generar vibraciones de poste

artificialmente. Puede bastar por lo tanto grabar las vibraciones que se provocan por ejemplo debido a cargas externas naturales como el viento.

5 A diferencia del estado de la técnica con ayuda de la frecuencia propia averiguada, se calcula la desviación de la cabeza del poste debido a carga externa y/ o se averigua mediante un procedimiento numérico. Con carga externa no se alude a los pesos que tiene que soportar un poste continuamente de acuerdo con el uso previsto. Con carga externa tampoco se alude al peso propio del poste que va a examinarse. Una carga externa resulta en particular de un viento predominante. Si una persona sube a un poste, entonces se trata igualmente de una carga externa en el sentido invención.

10 Mediante la desviación de poste se evalúa la estabilidad. La desviación del poste es una medida especialmente adecuada para poder evaluar la estabilidad de un poste. En particular esta medida hace posible afirmaciones más fiables sobre la estabilidad en comparación con el caso según el cual únicamente se emplea el comportamiento de vibración o la frecuencia propia misma como medida para la estabilidad.

15 Por tanto el procedimiento puede llevarse a cabo de manera sencilla y con ello de una manera reproducible en la práctica. Es por tanto posible llevar a cabo exámenes de estabilidad de modo que los resultados obtenidos produzcan de manera fiable la estabilidad real.

20 Una frecuencia propia depende de la rigidez de un poste y permite por tanto una evaluación de la rigidez de un poste. La rigidez de un poste es a su vez un parámetro que permite evaluar la desviación de un poste a consecuencia de una carga. Una rigidez averiguada adecuadamente puede ser suficiente ya para poder averiguar la estabilidad de manera mejorada con respecto al estado de la técnica. Esto se aplica en particular entonces cuando a partir de las deformaciones admisibles se averiguó una rigidez teórica del sistema, con la que puede compararse la rigidez averiguada adecuadamente. Una rigidez averiguada es en particular adecuada entonces cuando esta describe la rigidez total del sistema presente en el momento de la medición.

25 Regularmente un poste, así por ejemplo un poste que se compone de madera (poste de madera) se estrecha hacia arriba. Un poste como por ejemplo un poste eléctrico presenta además piezas montadas. Tales piezas montadas son en el caso de un poste eléctrico sobre todo elementos de fijación para líneas eléctricas.

30 Además un poste eléctrico se somete a carga mecánica mediante los conductores eléctricos fijados a este. Estas diferencias en comparación con un poste sencillo, por ejemplo cilíndrico repercuten en la frecuencia propia. Una frecuencia propia de un poste depende además de la altura en la que están instaladas por ejemplo piezas montadas. En una forma de realización de la invención entran por tanto en la averiguación del comportamiento de deformación (desviación o desplazamiento de la cabeza de poste) tales parámetros de sistema de un poste. Con ello quiere decirse que el cálculo o averiguación numérica de la desviación también considera parámetros de sistema de un poste. Si un cálculo o averiguación numérica de la desviación no comprende parámetros de sistema, entonces en la averiguación de la desviación no entra ningún parámetro de sistema de un poste. Los parámetros de sistema son

- altura del poste que va a evaluarse;
- 35 • diámetro de poste así como partiendo de esto la modificación del diámetro de postes con altura creciente y/o decreciente;
- material del poste como por ejemplo tipo de madera (haya, roble, pino etc.), acero, aluminio, hormigón, etc.;
- número de cables en postes con cableado;
- diámetro de cable de cables en postes con cableado;
- 40 • material o peso de cables, si están presentes;
- flecha de cable en postes con cableado en el día de la medición;
- altura de puntos de fijación para piezas montadas y/ o cables (si están presentes);
- peso de piezas montadas como por ejemplo elementos de fijación para conductores eléctricos / cables;
- 45 • módulo de elasticidad del poste (resulta por regla general del material del poste - en madera se considera ventajosamente la humedad de material predominante en el día de la medición);
- distancia entre postes adyacentes, que están unidos entre sí a través de un cableado;
- posición de masas adicionales como lámparas, aislantes, travesaños, antenas, escaleras (para poder subirse a un poste);
- 50 • tamaño de masas adicionales como lámparas, aislantes, travesaños, antenas, escaleras (para poder escalar un poste);

- peso de masas adicionales como lámparas, aislantes, travesaños, antenas, escaleras (para poder escalar un poste);

5 En una forma de realización de la invención se averigua la desviación de un poste o una medida correspondiente a consecuencia de una carga externa mediante el viento etc. teniendo en cuenta las cargas que debe soportar un poste incluido el peso propio del poste. Las cargas y masas que van a soportarse por el poste de acuerdo con el uso previsto influyen en sus frecuencias propias, de modo que la consideración de estas cargas y masas contribuye a poder evaluar de manera mejorada la estabilidad. Si estas cargas y masas no entran en el cálculo o averiguación numérica de la desviación entonces estas cargas y masas no se consideran en el sentido de la presente invención.

10 Una frecuencia propia de un poste se ve influida no obstante no solo por cargas y masas, con las que un poste se somete a carga continuamente, sino sobre todo también, por la altura en la que se encuentran cargas y masas que van a soportarse. En una forma de realización de la invención se considera por tanto la altura o también las alturas en la que se encuentran las cargas y masas que van a soportarse por un poste que va a examinarse, para poder evaluar de manera adicionalmente mejorada la estabilidad de un poste. Si tales alturas no entran en el cálculo o averiguación numérica de la desviación (deformación) o de una medida correspondiente entonces estas alturas no se consideran en el sentido de la presente invención.

15 La frecuencia propia de un poste se ve influida además por la posición y tamaño de una masa que va a soportarse por el poste. Depende por ejemplo si una masa carga un poste de manera uniforme o no uniforme porque una masa exclusivamente está fijada en un lado del poste. Si una masa está fijada exclusivamente en los lados, entonces depende también donde se sitúa la gravedad de la masa a los lados junto al eje de poste. Entre otros, por este motivo influye por tanto también el tamaño y forma de una masa, es decir de un objeto, cuyo su peso se observa, la frecuencia propia. De manera comparable es importante también, a la altura y / o a la profundidad que llega una masa partiendo de un punto de fijación en el poste. En una forma de realización de la invención se considera por tanto también el tamaño y/ o forma de un peso semejante tiene en cuenta, para poder evaluar de manera adicionalmente mejorada la estabilidad de un poste.

20 En una forma de realización de la invención las masas que van a soportarse por un poste incluido su peso propio, las alturas, en las que se encuentra estas masas, se resumen en un valor, que en lo sucesivo se llamará masa generalizada. En la masa generalizada M_{gen} puede entrar también además la posición, forma y/ o tamaño de las masas que van a soportarse. Esta masa generalizada en una forma de realización de la invención entra en el cálculo o averiguación numérica de una medida para la desviación para poder evaluar de manera adicionalmente mejorada la estabilidad de un poste.

25 La masa generalizada entra en particular como sigue en la averiguación numérica o computacional de la desviación buscada:

$$\Omega^2 \sim \frac{1}{\text{masa generalizada}}$$

con $\Omega = 2\pi$ frecuencia propia f_e .

35 La masa generalizada se diferencia de la masa ponderable de un poste incluyendo las masas que van a soportarse por el poste por una componente dinámica que influye en la estabilidad de un poste así como sus frecuencias propias.

40 Para poder averiguar una masa generalizada se averigua por ejemplo inicialmente una vez el peso del poste además de la distribución del peso. Para ello se averigua por ejemplo el diámetro del poste en el externo inferior por encima de su anclaje así como al menos el diámetro que presenta el poste en su punta. El diámetro en la punta de poste puede averiguarse con ayuda de conicidad de tablas, en las que están determinadas dimensiones típicas para postes (por ejemplo, las directrices de la empresa RWE). Por ejemplo en el caso de un poste de madera que se estrecha de manera homogénea se averigua el volumen del poste. Al averiguar la densidad específica del material, es decir por ejemplo de la madera dependiendo del tipo de madera así como mediante las mediciones de humedad en el día de la medición se averigua la masa específica de la madera en el día de la medición. De ello se averigua el peso determinante en el día de la medición del poste de madera.

Las piezas montadas se conocen por regla general en cuanto al peso o están determinadas por la empresa explotadora de los postes. Estas se averiguan por lo tanto en última instancia mediante pesaje convencional y concretamente antes de la fijación en el poste.

50 Se averigua además la altura a la que las piezas montadas están instaladas. Esto sucede mediante mediciones de longitud o de altura.

El material así como el diámetro de los cables, que están suspendidos en un poste con cableado está predeterminado y por lo tanto se conoce. Además se averigua la distancia entre dos postes adyacentes. Además

5 puede llevarse a cabo una medición de temperatura. Partiendo de una flecha de cable conocida previamente en el caso de una temperatura predeterminada puede calcularse de este modo la intensidad a la que los cables se comban entre dos postes y la intensidad de la fuerza del peso que se ejerce sobre el poste debido a un cable en flecha. Como alternativa la flecha de cable en el día de la medición se mide directamente. La temperatura medida sirven entonces para el cálculo de la flecha de cable a temperaturas, que son determinantes para la valoración. Con ayuda de esta flecha de cable se calculan las fuerzas de cable. De manera desfavorable pueden ser altas temperaturas porque entonces la flecha de cable aumenta, las fuerzas de cable disminuyen y el muelle de retroceso del cableado adopta un mínimo. Preferiblemente por tanto el examen se lleva a cabo cuando la temperatura externa predominante asciende a menos de 30 °C. Preferiblemente la temperatura externa asciende entonces al menos 0 °C, para evitar datos erróneos debido a una formación de hielo

10 Se averigua entonces la intensidad a la que un poste que va a examinarse se somete a carga en perpendicular mediante cables. Este valor depende de la temperatura, dado que dependiendo de la temperatura los cables se comban con diferente intensidad.

15 Un cable en flecha fijado en el poste actúa sobre el poste con una fuerza perpendicular y con una horizontal. En particular, en relación con cables por tanto se averiguan también las fuerzas de retroceso que actúan sobre el poste en dirección horizontal. En una forma de realización de la invención, en caso de un poste con cableado solo se contemplan las desviaciones como consecuencia de cargas externas como medida para la estabilidad de un poste, que se realizan en perpendicular a un cable, que se soporta por el poste. Se ha verificado que sobre todo aquellas desviaciones son interesantes para la evaluación de la estabilidad, de modo que el procedimiento entonces puede reducirse a esta observación. La rigidez de un poste con cableado en una dirección en paralelo al curso del cableado es por consiguiente aproximadamente 50 a 100 veces superior en comparación con la dirección perpendicular a este. Esta rigidez o la desviación correspondiente en caso de carga externa por tanto preferiblemente no se averigua y por consiguiente puede despreciarse.

20 La dirección crítica es por lo tanto la dirección perpendicular a los cables anteriormente mencionada. El peligro de la estabilidad se produce en particular mediante la carga del viento o mediante carga humana. La carga humana es importante cuando una persona por ejemplo para propósitos de mantenimiento trepa por un poste. Esto sucede entonces por regla general a los lados de un cableado de postes, así por ejemplo a los lados de conductores eléctricos de poste eléctricos, dado que de otro modo la persona en cuestión no puede trepar hasta los cables.

25 Para poder averiguar vibraciones propias de un poste en una forma de realización de la invención se instalan sensores de aceleración en el poste por ejemplo a una altura definida. No obstante la altura exacta no necesita ser conocida. Los sensores de aceleración únicamente deben estar instalados a una altura de modo que puedan medirse las aceleraciones que se producen. La altura mínima, a la que deben instalarse los sensores, depende por tanto también de la sensibilidad de los sensores. Al pie de poste no es posible medición alguna dado que en este caso no aparecen casi vibraciones. Ha resultado ser suficiente una altura a la altura del pecho de una persona de tamaño medio. Los sensores disponibles en el mercado son por regla general suficientemente sensibles para poder medir a esta altura vibraciones con suficiente exactitud.

30 Fundamentalmente se aplica que con una altura creciente de los sensores instalados la precisión de medición se mejora. No obstante existe entonces el problema de la instalación. Para poder llevar a cabo por lo tanto el procedimiento de manera especialmente sencillas los sensores se instalan preferiblemente a una altura que pueda alcanzarse todavía sin problemas por un usuario. Por ello puede prescindirse de equipamientos adicionales como escaleras. Al mismo tiempo la precisión de medición es suficiente en esta altura.

35 En una forma de realización de la invención se instalan sensores de aceleración a diferente altura para poder averiguar de este modo informaciones más precisas sobre el comportamiento de vibración de un poste. Por ello puede evaluarse de manera adicionalmente mejorada la estabilidad de un poste.

40 En una primera forma de realización de la invención tras la instalación de los sensores de aceleración se espera hasta que el poste debido a influencias del entorno como el viento vibre de una manera medible. Esto en muchos casos ya es suficiente para poder averiguar las vibraciones propias deseadas. Si esto no fuera suficiente entonces el poste se sometería a vibraciones artificialmente. Esto puede suceder en muchos casos manualmente al aplicar un usuario manualmente de manera correspondiente una fuerza dinámica sobre el poste.

45 En una forma de realización de la invención por ejemplo mediante una señal recurrente, así por ejemplo una señal de audio se señala cuando va a aplicarse manualmente una fuerza sobre un poste para someter a este de manera adecuada a vibraciones. La señal de audio se realiza preferiblemente de modo que se crean oscilaciones de resonancia para generar vibraciones adecuadas con poca fuerza.

50 El ciclo con el que debe ejercerse una fuerza sobre el poste para generar una vibración propia o vibración de resonancia puede averiguarse a partir de una primera medición todavía relativamente inexacta. Una primera medición proporciona un espectro de frecuencia. El primer pico del espectro de frecuencia pertenece a la primera frecuencia propia. Si la tendencia mostrada de la señal de medición con ayuda un análisis de Fourier se transforma en un espectro de frecuencia de este modo se produce el ciclo de una señal de audio recurrente desde la posición

del primer pico.

5 Una primera medición se realiza por lo tanto en una forma de realización preferiblemente de modo que se miden continuamente vibraciones debido a interferencias naturales desde el entorno. Una segunda medición, que se lleva a cabo como consecuencia de una excitación artificial tiene lugar preferiblemente solo a partir de una aceleración mínima predeterminada. Solo a partir de esta aceleración mínima se graban valores de medición. Puede averiguarse de este modo de manera especialmente precisa y sencilla una frecuencia propia buscada.

10 En una forma de realización del procedimiento se tiene en cuenta que un poste que va a examinarse no se excite con demasiada intensidad. Una excitación demasiado intensa se examina preferiblemente de nuevo con ayuda de al menos un sensor de aceleración y se muestra por ejemplo con ayuda de una señal. Como alternativa o como complemento, en el caso de una excitación demasiado intensa se detienen grabaciones del comportamiento de vibración de manera automatizada. Es concretamente ventajoso observar el caso cuasi-estático. Debe diferenciarse concretamente entre la rigidez cuasi-estática y la dinámica. Si un poste se excita para vibrar rápidamente entonces la rigidez de suelo efectiva es mucho mayor en comparación con el caso cuasi-estático. El trasfondo físico es que debido a la inercia y la resistencia al flujo en los poros del suelo en el caso dinámico el agua en la zona del suelo no puede eliminarse lo suficientemente rápido. Por ello se produce una rigidez de suelo mucho mayor en comparación con el caso cuasi-estático. En el caso cuasi-estático el agua se elimina y de este modo se alcanza una rigidez mucho menor en el caso cuasi-estático. Para la evaluación de la estabilidad el caso cuasi-estático es especialmente relevante.

20 El procedimiento se lleva a cabo por tanto ventajosamente solo con poca excitación y concretamente también entonces cuando bajo consideraciones de estabilidad sean posibles frecuencias de vibración claramente mayores.

En una forma de realización de la invención el poste por tanto se excita mediante una carga que se sitúa entre 1 a 10% de la carga máxima prevista que puede o permite ejercerse sobre un poste de este tipo.

25 Una segunda medición, que está basada en que el poste fue excitado previamente de manera artificial sirve para poder averiguar una frecuencia propia de manera más exacta. Cuantas más mediciones se lleven a cabo menor será una imprecisión de medición con respecto a una frecuencia propia buscada.

No obstante el procedimiento puede llevarse a cabo con éxito ya con una medición. Debe contarse únicamente entonces con una imprecisión mayor. Si se miden aceleraciones varias veces de diferente modo entonces de ello se produce únicamente una averiguación más exacta de la frecuencia propia buscada. Sin embargo básicamente el procedimiento no varía por ello.

30 En una forma de realización de la invención se averigua una medida adecuada para la estabilidad empleando la relación

$$\Omega^2 \sim C_{gen}$$

Preferiblemente se averigua una medida adecuada para la estabilidad empleando la ecuación

$$\Omega^2 = \frac{C_{gen}}{\text{masa generalizada}}$$

35 C_{gen} es una medida de rigidez, que ya puede emplearse como medida para poder evaluar de manera mejorada una estabilidad

$$C_{gen} = \left(\frac{1}{\text{rigidez a la torsión}} + \frac{1}{\text{rigidez a la flexión}} \right)^{-1} + \text{rigidez de cable}$$

Es de especial interés la rigidez a la torsión del poste para poder evaluar la estabilidad de un poste. Esto tiene en cuenta en la medición con un sensor todas las variaciones con respecto a un sistema no dañado.

40 La rigidez de cable se refiere a los cables que se soportan por un poste con cableado. La rigidez de cable C_s se averigua a partir de la fuerza de retroceso que resulta en la desviación de un poste. Las realizaciones más exactas sobre esto se describen abajo.

Para averiguar la rigidez a la flexión de un poste que va a examinarse se averigua y se tiene en cuenta sobre todo también la longitud de poste. Ha de diferenciarse entre la longitud total del poste y la longitud que sobresale con

respecto al borde superior de terreno. Al averiguar la rigidez a la flexión la longitud que sobresale respecto al terreno es importante. Esta longitud por ejemplo se mide por tanto.

Si se han averiguado las rigideces a la flexión y si es necesario la rigidez de cable entonces puede calcularse la rigidez a la torsión. Sobre todo la rigidez a la torsión permite una afirmación sobre cómo ha de evaluarse la estabilidad de un poste.

En una forma de realización de la invención sobre la base de una rigidez de poste averiguada, en particular de la rigidez a la torsión de un poste que va a examinarse por ejemplo mediante simulación o cálculo se averigua la intensidad a la que se deformaría el poste debido a una carga de viento, en particular debido a una carga de viento máxima posible o prevista. En particular se contempla la desviación de la cabeza de poste provocada por ello (en lo sucesivo llamado "desplazamiento de cabeza"). Esta deformación o desplazamiento es una medida especialmente adecuada para poder evaluar la estabilidad. Se ha demostrado concretamente que todos los errores que pueden cuestionar la estabilidad ya están incluidos en la información averiguada "desplazamiento de cabeza". Se ha demostrado que por tanto no es necesario verificar exactamente donde se sitúa el error, es decir, por ejemplo a qué altura. Se ha verificado sorprendentemente que el desplazamiento de cabeza ya contiene informaciones sobre errores que se encuentran por encima de los sensores de aceleración. Puede derivarse por tanto si la estabilidad de un poste se da suficientemente. Si una desviación de una cabeza de poste simulada o superada supera un valor límite predeterminado entonces debe reemplazarse un poste. Preferiblemente hay varios valores límite diferentes predeterminados que caracterizan el grado de peligro. Así, la superación de un valor límite predeterminado máximo puede significar que un poste debe reemplazarse inmediatamente. La superación de un valor predeterminado situado por debajo puede significar que un poste debe reemplazarse dentro de un espacio de tiempo establecido.

La clasificación en clases en una forma de realización de la invención se orienta según las clases, que están indicadas en la norma EN 40-3-3 en la tabla 3. La norma EN 40-3-2:2000 exige que la deformación en la punta de poste recaiga en una de las clases que están indicadas en la tabla 3 de la norma EN 40-3-3 (EN 40-3-2:2000, sección 5.2, párrafo b)). Es decir: si la deformación es mayor que la deformación de la clase 3, el poste es considerado inmediatamente como ya no fiable. En el marco de la valoración este límite de deformación se interpreta por lo tanto convenientemente como valor máximo permitido. La norma EN 40 permite a cada país verificar que clase deben cumplir los postes al menos a nivel nacional (EN 40-3-3:2000, anexo B, párrafo B, 2). En el marco de la valoración propuesta según la invención se parte de que en Alemania siempre tienen que ponerse postes de la clase 1. Es decir: si las deformaciones en la punta de poste son menores o igual a los valores límite para la clase 1 en la tabla 3 de la norma EN 40-3-3, entonces se considera que el poste está bien. Los valores límite de las clases 2 y 3 en una forma de realización según la invención se usan para poder emitir una valoración más precisa. Es decir, un poste, que presenta deformaciones para clase 2 o 3, se ha modificado negativamente con respecto al estado de montaje (clase 1). Esta modificación según la invención representa una disminución de la estabilidad. Los postes, que presentan deformaciones menores que los valores límite de la clase 3 son siempre estables. En la clase 2 y 3 postes se ha producido una modificación que fundamentalmente es el resultado de un proceso dependiente del tiempo. Las propiedades de poste seguirán modificándose de manera continua análogamente. De ello se han derivado entonces empíricamente y concretamente sobre todo para postes de madera según la invención las siguientes recomendaciones:

- clase 1: el poste está bien sin ninguna limitación
- clase 2: ya no puede subirse a él, pero todavía es estable
- clase 3: ya no puede subirse a él, estable hasta cierto punto, debe cambiarse dentro de 3 meses
- > clase 3: ya no es estable, debe cambiarse inmediatamente,

Se supone además que las deformaciones están correlacionadas directamente también con las cargas límite correspondientes. Es decir: un poste con grandes deformaciones de cabeza posee una carga límite menor que un poste con pequeñas deformaciones de cabeza. Si se parte de un exceso de refuerzo medio de 7% y se supone que solo los postes de la clase A según tabla 1 pueden emplearse según la norma EN 40-3-3:2000, entonces según la norma EN 40-3-2:2000 la carga límite mínima debe ser al menos aproximadamente 1,5 veces tan grande como la carga de examen (carga característica por ejemplo a causa del viento). Esta condición es válida para todas las clases de postes, Dado que sin embargo las cargas de examen para todas las clases son iguales esto quiere decir que la carga límite para la clase 3 es aproximadamente 1,5 veces la carga de examen y para las demás clases la carga límite es al menos de la misma magnitud por regla general incluso mayor. Esta relación se representa en la figura 17. Se muestra un resumen esquemático entre deformaciones y cargas límite con clases según la EN 40. La carga máxima admisible (carga límite) no se establece mediante el procedimiento. La valoración de la estabilidad se sitúa sin embargo en el lado seguro.

En una forma de realización de la invención se averigua como se desplazaría un poste a diferentes alturas bajo una carga de viento simulada. También entonces pueden haberse establecido para cada altura valores límite predeterminados para poder evaluar el peligro de un poste de manera adicionalmente mejorada.

Por ejemplo en postes de alumbrando hay al principio valores límite predeterminados conocidos para desviaciones de poste que no deben superarse. Estos no obstante en muchos casos no tienen nada que ver con la estabilidad, sino con reflexiones sobre el uso. Sin embargo puede recurrirse a tales valores límite también para la evaluación de

la estabilidad.

Del mismo modo puede contemplarse una deformación de poste debido a una carga humana para poder evaluar de este modo la estabilidad.

5 Para llevar a cabo el procedimiento se facilita un dispositivo de examen que dispone de medios de entrada como un teclado o medios para el reconocimiento de voz, y de medios de salida por ejemplo una pantalla y/ o altavoz. El dispositivo comprende medios para poder medir vibraciones y en particular también poder grabarlas. El dispositivo puede comprender sensores para poder medir la humedad de un material, del que se compone un poste que va a examinarse. El dispositivo puede comprender un sensor de temperatura para poder averiguar en el día de la medición la temperatura externa predominante. El dispositivo puede comprender un receptor GPS™ o similar para 10 poder averiguar la posición durante una medición. A través de la posición averiguada de manera automatizada por ejemplo, por GPS, puede grabarse de manera automatizada el poste se examinó y con qué resultado. Los fallos pueden minimizarse de este modo. En una forma de realización se emplean las coordenadas averiguadas por GPS, para registrar de manera automatizada las distancias de poste o longitudes de campo sin mediciones de distancia adicionales. El dispositivo puede comprender medios de comunicación inalámbricos, para obtener los datos o 15 parámetros de sistema buscados online que se facilitan por una empresa explotadora de un poste. Esto puede suceder de nuevo de manera automatizada teniendo en cuenta el emplazamiento del dispositivo averiguado de manera automatizada. Además pueden introducirse las informaciones o parámetros de sistema necesarios a través de medios de entrada como, por ejemplo, un teclado en el dispositivo. El dispositivo en una configuración está orientado además de modo que mediante el dispositivo pueden transmitirse de manera automatizada los resultados de examen averiguados a las respectivas empresa explotadora del poste examinado, de modo que, por ejemplo, las 20 bases de datos correspondientes obtienen de manera automatizada informaciones actuales sobre la estabilidad. Como complemento o alternativamente el dispositivo puede poner a disposición un resultado de examen a través de un medio de salida como pantalla o impresora. El dispositivo comprende en particular una unidad de cálculo programada de modo que tras la introducción de las informaciones de entrada necesarias de manera automatizada se averigua una medida buscada para la estabilidad. El dispositivo comprende en una forma de realización de la invención un generador de ciclos para especificar un ciclo con el que debe excitarse un poste para que comience a 25 vibrar. Además el dispositivo en una forma de realización comprende un contador, que registra el número de los caso de aplicación, para establecer intervalos de mantenimiento o también para hacer posible un modelo de cálculo según el cual por cada aplicación deba abonarse una tasa. En el dispositivo en una forma de realización de la invención está almacenado o previsto un valor límite inferior y/ o superior para iniciar dependiendo del valor límite inferior una grabación de vibraciones o detener la grabación dependiendo de valor límite superior. 30

En una forma de realización están almacenados valores límite para la aceleración excitada en el dispositivo que se utilizan para poder avisar en el caso de grandes amplitudes de excitación. Este aviso se realiza a través de un tono de aviso que se emite a través del mismo altavoz que la señal de ciclo.

35 En una forma de realización adicional de la invención el dispositivo comprende medios para el cálculo de una barrera inferior y superior específica para la frecuencia propia que va a medirse. Estos límites se representan en los espectros mediante el dispositivo por ejemplo en una pantalla, de modo que el usuario tiene la posibilidad de examinar la plausibilidad del resultado medido. Por ello se evitan errores. La invención hace posible un procedimiento de examen no destructivo con ayuda de mediciones de vibración para poder valorar la estabilidad de 40 postes. El resultado del procedimiento es un parámetro o medida, con el que puede decidirse si se da la estabilidad del poste. Para esta valoración en formas de realización de la invención se tiene en cuenta, entre otros, criterios como el desplazamiento de cabeza del poste a consecuencia de cargas horizontales (viento) y cargas verticales (cargas humana) y/o la torsión de la base.

45 Mediante una técnica de medición más compleja (con más sensores) mediante la presente invención también pueden deducirse valores de sección transversal (área y momento de inercia) relevantes estáticamente. En este caso también son posibles y útiles comprobaciones de esfuerzos, dado que estos se conducen para las secciones transversales restantes.

La invención puede utilizarse de manera universal para postes de diferentes materiales. Entre estos cuentan por ejemplo

- 50
- postes de madera por ejemplo como torres de líneas aéreas en el alcance de baja y media tensión o para líneas telefónicas
 - postes de acero por ejemplo como postes de lámparas, antenas, señales de tráfico o semáforos
 - postes de aluminio por ejemplo como postes de lámparas, antenas, señales de tráfico o semáforos

Los postes pueden tener distintas secciones transversales, por ejemplo:

- 55
- sección transversal sólida
 - - sección transversal anular

- secciones transversales poligonales (por ejemplo, 6 aristas, 8 aristas)
- trazado de sección transversal escalonado
- trazado de sección transversal cónico

5 El procedimiento de examen de acuerdo con la invención puede emplearse dependiendo de la forma de sección transversal respectiva.

Mediante la invención pueden considerarse para el cálculo sobre todo también piezas montadas como por ejemplo lámparas, señales de tráfico, aislantes, travesaños o cables, que mediante su masa y momentos de inercia influyen en las frecuencias propias de los postes.

10 Además mediante la invención es posible poder tener en cuenta las fuerzas de retroceso mediante el cableado eventualmente presente (en torres de líneas aéreas) o arriostamientos dado que por ello se influye en la rigidez total del sistema.

15 Las realizaciones indicadas a continuación aclaran formas de realización de la invención y se refieren inicialmente a una solución analítica. El principio del procedimiento puede explicarse así más fácilmente. No obstante puede desviarse de la solución analítica también mediante procedimientos numéricos, así por ejemplo en la determinación de la forma de vibración. Además por ejemplo la rigidez torsional puede determinarse por un proceso de iteración. Sobre todo estas variaciones mencionadas de una solución analítica contribuyen a un aumento de la precisión. Además estas variaciones facilitan la capacidad de utilización universal del procedimiento.

Las siguientes explicaciones fundamentadas se presentan para postes de día o poste de lámpara. El principio en el que se basan puede emplearse del mismo modo también para otros tipos de poste.

20 Las siguientes tablas ofrecen una visión general de variables y parámetros esenciales, empleados.

Geometría de un poste			
	Altura de poste por encima del nivel del terreno	H	[m]
	diámetro de poste abajo	d_u	[m]
	diámetro de poste arriba	d_o	[m]
	conicidad	α	[-]
	sección transversal abajo	A_u	[m ²]
	sección transversal arriba	A_o	[m ²]
	momento de inercia abajo	I_u	[m ⁴]
	momento de inercia arriba	I_o	[m ⁴]
poste			
	tipo de poste	A, T	[-]
	tipo de la madera	pino (KI) alerce (LA)	[-]
	Humedad de la madera (en la posición de sensor y en el pie!), adicionalmente necesaria altura de sensor por encima del nivel del terreno para llevar a cabo el ejemplo necesaria	f_h	[%]
	rigidez a la flexión de poste	C_B	[N/m]
	Rigidez a la rotación de poste	C_ϕ	[N/m]
	rigidez total	C_{total}	[N/m]
	masa generalizada a consecuencia de la flexión	$M_{gen,poste,flex}$	[kg]
	masa generalizada a consecuencia torsión	$M_{gen,poste,tor}$	[kg]
	masa generalizada parte de la mezcla	$M_{gen,poste,mezcla}$	[kg]
	masa generalizada total	$M_{gen,poste,total}$	[kg]
Línea en poste con cableado			
	longitud de campo (distancia con respecto al siguiente poste en el lado izquierdo)	L_L	[m]
	longitud de campo (distancia con respecto al siguiente poste en el lado derecho)	L_R	[m]

(continuación)

Línea en poste con cableado			
	Número de cables o aislantes	n	[-]
	altura de la línea más baja	h_l	[m]
	Tipo de línea	acero-alu, acero	[-]
	Sección transversal de línea	$A_{L,u}$	[m ²]
	flecha de línea (izquierda)	d_L	[m]
	flecha de línea (derecha)	d_R	[m]
	masa de línea por longitud (izquierda)	ρ_L	[kg/m]
	masa de línea por longitud (derecha)	ρ_R	[kg/m]
	Masa de línea	M_L	[kg]
	masa generalizada del conductor	$M_{gen, línea, total}$	[kg]
	masa de aislante	M_I	[kg]
	Distancia vertical de los aislantes (dado el caso distancia horizontal de los aislantes necesaria)	s	[m]
	densidad del conductor	ρ_L	[kg/m ³]
	Factor de cable	β	[-]
	módulo de elasticidad conductor	E_L	[kN/cm ²]
	Fuerza horizontal-fuerza desde el cable	H	[N]
	Rigidez longitudinal del cable (módulo de elasticidad*área de sección transversal/longitud de cable)	EA/L	[N/m]
	rigidez perpendicular al plano de conductor CL para una única línea	C_L	[N/m]
	rigidez perpendicular al plano de conductor	$C_{L, total}$	[N/m]
	rigidez en el plano de conductor CLS	C_{LS}	[N/m]
Medición			
	temperatura (en el día de la medición)	T	[C]
	frecuencia propia medida (en el día de la medición)	f_{gen}	[Hz]
	altura del punto de acción de la carga de la fuerza de cable por encima del nivel del terreno	h_l	[m]
	Brazo de palanca de la excentricidad de la carga vertical V con respecto al eje de poste	h_v	[m]
Deformación admisible			[-]
	deformación fiable para clase 1	$d_{adm, 1}$	[m]
	deformación fiable para clase 2	$D_{adm, 2}$	[m]
	deformación fiable para clase 3	$D_{adm, 3}$	[m]

El objetivo es averiguar la desviación de la punta de poste en la dirección perpendicular al plano de conductor (en caso de que esté presente) a consecuencia de cargas horizontales y verticales. Para simplificar el sistema debe calcularse inicialmente la rigidez total. Hay al menos tres componentes, concretamente:

- 5
1. La rigidez a la flexión de poste
 2. La rigidez a la rotación de poste
 3. La rigidez de conductor
 4. (adicionalmente dado el caso arriostramientos o acometidas etc.)
- 10 La figura 1 muestra un dibujo esquemático con postes 1, que están anclados en el subsuelo 2. Los postes soportan cables o conductores 3. Los conductores 3 están fijados con ayuda de aislantes 4 en los postes 1.
- Si están previstos arriostramientos entonces estos igualmente se tienen en cuenta. Esto es un caso especial que no

se va a tratar con detalle a continuación.

Es posible valorar también postes que se solicitan mediante tracción ascendente o descendente. Además pueden calcularse postes que están en puntos de pliegue de líneas de conductor. Las fuerzas de retroceso de los cables conductores se adaptan para ello en el programa de manera correspondiente. Con ello resultan entonces las rigideces respectivas correctas desde los cables. Las figuras 2a y 2b muestran esquemáticamente las situaciones citadas, es decir la geometría en la tracción de altura o de profundidad y en postes en cocas en líneas de conductor. El cálculo de estas rigideces no obstante no se explica a continuación con más detalle.

La rigidez depende además de las propiedades de material. Por este motivo en el caso de postes de madera se miden adicionalmente la humedad del material y la temperatura ambiente, dado que ambos parámetros influyen en propiedades de la madera importantes.

La temperatura ambiente ha de medirse en el día de la medición para registrar correctamente la rigidez del cableado presente en el día de la medición. En el cálculo estático de los postes debe considerarse también la temperatura en otras condiciones del entorno. Esto tiene influencia en la flecha de cable y con ello también influencia sobre las fuerzas de retroceso a través de los cables. En sistemas sin cableado la temperatura puede ignorarse por regla general.

Los cálculos de la rigidez total y de los porcentajes individuales se explican a continuación.

A continuación se trata con detalle la influencia de la humedad de material en postes de madera. La humedad de material influye tanto el módulo de elasticidad de la madera como también en las tensiones admisibles. Dado que para las deformaciones y, en caso de que se guíen, también para las comprobaciones estáticas esencialmente el anillo externo de la sección transversal es relevante (aproximadamente 5cm), la humedad se determina preferiblemente también solo allí. Esto permite el empleo de un aparato de medición, que por ejemplo funciona con ultrasonido y con ello igualmente no ocasiona daño alguno de la madera. La incrustación o impresión de electrodos no es necesaria por lo tanto.

La humedad de madera medida se emplea también para determinar la correcta densidad del material y con ello de la masa.

La figura 3 muestra la dependencia básica del módulo de elasticidad para madera de la- humedad de madera (para un módulo de elasticidad de aproximadamente 10.000 N/mm² en la humedad 12% según fuentes diferentes.

Se encuentran dependencias similares por ejemplo en [12] (véase imagen 4. No obstante, la dependencia de la rigidez a la flexión de la humedad indicada allí es allí mayor. Los valores empíricos muestran que la humedad en los postes disminuye con la edad. La humedad en disminución de nuevo lleva a un módulo de elasticidad superior y con ello a una humedad más alta. Ventajosamente, por tanto en una forma de realización de la invención este efecto se compensa por un factor de edad averiguado por ejemplo empíricamente y en concreto ventajosamente incluso cuando la corrección del módulo de elasticidad según la figura 3 subestima el aumento real del módulo de elasticidad con una baja humedad. En el caso de que durante el desarrollo el módulo de elasticidad se adapte a la corrección dependiendo de la humedad se adapta, por lo tanto se adapta también ventajosamente el factor de edad empírico.

La figura 4, que se conoce por [12] (véase figuras 4-11), muestra la dependencia de distintas propiedades de la madera (*property*) de la humedad (*moisture*). La curva A se refiere a la tensión (*tension*) en paralelo a la fibra de madera (*grain*), la curva B a la flexión (*bending*), la curva C a la compresión (*compression*) en paralelo a la fibra de madera, la curva D a la compresión perpendicular a la fibra de madera y la curva E a la tensión perpendicular a la fibra de madera

La humedad de madera u está definida a este respecto como sigue:

$$u = \frac{m_w}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 \text{ en } \%$$

con:

m_w masa de agua en kg
 m_0 masa de madera en 0% de humedad en kg
 m_u masa de madera húmeda, con humedad u en kg

La densidad real de la madera en una humedad determinada u (en %) se produce con ello como sigue:

$$\rho_u = \rho_o \cdot (1 + u/100) \text{ a una humedad de 0\% (absolutamente seco)}$$

o

$$\rho_u = \rho_{12} \cdot (1 + u/100) / 1,12 \text{ en una humedad de 12\% (clima ambiental)}$$

5 Si se toma la densidad en 0% de humedad y se convierte en clima ambiental entonces se obtiene los siguientes valores para densidades dependiendo de la humedad de madera para 4 tipos de madera distintos.

Tipo de madera	densidad (0%)	densidad (12%)
	kg/m ³	kg/m ³
abeto rojo	429	480,5
abeto	411	460,3
pino	465	520,8
alerce	527	590,2

La siguiente tabla contiene datos típicos de diversas fuentes para el módulo de elasticidad y la densidad de distintos tipos de madera en la humedad de 12% (véase [6]).

Datos para humedad =12%, T=20°, humedad del aire 65%		
En paralelo		
Tipo de madera	Módulo de elasticidad (12%)	densidad (12%)
	N/mm ²	kg/m ³
abeto rojo	10000	470
abeto	10000	470
pino	11000	520
alerce	12000	590

10 En caso de comprobaciones de esfuerzos se tiene en cuenta asimismo ventajosamente la influencia de la humedad en las propiedades mecánicas (resistencias a la tracción y a la presión).

A continuación se explica la influencia de la temperatura ambiente.

15 En caso de un cableado, que no está bajo tensión puede partirse de que los cables tienen la misma temperatura que el entorno. La temperatura del entorno se mide por tanto entonces en el día de la medición y se toma como temperatura de los cables.

En el caso de un cableado bajo tensión la temperatura de cable se produce en teoría correctamente también mediante la potencia que se aplica en el momento de medición en los cables. Esta temperatura puede calcularse a partir de los datos de la empresa explotadora de redes.

20 Para las comprobaciones estáticas por lo tanto se tiene en cuenta por regla general la temperatura en el momento de medición para poder calcular las flechas de cable en el caso de temperaturas determinantes. La base para ello son las longitudes de campo y flechas de cable medidas en el momento de medición.

25 En caso de postes de madera se tiene en cuenta también ventajosamente dado el caso la temperatura para determinar los parámetros de madera. Estrictamente también el módulo de elasticidad y las tensiones admisibles dependen de la temperatura. En el caso de la variación de la temperatura que se produce en este caso durante las mediciones, sin embargo la influencia es por regla general despreciablemente pequeña. Los datos detallados para la influencia de la humedad y de la temperatura se encuentran por ejemplo en [12]. Estos pueden considerarse en una forma de realización de la invención.

La siguiente tabla 4-16 extraída de [12] aclara la dependencia del módulo de elasticidad (MOE) de la temperatura T. (en inglés)

30

Tabla 4-16. Cambio en porcentajes de las propiedades de flexión de la madera con cambio en la temperatura

Propiedad	Grado ^b de madera	Contenido de humedad	((P-P ₇₀)/P ₇₀)100 = A + BT + CT ₂			Intervalo de temperatura	
			A	B	c	T min	T max
MOE	Todos	verde	22,0350	-0,4578	0	0	32
		verde	13,1215	-0,1793	0	32	150
		12%	7,8553	-0,1108	0	-15	150
MOR	SS	verde	34,13	-0,937	0,0043	-20	46
		verde	0	0	0	46	100
		12%	0	0	0	-20	100
	Núm. 2 o menos	verde	56,89	-1,562	0,0072	-20	46
		verde	0	0	0	46	100
		seco	0	0	0	-20	100

^aPara la ecuación, P es propiedad a temperatura T en °F; P₇₀, propiedad a 21 °C (70°F).

^bSS selección estructural.

Dado que se tiene en cuenta la influencia de temperatura incluso en caso de grandes diferencias de temperatura se alcanzan resultados adecuados.

- 5 A continuación se explica la influencia de la edad. En el caso de la madera, en el material con influye la edad tanto la humedad como la resistencia. Los postes más viejos presentan una rigidez claramente superior a la de los postes jóvenes.

La influencia de la edad sobre se dedujo empíricamente a partir de los datos de medición. Mediante un número creciente de datos de medición la influencia del efecto de envejecimiento puede agudizarse continuamente. La figura 5 muestra una influencia averiguada empíricamente dado que muestra el aumento del módulo de elasticidad dependiendo de la edad en años. La influencia de este efecto de envejecimiento se tiene en cuenta en el software mediante la función de corrección mostrada en la figura 5. El poste que va a examinarse se transforma para el análisis adicional inicialmente en un sistema generalizado. Esto es un procedimiento común para convertir un sistema complejo, que se compone de muchas barras, nudos y masas, en un sistema con un grado de libertad equivalente. El sistema con un grado de libertad tiene las mismas propiedades dinámicas que el sistema original complejo. Esto se refiere en particular a la rigidez y a la frecuencia propia del sistema. Habitualmente el sistema con un grado de libertad virtual se coloca en el punto de la deformación máxima de la forma de vibración del sistema tomada como base. Esto es en este caso la punta de poste. La figura 6 aclara el sistema de salida y el sistema generalizado.

- 20 Mediante un análisis de la energía y el requisito de que la energía durante un periodo de vibración debe ser igual para ambos sistemas resultan las fórmulas correspondientes para determinar los parámetros del sistema de sustitución generalizado. Estos son:

M_{gen} masa generalizada y

C_{gen} rigidez generalizada

- 25 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 igual para ambos sistemas. Dado que el sistema generalizado en este caso está instalado en el punto de la deformación modal máxima se aplica:

30
$$\dot{y}(H) = y(H) \cdot \omega_e = y_{max} \cdot \phi(H) \cdot \omega_e = y_{max} \cdot 1,0 \cdot \omega_e$$

La masa generalizada es entonces:

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

Si para la forma de vibración se toma por ejemplo $\phi(z) = \left(\frac{z}{H}\right)^2$ (trazado en forma parabólico) entonces se obtiene la siguiente ecuación para M_{gen} :

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

5 para $m(z) = m = \text{const.}$ Sigue entonces

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

La frecuencia propia f_e del sistema generalizado es:

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

10 La determinación de M_{gen} para los elementos constructivos individuales de los sistemas de poste se explica debajo de nuevo específicamente. La determinación de C_{gen} se realiza en este caso a través de la medición de la frecuencia propia del sistema. Para ello se invierte la fórmula anteriormente citada:

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

La rigidez generalizada C_{gen} averiguada de este modo es la rigidez total C_{total} del sistema. Esta para el análisis adicional se divide en sus componentes individuales.

15 La rigidez total se compone de varias partes individuales, y en concreto:

1. la rigidez a la flexión de poste C_B
2. la rigidez torsional de la base $C_{\phi,B}$, y
3. la rigidez de los cables $C_{L,total}$

20 Estas partes pueden concebirse como resortes que deben combinarse para el cálculo de la rigidez total. A este respecto la rigidez torsional y la rigidez a la flexión de poste como conexión en serie y la rigidez de conductor adicionalmente como conexión en paralelo. La rigidez total puede calcularse entonces de la siguiente manera:

$$C_{total} = C_{L,total} + \left(\frac{1}{C_B} + \frac{1}{C_{\phi,B}}\right)^{-1}$$

Para una fijación completa, es decir la rigidez torsional es infinita, se aplica:

$$C_{\phi,B} = \infty \implies \frac{1}{C_{\phi,B}} = 0$$

$$25 \quad C_{total} = C_{L,total} + C_B$$

En las figuras 7a a 7c se representan las partes de deformación esquemáticamente. Las partes C_B y $C_{L,total}$ resultan de una manera puramente analítica. La parte $C_{\phi,B}$ es entonces la única incógnita. Esto puede calcularse con el conocimiento de la frecuencia medida entonces a partir del resultado de medición.

30 La rigidez a la flexión de poste se determina analíticamente. La figura 8 aclara la derivación para el cálculo de la rigidez a la flexión C_B a modo de ejemplo para un poste cónico con sección transversal sólida cilíndrica con base

circular. La rigidez a la flexión de poste se calcula como sigue.

$$\begin{aligned} \delta &= \int_0^H \frac{M(z)m(z)}{EI(z)} dz \\ &= \int_0^H \frac{z^2}{E \frac{\pi}{64} (d_o - \alpha z)^4} dz \\ &= \frac{64}{E\pi} \int_{d_o}^{d_u} \frac{-\left(\frac{d_o - x}{\alpha}\right)^2}{x^4} \frac{dx}{\alpha} \\ &= -\frac{64}{\alpha^3 E\pi} \int_{d_o}^{d_u} \frac{d_o^2 + x^2 - 2d_o x}{x^4} dx \\ &= \frac{64}{\alpha^3 E\pi} \left[-\frac{1}{3d_o} + \frac{d_o^2}{3d_u^3} + \frac{1}{3d_u} - \frac{d_o}{d_u^2} \right] \\ &\quad d_o - \alpha z = x \\ &\quad dz = \frac{-dx}{\alpha} \\ &\quad z = \frac{d_o - x}{\alpha} \end{aligned}$$

5

$$\begin{aligned} C_B &= 1/\delta \quad [N/m] \\ &= \frac{\alpha^3 E\pi}{64} \left[-\frac{1}{3d_o} + \frac{d_o^2}{3d_u^3} + \frac{1}{3d_u} - \frac{d_o}{d_u^2} \right]^{-1} \end{aligned}$$

La rigidez a la flexión del poste resulta solo a partir de la geometría y las propiedades mecánicas. A este respecto debe tenerse en cuenta que el módulo de elasticidad en materiales derivados de la madera se determina dependiendo de la humedad medida. A través de las mediciones de humedad esta influencia se tiene en cuenta.

- 10 El registro exacto de valores de sección transversal deteriorados puede registrarse mediante un método de medición más exacto. Para la valoración de la estabilidad sin embargo es suficiente asignar en el pie las deterioraciones del poste completamente al resorte de torsión C_θ que va a determinarse. Es decir, la caña del poste en el cálculo se considera como no deteriorado. Todas las influencias que influyen en la rigidez de todo el sistema se asignan virtualmente a la base. Las deformaciones en la cabeza del poste se producen entonces a pesar de ello en el mismo orden de magnitud que en una división detallada de las deterioraciones en la caña del poste y en la base. Esto se ha verificado mediante investigaciones.
- 15

La figura 18 muestra que la deformación total independiente de la distribución de las partes de rigidez entre sí permanece prácticamente igual. Las dispersiones de propiedades de material (por ejemplo en el módulo de elasticidad) no tienen repercusión por lo tanto prácticamente en la deformación calculada en la cabeza dado que para ello la rigidez averiguada total es determinante. Es decir por ejemplo: en una sobreestimación del módulo de elasticidad real se calcula computacionalmente una pequeña rigidez torsional. En una sobreestimación del módulo

20

de elasticidad es a la inversa. La rigidez total relevante es aproximadamente igual en ambos casos, de modo que también las deformaciones calculadas permanecen en el mismo orden de magnitud. La deformación de cabeza calculada es adecuada por ello especialmente como criterio para la valoración de la estabilidad. Este modo de proceder analítico permite deducir con solo una magnitud a medir mecánica así como la humedad de madera y de la temperatura ambiente la rigidez total de todo el sistema.

5

A continuación se explica con detalle la rigidez torsional de la base C_ϕ .

La rigidez torsional se transforma en un resorte de sustitución horizontal equivalente. Por ello puede tenerse en cuenta de manera más sencilla en el sistema generalizado. La rigidez de estos resortes que está aplicada a la altura del sistema generalizado puede calcularse como sigue (conversión de la rigidez torsional en un resorte de sustitución horizontal equivalente):

10

$$C_\phi : \text{resorte de torsión suelo} \quad \left[\frac{N}{rad} \right]$$

$$C_{\phi,B} : \text{rigidez a la flexión equivalente} \quad \left[\frac{N}{m} \right]$$

$$\frac{PH}{C_\phi} H = \frac{P}{C_{\phi,B}}$$

$$C_{\phi,B} = \frac{C_\phi}{H^2}$$

15 El resorte de torsión va a representar la rigidez de base y los deterioros presentes dado el caso del poste. Dado que la estabilidad se calcula en última instancia mediante el cálculo de la deformación máxima bajo carga cuasi-estáticas las mediciones dinámicas se llevan a cabo de modo que no se activa el módulo de elasticidad dinámico del suelo. Esto significa que entonces las amplitudes de vibración excitadas deben permanecer reducidas.

20 El trasfondo es que el módulo de elasticidad dinámico según el tipo de suelo puede ser mayor en un factor de 2 a 4 (en parte también más) que el módulo de elasticidad del suelo estático.

La figura 9 muestra esquemáticamente el sistema estático para convertir la rigidez torsional virtual en un resorte de sustitución horizontal equivalente. Si se contempla solo la parte de desviación horizontal del resorte de torsión, entonces en la cabeza del poste se produce una desviación de H^*_{ϕ} (en principio longitud de poste por ángulo de torsión).

25 A continuación se trata con detalle la rigidez de conductor (C_L). Para averiguar toda la rigidez de línea calcula en primer lugar la rigidez para una única línea en la dirección perpendicular al plano de conductor. A este respecto se tiene en cuenta dado el caso diferentes longitudes de los cables en el campo izquierdo y derecho. A continuación se resumen las rigideces individuales en una rigidez total generalizada. El sistema generalizado se coloca mentalmente en el punto de la deformación modal máxima δ_G .

30 Las rigideces de conductor desde el campo izquierdo y derecho (visto desde el poste) se calculan como sigue.

$$C_L = \frac{\rho_L A_L g L_L}{8d_L} + \frac{\rho_R A_R g L_R}{8d_R}$$

$$C_{L, total} = \sum_i \alpha_i^2 C_{L_i}$$

$$\begin{cases} \alpha_i = \frac{\delta_i}{\delta_G} \\ \delta_G = \max(\delta_i) = 1 \text{ (deformación modal normalizada)} \end{cases}$$

$$Z_i^* = \frac{Z_i}{H} \text{ (altura normalizada)}$$

$$\delta_i = Z_i^{*2} \frac{C_{\varphi, B}}{C_B + C_{\varphi, B}} + Z_i^* \frac{C_B}{C_B + C_{\varphi, B}}$$

$$\begin{aligned} C_{L, total} &= \sum_i \left[\left(Z_i^{*2} \frac{C_{\varphi, B}}{C_B + C_{\varphi, B}} + Z_i^* \frac{C_B}{C_B + C_{\varphi, B}} \right)^2 C_{L_i} \right] \\ &= \frac{C_L}{(C_B + C_{\varphi, B})^2} (C_{\varphi, B}^2 \sum_i Z_i^{*4} + 2C_B C_{\varphi, B} \sum_i Z_i^{*3} + C_B^2 \sum_i Z_i^{*2}) \end{aligned}$$

5 Suponiendo: $C_{L_i} = C_{L_j} \neq j$

Las rigideces de conductor para el campo izquierdo y derecho se tienen en cuenta al mismo tiempo.

10 El cálculo de la deformación modal δ_i se produce desde la conexión en serie de los resortes C^B y $C_{\varphi, B}$. Dado que los cables conductores por regla general no se colocan en la punta de poste, la correcta deformación modal δ_i se produce igualmente a través de una análisis de energía. Esto lleva a los factores previos Z_i^{*2} en la parte de resorte de torsión y Z_i^* en la parte de flexión.

La figura 10 muestra esquemáticamente el sistema para el cálculo de la rigidez de conductor. La altura h_1 en la figura 10 se corresponde con la altura z_1 en la fórmula anteriormente mencionada. Las alturas de los otros dos cables z_2 y z_3 no se indican en la figura 10.

15 Con las fórmulas anteriormente desarrolladas puede formarse una ecuación para C_{total} en la que solo la parte de resorte de torsión es la incógnita. La rigidez C_{total} resulta de la frecuencia medida y de la masa generalizada.

A continuación se trata con más detalle adicionalmente la masa generalizada.

La masa generalizada se compone de las partes de las masas que participan en la vibración masas de poste, líneas, aislantes y masas adicionales. En función de donde estén colocadas las masas en el sistema participarán más o menos en la vibración. Esto se registra a través de una forma de vibración observada en cada caso.

20 A continuación se trata con más detalle la forma de vibración y masa generalizada para el poste.

La forma de vibración se compone en este caso de dos partes. Estas son una parte de la mera flexión de la caña del poste y una parte de torsión de la torsión en la base. Mediante el acoplamiento de estas partes se forma en la derivación un parte de la mezcla adicional. La forma de vibración que va a plantearse para el cálculo de la masa generalizada tiene por tanto finalmente tres componentes:

- 25 1. parte de flexión
2. parte de torsión
3. y partes de la mezcla

30 La masa generalizada se produce igualmente de nuevo de un análisis de energía para el sistema complejo en vibración y el sistema generalizado simplificado. El siguiente esquema muestra a modo de ejemplo el cálculo de la masa generalizada para la caña del poste de un poste cónico con sección transversal sólida cilíndrica con base circular. El parámetro $y(z)$ y la forma de vibración normalizada que va a plantearse (en este caso planteada en forma

parabólica $y(z) = (z/H)^2$, que en el punto de la deformación máxima toma el valor 1,0. La masa generalizada para un poste cónico con sección transversal sólida cilíndrica con base circular se calcula como sigue.

$$M_{Gen,M} = \int M(z)y(z)^2 dz$$

$$M(z) = \rho A(z) = \rho \frac{\pi}{4} d(z)^2 = \rho \frac{\pi}{4} (d_u + \alpha z)^2$$

$$y(z) = \left(\frac{z}{H}\right)^2 \frac{C_{\varphi,B}}{C_B + C_{\varphi,B}} + \left(\frac{z}{H}\right) \frac{C_B}{C_B + C_{\varphi,B}}$$

5

$$\begin{aligned} M_{Gen} &= \frac{\pi\rho}{4} \int_0^H \rho \frac{\pi}{4} (d_u + \alpha z)^2 \left[\left(\frac{z}{H}\right)^2 \frac{C_{\varphi,B}}{C_B + C_{\varphi,B}} + \left(\frac{z}{H}\right) \frac{C_B}{C_B + C_{\varphi,B}} \right]^2 dz \\ &= \frac{\pi\rho}{4} \left(\frac{d_u^2 C_{\varphi,B}^2}{5} H + \frac{d_u^2 C_B C_{\varphi,B}}{2} H + \frac{d_u^2 C_B^2}{3} H + \right. \\ &\quad \left. \frac{d_u \alpha C_{\varphi,B}^2}{3} H^2 + \frac{4d_u \alpha C_B C_{\varphi,B}}{5} H^2 + \frac{d_u \alpha C_B^2}{2} H^2 + \right. \\ &\quad \left. \frac{\alpha^2 C_{\varphi,B}^2}{7} H^3 + \frac{\alpha^2 C_B C_{\varphi,B}}{3} H^3 + \frac{\alpha^2 C_B^2}{5} H^3 \right) \end{aligned}$$

Adicionalmente a las masas generalizadas a consecuencia de desviaciones en traslación se tiene en cuenta las masas de rotación (momentos de inercia propia y partes de Steiner), en elementos constructivos en voladizo en gran medida. Las masas con gran excentricidad (por ejemplo aislantes en travesaños de gran luz en el intervalo de tensión media) pueden influir significativamente en el resultado y por lo tanto se tiene en cuenta ventajosamente.

10

Además adicionalmente a la parte del poste mismo se tiene en cuenta las de piezas montadas también en vibración como por ejemplo: cables conductores, aislantes y masas adicionales (por ejemplo señales de tráfico).

La forma de vibración empleada tiene una notable influencia sobre los resultados de cálculo. Los cálculos de comparación han demostrado que la coincidencia con valores teóricos es mucho mejor cuanto más exactamente se describa la forma de vibración. Si la forma de vibración coincide con la forma de vibración real entonces se presenta una coincidencia casi del 100% entre desplazamiento o desviación teóricos y desplazamiento o desviación calculada. Por este motivo la forma de vibración de la parte de flexión en una forma de realización no está predeterminada ventajosamente, sino que se calcula en cada caso específicamente, dependiendo de los parámetros de poste (geometría, valores de sección transversal, propiedades de material, masas adicionales etc.). Esto puede como suceder como sigue.

15

20

Inicialmente se observa la masa generalizada para cables conductores. La masa generalizada de los cables conductores resulta a partir de la masa de cable proporcional desde el campo izquierdo y derecho (en cada caso la mitad de la masa de cable en el campo correspondiente) y a partir de la desviación modal z_1^* en el punto de acción de la masa.

$$\begin{aligned} M_{Gen,L} &= \sum_i M_{L_i} z_i^{*2} \\ &= \frac{M_L}{(C_{\varphi,B} + C_B)^2} (C_{\varphi,B}^2 \sum_i z_i^{*4} + 2C_B \sum_i z_i^{*3} + C_B^2 \sum_i z_i^{*2}) \end{aligned}$$

25

$$\text{Suponiendo : } M_{L_i} = M_{L_j} \quad i \neq j$$

La masa generalizada de los mismos cables conductores M_L se produce al plantearse una desviación variable linealmente. Esto significa que se parte de que solo se mueve el poste sometido a excitación y los postes adyacentes se dejan en reposo. Además se ignoran los movimientos propios del cable. La masa generalizada de los cables conductores es entonces:

30

$$M_{L,gen} = \int_0^L m_L \cdot \left(\frac{z}{H}\right)^2 dz = m_L \cdot \frac{L}{3}$$

Las masas generalizadas de los cables desde el campo izquierdo y derecho se solapan. Con ello se produce:

$$M_{L,gen} = m_{L,izquierda} \cdot \frac{L_{izquierda}}{3} + m_{L,derecha} \cdot \frac{L_{derecha}}{3}$$

5 La longitud L es la longitud de cable entre dos postes. Esta es mayor que la distancia de los postes en el campo (ligeramente más larga, < 1 %).

A continuación se observa la masa generalizada para los aislantes. La masa generalizada de los aislantes se produce a partir de la masa de aislante y de la desviación modal z_i^* en la posición del aislante:

$$M_{Gen,I} = \sum_i M_{I_i} z_i^{*2} = \frac{M_I}{(C_{\varphi,B} + C_B)^2} (C_{\varphi,B}^2 \sum_i z_i^{*4} + 2C_B \sum_i z_i^{*3} + C_B^2 \sum_i z_i^{*2})$$

Suponiendo : $M_{I_i} = M_{I_j} \quad i \neq j$

10 La línea y el aislante correspondiente se sitúan ambos a la misma altura.

A continuación se observan las masas generalizadas para masas adicionales. La masa generalizada de masas adicionales resulta a partir de la masa respectiva y de la desviación modal z_i^* en la posición de la masa adicional:

$$M_{Gen,Z} = \sum_i M_{Z_i} z_i^{*2} = \frac{M_Z}{(C_{\varphi,B} + C_B)^2} (C_{\varphi,B}^2 \sum_i z_i^{*4} + 2C_B \sum_i z_i^{*3} + C_B^2 \sum_i z_i^{*2})$$

15 A continuación se trata con más detalle la determinación de la rigidez torsional. La rigidez torsional puede determinarse analíticamente con las fórmulas anteriormente descritas. El desarrollo correspondiente del aparato de fórmula se representa a continuación

$$\left\{ \begin{aligned} M_{Gen,total} &= C_{L,total} \omega^{-2} \\ &= [C_{L,total} + (\frac{1}{C_B} + \frac{1}{C_{\varphi,B}})^{-1}] \omega^{-2} \\ &= \frac{C_{L,total} C_B + C_{L,total} C_{\varphi,B} + C_B C_{\varphi,B}}{C_B + C_{\varphi,B}} \omega^{-2} \implies \\ M_{Gen,total} &= M_{Gen,M} + M_{Gen,L} + M_{Gen,I} + M_{Gen,z} \end{aligned} \right.$$

$$\left[\frac{\pi \rho}{4} \left(\frac{d_u^2}{5} H + \frac{d_u \alpha}{3} H^2 + \frac{\alpha^2}{7} H^3 \right) + (M_L + M_I) \sum_i z_i^{*4} + M_Z \sum_j z_j^{*4} \right] C_{\varphi, B}^2 +$$

$$\left[\frac{\pi \rho}{4} \left(\frac{d_u^2}{2} H + \frac{4d_u \alpha}{5} H^2 + \frac{\alpha^2}{3} H^3 \right) + (M_L + M_I) \sum_i z_i^{*3} + M_Z \sum_j z_j^{*3} \right] C_B C_{\varphi, B} +$$

$$\left[\frac{\pi \rho}{4} \left(\frac{d_u^2}{3} H + \frac{d_u \alpha}{2} H^2 + \frac{\alpha^2}{5} H^3 \right) + (M_L + M_I) \sum_i z_i^{*2} + M_Z \sum_j z_j^{*2} \right] C_B^2 =$$

$$\frac{1}{\omega^2} \left[(C_{L, total} \sum_i z_i^{*4} + C_B) C_{\varphi, B}^2 + (2C_{L, total} \sum_i z_i^{*3} + C_B) C_B C_{\varphi, B} + C_B^2 C_{L, total} \sum_j z_j^{*2} \right] \quad (\text{parte de torsión})$$

$$(A_1 - A_2) C_{\varphi, B}^2 + (B_1 - B_2) C_{\varphi, B} + (C_1 - C_2) = 0 \quad (\text{parte de mezcla})$$

$$C_{\varphi, B} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (\text{parte de flexión})$$

5 Con ayuda de estos resultados puede definirse un sistema de sustitución estático. En este sistema se calculan entonces las desviaciones a consecuencia de cargas verticales y horizontales. La averiguación de la rigidez torsional o la averiguación de la relación entre rigidez torsional y rigidez a la flexión se determina ventajosamente con un procedimiento de iteración. Este procedimiento tiene con respecto a la solución analítica la gran ventaja de que es universal. Las adaptaciones debido a otras propiedades de sistema no necesitan implementarse de este modo en la solución analítica. Los resultados del procedimiento de iteración y de la solución analítica para el caso arriba mostrado son idénticos.

10 Las cargas horizontales son esencialmente cargas de viento sobre el sistema, las cargas verticales son cargas humanas y/o cargas de montaje. El orden de magnitud de estas cargas se produce a partir de los reglamentos correspondientes.

15 A continuación se trata con más detalle la valoración de postes. La valoración de la estabilidad de los postes se realiza a través de criterios de deformación que pueden variar según el sistema. Las deformaciones o desviaciones de los postes se calculan en el sistema de sustitución estático con las rigideces determinadas a partir de las mediciones.

Las cargas que van a plantearse resultan de los reglamentos correspondientes.

Las deformaciones calculadas se comparan con deformaciones admisibles. Por ello los postes pueden clasificarse en distintas clases.

20 Para postes de acero se emplean los criterios de la norma EN 40. En esta se definen los valores límite siguiente para las deformaciones bajo cargas características.

Criterios de deformación para postes de metal

- clase 1: admisible $d = 4\% \cdot (H + w)$
- clase 2: admisible $d = 6\% \cdot (H + w)$
- clase 3: admisible $d = 10\% \cdot (H + w)$

25 w es la carga horizontal, en este caso puede ponerse a 0. Las deformaciones por encima de la clase 3 no son admisibles. Para torres de líneas aéreas de madera se desarrollaron criterios apoyándose en la norma EN 40. Debido al cableado bajo corriente y el requisito de poder subir por él los criterios son más rigurosos que en los postes de metal.

Criterios de deformación para postes de madera

- 30 clase 1: admisible $d = 1,5\% \cdot H$
- clase 2: admisible $d = 3,0\% \cdot H$
- clase 3: admisible $d = 5,0\% \cdot H$

Las consecuencias de la clasificación respectiva son por ejemplo las siguientes. Consecuencias de la clasificación para postes de madera

clase 1: sin limitación,

clase 2: ya no puede subirse por él, pero todavía es estable;

clase 3: no puede subirse por él, estable con limitaciones, debe cambiarse dentro de 3 meses,

> clase 4: ya no es estable, debe cambiarse inmediatamente.

5 A continuación se observan casos de carga.

Se examinan los siguientes casos de carga:

1. Viento como acción conductora sobre el poste, cables conductores y piezas montadas

2. Viento sobre cables conductores helados + viento sobre el poste y piezas montadas

3. Carga de montaje (carga humana)

10 A continuación se trata con detalle la carga del viento sobre el poste, cables conductores y piezas montadas: Las cargas del viento se determinan por ejemplo apoyándose en la norma VDE 210. El cálculo de las cargas del viento puede adaptarse fundamentalmente a todos los reglamentos a tener en cuenta. A este respecto se tiene en cuenta las velocidades del viento de referencia v_{ref} dependiendo del emplazamiento. Los datos necesarios se extraen de los mapas de zonas de viento correspondientes (por ejemplo DIN 1055-4 nuevo [4], VDE 210 [3].

15 Las cargas del viento sobre el poste resultan como sigue

$$w_M = 1,1 \cdot q(z_H) \cdot c_M \cdot A_M$$

El coeficiente aerodinámico c_M depende de la forma de sección transversal. Para secciones transversales cilíndricas con base circular se emplea $c_M=0,7-0,8$. El valor exacto se determina dependiendo del número de Reynolds.

Las cargas del viento sobre los cables se calculan como sigue

20

$$w_S = q(z_S) \cdot c_S \cdot A_S$$

Las piezas montadas se tienen en cuenta cuando presentan áreas de entrada de carga significativas (por ejemplo señales de tráfico). Se ignoran preferiblemente elementos constructivos de área pequeña como por ejemplo aislantes. Las cargas sobre piezas montadas se tienen en cuenta como sigue:

$$w_A = q(z_A) \cdot c_A \cdot A$$

25 A este respecto $q(z_A)$ es la presión de velocidad a la altura de la pieza montada (gravedad determinante). c_A es el coeficiente de fuerza aerodinámica. Esto se tiene en cuenta para piezas montadas con $c_A= 2,0$. Se tiene en cuenta dependiendo de la forma aerodinámica de la pieza montada. A el área de entrada de carga. Las formas de sección transversal siguiente están previstas preferiblemente:

viento sobre cables conductores helados + viento sobre el poste y piezas montadas:

30 En el caso del viento sobre cables helados se tienen en cuenta el aumento de área de sección transversal de los cables. La presión de velocidad se reduce al mismo tiempo, así por ejemplo a $0,7q$.

Carga de montaje (carga humana);

Se parte de que una persona incluyendo su equipación con un peso de 100 kg sube al poste. La excentricidad es 0,3-0,5 m.

35 A continuación se representa un desplazamiento o desviación del poste observado a consecuencia de una carga horizontal.

Las cargas horizontales en torres de líneas aéreas se producen esencialmente de las cargas del viento sobre los cables conductores. El siguiente esquema muestra el cálculo de las desviaciones a causa de la carga del viento sobre los cables conductores. A este respecto se averiguan por separado las partes a consecuencia flexión de poste y torsión.

40 La figura 11 muestra esquemáticamente el sistema estático para el cálculo de la deformación de cabeza al plantear una carga horizontal a una altura determinada h_1 (solo parte de flexión). El procedimiento de cálculo estático para averiguar la desviación en la cabeza del poste se basa en el principio de "fuerzas virtuales".

$$\begin{aligned}
 \delta_{\text{flexión}} &= \int_0^{h_1} \frac{M(z) m(z)}{EI(z)} dz \\
 &= \int_0^{h_1} \frac{pz(H - h_1 + z)}{E \frac{\pi}{64} [d_o - \alpha(H - h_1 + z)]^4} dz \\
 &= \frac{64p}{E\pi} \int_{d_o - \alpha(H - h_1)}^{d_o} \frac{\left(\frac{d_o - x}{\alpha} - H + h_1\right) \frac{d_o - x}{\alpha} - dx}{x^4} \\
 &= -\frac{64}{E\pi\alpha^3} \int_{d_o - \alpha(H - h_1)}^{d_o} \frac{(d_o - x - H\alpha + h_1)(d_o - x)}{x^4} dx \\
 &= \frac{64}{E\pi\alpha^3} \left[(d_o^2 - Hd_o\alpha + h_1d_o\alpha) \frac{1}{3x^3} + (-2d_o + H\alpha - h_1\alpha) \frac{1}{2x^2} - \frac{1}{x} \right]_{d_o - \alpha(H - h_1)}^{d_o}
 \end{aligned}$$

$$\delta_{\text{rotación}} = \frac{M}{C_\varphi} H = \frac{ph_1H}{C_\varphi} = \frac{ph_1H}{C_{\varphi,B}H^2} = \frac{ph_1}{C_{\varphi,B}H}$$

$$d_o - \alpha(H - h_1 + z) = x$$

$$dz = \frac{-dx}{\alpha}$$

$$z = \frac{d_o - x}{\alpha} - H + h_1$$

5

Del mismo modo se tienen en cuenta las cargas del viento sobre el mismo poste o las cargas del viento sobre piezas montadas adicionales (por ejemplo señales de tráfico). El cálculo es por lo tanto universal. Puede emplearse en esta forma en particular también para todos los postes sin cables conductores.

10 A continuación se explican el cálculo del desplazamiento o desviación del poste observado a consecuencia de una carga vertical. Las cargas verticales resultan de las cargas humanas y de cargas de montaje adicionales. El cálculo de las desviaciones se representa a continuación. A este respecto se averiguan de nuevo por separado la parte de flexión de poste y torsión de poste.

15 La figura 12 muestra esquemáticamente el sistema estático para el cálculo de la deformación de cabeza al plantearse una carga vertical con una excentricidad hv. Esta carga vertical provoca un momento Mv, que en la cabeza del poste lleva a una desviación horizontal. El procedimiento de cálculo estático para averiguar la desviación en la cabeza del poste se basa en el principio de las "fuerzas virtuales".

$$\begin{aligned} \delta_{flexión} &= \int_0^{h_1} \frac{M_V z}{EI(z)} dz \\ &= \int_0^{h_2} \frac{p_V h_V z}{E \frac{\pi}{64} (d_o - \alpha z)^4} dz \\ &= \frac{64 M_V}{E \pi} \int_{d_o}^{d_u} \frac{z}{(d_o - \alpha z)^4} \frac{-dx}{\alpha} \\ &= -\frac{64 M_V}{E \pi \alpha^2} \left[-\frac{1}{2x} + \frac{d_o}{3x^3} \right]_{d_o}^{d_u} \end{aligned}$$

$$\delta_{rotación} = \frac{M_V}{C_\varphi} H = \frac{p_V h_V H}{C_\varphi} = \frac{p_V h_V H}{C_{\varphi,B} H^2} = \frac{p_V h_V}{C_{\varphi,B} H}$$

$$d_o - \alpha z = x$$

$$dz = \frac{-dx}{\alpha}$$

$$z = \frac{d_o - x}{\alpha}$$

5

Se examinan a continuación dos postes y en concreto una vez con una sección transversal hueca y una vez con una sección transversal sólida. Los resultados se comparan con los resultados de un modelo numérico basándose en los elementos finitos.

1. Poste de acero con sección transversal anular

- 10 El poste de acero tiene una altura de 4,48 m y un espesor de pared de 2,3 mm (0). Las propiedades de material y de poste están indicadas en las dos tablas siguientes "propiedades de material" o "propiedades de poste". En la simulación numérica con el programa SAP2000 disponible en el mercado se predetermina además una rigidez torsional. La primera frecuencia propia del sistema calculada con el programa SAP2000 disponible en el mercado se usa como entrada para los cálculos o averiguaciones numéricas representados de acuerdo con la invención. La figura 13 esboza la geometría del poste de acero observado con sección transversal anular.
- 15

Propiedades de material:

Densidad [to/m ³]	módulos de elasticidad [kN/m ²]
7,846	2,1*10 ⁸

Propiedades de poste:

Frecuencia [Hz]	Masa [to]	Diámetro [m]	conicidad [-]
2,67	0,0144	0,0603	0,0

- 20 A una altura de 3,48 m se introduce una carga horizontal y a altura se calcula la desviación. El cálculo de la

desviación se realiza tanto en el programa SAP2000 como con un segundo programa "MaSTaP", que lleva a cabo los cálculos anteriormente descritos. 0 muestra una comparación de los resultados. A este respecto en el segundo programa se han planteado dos formas de vibración distintas para la parte de flexión (en forma parabólica y sinusoidal).

5 La siguiente tabla muestra una comparación de los resultados:

	Desplazamiento horizontal [m]	Rigidez torsional [kN/m]	Frecuencia con fijación completa [Hz]
SAP2000	0,0315	100,00	3,1
MaSTaP*	0.0334	80,437	3,2
Variación	5,7%	19,5%	3,1%
MaSTaP**	0,0362	62,156	3,4
Desviación	14,8%	37,8%	8,8%
*: forma propia de flexión con planteamiento sinusoidal			
**: forma propia de flexión con planteamiento parabólico			

10 Para el caso seleccionado en la presente memoria los resultados con planteamiento sinusoidal muestran una mejor coincidencia con el resultado teórico (SAP2000). La variación en la desviación horizontal determinante para la valoración asciende únicamente a 5,7%. Dado que el desplazamiento se sobreestima en cierta medida, el resultado se sitúa además en el lado seguro. El resultado muestra otra vez la influencia de la forma de vibración planteada sobre el resultado. Si la forma de vibración en el programa, que se ha llamado "MaSTaP" coincide con la forma de vibración propiamente dicha, entonces se presenta una coincidencia casi al 100%. Por este motivo la forma de vibración de la parte de flexión ventajosamente no está predeterminada, sino que se calcula en cada caso específicamente, dependiendo de los parámetros de poste (geometría, valores de sección transversal, propiedades de material, masas adicionales etc.).

15 La siguiente tabla muestra resultados adicionales del programa MaSTap. Se indican las partes de rigidez para la flexión y la rotación, la rigidez total para el sistema generalizado en la cabeza del poste así como los partes de deformación.

	Rigidez a consecuencia de la flexión	Rigidez a consecuencia de rotación*	Rigidez total	Def_flex altura zp	Def_rot altura zp	masa_gen
	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[to]
1	1,3233	4,1929	1,0059	0,0239	0,0094	0,0036
2	1,3233	3,2399	0,93957	0,0239	0,0122	0,0033
1: Forma propia de flexión con planteamiento sinusoidal						
2: Forma propia de flexión con planteamiento parabólico						
*: rigidez equivalente en altura H a consecuencia de la fijación elástica.						

20 La desviación se produce para el planteamiento de una forma de vibración sinusoidal a la altura H al 72% de flexión y 28% de rotación.

25 A continuación se lleva a cabo un cálculo comparativo similar para un poste con una sección transversal sólida (véase la figura 14, que representa la geometría de un poste de acero con sección transversal sólida). El poste de acero tiene de nuevo una altura de 4,48 m y un diámetro de 60,3 mm. Las propiedades de material y de poste están indicadas en las dos tablas siguientes "propiedades de material" o "propiedades de poste". En la simulación numérica con el programa SAP2000 se predetermina de nuevo una rigidez torsional. La primera frecuencia propia del sistema calculada con el programa SAP2000 se utiliza como entrada para el programa MaSTaP.

Propiedades de material:

Densidad [to/m ³]	Módulos de elasticidad [kN/m ²]
7,846	2,1*10 ⁸

30 Propiedades de poste

Frecuencia [Hz]	Masa [to]	Diámetro [m]	Conicidad [-]
1,51	0,098	0,0603	0,0

A una altura de 3,48 m se introduce una carga horizontal y a esta altura se calcula la desviación. El cálculo de la desviación se realiza tanto en el programa SAP2000 como con el programa MaSTaP. La siguiente tabla muestra una comparación de los resultados, A este respecto en el programa MaSTaP se han planteado de nuevo dos formas de vibración distintas para la parte de flexión (parabólica y sinusoidal).

5 Comparación de los resultados:

	Desplazamiento horizontal [m]	rigidez torsional [kN/m]	Frecuencia con fijación completa [Hz]
SAP2000	0,0143	100,00	2,26
MaSTaP*	0,0147	92,756	2,35
Variación	2,7%	7,2%	3,8%
MaSTaP**	0,0155	84,485	2,51
Variación	7,7%	15,5%	10%
*: forma propia de flexión con planteamiento sinusoidal			
**: forma propia de flexión con planteamiento parabólico			

10 También para el caso seleccionado en la presente memoria los resultados con planteamiento sinusoidal muestran una mejor coincidencia con el resultado teórico (SAP2000). La variación en la desviación horizontal determinante para la valoración asciende únicamente a 2,7%. Dado que la desviación también en este caso se sobreestimó en cierta medida, el resultado se sitúa además en el lado seguro.

La siguiente tabla muestra los otros resultados del programa MaSTaP. Se indican las partes de rigidez para la flexión y la rotación, la rigidez total para el sistema generalizado en la cabeza del poste así como las partes de deformación.

Los resultados del programa MaSTaP:

	Rigidez a consecuencia de la flexión	Rigidez a consecuencia de la rotación*	Rigidez total	Def_flex altura zp	Def_rot altura zp	masa_gen
	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[m]	[m]	[to]
1	4,8658	4,8352	2,4252	0,0065	0,0082	0,0269
2	4,8658	4,4039	2,3117	0,0065	0,009	0,0257
1: forma propia de flexión con planteamiento sinusoidal						
2: forma propia de flexión con planteamiento parabólico						
*: rigidez equivalente en altura H a consecuencia de la fijación elástica.						

15 La desviación se produce para el planteamiento de una forma de vibración sinusoidal a la altura H a 44% de flexión y 56% de rotación.

Para la validación adicional se han llevado a cabo mediciones de fuerza-recorrido en postes seleccionados. Para ello a una determinada altura se ha introducido una fuerza definida que actúa horizontalmente en el poste. La desviación en altura de la carga correspondiente se ha medido.

20 Para el mismo poste se han llevado a cabo mediciones de frecuencia y la desviación se calcula para la misma carga con ayuda del programa creado MaSTaP.

La coincidencia entre las desviaciones medidas directamente y las desviaciones determinadas de la medición de frecuencia es buena. Las variaciones se sitúan en 10% como máximo, aunque las mediciones se han llevado a cabo en los postes de madera, en los que de acuerdo con su naturaleza se presenta una gran dispersión de los valores característicos de material.

25 Las siguientes tablas muestran una confrontación de las desviaciones medidas a consecuencia de una carga individual con las desviaciones averiguadas computacionalmente, que se han averiguado con las rigideces de sistema averiguadas de la medición de frecuencia.

Material	Sección transversal	Perímetro	Diámetro externo	Espesor de pared	Humedad	Longitud de poste por encima del suelo		f medido	zp altura introducción de carga	Carga	Carga	Desplazamiento horizontal medido	Deformación total en la introducción de carga, calculada	Desviación
		en mm	en mm	en mm	en %	m	m	Hz	m	en kg	N	en mm	en mm	
Pino	Sección transversal sólida circular	310,0	98,7		4,5	4,000	3,200	5,763	3,015	6,5	63,8	18,0	19,2	1,07
Pino	Sección transversal sólida circular	310,0	98,7		4,5	4,000	3,200	5,763	3,015	13,0	127,5	34,0	36,9	1,09
Pino	Sección transversal sólida circular	310,0	98,7		4,5	4,000	3,200	5,763	3,015	19,5	191,3	52,0	56,1	1,08
Acero	Sección transversal sólida circular	190,0	60,5	2,3	0	5,060	4,380	2,67	3,48	6,5	63,8	32,0	33,2	1,04
Acero	Sección transversal sólida circular	191,0	60,8	2,3	0	5,060	4,380	2,67	3,48	13,0	127,5	61,0	63,1	1,03

La coincidencia de los resultados es buena. Las variaciones se sitúan por debajo de 10%. En los postes de acero las desviaciones son notablemente menores lo que ha de atribuirse al material más homogéneo.

5 Estos resultados se han averiguado también con una forma de vibración predeterminada. Las pruebas con una versión de programa modificada que emplea formas de vibración específica han llevado a una mejora de la coincidencia.

10 A continuación se presentan los resultados para dos postes medidos y evaluados realmente. Las figuras 15 y 16 muestran los espectros de frecuencia medidos de las aceleraciones. La figura 15 muestra el resultado de un espectro de aceleración para un poste 1 con una frecuencia propia medida $f_e=1,368$ Hz. La figura 16 muestra el resultado de un espectro de aceleración para un poste 2 con una frecuencia propia medida $f_e=1,953$ Hz. Los picos en la primera y segunda frecuencia propia pueden distinguirse claramente.

15 El poste 2 se valora una vez sin y otra vez con cables. La valoración sin cables muestra que los cables tienen una influencia clara sobre la valoración correcta. En este caso el poste 2 con cables ha de clasificarse en la clase 2 mientras que sin cables se habría clasificado en la clase 1. Dado que sin embargo se ha medido con cables la clase 2 es la clasificación correcta. Los cables provocan un aumento de la rigidez, sin embargo, dado que al mismo tiempo las cargas del viento que van a plantearse suben claramente (por ejemplo. La carga del viento sobre los cables), aparece en total una deformación mayor que lleva a una clase peor. La comparación con las valoraciones que se basan en una estimación puramente visual del estado de poste muestra una buena coincidencia.

		Poste 1	Poste 2	Poste 2
Tensión	(NS: baja tensión)	NS	NS	NS
Cableado, sección transversal	en mm ²	35	35	35
Peso de cable (densidad)	kg/m ³	3560	3560	3560
Flecha izquierda	en m	0,65	0	0,55
Flecha derecha	en m	0,65	0	0,55
Tipo de madera	(KI = pino)	KI	KI	KI
Tipo de poste	(T=poste de soporte)	T	T	T
Longitud de poste (longitud nominal)	en m	10,00	10,00	10,00
Perímetro abajo	en cm	67	72	72
Diámetro abajo	en m	0,214	0,230	0,230
Diámetro arriba	en m	0,181	0,197	0,197
Año de construcción		1977	1979	1979
Altura H nivel del terreno	en m	8,40	8,25	8,25
Campo izquierda LL	en m	45	39	39
Longitud de campo derecha	en m	45	39	39
Imagen de poste	(1=3 cables)	1	0	1

(continuación)

		Poste 1	Poste 2	Poste 2
Altura de la fase más baja por encima del nivel del terreno	en m	6,9	0	7,0
Observaciones			(Poste sin cables)	
Temperatura	en °C	13,5	13,5	13,5
Humedad en el pie	en %	17,3	16,4	16,4
Humedad en la caña	en %	13,1	13,9	13,9
Frecuencia propia medida	en Hz	1,368	1,953	1,953
Frecuencia propia para fijación completa (sin corregir)	en Hz	1,850	2,431	2,431
Módulo de elasticidad (valor inicial)	en kN/m ²	1,10E+07	1,10E+07	1,10E+07
Módulo de elasticidad corregido (incluido la influencia de humedad y factor de edad)	en kN/m ²	1,34E+07	1,32E+07	1,32E+07
Densidad (valor inicial)	en t/m ³	0,520	0,520	0,520
Densidad (incluida corrección de humedad)	en t/m ³	0,525	0,529	0,529
Factor de edad		1,257	1,249	1,249
Frecuencia propia para fijación completa (corregida)	en Hz	2,072	2,717	2,717
Rigidez a la flexión (corregida)	en kN/m	6,297	8,854	8,854
Rigidez total	en kN/m	3,268	5,384	7,201
Zona de viento		2	2	2
Carga de viento (Suma de todo el sistema)	en kN	2,31	1,44	2,36
Desplazamiento de cabeza máximo y a consecuencia de la carga de viento	en m	0,396	0,099	0,194
Con respecto al desplazamiento max y/H nivel del terreno		4,72 %	1,20 %	2,35 %
Clase 1 Max y/H nivel del terreno admisible		1,50 %	1,50 %	1,50 %
Clase 2 Max y/H nivel del terreno admisible		3,00 %	3,00 %	3,00 %
Clase 3 Max y/H nivel del terreno admisible		5,00 %	5,00 %	5,00 %
Valoración MaSTaP		3	1	2
Estado de pie	Valoración visual	3	2	2
Estado de caña		3	2	2
Estado de cima		3	2	2
Estado de poste		3	2	2

La base del procedimiento de acuerdo con la invención es el hecho de que en las frecuencias propias que pueden determinarse mediante mediciones de vibración están contenidas informaciones sobre la rigidez de sistema y masa que vibra al mismo tiempo. La masa de los sistemas que vibra al mismo tiempo se determina de modo que como única incógnita queda la rigidez de sistema. Con las frecuencias propias medidas puede deducirse entonces la rigidez de sistema. Con ayuda de los resultados de medición se calibra un sistema del poste real, por ejemplo en un ordenador. Esto sucede en particular al ajustar la rigidez de un resorte de torsión tomado virtualmente. Al resorte de torsión se asignan por lo tanto todas las influencias que actúan reduciendo la rigidez. A este respecto no es importante el lugar en el sistema donde están presentes por ejemplo daños. Los cálculos de comparación detallados (sistema simplificado con resorte de torsión calibrado y sistemas detallados con daños en diferentes puntos del poste) han mostrado que este proceder es suficientemente preciso para calcular de manera correcta los desplazamientos de cabeza en el sistema numérico calibrado de este modo. Para las mediciones los postes por ejemplo pueden someterse a excitación manualmente, y se miden las respuestas de sistema con sensores adecuados. La evaluación de los datos puede llevarse a cabo tras la introducción de todos los parámetros necesarios (por ejemplo geometría del poste, material etc.) automáticamente en un ordenador mediante un software correspondiente. Un software de este tipo calcula los desplazamientos o desviaciones en la cabeza del poste para distintos casos de carga. Se recurre a un desplazamiento de este tipo entonces para la valoración. En los postes de madera se diferencian varias clases, preferiblemente 4 clases.

El procedimiento es adecuado para un gran número de tipos de poste y materiales de poste.

Bibliografía

[1] Petersen, Ch. : Dynamik der Baukonstruktionen; Neubiberg, 1996

- [2] EN 40, Lichtmaste, partes 3.1-3.3, DIN, 2005
- [3] VDE 0210, Freileitungen über AC-45 kV, partes 1-12, 2007
- [4] DIN 1055-4, Einwirkungen auf Tragwerke- parte 4 Windlasten, DIN 2005
- 5 [5] prEN 14229:2007, Structural timber - Wood Poles for overhead lines, European Standard, Technical Committee CEN/TC 124, 2007
- [6] Neuhaus Helmut, Lehrbuch des Ingenieurholzbaus, B. G. Teubner 1994
- [7] Neuhaus, H.: Elastizitätszahlen des Fichtenholz in Abhängigkeit der Holzfeuchtigkeit, Diss., in: technisch-wissenschaftliche Mitteilungen, Nr 81-8, Inst. für konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität-Bochum, 1981
- 10 [8] Neuhaus, H.: Über das elastische Verhalten von Fichtenholz in Abhängigkeit der Holzfeuchtigkeit, Holz als Roh- y Werkstoff 41 (1983), S. 21-25
- [9] Neuhaus, H.: Über das elastische Verhalten von Holz und Kunststoffen, in: Strathmann, L. (Hrsg.), Ingenieurholzbau, Fachtagung, FB Bauingenieurwesen, Münster: FH, 1987
- [10] Noack D., Geissen, A.: Einfluss von Temperaturen und Feuchtigkeit auf den E-Modul des Holzes im Gefrierbereich, Holz als Werkstoff 34 (1976), S. 55-62
- 15 [11] Möhler, K.: Grundlagen der Holz-Hochbaukonstruktionen, in: Götz K.-H., Hoor D., Möhler K., Natterer J.; Holzbauatlas, München Inst. Für internationale Architektur-Dokumentation, 1980
- [12] David W. verde, Jerrold E. Winandy, and David E. Kretschmann: Mechanical Properties of Wood, Forest Products Laboratory. 1999. Wood handbook-Wood as an engineering material, .Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para examinar la estabilidad de un poste vertical en el que una frecuencia propia del poste que va a examinarse se averigua mediante la grabación del comportamiento de vibración del poste, averiguándose computacionalmente y/o numéricamente con ayuda de la frecuencia propia una medida para la estabilidad y evaluándose mediante la medida averiguada la estabilidad, **caracterizado porque** la desviación del poste debido a una carga externa individual como medida citada para la estabilidad se averigua computacionalmente y/o numéricamente con ayuda de la frecuencia propia averiguada, entrando los parámetros de sistema del poste en la averiguación de la desviación y teniéndose en cuenta al menos uno de los siguientes casos de carga:

- a) acción del viento sobre el poste, cables conductores y/o piezas montadas con velocidad de referencia dependiente del emplazamiento,
- b) acción del viento, con velocidad de referencia dependiente del emplazamiento, sobre cables conductores helados,
- c) acción de una carga humana al subir un hombre, incluyendo su equipamiento, por el poste, averiguándose la rigidez a la torsión del poste que va a examinarse, para averiguar la desviación del poste basándose en este resultado.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la medida para la estabilidad del poste con cableado se averigua teniendo en cuenta las fuerzas de retroceso horizontales que se ejercen sobre el poste debido a los cables.

3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en el que la medida para la estabilidad se averigua teniendo en cuenta la masa generalizada del poste y en concreto en particular

$$\Omega^2 \sim \frac{1}{\text{masa generalizada}}$$

con $\Omega = 2\pi \cdot$ frecuencia propia f_e ,
o de acuerdo con

$$\Omega^2 \sim \frac{C_{gen}}{\text{masa generalizada}}$$

con C_{gen} = rigidez generalizada, entrando en la masa generalizada la posición, la forma y/o el tamaño de las masas de piezas montadas que van a soportarse por el poste.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el poste es un poste de madera y la medida para la estabilidad se averigua teniendo en cuenta la humedad de material y/o la edad del poste y/o la temperatura ambiente.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la medida para la estabilidad se averigua teniendo en cuenta parámetros de sistema del poste.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la medida para la estabilidad se averigua teniendo en cuenta una flecha de cable dependiente de la temperatura.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la medida para la estabilidad de un poste con cableado conductor de corriente se realiza teniendo en cuenta la potencia eléctrica que se conduce a través del cableado.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la medida para la estabilidad de un poste con cableado conductor de corriente es una desviación del poste debido a una carga externa que se realiza en perpendicular al curso de un cable que es soportado por el poste.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que para la averiguación de una frecuencia propia de un poste que va a examinarse inicialmente se graban aquellas vibraciones que se provocan por influencias medioambientales naturales, y a continuación se graban aquellas vibraciones que resultan de una excitación artificial.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que para la averiguación de una frecuencia propia de un poste que va a examinarse se graban solo aquellas vibraciones que no superan un límite superior predeterminado para una frecuencia de vibración.

11. Dispositivo con una unidad de cálculo programada de modo que tras la introducción de informaciones de entrada necesarias y/ o parámetros de sistema de manera automatizada se averigua una medida buscada para la estabilidad según el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

12. Dispositivo según la reivindicación anterior con sensores de aceleración y medios para la transmisión a la unidad de cálculo de las vibraciones averiguadas mediante los sensores.

5 13. Dispositivo según una de las dos reivindicaciones anteriores con sensores de humedad para la medición de la humedad de material de un poste así como medios para la transmisión a la unidad de cálculo de valores de humedad de material.

14. Dispositivo según una de las tres reivindicaciones anteriores con medios de salida para emitir un resultado de examen sobre la estabilidad de un poste.

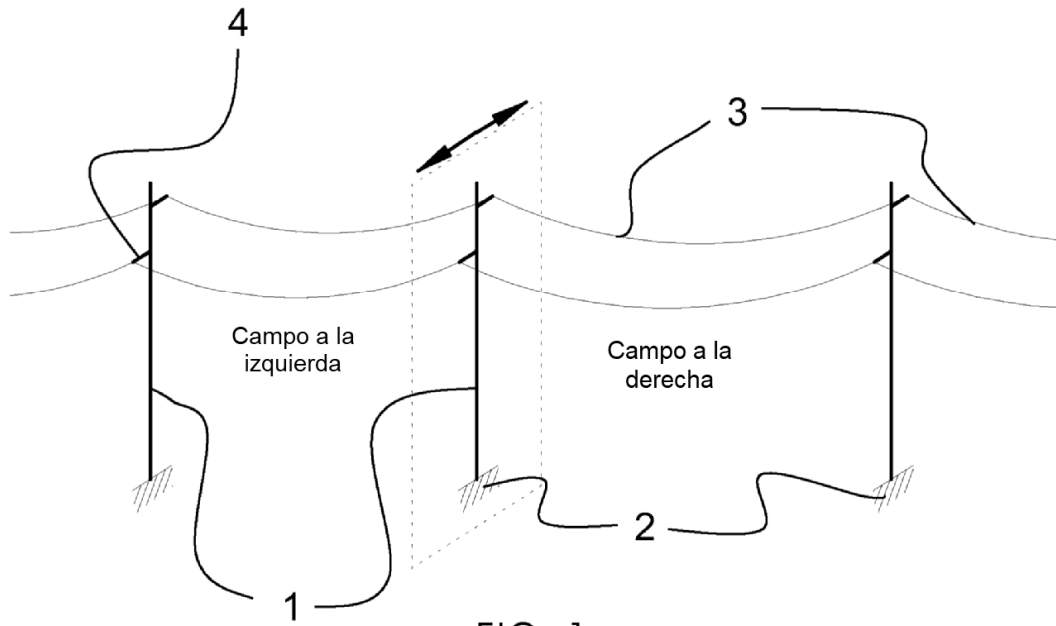


FIG. 1

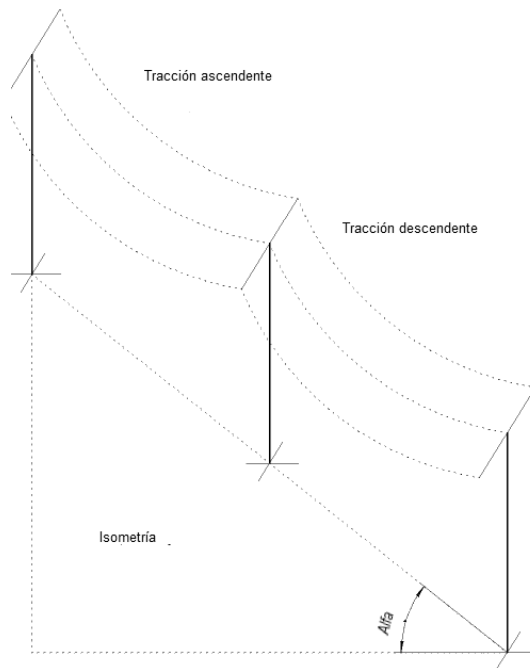


Fig. 2a

Vista superior

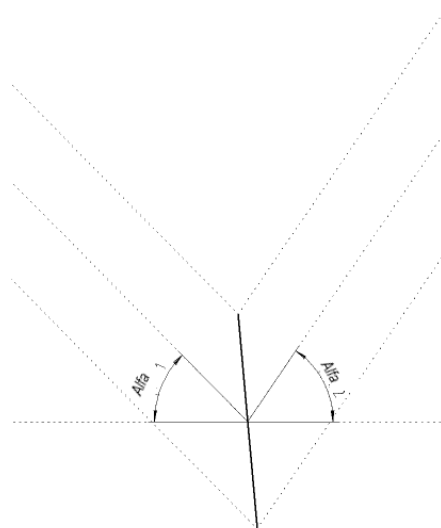


Fig. 2b

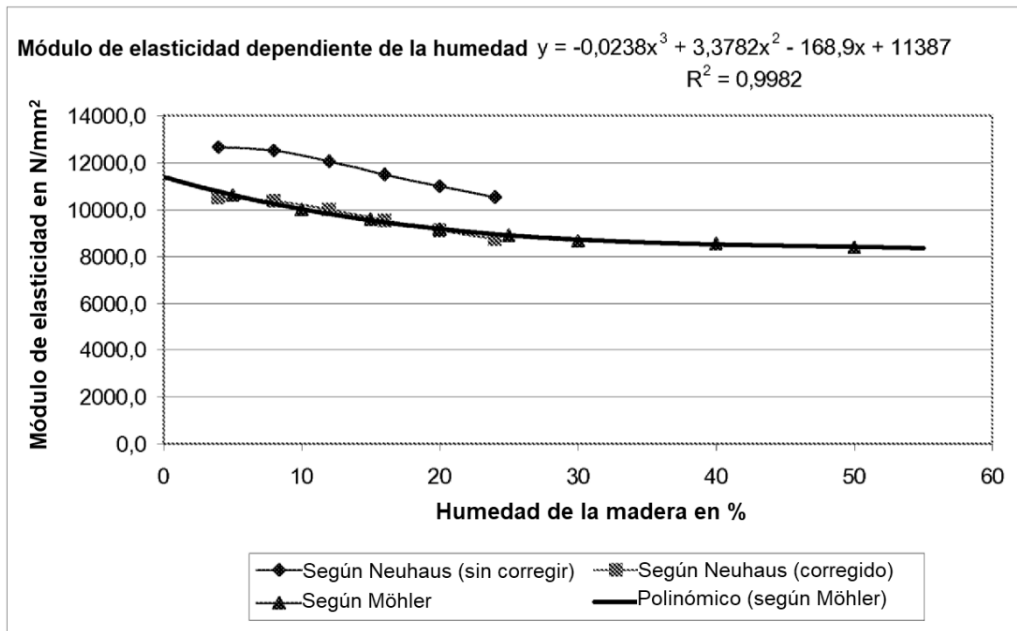


FIG. 3

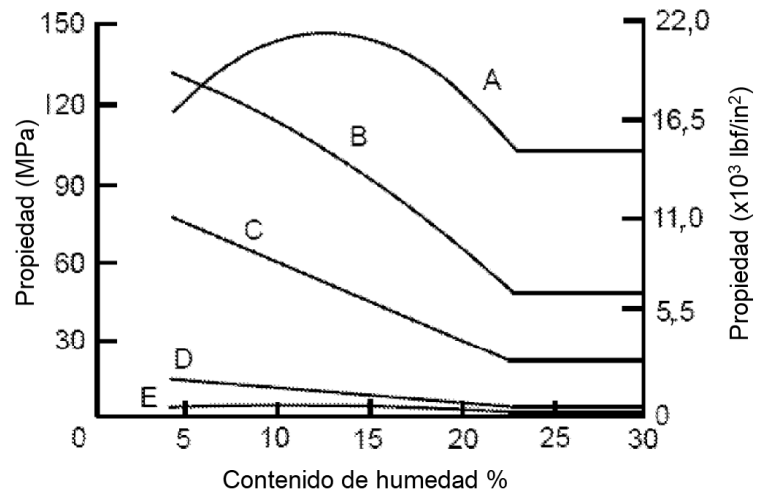


FIG. 4

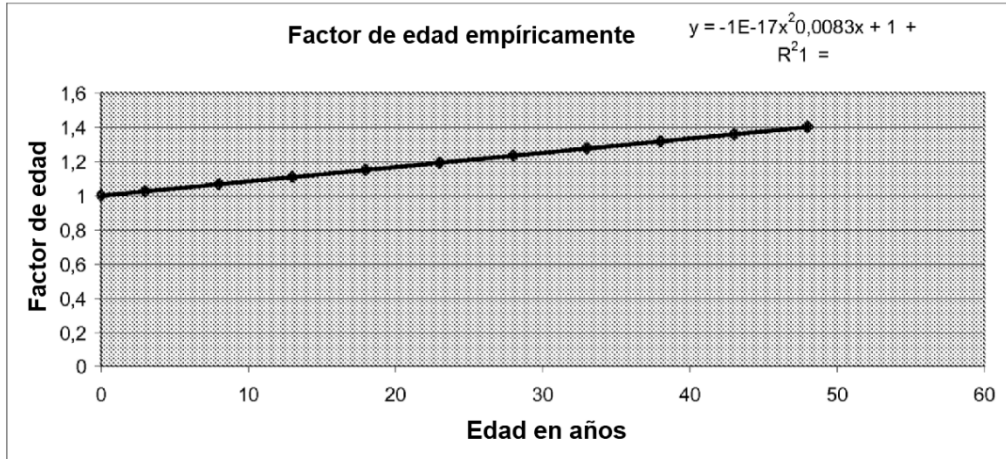
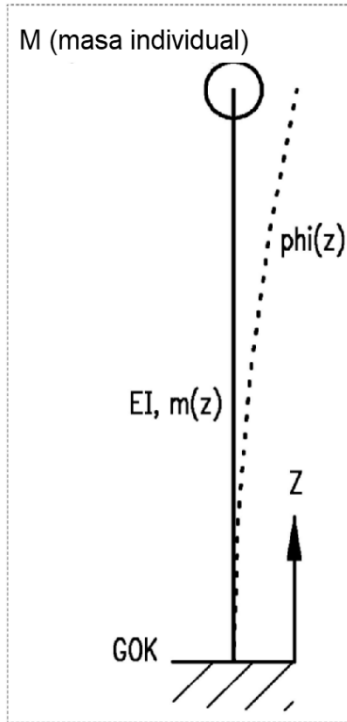
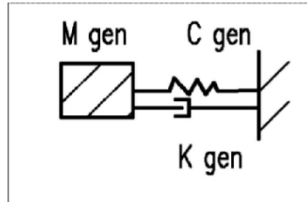


FIG. 5

Sistema continuo



Sistema generalizado



$\phi(z)$ = forma de vibración

Mgen = Masa generalizada (masa individual)

Cgen = Rigidez generalizada

Kgen = Amortiguación generalizada

FIG. 6

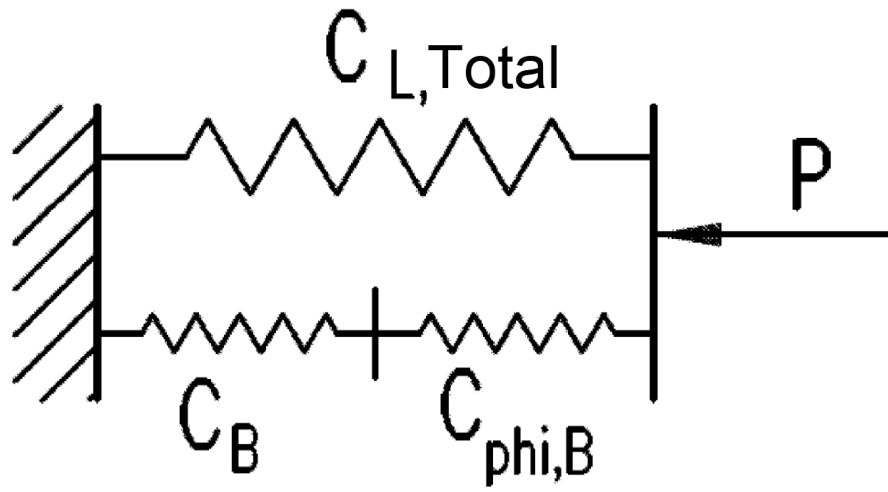


FIG. 7a

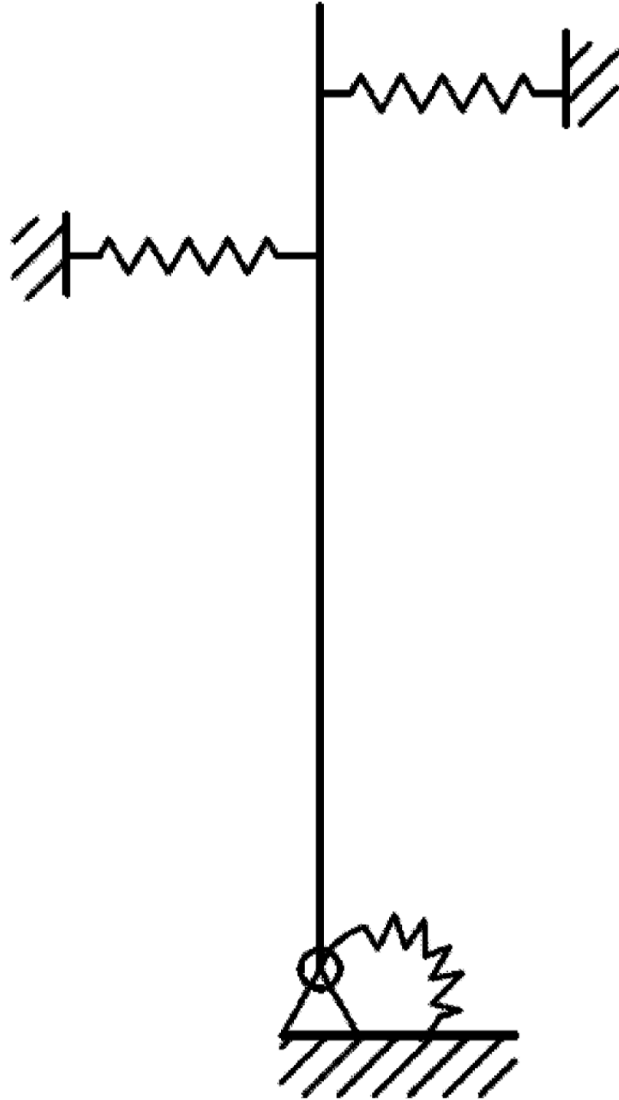


FIG. 7b

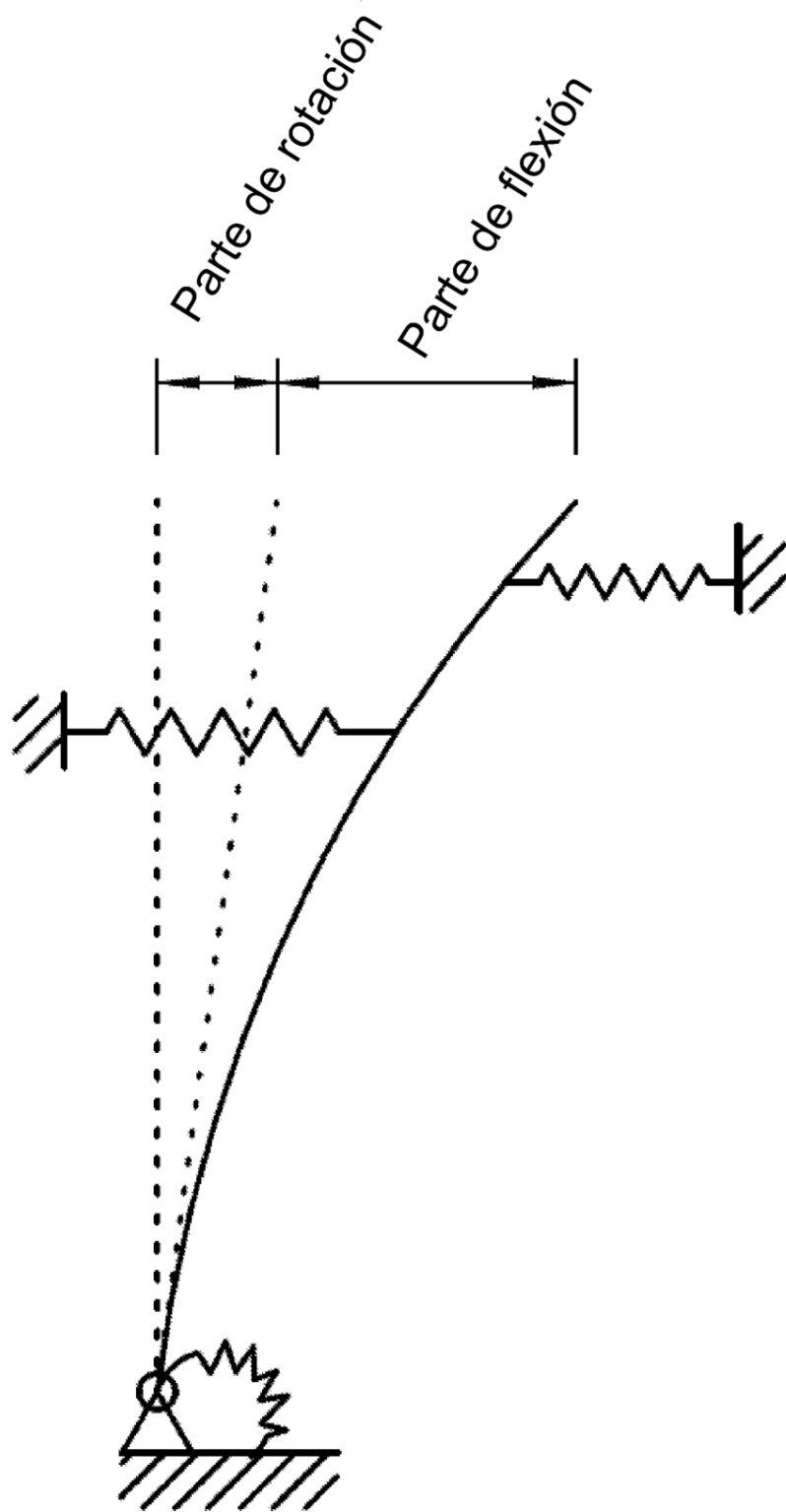


FIG. 7c

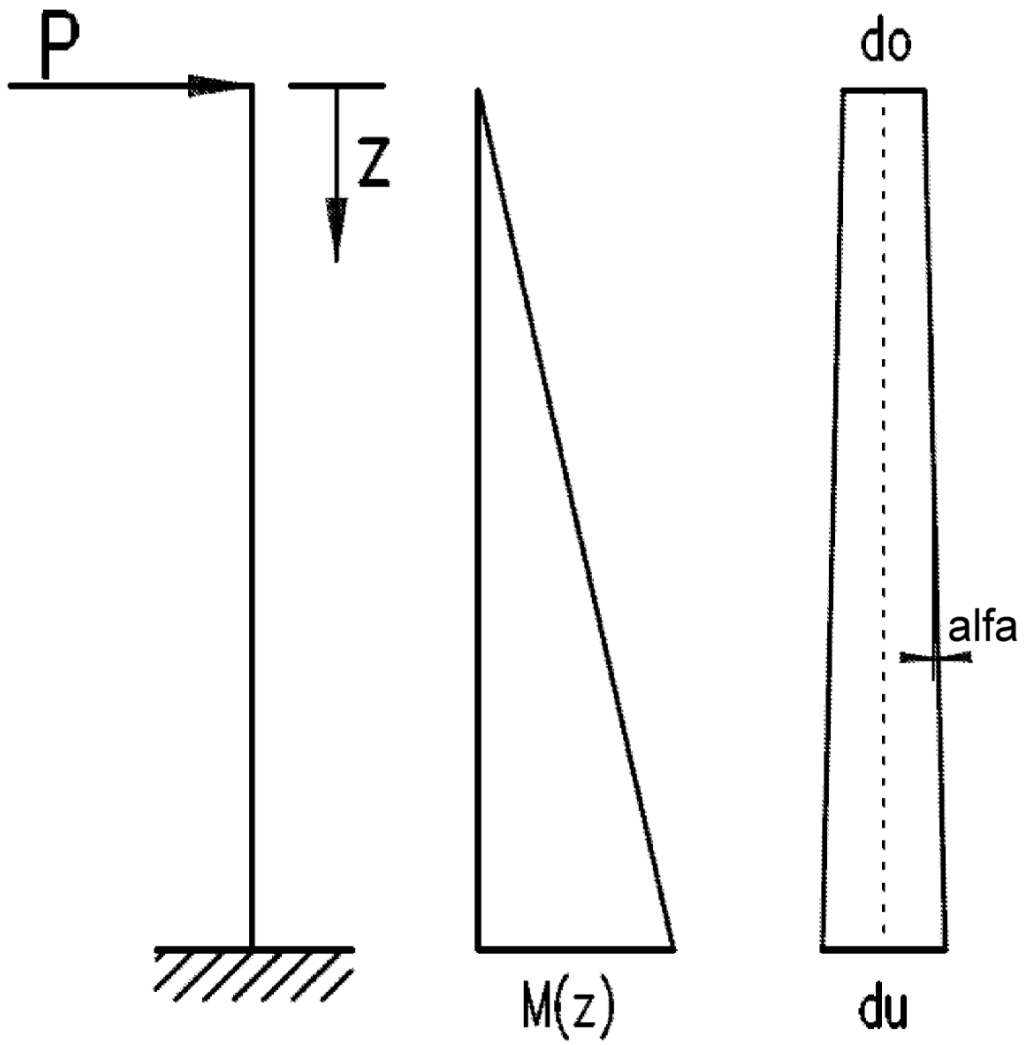


FIG. 8

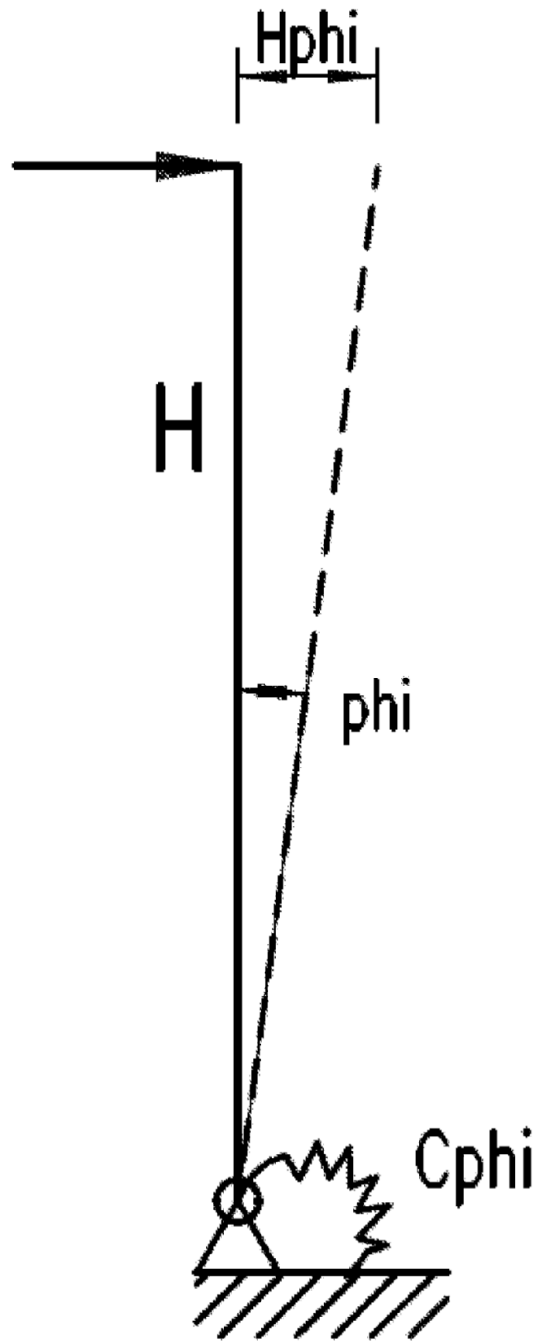


FIG. 9

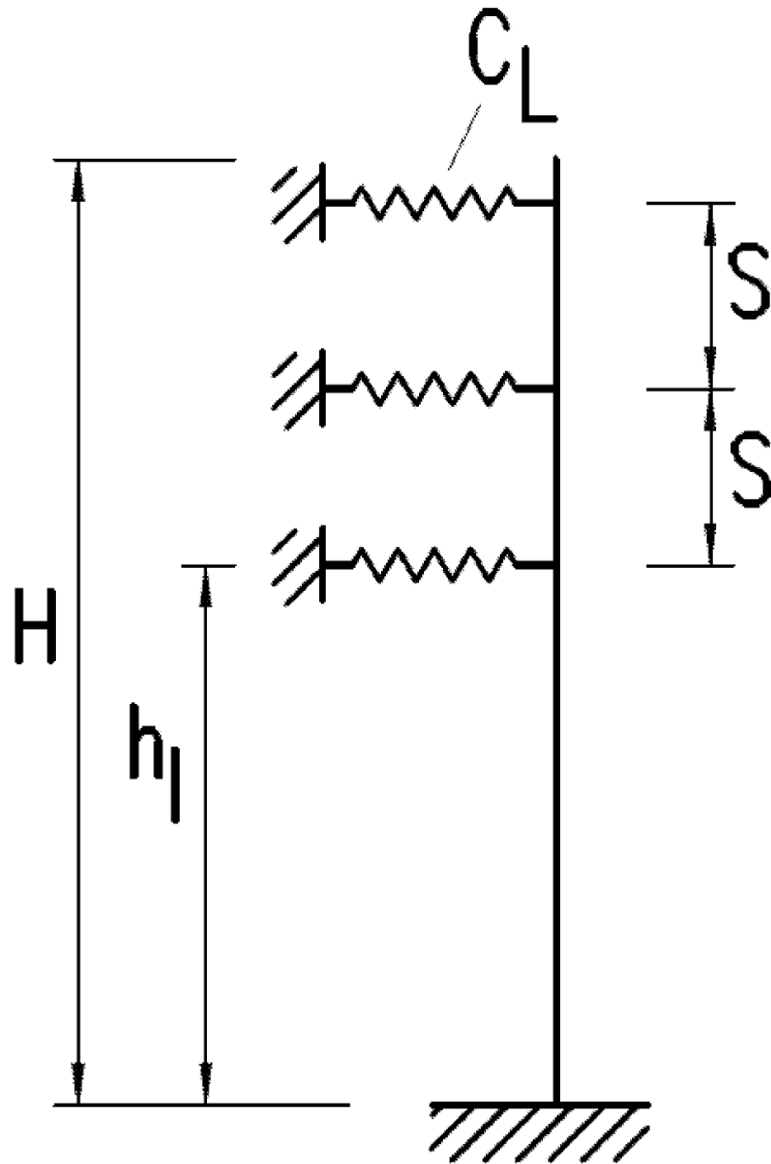


FIG. 10

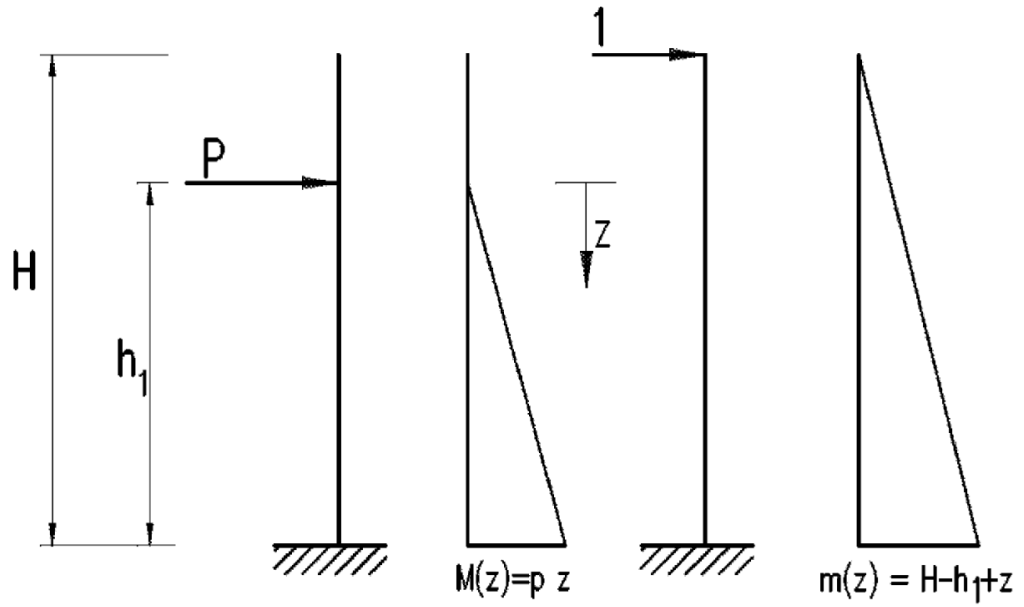


FIG. 11

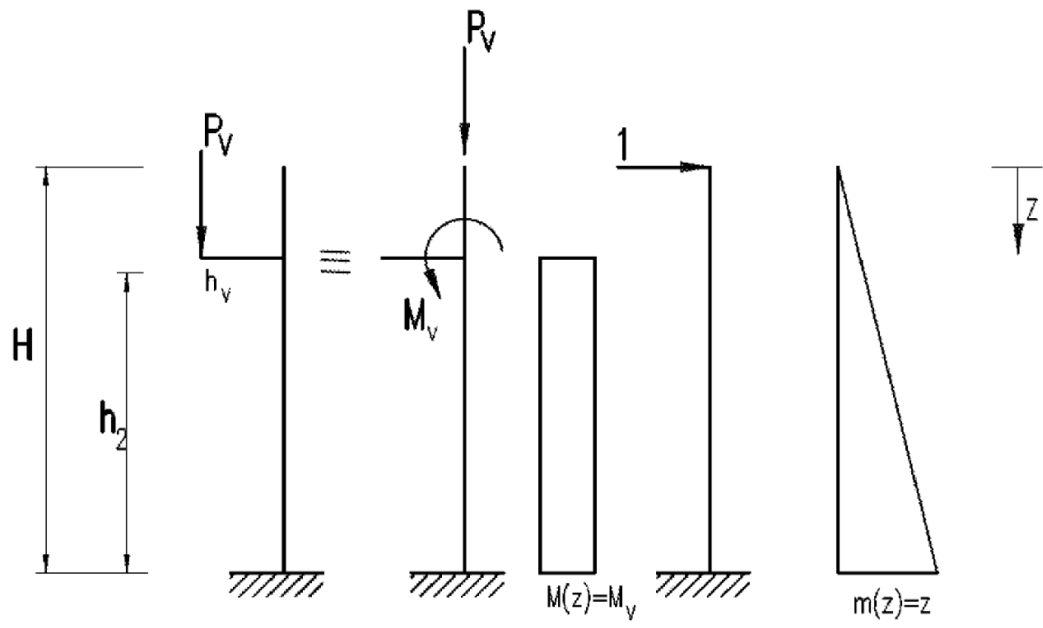


FIG. 12

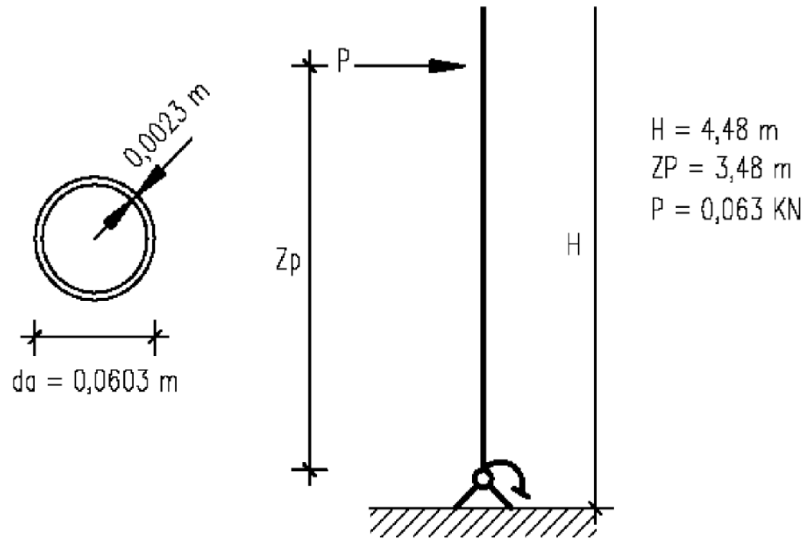


FIG. 13

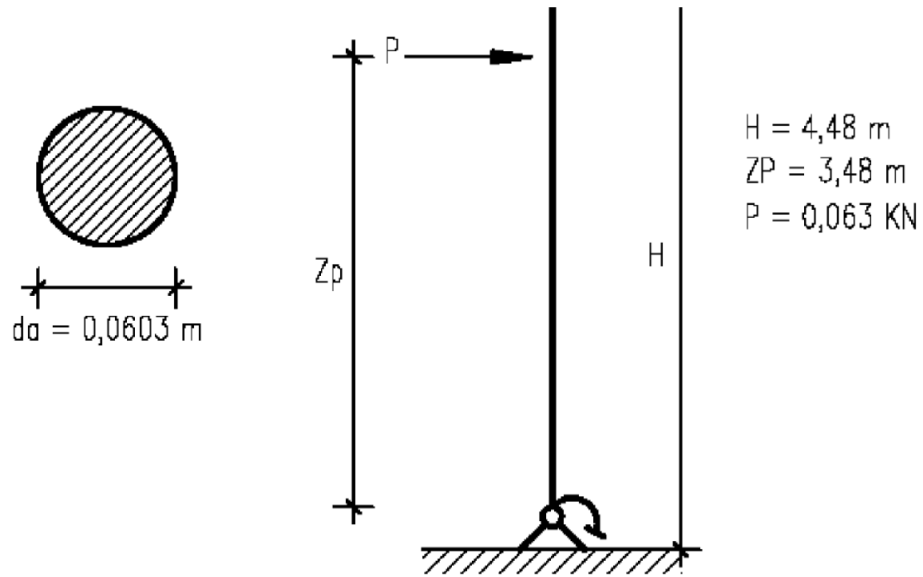


FIG. 14

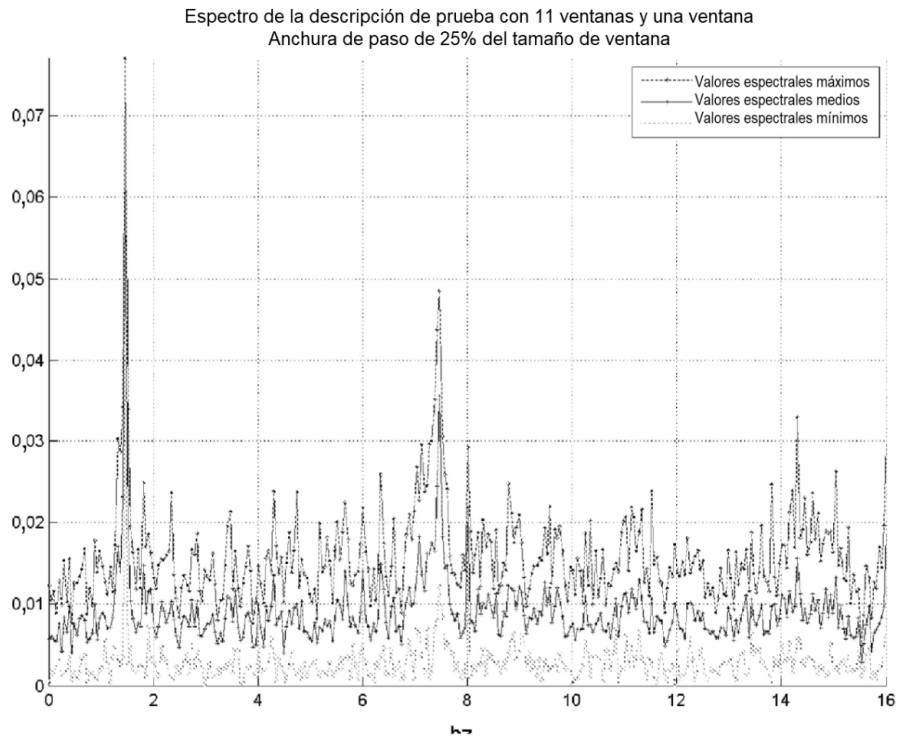


Fig. 15

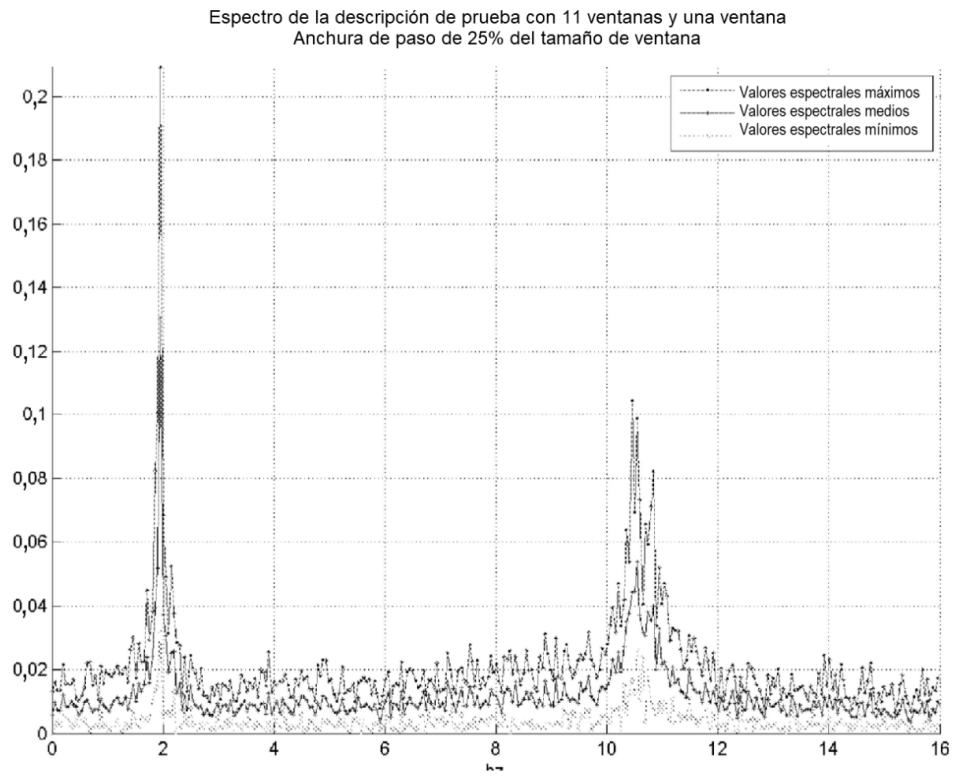


FIG. 16

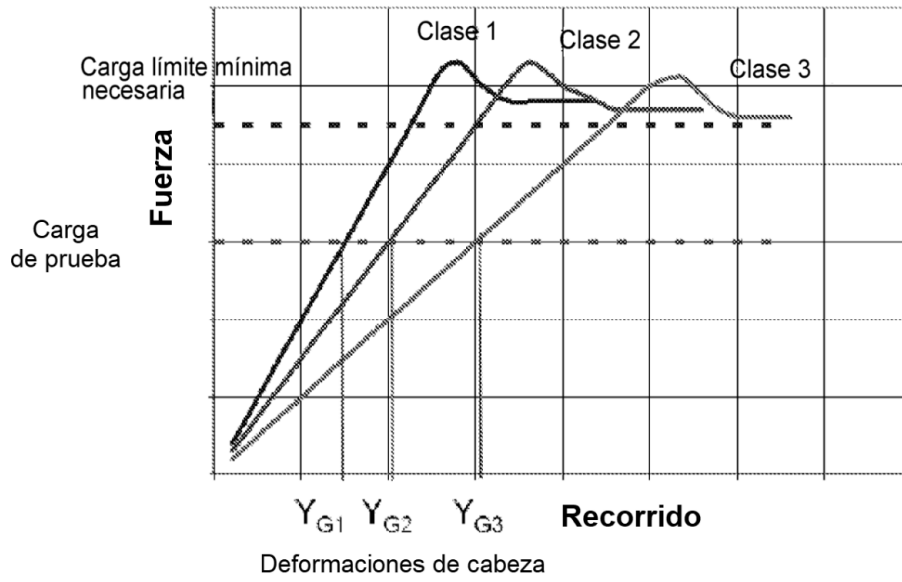


FIG. 17

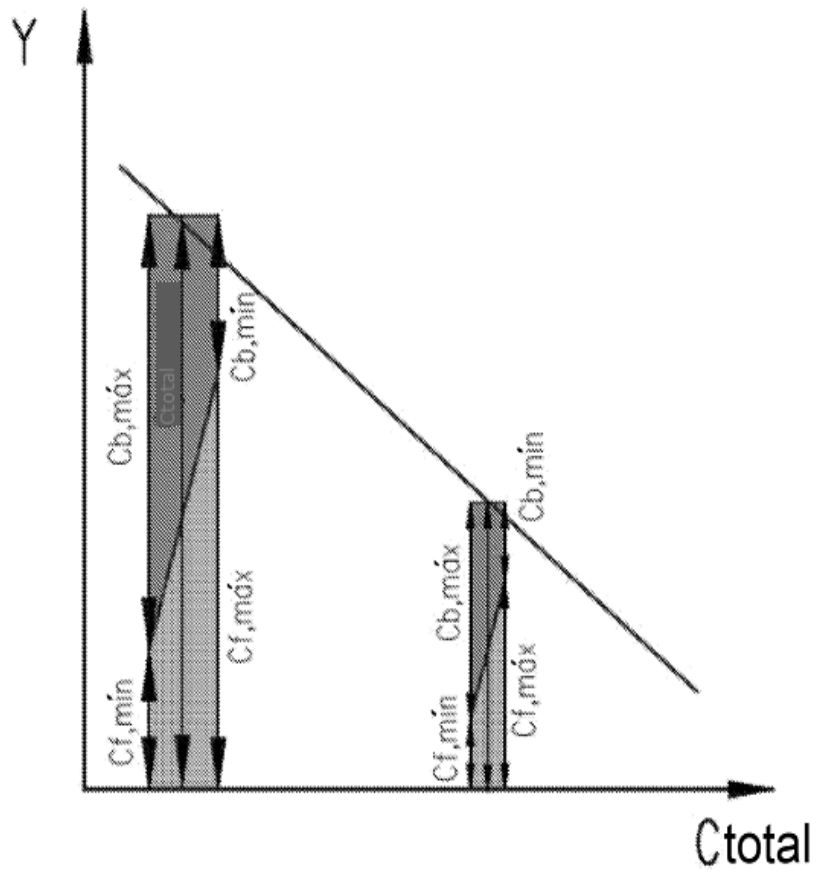


FIG. 18