

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 574 084**

51 Int. Cl.:

G01N 3/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2011** **E 11425235 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2016** **EP 2570789**

54 Título: **Método para estimar la resistencia a la fatiga de un cable**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.06.2016

73 Titular/es:

**REDAELLI TECNA S.P.A. DIVISIONE TECI
(100.0%)
Piazzale Libia 2
20135 Milano (MI), IT**

72 Inventor/es:

CLERICI, FRANCO

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 574 084 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

Método para estimar la resistencia a la fatiga de un cable

5 Los cables de hilo de acero son dispositivos mecánicos realizados según diversas configuraciones de un número variable de hilos y filamentos, destinados a la transmisión de fuerza y movimiento en la dirección axial. Mientras que funciona, el cable se enrolla normalmente en un cabestrante, atraviesa entonces una serie de componentes tales como por ejemplo rodillos y poleas y finalmente se conecta a la carga a ser movida. Inevitablemente, tanto los componentes que intervienen en el funcionamiento del cable como las tensiones que se derivan de las cargas aplicadas, contribuyen a un daño progresivo causado por el desgaste del cable, hasta que se alcanza un nivel máximo de daño permisible (criterio de desecho), más allá del cual el cable no se puede usar más dado que no es capaz más de funcionar de una manera segura y eficiente.

10 Normalmente, el número de ciclos de flexión sostenibles se estima en base a la fórmula de Feyrer, como se ilustra en los documentos XP788699, XP2669103 o en el documento "Calculating the service life of running steel wire ropes" de R. Verreet.

15 La posibilidad de proporcionar una fórmula de cálculo que, en base, en primer lugar, a una medición empírica, sea capaz de cuantificar la resistencia a la fatiga de un cable, implica indudablemente ventajas apreciables, como por ejemplo:

- la posibilidad de un usuario de elegir el cable más adaptado a sus propias necesidades y una vez que se hace la elección, estimar la duración del cable en condiciones ordinarias de uso y carga con un buen nivel de precisión, además suponiendo posibles operaciones de mantenimiento;
- 20 - la posibilidad, en el paso de diseño, de individualizar y corregir los posibles puntos críticos del sistema;
- la posibilidad, después de la instalación del cable, de individualizar los puntos más sujetos a daño y planear consecuentemente posibles operaciones dirigidas de control y/o mantenimiento.

25 La solución descrita según la presente invención proporciona un método de estimación, basado principalmente en parámetros de cálculo empíricos de la resistencia a la fatiga de un cable; dicho método que es aplicable sin limitaciones casi a cualquier tipo de cable, solamente a condición de que algunos parámetros necesiten ser reajustados.

30 Desde un punto de vista de trabajo el método, que comienza a partir de información de entrada conectada con la geometría del sistema, la carga y el tipo del cable, permite calcular el daño proporcionado al cable por cada componente del sistema individual con un buen margen de precisión y, en virtud del principio de efectos que se solapan estimar el número total de curvas que puede resistir el cable antes de alcanzar los criterios de desecho.

35 En particular, el daño causado al cable por los componentes del sistema individuales, es decir, la pérdida de flexión total del cable, se determina por el producto entre el daño que se deriva de la misma geometría del componente (pérdida de flexión debida a la geometría) y el conectado con la carga (intensificador de daño debido a la carga). De esta forma, se obtiene que la inversa de la suma del daño que se deriva de los componentes individuales determina las denominadas Curvas estimadas de fatiga del cable de hilos, es decir, el paso de cada parte individual del cable a través de todos los componentes que constituyen el sistema: sobre la base de que dicho resultado es posible, por lo tanto, para estimar la calidad total del sistema y estimar cuánto tiempo durará el cable antes de ser sustituido. Está claro que, dado que son datos principalmente empíricos, cuanto más exactos y actualizados sean estos datos, más realista y fiable será el resultado obtenido.

40 Así, el número obtenido como resultado de la aplicación de la fórmula propuesta corresponde a la estimación del número de pasos que cada parte del cable puede proporcionar en cada componente del sistema antes de alcanzar el final de su propia resistencia a la fatiga; esto no se refiere al punto de rotura del cable, sino al momento en el que el mismo no se puede usar más dado que no está más en las condiciones de satisfacer los parámetros mínimos de seguridad y eficiencia necesarios.

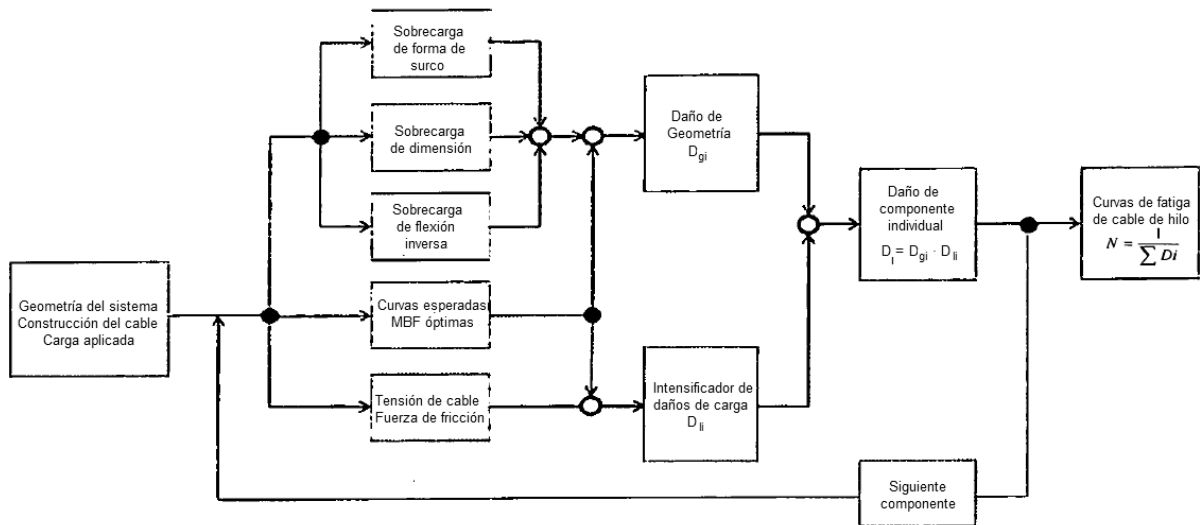
45 Las características operativas y la innovación del método objeto de la presente invención se destacará mejor en la siguiente descripción detallada del mismo, la cual se refiere al dibujo 1/1, donde en particular:

- la figura 1 representa el ángulo de bobinado alrededor de un componente;
- la figura 2 representa el ángulo de desviación máximo de un cierto componente con respecto al precedente;
- 50 - la figura 3 representa el surco de un componente y su ángulo de apertura total relativo (ángulo de apertura de surco);
- la figura 4 representa la distancia de bobinado inversa (longitud de flexión inversa).

Como se expresó previamente, el método se basa sustancialmente en datos empíricos; más en particular, los datos de entrada consisten en los siguientes:

- d: diámetro nominal del cable expresado en mm;
- k: coeficiente de torsión del cable, dado por la relación entre el paso de torsión y el diámetro;
- 5 - MBF: carga de rotura del cable expresado en kN;
- F: carga aplicada a cada componente del sistema expresada en kN;
- geometría de los componentes del sistema, es decir:
 - ángulo de bobinado α , expresado en grados (*) y el diámetro D del componente 1, expresado en mm, a partir de los cuales es posible obtener la relación de bobinado d/D (figura 1);
 - 10 - ángulo de desviación máximo α_F con respecto a un componente previo 1' o el siguiente 1'', expresado en grados (figura 2);
 - ángulo de apertura α_{G0} del surco 2, expresado en grados, así como el diámetro G_0 del mismo surco 2, expresado en mm (figura 3);
 - 15 - la distancia de bobinado inverso L, es decir, la distancia entre dos componentes (1, 1') en caso de que el lado delantero del cable llegue a ser el lado trasero del siguiente componente 1', expresado en mm (figura 4). Para la hipótesis en que el valor inverso L no esté disponible, se toma $L = 10^8$.

El funcionamiento del método se esquematiza como sigue:



Comenzando a partir de los datos de entrada descritos, se calculan primero los parámetros conectados con estas tres áreas de influencia principales, es decir:

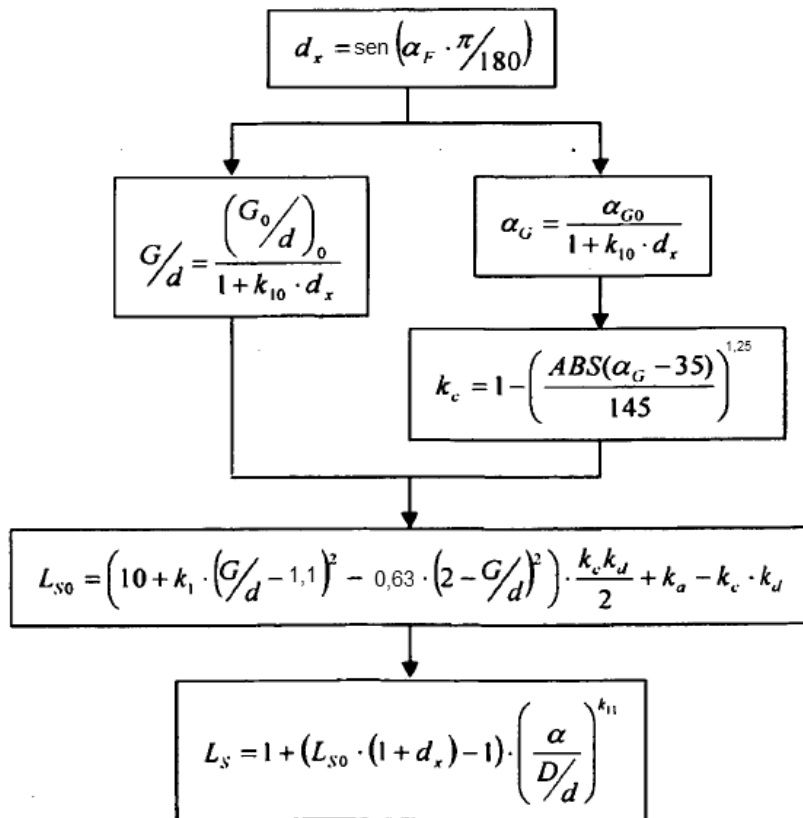
- el debido a la sobrecarga que deriva de la geometría del sistema;
- el conectado con las características intrínsecas del cable;
- el que deriva de la carga aplicada.

Las características intrínsecas del cable están vinculadas sustancialmente con el tipo de estructura y la carga de rotura necesaria, es decir, los parámetros capaces de determinar el nivel de resistencia así como la eficiencia que se deriva del nivel de interacción de los hilos. Se estima por lo tanto el número de curvas esperadas que caracterizaría el cable en condiciones de laboratorio, suponiendo una carga de rotura óptima y un nivel de resistencia de manera que se maximice la eficiencia; a partir de la combinación entre el número esperado de curvas y la sobrecarga vinculada con la geometría del sistema se deriva el daño de geometría mientras que a partir de la combinación entre la carga de rotura óptima, tensión óptima y fricción interior se deriva el factor intensificador de daño de carga.

El producto entre el daño de geometría (D_{gi}) y el intensificador de daño de carga (D_{li}) determina el daño total que depende de cada componente 1 (daño de componente individual – $D_i = D_{gi} \times D_{li}$).

Los cálculos descritos se hacen entonces en relación a cada componente 1 del sistema: a continuación, en virtud del principio citado de efectos que se solapan se obtiene la medida del daño total por medio de la suma inversa de los daños individuales lo que provoca el número total de curvas de fatiga de cable de hilo; como se expresó previamente, este valor corresponde al número de pasos que cada parte del cable es capaz de proporcionar en cada componente 1 del sistema antes de alcanzar los criterios de desecho.

Analizando en detalle los cálculos individuales que caracterizan el método, a fin de determinar la sobrecarga que deriva de la dimensión de los surcos 2 (sobrecarga de forma de surco – L_S) se necesita, en primer lugar, proceder haciendo las correcciones adecuadas a las relaciones de geometría intervinientes entre el cable y el componente 1, considerando también la posible presencia de ángulos de desviación α_F a lo largo de la trayectoria del cable; tal paso se necesita dado que si el cable no entra en el componente 1 en la dirección coincidente con el eje simétrico del surco 2, es decir, perpendicularmente al eje simétrico del mismo componente 1, el surco 2 tendrá un diámetro d aparentemente más ancho que el dato real, influyendo de esta manera consecuentemente los datos relativos a la fuerza de reacción y el daño proporcionado. Dicho resultado se obtiene por medio de los siguientes pasos:



15 Donde:

D_x : aumento en el diámetro aparente del cable debido al efecto de desviación

G/d : relación entre el diámetro del surco y del cable corregida considerando la desviación

α_G : ángulo de surco corregido considerando la desviación

K_C : coeficiente de corrección

20 L_{S0} : sobrecarga de referencia

$K_{10}, K_{11}, K_1, K_a, K_d$ = coeficientes de corrección

La sobrecarga debida a la dimensión del componente (Sobrecarga dimensional – $L_{D/d}$) indica el daño conectado con las diferentes relaciones de bobinado entre el cable y el componente 1 del sistema (relación de flexión – D/d) y resulta de la siguiente fórmula:

$$L_{D/d} = k_{13} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{D}{d}^{-0.9} \cdot \left(\frac{\alpha}{D/d} \right)^{k_{11}} \right)$$

donde k_{11} , k_{13} son coeficientes de corrección.

Cuanto más baja sea esta relación, más se supone que trabajará el cable en condiciones de ángulos de flexión altos.

- 5 La sobrecarga debida al bobinado (sobrecarga de flexión inversa – $L_{D/d}$) cuantifica el daño del cable cuando dos componentes 1, 1' dispuestos en una distancia cercana entre sí, fuerzan a este último a cambiar la dirección de flexión, con la consecuencia de que los componentes individuales del mismo cable (hilo, filamentos) tienen que resistir curvas muy fuertes y con direcciones discordantes. La sobrecarga de flexión inversa resulta de la siguiente fórmula:

$$L_{L/d} = 1 + 100 \cdot \left(\frac{1,25}{L/d} \right)^2$$

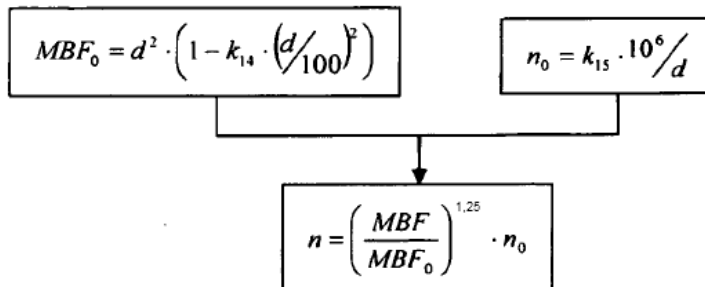
10

Cuanto más intensa sea la sobrecarga, más reducida será la distancia entre los dos componentes.

La carga de rotura óptima MBF_0 corresponde enteramente a la carga de un cable que tiene un compromiso válido entre la resistencia de los hilos y el nivel de ductilidad: de hecho, un valor de resistencia extremadamente alto conduce indudablemente a una ventaja en términos de carga de rotura, pero, dado que implica una reducción extrema en la ductilidad de los hilos (y así poca inclinación al estiramiento de los mismos) es algo limitante para la resistencia a la fatiga total del cable.

15

El número de curvas esperadas n representa un valor independiente tanto de la geometría total del sistema como de la carga aplicada, dependiendo a la inversa solamente del tipo del cable; se deriva de una combinación entre la carga de rotura óptima y el número ideal de curvas que el cable proporciona en condiciones estándar de laboratorio:



20

donde:

N_0 = número ideal de curvas

K_{14} ; K_{15} ; coeficientes de corrección.

- 25 La tensión del cable T en cada componente 1 se determina por la relación entre la carga aplicada al cable y la eficiencia del componente 1; esta última indica las pérdidas de carga debidas al contacto y la fricción entre el cable y el componente 1 y depende de las presiones (a su vez dependientes de la relación de bobinado) generadas por la sobrecarga debida a la forma del surco 2, al ángulo de bobinado α y a la carga aplicada.

Donde:

P = presión de contacto entre el cable y el componente del sistema

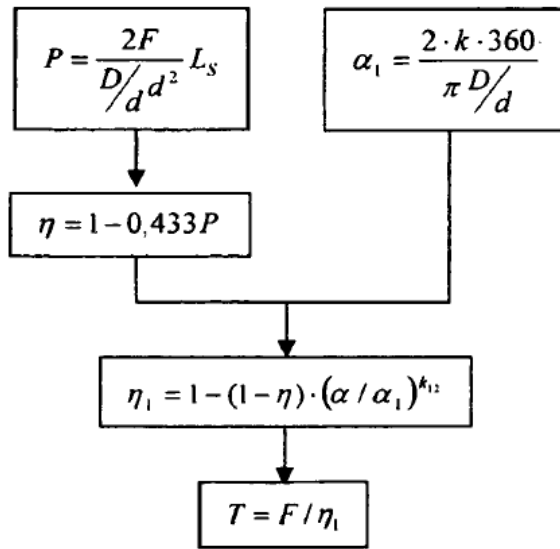
30

η = eficiencia del componente

α_1 = ángulo base, que corresponde al bobinado de dos pasos de cable en el componente

η_1 = eficiencia corregida sobre la base del ángulo de bobinado en el componente

k_{12} = ángulo de corrección vinculado con el ángulo de bobinado en el componente.



El cálculo de la fuerza F_b depende en su lugar de la fricción interior al cable, que se deriva del contacto continuo entre los hilos individuales que lo constituyen; por lo tanto, se observa cómo dicho daño que se deriva de la fricción perdura también en la hipótesis de que el cable se tense mínimamente.

5

Los cálculos se hacen según lo siguiente:

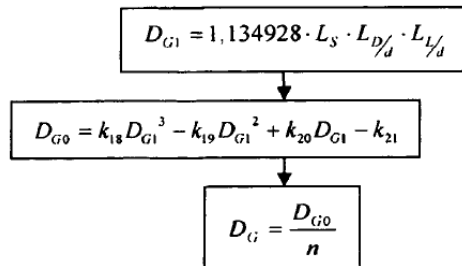
$$F_B = k_{16} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^{k_{17}} \cdot d^2 / 1000$$

Donde:

k_{16} ; k_{17} son coeficientes de corrección.

10 El daño de geometría D_G se determina por la combinación de las sobrecargas determinadas previamente, es decir:

- sobrecarga de geometría total (D_{G1});
- daño de geometría de referencia (D_{G0});
- curvas esperadas (n);



15 donde:

$K_{18...21}$ son coeficientes de corrección.

El intensificador debido a la carga D_L se representa por una función logarítmica que depende del coeficiente de trabajo (es decir, un indicador de cuánto se tensa el cable sobre la base de su propia carga de rotura) y se expresa según el siguiente esquema:

$$W_F = \frac{MBF_0}{T + F_B}$$

$$D_L = \frac{1}{0,7785 \ln(W_F) - 0,2529}$$

donde:

WF = factor vinculado con la carga de trabajo

MBF₀ = carga de rotura óptima calculada en la sección 5.4

5 T = tensión del cable

F_B = fuerza de fricción.

Una vez que se calculan el daño de geometría y el intensificador debido a la carga, a partir del producto de los dos factores

$$D_i = D_{Gi} \cdot D_L$$

10 es posible obtener el daño total para cada componente 1.

Por medio de la iteración de dicho cálculo en relación a cada componente 1 y operando consecuentemente el inverso de la suma de los daños totales individuales, se obtiene el valor relativo a la duración del cable expresado en número de curvas, es decir, sobre la base de los pasos que la parte individual del cable puede hacer a lo largo de todos los componentes antes de alcanzar el final de su propia resistencia a la fatiga útil:

$$N = \frac{1}{\sum D_i}$$

15 Como se expresó previamente, dicho método se puede aplicar en relación a cualquier tipo de cable a condición de que los diversos parámetros se reajusten adecuadamente, según las características adecuadas de cada tipo individual.

20 En vista de las ventajas citadas en términos de posibilidad de individualización de los puntos más críticos del sistema, así como de la planificación suficientemente exacta de las operaciones de mantenimiento y control, por lo tanto está clara la ventaja total del sistema que se deriva de la aplicación de dicho método.

REIVINDICACIONES

1. Un método para estimar la resistencia a la fatiga de un cable, capaz de permitir la elección de parámetros estructurales y funcionales del cable sobre la base del número de pasos del cable a través de cada componente (1) del sistema de trabajo, caracterizado por los siguientes pasos:

- 5 a. cálculo de los parámetros conectados con las tres áreas de influencia principales: la sobrecarga que se deriva de la geometría del sistema, las características intrínsecas del cable y la carga aplicada;
- b. estimación de las curvas esperadas del cable en condiciones de laboratorio;
- c. estimación de tensión y fricción interior del cable;
- 10 d. combinación entre el número esperado de curvas y la sobrecarga vinculada con la geometría del sistema que deriva el daño de geometría D_{gi} ;
- e. combinación entre la carga de rotura óptima, la tensión óptima y la fricción interior que deriva el factor intensificador de daño de carga D_{li} ;
- f. producto entre el daño de geometría D_{gi} y el daño de carga D_{li} que determina el daño total dependiendo del componente (1) individual;
- 15 g. los cálculos de pasos a-f se hacen en relación a cada componente (1) del sistema;
- h. se obtiene una medida del daño total, en virtud del principio de efectos que se solapan, por medio de la suma inversa de los daños individuales, lo que provoca el número total de curvas de fatiga del cable de hilos que el cable de hilos puede experimentar antes de alcanzar los criterios de desecho.

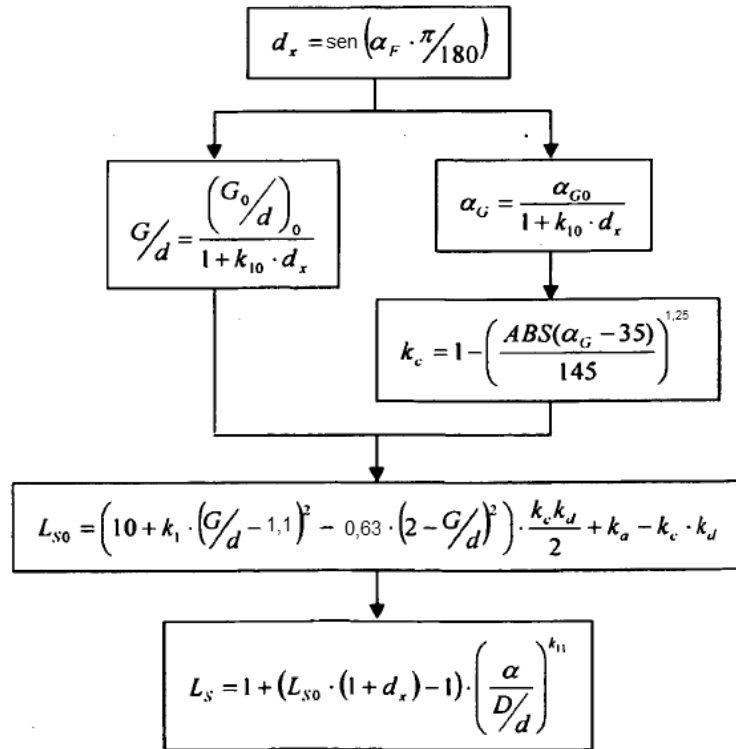
20 2. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que el valor de la resistencia a la fatiga útil del cable, expresado en número de curvas, se da por la inversa de la suma de los daños individuales proporcionados por los componentes (1) individuales del sistema, según lo siguiente:

$$N = \frac{1}{\sum D_i}$$

25 3. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que el daño que depende de cada componente (1) D_i se determina por el producto entre el daño de geometría D_{gi} y el factor intensificador debido a la carga D_{li} , según lo siguiente:

$$D_i = D_{Gi} \cdot D_{Li}$$

4. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que la sobrecarga debida a la forma de los surcos (2) L_s se determina según lo siguiente:



donde:

- d_x representa el aumento en el diámetro aparente del cable debido al efecto de desviación
- G/d representa la relación entre el diámetro del surco y del cable corregida considerando la desviación
- 5 - α_G representa el ángulo de surco corregido considerando la desviación
- k_c representa el coeficiente de corrección
- L_{S0} representa la sobrecarga de referencia
- $k_{10}, k_{11}, k_1, k_a, k_d$ representan los coeficientes de corrección.

10 5. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que la sobrecarga debida a la dimensión de los componentes (1) individuales $L_{D/d}$ se determina según lo siguiente:

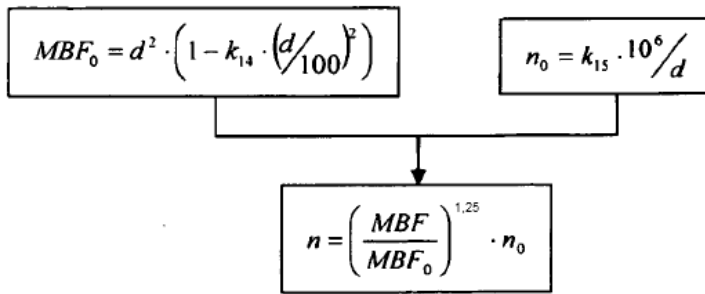
$$L_{D/d} = k_{1,3} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{D}{d}^{-0,9} \cdot \left(\frac{\alpha}{D/d} \right)^{k_{11}} \right)$$

donde k_{11}, k_{13} son coeficientes de corrección.

6. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que la sobrecarga debida al bobinado $L_{L/d}$ se determina según lo siguiente:

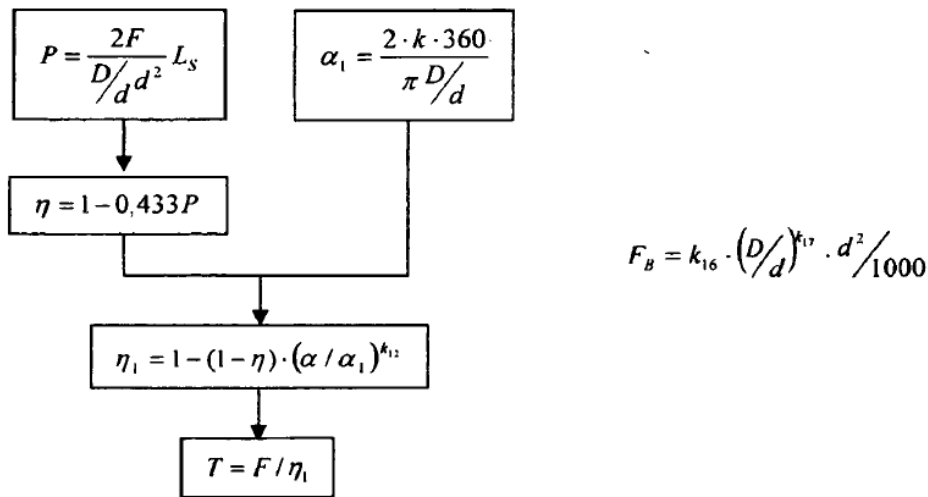
$$L_{L/d} = 1 + 100 \cdot \left(\frac{1,25}{L/d} \right)^2$$

15 7. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que la carga de rotura óptima MBF_0 se determina según lo siguiente:



donde k_{14} , k_{15} son coeficientes de corrección.

8. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que la tensión del cable T y la fuerza de fricción Fb se determinan según lo siguiente:



5

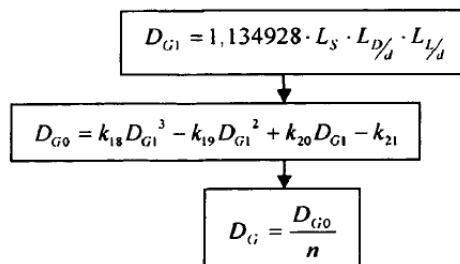
Donde:

- P representa la presión de contacto entre el cable y el componente del sistema
- η representa la eficiencia del componente
- α_1 representa el ángulo base, que corresponde al bobinado de dos pasos de cable en el componente

10

- η_1 representa la eficiencia corregida sobre la base del ángulo de bobinado en el componente
- k_{12} representa el ángulo de corrección vinculado con el ángulo de bobinado en el componente
- k_{16} , k_{17} son coeficientes de corrección.

9. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que el daño de geometría Dg se determina según lo siguiente:



15

donde:

- D_{G1} representa la sobrecarga de geometría total;
- D_{G0} representa el daño de geometría de referencia;
- n representa el número de curvas esperadas;
- 5 - $k_{18...21}$ representan los coeficientes de corrección.

10. El método según la reivindicación 2, caracterizado por que el intensificador debido a la carga D_L se determina según lo siguiente:

$$W_F = \frac{MBF_0}{T + F_B}$$

↓

$$D_L = \frac{1}{0,7785 \ln(W_F) - 0,2529}$$

donde:

- 10 - W_F representa el factor vinculado con la carga de trabajo
- MBF_0 representa la carga de rotura óptima
- T representa la tensión del cable
- F_B representa la fuerza de fricción.

11. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que los datos de entrada son parámetros empíricos.

12. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se puede aplicar a cualquier tipo de cable, tras cambiar los parámetros de entrada y los coeficientes de corrección.

20

Tabla 1/1

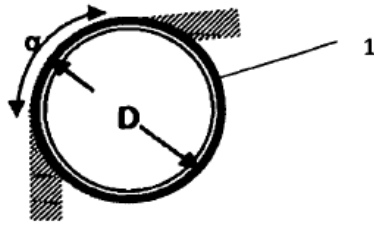


Figura 1

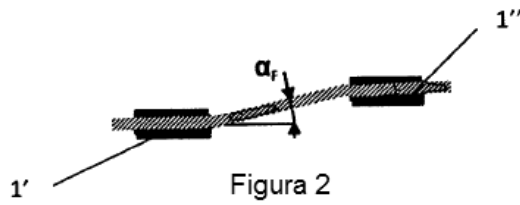


Figura 2

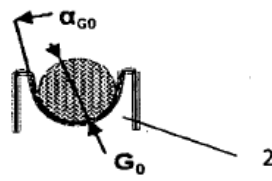


Figura 3

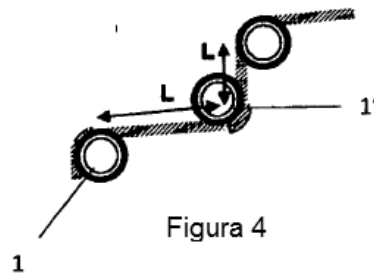


Figura 4