



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 296 461**

⑫ Número de solicitud: 200501825

⑬ Int. Cl.:
H01B 13/02 (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

⑮ Fecha de presentación: **26.07.2005**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **16.04.2008**

Fecha de la concesión: **03.10.2008**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **01.11.2008**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:
01.11.2008

⑲ Titular/es: **Universidad de Vigo
Campus Universitario Lagoas Marcosende
36310 Vigo, Pontevedra, ES**

⑳ Inventor/es: **Martínez-Peñalver Freire, Carlos;
Lorenzo López, José Carlos;
Marcos Acevedo, Jorge;
Lago Ferreiro, Alfonso;
Doval Gandoy, Jesús;
Nogueiras Meléndez, Andrés Augusto;
Vilas Iglesias, José Manuel;
Rodríguez Martínez, Benito;
Camiña Kaphammel, Ana y
Caballero Campo, Belén**

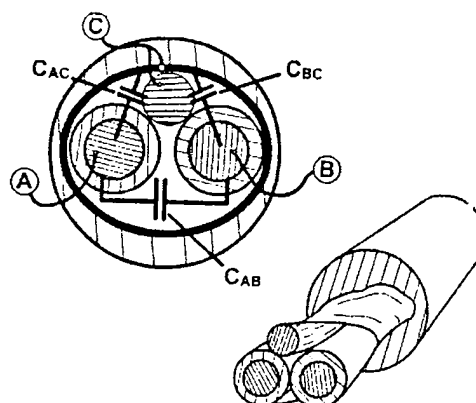
㉑ Agente: **No consta**

㉒ Título: **Procedimiento de predicción y control de la capacidad de un cable de par trenzado con drenaje, apantallado con lámina de doble capa y con cubierta protectora, mediante la variación del paso del trenzado.**

㉓ Resumen:

Procedimiento de predicción y control de la capacidad de un cable de par trenzado con drenaje, apantallado con lámina de doble capa y con cubierta protectora, mediante la variación del paso del trenzado.

El procedimiento permite la predicción y el control de la capacidad eléctrica de un cable de par trenzado determinada por las dimensiones y la naturaleza de los elementos que lo conforman, y controlada mediante el parámetro paso del trenzado. El resultado de su aplicación es la obtención de un cable final de capacidad predefinida o la determinación de las características de diseño del cable a fabricar para satisfacer un valor de esta capacidad. El procedimiento y el producto de su aplicación son de interés en industrias de fabricación de cable destinado a transmisión de señal o a alimentación de circuitos electrónicos.



ES 2 296 461 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de predicción y control de la capacidad de un cable de par trenzado con drenaje, apantallado con lámina de doble capa y con cubierta protectora, mediante la variación del paso del trenzado.

Sector de la técnica

La invención se enmarca en el sector técnico de procesos de fabricación y mejora de características de cable destinado a la transmisión de señales eléctricas o alimentación de circuitos electrónicos.

Estado de la técnica

En la actualidad existen múltiples tipos de cables destinados a transmitir señales eléctricas entre dispositivos electrónicos o a alimentar circuitos electrónicos de finalidades muy dispares. Debido a la repercusión que las características eléctricas de los cables como medios de transmisión presentan en la calidad de las señales a transmitir, se hace necesario el control de las mismas.

Uno de los parámetros eléctricos más importantes de una línea de transmisión eléctrica es la capacidad. El control de la capacidad de un cable permite asegurar cierto comportamiento e integridad en la señal eléctrica que se pretende transmitir por dicho medio físico. Este parámetro se suele obtener empíricamente en ensayos de productos finales ya fabricados o de forma aproximada a través de expresiones genéricas poco precisas, que no tienen en cuenta los parámetros de diseño de ciertos cables especiales. Uno de los cables más empleados en transmisión de señal es el par trenzado, que puede llevar incorporados apantallamiento y cubiertas. Cada uno de estos elementos, en función de sus dimensiones y propiedades físicas, y en función del proceso de fabricación a través del cual se incorporan al cable final, aporta una variación de la capacidad del conjunto que es necesario cuantificar y predecir.

Los sistemas de transmisión de señales por cable estandarizados exigen normalmente un valor máximo permitido de capacidad, pero suelen estar orientados a tipos de cables muy determinados en cuanto a dimensiones y materiales. El control de este parámetro para cables genéricos está abierto a determinaciones más precisas.

Sería deseable, por tanto, obtener una racionalización del proceso de fabricación y un modelo de predicción y control de la capacidad de un par trenzado en función del principal parámetro de diseño del mismo, el paso del trenzado o también el número de vueltas por metro, y en función de las características de los elementos (pantallas, drenajes, cubiertas) que se incorporan al mismo para conformar el cable final. Para ello, la presente invención se centra en un novedoso procedimiento que establece de forma precisa el control de la capacidad de un cable final (Fig. 1) a partir de la selección de los elementos que lo componen, y mediante la variación de las características del trenzado en el proceso de fabricación.

Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a un nuevo procedimiento para el control de la capacidad desde la fabricación de un cable de par trenzado, a partir del control de la relación entre la velocidad de avance y recogida del cable final en la máquina de trenzado y la velocidad de giro del elemento que aporta la torsión a los cables individuales para establecer la hélice final. El nuevo método también predice y cuantifica la influencia del apantallamiento con cinta flexible de doble capa y la cubierta aportada por extrusión al conjunto trenzado sobre la capacidad del cable final.

El primer parámetro que determina este procedimiento es la relación entre el avance y el giro de los conductores en el proceso de trenzado, es decir, el número de vueltas por metro que tiene el trenzado final, que también se caracteriza mediante el paso, o también por el ángulo de avance de la hélice que forman los conductores. A este parámetro fundamental se incorporan los parámetros que definen las características del apantallamiento y la protección con cubierta aislante.

Par trenzado simple

El análisis de la variación de la capacidad del par trenzado respecto al número de vueltas por metro (n), o su inverso, el paso ($p=1/n$), aporta una tendencia positiva de incremento de capacidad conforme aumenta dicha variable (n). El análisis descriptivo de esta característica eléctrica permite concluir que el término que expresa este incremento de capacidad respecto al aumento del número de vueltas por metro depende de la distancia media entre conductores, del espesor del aislamiento, y de la permitividad del medio que rodea los conductores (Fig. 2). Los términos en los que se muestra esta tendencia se establecen según los criterios siguientes:

- El trenzado de un par de conductores para obtener un cable final de longitud predefinida exige una longitud de estos conductores mayor que la del cable final. Es decir, el trenzado implica un incremento de longitud de los cables conforme se reduce el paso para obtener una longitud establecida de cable final. Este aspecto tiene su repercusión en el valor de la capacidad por unidad de longitud del cable trenzado, que sufre un evidente incremento.

- La forma que se origina al trenzar los cables provoca una variación de la capacidad que depende del número de vueltas por unidad de longitud. La reducción del paso del trenzado aproxima las vueltas del cable entre sí, es decir, reduce la distancia entre ellas, y este aspecto provoca un incremento de la capacidad.

Entonces, la expresión de la capacidad por unidad de longitud del par trenzado se establece inicialmente, y sin desarrollar, como se muestra en la ecuación (1):

$$C_{par} = \frac{\pi \epsilon_{eq}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a \cdot s}\right)} [(1 + \Delta l) + \Delta C(n)] = \frac{\pi \epsilon_{eq}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a \cdot s}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r \cdot n)^2 + 1} \right) + \Delta C(n) \right] \quad (1)$$

con la notación:

Δl = incremento de longitud, debido al trenzado, en los cables a trenzar para formar un metro de cable final

d = distancia entre centros de los conductores de los cables que se trenzan

a = radio del conductor de cada cable

s = factor multihilo, que expresa la reducción de área efectiva debido a la utilización de conductores multihilo en lugar de conductores macizos

ϵ_{eq} = permitividad dieléctrica equivalente del medio que rodea a los conductores

$\Delta C(n)$ = incremento de capacidad debida al trenzado, una vez separado el término debido al incremento de longitud

En coherencia con la expresión anterior, los valores de capacidad final difieren entre los distintos modelos de cable empleados en el trenzado en función de la sección, la flexibilidad (debido a que se pueden emplear distintos materiales para el aislamiento) y las dimensiones particulares de cada uno (radio medio y espesor medio del aislamiento). Sin embargo, la tendencia con la que se aproxima el incremento de capacidad respecto al número de vueltas (n), o respecto al ángulo de avance del trenzado (θ), es muy similar en todos los cables. Esta tendencia es la que se muestra en la ecuación (1) en el término $\Delta C(n)$. Este término cuantifica la influencia de la forma helicoidal del par trenzado en la capacidad de los cables. Con el fin de establecer un modelo común a todos los tipos de cables, se parte del caso de cables paralelos ($n=0$); el valor de capacidad para cada modelo de cable en estas condiciones se toma como umbral. Al dividir el valor de capacidad de cada cable, trenzado con un número de vueltas por metro determinado, entre este valor umbral se deduce la relación entre la capacidad del cable en esas condiciones de trenzado y a cero vueltas por metro. En un espectro lo suficientemente amplio de muestras se obtiene la tendencia de variación de la capacidad de cada tipo de cable en función de la variable n ; este modelo lo denominamos **modelo incremental**. **La primera e importante aportación de esta invención es la definición del modelo incremental del cable, que refleja el incremento de capacidad respecto al par sin trenzar y que se ajusta con gran precisión mediante polinomios de tercer orden.** Los valores de los coeficientes de estos polinomios incrementales se establecen a partir de tablas de características y gráficas particulares de cada cable, pero el fabricante puede obtener sus valores mediante ensayos de capacidad según se describe en el apartado de *cálculo del polinomio geométrico*. A partir de este punto cada tipo de cable queda definido mediante el modelo incremental, de tal modo que simplemente con conocer sus dimensiones es posible prever cuál será el valor de capacidad para un número de vueltas por metro determinado, y con un escaso error de estimación.

La variación de la capacidad del par trenzado queda definida en este modelo incremental por medio del **polinomio geométrico**, que aproxima la variación unitaria de capacidad del cable al variar la forma de la hélice del par trenzado. Cada polinomio geométrico (siempre presenta la misma tendencia) aporta la aproximación de la variación de capacidad unitaria (respecto a la capacidad umbral, que es la capacidad entre dos hilos sin trenzar) debido a la compleja forma que los cables toman en el espacio, teniendo en cuenta la deformación que provoca el trenzado en el aislamiento (Fig. 3), y donde los efectos capacitivos aumentan al disminuir el paso porque las espiras que forma cada vuelta de hélice se aproximan, y modifican el campo eléctrico teórico inicial. En consecuencia, se obtiene un modelo de comportamiento de la capacidad del par trenzado según el término expresado a continuación:

$$\Delta C(n) = n \cdot (B_n + C_n n + D_n n^2) = \Delta C(\theta) = \theta \cdot (B_\theta + C_\theta \theta + D_\theta \theta^2) \quad (2)$$

ES 2 296 461 B2

que, al sustituir en la ecuación (1) da lugar a la siguiente expresión para la capacidad (por unidad de longitud) del par trenzado:

$$C_{par} = \frac{\pi \epsilon_{eq}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2as}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r \cdot n)^2 + 1} \right) + (B_n \cdot n + C_n \cdot n^2 + D_n \cdot n^3) \right] \quad (3)$$

donde B_n , C_n , y D_n son coeficientes específicos de cada modelo de cable, y dependen de las dimensiones del cable y del tipo de material del aislamiento. Las variables son vueltas/metro (n) o ángulo de avance del par trenzado (θ). Esta aproximación ajusta, mediante un polinomio de grado tres, el incremento de capacidad debido a la variación del paso de trenzado que presentan los dos conductores partiendo de dos conductores paralelos. La permitividad equivalente será:

$$\epsilon_{eq} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{par} \quad , \quad y \quad \epsilon_{par} = \epsilon_{r1} \cdot (1 - \nu) + \epsilon_{r2} \cdot \nu = (1 - \nu) + \epsilon_{r(aisl.)} \cdot \nu \quad (4)$$

donde:

ν es un factor de forma que incluye el grado de empaquetamiento de los conductores del par, el espesor del aislamiento, el número de hilos y su disposición en cada cable, y las dimensiones del conjunto

ϵ_0 = permitividad dieléctrica del vacío

ϵ_{par} = permitividad relativa equivalente del par trenzado

ϵ_{r1} , ϵ_{r2} = permitividad relativa de los medios 1 y 2 (aislamiento y aire) que rodean a los conductores

$\epsilon_{r(aisl.)}$ = permitividad relativa del material del aislamiento

El factor ν expresa el reparto de espacio en el que actúa el campo electrostático para el aire y el material que recubre los conductores. Pero también se debe añadir que, a pesar de que tanto ϵ como ν se consideran constantes para cada modelo, cada uno de estos parámetros depende de la exigencia del trenzado (del paso de torsión o del número de vueltas por metro), y en un sentido estricto será distinta para cada muestra (se calcula utilizando la expresión anterior de C_{par} con los datos de n y los coeficientes del modelo particular). Sin embargo, la nueva aportación de este modelo propuesto recoge el valor de estos parámetros para una configuración que parte de un par de hilos sin trenzar y añade el término incremental que le corresponde (polinomios anteriores) por el hecho de haber trenzado un número determinado de vueltas. La ϵ de cada material es la misma, pero varía la disposición geométrica del conjunto y, en definitiva, la $\epsilon_{equivalente}$. Este concepto es el que se plantea por medio del **polinomio geométrico** de cada tipo de cable.

Cálculo del polinomio geométrico. El valor de los coeficientes del polinomio geométrico de cada cable se obtiene de tablas (Tabla 1) y gráficas particulares para cada modelo de cable (Fig. 4).

TABLA 1

Coefficientes de los polinomios geométricos de distintos cables

Tipo de cable	Bn	Cn	Dn
Sección conductor: 0.50 mm ² , 16 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.41mm	1,91E-02	2,74E-04	1,66E-06
Sección conductor: 0.75 mm ² , 24 hilos; aislamiento: PVC, espesor: 0.42mm	5,98E-07	6,41E-05	5,52E-03

Si no se dispone de datos para un determinado tipo de cable o para un modelo nuevo, se pueden obtener a partir de ensayos tal y como se indica a continuación. Será necesario elaborar un conjunto de muestras de cable trenzadas con un número de vueltas por metro variable desde cero a un máximo aproximado de $\frac{0,1351}{r}$, donde r es el radio (en metros) del cable a trenzar. Estas muestras deben ser representativas del rango de vueltas/metro permitido, por lo que el conjunto deberá tener un valor de esta característica adecuadamente repartido en todo el rango de vueltas/metro, y la longitud de las mismas no debe ser inferior a un metro. Además, el número de muestras no debe ser inferior a diez para garantizar la validez de los resultados. Cuanto mayor número de muestras, mayor será la precisión del ajuste en la obtención del polinomio geométrico. A las muestras realizadas se deben añadir un mínimo de tres con conductores paralelos ($n = 0$) bien unidos. La finalidad de este último paso es la de obtener un valor fiable de capacidad del par de cables paralelos para utilizar como valor umbral en el proceso de cálculo. Una vez obtenidas las muestras se

procede a realizar la medida de la capacidad en un equipo de medida (capacímetro, analizador de redes, medidor de impedancias) calibrado y con una precisión en la medida del orden de 1 pF. Los ensayos miden capacidad y deben realizarse en condiciones estables de humedad y temperatura, para los cuales los valores de estas características se deben establecer entre un 40% y un 60% para la humedad relativa y en torno a los 23°C para la temperatura. La recopilación de resultados se analiza con la composición de una función matemática que aporta el valor de capacidad y la variable vueltas/m (n). Para obtener una función del modelo incremental, en primer lugar se dividen todos los valores de la capacidad obtenidos entre el valor medio de la capacidad de las muestras de conductores paralelos (n=0). De este modo se obtienen valores porcentuales de incremento de la capacidad respecto al incremento de la exigencia de trenzado. A la nueva colección de valores se le resta el término que representa, para cada valor de n, el incremento de capacidad debido al incremento de longitud de los conductores conforme aumentan las vueltas de trenzado, que se expresa en la ecuación (5). Como resultado se logra un conjunto de valores de capacidad incremental en función de la variable comentada. A partir de ellos se busca una función matemática continua que represente con precisión la tendencia de estos valores. Esta función se establece por ajuste mediante una curva de tendencia modelada con un polinomio de orden 3. La función descrita es el polinomio geométrico del cable que se ensaya. A partir de este resultado se obtienen los valores de los coeficientes, que se pueden guardar en tablas, gráficas o cualquier medio que facilite, en el futuro, la aplicación del procedimiento que se describe en esta patente. También es posible realizar este proceso utilizando como variable el ángulo de avance del trenzado (θ).

$$\Delta C_{\Delta longitud} = \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r \cdot n)^2 + 1} \right) \right] \quad (5)$$

En estas condiciones se establece que la capacidad del par trenzado en el modelo incremental responde a la expresión mostrada en la ecuación (3). Debido a la relación directa que existe entre el ángulo de avance (θ) en el par trenzado y el número de vueltas por metro (n), se establece la ecuación anterior con θ como variable en lugar de n (ecuación (6)):

$$n = \frac{tg\theta}{2\pi \cdot r} ,$$

donde r es el radio de giro de la hélice, que idealmente es igual al radio del conductor (de ahí que se denote con las misma letra).

$$C_{par} = \frac{\pi \epsilon_{eq}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a \cdot s}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(tg\theta)^2 + 1} \right) + (B_{\theta} \cdot \theta + C_{\theta} \cdot \theta^2 + D_{\theta} \cdot \theta^3) \right] \quad (6)$$

Influencia del conductor de drenaje

El conductor de drenaje altera un poco la configuración expuesta anteriormente (Fig. 4). Se introduce con el fin de homogeneizar el contacto de la pantalla con los cables que forman el par trenzado, reducir el efecto de acoplamiento capacitivo entre cables (pantalla y conductores), y mejorar la puesta a tierra desde el punto de vista de la conectividad en el extremo del cable. El resultado obtenido al incluirlo en el cable es el de una triple hélice formada por dos conductores de radios iguales y un tercero (el conductores de drenaje) de radio inferior a los otros (porque no va aislado). Limita un poco más el número de vueltas máximo, aunque debido a que se aporta sin aislamiento y formado por varios hilos conductores, se adapta óptimamente a la forma del cable y su influencia en la disposición de los conductores del par trenzado es poco importante (Fig. 5).

La presencia de este tercer conductor aporta un evidente incremento de capacidad al conjunto anterior tal y como se expresa en la ecuación (7). El conductor de drenaje aporta la mitad de la capacidad que existiría entre él y cualquiera de los conductores de forma aislada y manteniendo la misma configuración geométrica entre ambos.

La capacidad por unidad de longitud (C/l) entre el conductor de drenaje y uno de los conductores del par según la configuración de la (Fig. 6) se expresa como sigue:

$$C/l = \frac{\pi \cdot \epsilon_{eq}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} = \frac{\pi \cdot \epsilon_{eq}}{\cosh^{-1}\left(\frac{(a+e+a')}{2a}\right)} , \text{ y si } a = a', \text{ entonces } C/l = \frac{\pi \cdot \epsilon_{eq}}{\cosh^{-1}\left(\frac{2a+e}{2a}\right)}$$

ϵ_{eq} = permitividad equivalente

a' = radio del conductor de drenaje

e = espesor del aislamiento

Por tanto, y teniendo en cuenta el planteamiento anterior, del que se obtiene que la contribución de la pantalla (en este caso el drenaje, pero desde un punto de vista conceptual es equivalente) a la capacidad del conjunto es la mitad de la capacidad teórica que existe entre ésta y uno de los conductores del par, se obtiene que el incremento de capacidad debido al drenaje ($\Delta C_{\text{drenaje}}$) es:

$$\frac{\Delta C_{\text{drenaje}}}{l} = \frac{1}{2} C_{\text{drenaje-cond}} = \frac{\pi \cdot \varepsilon_{eq}}{2 \cdot \cosh^{-1}\left(\frac{2a+e}{2a}\right)} \quad (7)$$

Al incorporar el conductor de drenaje se contribuye con un incremento de capacidad por unidad de longitud según se expresa en la ecuación (7). A partir de las expresiones anteriores de la capacidad de un par trenzado simple se expresa, teniendo en cuenta el drenaje, como

$$C_{\text{par+drenaje}} = \frac{\pi \varepsilon_{eq, \text{par}}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r_{p+d} \cdot n)^2 + 1} \right) + n \cdot \Delta C_{\Delta n} \right] + \frac{\pi \cdot \varepsilon_{eq \text{cond-drenaje}}}{2 \cdot \cosh^{-1}\left(\frac{2a+e}{2a}\right)} \quad (8)$$

$$C = \frac{\pi \varepsilon_{eq}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a \cdot s}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(tg \theta)^2 + 1} \right) + (B \cdot \theta + C \cdot \theta^2 + D \cdot \theta^3) \right] + \frac{\pi \cdot \varepsilon_{eq \text{cond-drenaje}}}{2 \cdot \cosh^{-1}\left(\frac{2a+e}{2a}\right)}$$

con $\varepsilon_{eq \text{cond-drenaje}}$ = permitividad equivalente entre conductor y drenaje

Deformación. El desarrollo del método de aproximación de la capacidad obtenido mediante el modelado de la deformación del conductor de drenaje es otro factor novedoso en el estado de la técnica. En el caso de conductores de drenaje sin aislamiento se debe considerar la deformación del mismo. Si, además, no está formado por un único hilo rígido, sino por varios hilos levemente trenzados para que no pierdan la forma básica, al igual que los que forman los dos conductores del par, este efecto es más apreciable. En consecuencia, y debido a que este conductor no va protegido por un aislamiento que le permita mantener su forma con pocas variaciones, la sección real del mismo se deforma considerablemente en el proceso de trenzado, sobre todo cuanto más exigente es éste. El término que expresa la variación de capacidad se ve reducida debido a la deformación que aleja notablemente el parecido de la sección transversal de este conductor con la de un círculo (Fig. 7). El procedimiento que se presenta tiene en cuenta este efecto y el resultado se expresa en la ecuación (9):

$$C = \frac{\pi \varepsilon_{eq}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a \cdot s}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(tg \theta)^2 + 1} \right) + (B \cdot \theta + C \cdot \theta^2 + D \cdot \theta^3) \right] + \frac{\pi \cdot \varepsilon_{eq \text{cond-drenaje}}}{2 \cdot \cosh^{-1}\left(\frac{2a+e}{2a \cdot s} \cdot \eta\right)} \quad (9)$$

donde η es un factor de deformación adimensional obtenido de forma experimental, que expresa la pérdida de capacidad por el hecho de que los conductores que forman el drenaje pierden la forma del conjunto original. El valor de este parámetro depende de las dimensiones del conductor y las del par trenzado, y su valor se obtiene de forma empírica, si no se conoce su valor, mediante ensayos de medida de capacidad en los cuales se dispone del resto de parámetros. La permitividad equivalente entre conductor y drenaje también se calcula, si no se conoce previamente, mediante ensayos de capacidad sobre muestras de par trenzado con diferente paso. En coherencia con lo anterior, se puede expresar en función del resto de términos de la ecuación (9):

$$\varepsilon_{eq \text{cond-drenaje}} = \frac{(C_{\text{medida}} - C_{\text{par}}) \cdot 2 \cdot \cosh^{-1}\left(\frac{2a+e}{2a \cdot s} \cdot \eta\right)}{\pi}$$

donde C_{par} se calcula según la ecuación (6) y C_{medida} es la medida de capacidad obtenida en los ensayos, y se cumple de nuevo $\varepsilon_{eq \text{cond-drenaje}} = (1 - \nu) + \varepsilon_{r(\text{aisl.})} \cdot \nu$.

Apantallamiento del par trenzado

Al introducir una pantalla de lámina metálica para mejorar la inmunidad a interferencias electromagnéticas, se aporta un nuevo conductor (Fig. 8). Este conductor va a ejercer un efecto capacitivo sobre los dos conductores del

par, con lo cual se aprecia la evidencia de que aporta un incremento de la capacidad por unidad de longitud. El efecto capacitivo con el que contribuye este nuevo conductor (la pantalla o blindaje) es la mitad de la capacidad real que existiría entre la pantalla y cada uno de ellos por separado en esa distribución geométrica. La pantalla introducida debe recubrir la forma que origina el par de cables trenzados. Las secciones perpendiculares al eje del par que se van sucediendo en el trenzado presentan un giro respecto a la anterior de un cierto ángulo θ_g que depende del ángulo de avance de la hélice (Fig. 9). La adaptación de la pantalla a la forma que adquiere el cable depende directamente de las vueltas/metro del trenzado, y condiciona el valor de la capacidad entre los conductores. El parámetro que determina con mayor influencia la variación de la capacidad entre la pantalla y cada conductor del par trenzado es la distancia entre ellos. Cuando se utiliza un reducido número de vueltas por metro, la distancia media entre la pantalla y los conductores es notablemente menor que cuando se incrementa las exigencias de trenzado. El caso límite por un lado será el de dos conductores paralelos; en este caso la forma que adopta la pantalla sobre el conjunto se aproxima por una elipse de eje mayor definido en la recta que une los centros de los dos conductores del par y de eje menor definido en la recta tangente a los dos conductores en el punto de unión. Al incrementar las exigencias de trenzado se mantiene la longitud del eje mayor de la elipse de aproximación, pero va creciendo el eje menor, hasta un límite en el cual su valor se iguala con el del otro eje; en este caso se tiene una circunferencia (Fig. 10).

El modelo que se aporta deduce la distancia media desde el centro de cada conductor a la lámina enrollada, es decir, la distancia media de un punto situado en el semieje mayor de la citada elipse, a una distancia (r) del centro de la elipse, hasta la citada curva (Fig. 10). Con este dato se aproxima el valor de la capacidad entre el conductor y la cinta como la capacidad entre un conductor central y otro que lo rodea en configuración coaxial a una distancia igual al citado radio medio. La capacidad de este conjunto sigue la expresión:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_{eq,cond-pant.}}{L \left(\frac{d_{m_{cond-pant.}}}{a \cdot s} \right)} \quad (10)$$

donde $\epsilon_{eq,cond-pant.}$ es la permitividad equivalente entre el conductor y la pantalla.

Debido a que existen dos conductores iguales, con un valor de capacidad igual entre cada uno de ellos y el apantallamiento, la contribución real de la pantalla será, entonces, la mitad de lo que cuantifica este término. Es decir, la capacidad medida muestra la capacidad entre los conductores sin apantallar pero también la capacidad entre cada uno de ellos y la pantalla (Fig. 11). Al aumentar el número de vueltas del trenzado se incrementa el semieje menor de la elipse descrita para este modelo, hasta el punto de que para un número de vueltas elevado la elipse tiende a ser una circunferencia. La variación de esta característica está directamente relacionada con el ancho de la cinta y con el ángulo de avance con el que se ha aplicado sobre el par de cables.

El radio medio o distancia media de un conductor del par a la pantalla ($d_{m_{cond-pant.}}$) se establece como la media geométrica de los radios de la elipse citada, $d_{m_{cond-pant.}} = \sqrt{a \cdot b}$, donde a es constante (de valor igual al diámetro de cada cable) y b es un parámetro variable según la expresión $b = r(w') \cdot \delta(n)$. En esta ecuación $r(w')$ es el parámetro variable del semieje de la elipse que depende del paso del trenzado, y $\delta(n)$ es la función de flexibilidad de la cinta respecto el par que apantalla. A su vez, $r(w')$ se calcula como:

$$r(w') = r \cdot \left[\left(1 + \operatorname{sen} \frac{\theta_g}{2} \right) \cdot 1,15 \cdot K(w') + 2(1 - K(w')) \right] = r \cdot \left[\left(\operatorname{sen} \frac{\theta_g}{2} - 0,8182 \right) \cdot 1,15 \cdot K(w') + 2 \right],$$

$$\text{con } w' = \frac{w}{\operatorname{sen} \tau}, \quad \theta_g = 2\pi \cdot n \cdot w', \text{ y}$$

$$K(w') = \begin{cases} 1 & , w' \leq \frac{p}{4} = \frac{\pi \cdot r}{2 \cdot \operatorname{tg} \theta} = \frac{1}{4n} \\ 0 & , w' > \frac{p}{4} = \frac{\pi \cdot r}{2 \cdot \operatorname{tg} \theta} = \frac{1}{4n} \end{cases}$$

donde w es el ancho de la cinta.

Por otra parte, la función de flexibilidad de la cinta al enrollarse sobre el par trenzado se expresa a través de la ecuación siguiente:

$$\delta(n) = \left[1 - u_n \cdot x^{v_n} \cdot e^{w_n \cdot x} \right]_{x=n} = 1 - u_n \cdot n^{v_n} \cdot e^{w_n \cdot n},$$

que también se expresa en función del ángulo de trenzado del par como

$$\delta(\theta) = \left[1 - u_{\theta} \cdot x^{v_{\theta}} \cdot e^{w_{\theta} \cdot x} \right]_{x=\theta} = 1 - u_{\theta} \cdot \theta^{v_{\theta}} \cdot e^{w_{\theta} \cdot \theta},$$

donde **u**, **v** y **w** son coeficientes de la función adimensional δ .

La contribución de la pantalla a la ecuación del conjunto es de la mitad de la capacidad teórica calculada, debido al efecto del otro conductor; de este modo, se expresa la ecuación de la capacidad del par trenzado apantallado como sigue:

$$C = \frac{\pi \epsilon_{eq.}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r \cdot n)^2 + 1} \right) + (B_n \cdot n + C_n \cdot n^2 + D_n \cdot n^3) \right] + \frac{\pi \epsilon_{eq. cond - pant.}}{L \left(\frac{d_{m_{cond - pant.}}}{a \cdot s} \right)},$$

pero como $d_{m_{cond - pant.}} = \sqrt{a \cdot b}$ entonces

$$C = \frac{\pi \epsilon_{eq.}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r \cdot n)^2 + 1} \right) + (B_n \cdot n + C_n \cdot n^2 + D_n \cdot n^3) \right] + \frac{\pi \epsilon_{eq. cond - pant.}}{L \left(\frac{\sqrt{a_{ellipse} \cdot b_{ellipse}}}{a \cdot s} \right)},$$

con $a = d$ y $b = r(w') \cdot \delta(n)$

$$C = \frac{\pi \epsilon_{eq.}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r \cdot n)^2 + 1} \right) + (B_n \cdot n + C_n \cdot n^2 + D_n \cdot n^3) \right] + \frac{\pi \epsilon_{eq. cond - pant.}}{L \left(\frac{\sqrt{d \cdot (r(w') \cdot \delta(n))}}{a \cdot s} \right)} \quad (11)$$

Cálculo de los parámetros de $\delta(n)$ o $\delta(\theta)$

Una de las aportaciones de esta invención es la función de flexibilidad entre cinta de apantallar y cable trenzado. Esta función aporta la reducción de la distancia entre la forma elíptica variable descrita y los conductores del par por el hecho de que la cinta es flexible y permite un cierto grado de adaptación al conjunto que rodea. Los coeficientes **u**, **v** y **w** de la función δ de flexibilidad, tanto si se expresa con θ como variable como si se expresa en función de **n**, dependen de las dimensiones de los conductores del par, de las dimensiones y material de la cinta de apantallar y de la exigencia del trenzado. Esta función expresa la flexibilidad de la cinta y su adaptabilidad a la forma que adopta el cable que apantalla. Los valores se obtienen experimentalmente a partir del análisis de la forma de la pantalla y su repercusión en la capacidad. La comparación de los resultados de los ensayos de capacidad del par con pantalla y sin pantalla permiten obtener la estimación de la influencia de esta función, y como consecuencia establecer los coeficientes de la misma. Esta función presenta un mínimo (que corresponde a la deformación máxima respecto a la forma elíptica descrita y que representa una reducción de la distancia entre la pantalla y los conductores) en el punto $-\frac{v}{w}$, y el punto de inflexión en el punto $-\frac{v + \sqrt{v}}{w}$, con $w < 0$ y $0 < v < 1$. Con estos datos es posible obtener un modelo empírico de utilidad. Es un parámetro específico de cada cable por el hecho de que depende de las características de la cinta pero también de las dimensiones de los cables, del ángulo de avance, del sentido de giro (igual o contrario al del trenzado) y de parámetros del proceso de fabricación como puede ser la fuerza de tracción. Cada fabricante debe establecer para cada cable y proceso una función específica, pero las diferencias no son muy grandes. Se puede realizar un método indirecto alternativo de determinación de la función midiendo la diferencia entre la distancia teórica entre pantalla y conductores y la de un conjunto de muestras reales con diferentes pasos. (Fig. 12).

El valor de la permitividad relativa ϵ para el par trenzado apantallado debe ser conocido. En caso contrario, también es posible obtener su valor al medir la capacidad de un cable del que se conocen el resto de parámetros.

$$\epsilon_{eq. cond - pant.} = \frac{(C_{medida} - C_{par}) \cdot L \left(\frac{d_{m_{cond - pant.}}}{a \cdot s} \right)}{\pi} = \frac{\Delta C_{pant}(n) \cdot L \left(\frac{d_{m_{cond - pant.}}}{a \cdot s} \right)}{\pi},$$

$$\text{con } C_{par} = \frac{\pi \epsilon_{eq.}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r \cdot n)^2 + 1} \right) + (B_n \cdot n + C_n \cdot n^2 + D_n \cdot n^3) \right]$$

Par trenzado con conductor de drenaje y apantallado

El conjunto formado por el par trenzado y el conductor de drenaje en una triple hélice, junto con la lámina de apantallamiento (Fig. 13), presenta unas características similares al caso anterior pero la forma física que se genera en el proceso de fabricación es bastante compleja. Desde el punto de vista de modelado, se establece un incremento de la capacidad del conjunto anterior en el proceso de fabricación (par trenzado con drenaje) por el hecho de aportar un nuevo conductor al realizar el apantallamiento. El estudio teórico de este incremento sigue una línea de razonamiento y deducción análoga a la del caso anterior. En este caso se introduce un conductor intermedio entre la pantalla y el par, que está en contacto con dicha pantalla a lo largo de toda la longitud del cable. El resultado, a efectos de un estudio de capacidades, es la de un par de conductores rodeados por un apantallamiento de una figura poco regular (Fig. 14). Es necesario resaltar dos aspectos:

1°. La forma que aporta la introducción del conductor de drenaje no puede ser considerada con la misma elipse de aproximación, sino una elipse mayor y con distinto valor medio de excentricidad.

2°. El semieje menor (b) de la elipse que modela la nueva situación presenta un rango de variación menor respecto a la variación en el número de vueltas n . Parte de un valor de $1,2r$ y el límite está en el valor del radio del par con drenaje, al cual tiende con mayor rapidez que en el caso simple.

Al igual que en el caso del par simple apantallado, el parámetro de mayor influencia en la variación de la capacidad es la distancia a la que se sitúa la pantalla metálica respecto a cada uno de los conductores. Con el valor de esta distancia media se aproxima el valor de la capacidad entre el conductor y el apantallamiento como la capacidad entre un conductor central y otro que lo rodea (configuración coaxial) a una distancia igual al citado radio medio calculado. Pero al existir dos conductores, la capacidad que se mide entre ambos no es la teórica, sino el equivalente de la configuración en paralelo de la teórica con la suma de la que presenta cada conductor por separado con la pantalla. La contribución real en este caso, si se consideran iguales los dos conductores, es la mitad de lo que cuantifica este término.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_{eq\ cond-pant}}{L \left(\frac{d_{m\ cond-pant}}{a \cdot s} \right)}$$

El paralelismo es claro respecto al caso anterior. Se mantiene el enfoque en el que se resalta que al aumentar el número de vueltas del trenzado se incrementa el semieje menor de la elipse descrita para este modelo, hasta el punto de que para un número de vueltas elevado la elipse tiende a ser una circunferencia. La variación de esta característica está directamente relacionada con el ancho de la cinta y con el ángulo de avance con el que se ha aplicado sobre el par de cables.

El radio medio o distancia media de un conductor del par a la pantalla se calcula como la media geométrica de los radios de la elipse citada. $d_{mcond-pant} = \sqrt{a \cdot b}$, donde a es constante (r_M , radio mayor de la triple hélice) y b es un parámetro variable respecto al número de vueltas por metro (Fig. 15). Se establecen en los siguientes valores:

$$b = r(w') \cdot \delta(n) \quad (\text{semieje menor})$$

$$a = r_M = r_p + r = \frac{\sqrt{((d-e)^2 + 2d^2)}}{3} + r \quad (\text{semieje mayor})$$

A su vez, $r(w')$ se calcula como:

$$r(w') = \left[1,2 \cdot \left(r + r \cdot \sin \frac{\theta}{2} \right) \cdot K(w') + \left(r + \frac{\sqrt{((d-e)^2 + 2d^2)}}{3} \right) (1 - K(w')) \right],$$

$$\text{con } w' = \frac{w}{\sin \tau}, \quad \theta_s = 2\pi \cdot n \cdot w'$$

Por otra parte, la función de flexibilidad de la cinta al enrollarse sobre el par trenzado se expresa a través de la ecuación siguiente:

$$\delta(n) = \left[1 - u_n \cdot x^{v_n} \cdot e^{u_n \cdot x} \right]_{x=n} = 1 - u_n \cdot n^{v_n} \cdot e^{u_n \cdot n},$$

que también se expresa en función del ángulo de trenzado del par como

$$\delta(\theta) = \left[1 - u_{\theta} \cdot x^{v_{\theta}} \cdot e^{w_{\theta} \cdot x} \right]_{x=\theta} = 1 - u_{\theta} \cdot \theta^{v_{\theta}} \cdot e^{w_{\theta} \cdot \theta}$$

Hasta aquí se ha considerado un modelo similar al del par simple con pantalla, donde la elipse que rodea al par es un poco mayor, debido a que rodea el conductor de drenaje también. Este caso se aborda con una nueva elipse de aproximación, que establece el modelo de representación de la distancia media que existe entre cada conductor y el conjunto pantalla más drenaje (Fig. 16). Entonces, la distancia media a considerar ($d_{m_{cond-pant+d}}$) en la contribución al incremento de capacidad es la que aproxima la distancia media a la elipse modificada, y que se expresa como:

$$d_{m_{cond-pant+d}} = \sqrt{a' \cdot b'}$$

y cuyo valor se calcula como

$$d_{m_{cond-pant+d}} = \sqrt{a' \cdot b'} = \sqrt{(a \cdot f_d) \cdot (b \cdot f_d)} = \sqrt{a \cdot b \cdot f_d^2} = f_d \cdot \sqrt{a \cdot b}$$

(f_d es un factor de proporcionalidad entre las elipses de ajuste, y depende de las dimensiones del drenaje)

La contribución de la pantalla en este caso a la ecuación del conjunto es la que se muestra en la ecuación (11):

$$C = \frac{\pi \varepsilon_{eq.}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r_{p+d} \cdot n)^2 + 1} \right) + (B_n \cdot n + C_n \cdot n^2 + D_n \cdot n^3) \right] + \frac{\pi \varepsilon_{eq. cond-pant+d}}{L \left(\frac{d_{m_{cond-pant+d}}}{a \cdot s} \right)}$$

$$C = \frac{\pi \varepsilon_{eq.}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r_{p+d} \cdot n)^2 + 1} \right) + (B_n \cdot n + C_n \cdot n^2 + D_n \cdot n^3) \right] + \frac{\pi \varepsilon_{eq. cond-pant+d}}{L \left(\frac{f_d \cdot \sqrt{a_{elipse} \cdot b_{elipse}}}{a \cdot s} \right)} \quad (11)$$

siendo r_{p+d} el radio r_p calculado antes, y con $r(w')$ y $\delta(n)$ según se ha descrito en dicho anexo.

Cálculo de los parámetros de $\delta(n)$ o $\delta(\theta)$

Los coeficientes u , v y w de la función δ de flexibilidad, tanto si δ se expresa con θ como variable como si se expresa en función de n , dependen de las dimensiones de los conductores del par, de las dimensiones y material de la cinta de apantallar y de la exigencia del trenzado. Esta expresión se obtiene según se ha explicado con anterioridad.

Cálculo de ε equivalente para el par trenzado apantallado

Es dependiente de n , como en el par simple. Su valor se puede obtener de tablas o gráficas que determinen su valor en función de los demás parámetros de la ecuación (12) o a partir de ensayos de capacidad. De los ensayos de medida de capacidad se obtiene la C_{medida} , y el resto de parámetros deben ser conocidos.

$$\varepsilon_{eq. cond-pant.} = \frac{(C_{medida} - C_{par}) \cdot L \left(\frac{d_{m_{cond-pant}}}{a \cdot s} \right)}{\pi} = \frac{\Delta C_{pant}(n) \cdot L \left(\frac{d_{m_{cond-pant}}}{a \cdot s} \right)}{\pi} \quad (12)$$

donde

$$C_{par} = \frac{\pi \varepsilon_{eq.}}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} \cdot \left[\left(\sqrt{(2\pi \cdot r \cdot n)^2 + 1} \right) + (B_n \cdot n + C_n \cdot n^2 + D_n \cdot n^3) \right]$$

y el resto de parámetros según se han descrito en este apartado. Es importante recordar que estas expresiones son equivalentes a las expresadas tomando como variable el ángulo de avance A en lugar de n , con el pertinente cambio de coeficientes de los polinomios geométricos.

Influencia de la cubierta

La aportación de una cubierta al conductor apantallado produce un incremento en la capacidad del cable. Este efecto se basa en que la cubierta rodea al conjunto anterior de forma que modifica la permitividad efectiva total. Por tanto, el conjunto formado por el par trenzado y la pantalla (con drenaje) recibe un incremento de la capacidad debido a un nuevo factor que expresa el incremento de la constante dieléctrica (porque los aislamientos comúnmente utilizados, tienen una constante dieléctrica relativa mayor que la del vacío). El resultado sobre el conjunto anterior es el de multiplicación por un factor de proporcionalidad que refleja ese incremento. El valor de la permitividad de la cubierta debe ser conocido por el fabricante; en el caso contrario debe realizar los ensayos de medida necesarios para calcular su valor.

El procedimiento que se describe en el presente documento se enfoca desde dos puntos de vista diferentes, en función de las variables y requisitos de partida. En este sentido, es posible prever o modificar los parámetros ya indicados del proceso de fabricación del cable en cuestión que permiten obtener un valor de capacidad predefinido, pero también es posible determinar la capacidad a partir de las dimensiones del cable y las variables especificadas para el proceso de fabricación. La aplicación del procedimiento de predicción y control que se expone en esta descripción se especifica con mayor concreción en un conjunto de etapas necesarias para la aplicación correcta del mismo. A continuación se exponen de forma resumida y con la consideración de los dos planteamientos comentados:

Procedimiento (I)

Determinación de la capacidad del cable final a partir de las características de los elementos que lo componen y mediante la variable vueltas/m (n)

1. *Determinación del tipo de cable.* Definición del tipo de cable en función de la selección de los elementos que se introducen en el proceso de fabricación, como puede ser la pantalla, el drenaje y la cubierta. En esta fase se decide si el cable es un trenzado simple, un trenzado con pantalla, si lleva drenaje y si se incluye alguna cubierta.
2. *Análisis de las características dimensionales y tipos de materiales del cable seleccionado.* Selección de las dimensiones y materiales empleados en la fabricación del cable según las necesidades y exigencias de tipo mecánico, de resistencia de aislamiento, de propagación del fuego y de cualquier otra condición predefinida. Es decir, las exigencias de diseño previas a la determinación de las características, si existen, se aplican en esta fase.
3. *Elección de la forma y partes del cable.* En función del análisis de requisitos de los apartados 1 y 2, se establecen las características, dimensiones y tipos particulares de los elementos a utilizar, es decir, conductores, aislamientos, pantallas y drenaje.
4. *Obtención de los parámetros del modelo.* En función de las características del cable elegido en las fases anteriores, se obtienen los coeficientes del polinomio geométrico, los valores de permitividad y el resto de coeficientes que definen el cable según el modelo expuesto.
 - 4.1. *Tablas y modelos estadísticos.* Si existen tablas y gráficas con los datos anteriores, la determinación de los valores comentados es inmediata.
 - 4.2. *Ensayos de medida.* La otra opción es realizar los ensayos de medida necesarios para determinar las características del cable que se emplea en el procedimiento y de las cuales no se conocen valores. Este paso solamente es necesario cuando se ensaya un tipo de cable nuevo.
5. *Determinación del valor o rango de valores de vueltas por unidad de longitud deseados.* Definir el paso del trenzado (p) o el número de vueltas/m ($n=1/p$) deseado.
6. *Obtención del valor de capacidad del cable a fabricar.* Al aplicar el método descrito en este procedimiento se determina el valor de capacidad por unidad de longitud que presenta el cable diseñado. En el caso de que el valor obtenido no sea admitido como válido, se puede reiniciar el proceso volviendo al punto 1. También se puede volver a los puntos 2 y 3 porque se conoce la influencia de los aspectos que en ellos se describen sobre el resultado final.
7. *Deducción del algoritmo de control del proceso de fabricación para establecer la exigencia de trenzado obtenida en el punto anterior.* Cuando se consigue un valor de capacidad admisible, se introduce en el algoritmo de control la información necesaria para obtener los datos que permitan ajustar el proceso de fabricación. La información que se incorpora es el de la relación entre avance y enrollado de los conductores que se trenzan y las dimensiones y disposición del resto de componentes.

8. *Aplicación al proceso de fabricación.* La implementación de los resultados del punto 7 consiste en la realización del proceso de fabricación con las condiciones deducidas. La relación entre avance y enrollado de los conductores en el trenzado se aplica en la relación que existe entre la velocidad de giro (V_g) del elemento que ejerce la torsión sobre la hélice que se forma con los dos cables y la velocidad de avance del cable final (V_a). Es decir, si por ejemplo se trenzan los dos conductores a una velocidad de giro de $V_g = 30$ vueltas/s y el cable avanza en línea a razón de $V_a = 5$ m/s, entonces el cable final presenta un trenzado de 6 vueltas/m (V_g/V_a). La aplicación más evidente es la del control de la velocidad de los motores que provocan el giro y el avance que se describen. Sin embargo esta aplicación no queda restringida a un tipo de máquina de trenzado particular, y describe el control de los parámetros del proceso.

Procedimiento (II)

Determinación de la variable vueltas/m (n) del trenzado de un cable final a partir de las características de los elementos que lo conforman y el valor de capacidad deseada entre los conductores

1. *Determinación del tipo de cable.* Definición del tipo de cable en función de la selección de los elementos que se introducen en el proceso de fabricación, como puede ser la pantalla, el drenaje y la cubierta. En esta fase se decide si el cable es un trenzado simple, un trenzado con pantalla, si lleva drenaje y si se incluye alguna cubierta.
2. *Análisis de las características dimensionales y tipos de materiales del cable seleccionado.* Selección de las dimensiones y materiales empleados en la fabricación del cable según las necesidades y exigencias de tipo mecánico, de resistencia de aislamiento, de propagación del fuego y de cualquier otra condición predefinida. Es decir, las exigencias de diseño previas a la determinación de las características, si existen, se aplican en esta fase.
3. *Elección de la forma y partes del cable.* En función del análisis de requisitos de los apartados 1 y 2, se establecen las características, dimensiones y tipos particulares de los elementos a utilizar, es decir, conductores, aislamientos, pantallas y drenaje.
4. *Obtención de los parámetros del modelo.* En función de las características del cable elegido en las fases anteriores, se obtienen los coeficientes del polinomio geométrico, los valores de permitividad y el resto de coeficientes que definen el cable según el modelo expuesto.
 - 4.1. *Tablas y modelos estadísticos.*
Si existen tablas y gráficas con los datos anteriores, la determinación de los valores comentados es inmediata.
 - 4.2. *Ensayos de medida.*
La otra opción es realizar los ensayos de medida necesarios para determinar las características del cable que se emplea en el procedimiento y de las cuales no se conocen valores. Este paso solamente es necesario cuando se ensaya un tipo de cable nuevo
5. *Determinación del valor o rango de valores de capacidad deseados para el cable final.* Definir el valor de capacidad por unidad de longitud que se pretende establecer para el cable final.
6. *Obtención del valor de vueltas por unidad de longitud en el trenzado del cable a fabricar.* Al aplicar el método descrito en este procedimiento se determina el valor de vueltas por unidad de longitud, o el paso, que debe realizarse para cumplir las exigencias impuestas en el punto 5. En el caso de que el valor obtenido no sea admitido como válido, se puede reiniciar el proceso volviendo al punto 1. También se puede volver a los puntos 2 y 3 porque se conoce la influencia de los aspectos que en ellos se describen sobre el resultado final.
7. *Deducción del algoritmo de control del proceso de fabricación para establecer la exigencia de trenzado obtenida en el punto anterior.* Cuando se consigue un valor de capacidad admisible, se introduce en el algoritmo de control la información necesaria para lograr un valor de capacidad deseada para el cable en el proceso de fabricación. La información que se incorpora es el de la relación entre avance y enrollado de los conductores que se trenzan y las dimensiones y disposición del resto de componentes.
8. *Aplicación al proceso de fabricación.* La implementación de los resultados del punto 7 consiste en la realización del proceso de fabricación con las condiciones deducidas. La relación entre avance y enrollado de los conductores en el trenzado se aplica en la relación que existe entre la velocidad de giro (V_g) del elemento que ejerce la torsión sobre la hélice que se forma con los dos cables y la velocidad de avance del cable final (V_a). Es decir, si, por ejemplo, se trenzan los dos conductores a una velocidad de giro de $V_g=50$ vueltas/s y el cable avanza en línea a razón de $V_a=5$ m/s, entonces el cable final presenta un trenzado de 10 vueltas/m (V_g/V_a). La aplicación más evidente del proceso para conseguir el número de vueltas por metro del cable a

fabricar es la del control de la velocidad de los motores que provocan el giro y el avance descritos. Sin embargo esta aplicación no queda restringida a un tipo de máquina de trenzado particular, y describe el control de los parámetros del proceso.

5 Descripción de las figuras

En la figura 1 se muestra un cable de par trenzado con pantalla, cubierta y conductor de drenaje.

La figura 2 representa un par trenzado simple.

En la figura 3 se aprecia el efecto de deformación que se produce en los cables del par al realizar el proceso de trenzado. El efecto es más importante conforme se aumentan las exigencias, es decir, conforme aumenta el número de vueltas por metro.

La figura 4 representa los polinomios geométricos de doce cables, diferentes por sus dimensiones y el tipo de aislamiento. La variable respecto a la cual se representan estos polinomios es el ángulo de avance de la hélice del trenzado (θ).

La figura 5 aporta un fragmento de cable de par trenzado con conductor de drenaje y un elevado número de vueltas/metro.

En la figura 6 se aporta la configuración de la sección de los conductores del par y el drenaje en la triple hélice y se establecen las dimensiones de estos elementos con el fin de cuantificar la capacidad entre cada conductor y el drenaje. El radio del conductor de cada cable se denota por a , el espesor del aislamiento se nombra mediante la letra e , y el radio del drenaje se denomina a' .

La figura 7 aporta dos imágenes que permiten comparar el efecto de la deformación del drenaje en la forma del conjunto. La imagen superior representa la sección de un par trenzado ideal con conductor de drenaje. En la imagen inferior se muestra una sección equivalente en la cual el conductor de drenaje se deforma por efecto de las tensiones aplicadas en el proceso de trenzado.

En la figura 8 se muestra un cable de par trenzado con pantalla de cinta flexible.

La figura 9 muestra la variación de la posición relativa de dos secciones de un cable de par trenzado respecto al eje de rotación de la hélice que conforman. Las secciones se superponen tal y como es su posición real vista desde dicho eje. Los cables del par trenzado de la sección 1 se denotan por (1), y los que pertenecen a la sección 2 se denotan por (2). El ángulo que ha girado el conjunto, tomando como eje de giro el eje de rotación de la hélice y como ejes de cada sección la recta imaginaria que une los centros de los cables del par en cada sección y su perpendicular por el punto de contacto de ambos, es el ángulo señalado como θ_g .

La figura 10 aporta una explicación gráfica del modelo de apantallamiento del par trenzado mediante cinta flexible. Son válidas las notaciones de la Fig. 9. Se muestran dos secciones superpuestas del par trenzado, perpendiculares al eje de rotación (O), y el modelo de aproximación de la forma del conjunto y la distancia media de la cinta a los conductores. La elipse de aproximación rodea las secciones, separadas una distancia igual al ancho de la cinta, y presenta como semieje mayor el señalado por a ($a = \overline{O - 2}$), y como semieje menor el denotado por b ($b = \overline{O - 1} + \overline{1 - 1'}$). El semieje mayor (a) es constante, y de valor aproximadamente igual al diámetro de cada cable ($d = 2r$), pero el semieje b depende del ángulo θ_g que gira el cable entre las secciones 1 y 2, es decir, depende del ángulo de avance del trenzado o el número de vueltas por metro. El ángulo de giro de la elipse de aproximación respecto al eje que une los centros de la sección 1 (O_1 y O_2) es la mitad del ángulo θ_g , porque abarca las dos secciones.

La figura 11 muestra las capacidades a nivel general que existen entre los elementos de un cable de par trenzado con pantalla. Se denotan por A y B los dos conductores, y mediante la letra C a la pantalla. Las capacidades que existen entre estos elementos son, entonces C_{AB} , C_{BC} y C_{AC} .

La figura 12 representa la función de flexibilidad (δ) de una cinta de apantallar sobre un par trenzado determinado. Esta función aporta una modificación al modelo explicado en la descripción y cuya figura ilustrativa se corresponde con la Fig. 10. La variable respecto a la cual se representa la citada función es el número de vueltas por metro (n) del trenzado.

La figura 13 muestra un cable de par trenzado con conductor de drenaje y apantallamiento con cinta de doble capa.

La figura 14 representa un cable de par trenzado, apantallado, con drenaje y un elevado número de vueltas/m.

La figura 15 reúne una explicación similar a la de la Fig. 10 pero aplicado al caso del par trenzado con drenaje y pantalla de cinta flexible. Sigue las notaciones de las figuras 9 y 10. El eje de rotación de la hélice no está situado en la recta de unión de los cables del par sino que se desplaza por efecto del drenaje. En realidad se trata de una triple hélice con centro de rotación en O , que forma un triángulo isósceles con los centros (O_1 y O_2) de los conductores en cada sección del cable. El eje mayor de la elipse se sitúa en la recta e_2 , y no en e_1 , como sucedería si no existiese drenaje.

ES 2 296 461 B2

En la figura 16 se explica gráficamente el ajuste de la distancia media entre el conductor A y la pantalla.

En la curva elíptica 1 se representa la forma de la pantalla en el caso de que no hubiese drenaje, y equivale a una representación de la distancia media que existe entre el centro de dicho conductor A y la pantalla. Al introducir el drenaje cambia la forma de la pantalla, y la curva que aproxima la distancia media entre el centro del conductor A y el apantallamiento se representa mediante a curva 2. La reducción a un modelo elíptico de esta última curva implica una curva equivalente 3, que es similar a la 1 pero reducida de escala.

Modos de realización de la invención

La invención que se presenta en este documento se ilustra mediante los siguientes ejemplos, que resumen las conclusiones obtenidas al aplicar el procedimiento que se expone. Estos ejemplos no pretenden limitar el alcance o ámbito de aplicación de la invención, sino que simplemente pretenden aportar una muestra que ilustre sus conclusiones.

Ejemplo 1

Cable final formado por dos conductores individuales unidos helicoidalmente en una máquina de trenzado. En base a los puntos 1, 2, y 3 de los procedimientos (I) y (II) detallados en la descripción de la invención se aportan las características del cable a utilizar:

- Conductores de cobre, sección media de 0.50 mm^2 ($5\text{E-}09 \text{ m}^2$) y formados por 16 hilos
- Aislamiento de cada cable con un espesor medio de 0.41 mm (0.00041 m)
- Material del aislamiento: PVC
- Coeficientes del polinomio geométrico: obtenidos de la Tabla 1. Sus valores son los siguientes:

$B_n = 1.91\text{E-}02$; $C_n = 2.74\text{E-}04$; $D_n = 1.66\text{E-}06$. En el caso de no disponer de valores para los coeficientes es necesario realizar el procedimiento de cálculo que se explica en la descripción de la invención.

Para un trenzado de 20 vueltas/m (paso = $50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$) el método que se aporta predice un valor de capacidad entre conductores del cable final de 48.5 pF/m ($48.5 \text{ E-}12 \text{ F/m}$).

En estas condiciones la relación entre velocidad de avance del cable en línea de fabricación (V_a , con unidad $[\text{m/s}]$) y la velocidad de giro para realizar el trenzado (V_g , expresada en $[\text{revoluciones/s}]$) presenta un valor aproximado

$$\text{igual a } \frac{V_g[r.p.m.] / 60[s/min.]}{V_a[m/s]} = 20[vueltas/m] \cdot$$

El método permite controlar la característica capacidad en el proceso de fabricación. De esta forma, si se modifica la relación entre las dos magnitudes que controlan el trenzado (V_a y V_g) a un valor de 55 se produce un incremento en la capacidad del cable final hasta un valor de 59.0 pF/m ($59.0 \text{ E-}12 \text{ F/m}$).

Si se añade un apantallamiento mediante el enrollado de una cinta de doble capa, aluminio-poliéster, de espesor 0.01 mm ($1\text{E-}07 \text{ m}$), ancho de 14 mm (0.014 m) y ángulo de avance igual a 20.5° , entonces, se incrementa el valor de capacidad del conjunto a unos 119.3 pF/m ($119.3 \text{ E-}12 \text{ F/m}$). La introducción de un drenaje en el proceso de trenzado implica, con un conductor de drenaje de cobre, con sección 0.50 mm^2 ($5\text{E-}09 \text{ m}^2$) y sin aislamiento, un valor de capacidad igual a 130.5 pF/m ($130.5 \text{ E-}12 \text{ F/m}$). La modificación de este cable por la aplicación de un proceso de extrusión para aportar una cubierta protectora de PVC, con un espesor medio de 0.45 mm ($45 \text{ E-}05 \text{ m}$) implica un cambio de capacidad, cuyo valor final es de 159.0 pF/m ($159.0 \text{ E-}12 \text{ F/m}$).

Ejemplo 2

Cable final formado por dos conductores individuales unidos helicoidalmente en una máquina de trenzado. En base a los puntos 1, 2, y 3 de los procedimientos (I) y (II) detallados en la descripción de la invención se aportan las características del cable a utilizar:

- Conductores de cobre, sección media de 0.75 mm^2 ($75\text{E-}09 \text{ m}^2$) y formados por 24 hilos.
- Aislamiento de cada cable con un espesor medio de 0.42 mm (0.00042 m).
- Material del aislamiento: PVC.
- Coeficientes del polinomio geométrico: obtenidos de la Tabla 1. Sus valores son los siguientes:

ES 2 296 461 B2

$B_n = 5,98E-07$; $C_n = 6,41E-05$; $D_n = 5,52E-03$. En el caso de no disponer de valores para los coeficientes es necesario realizar el procedimiento de cálculo que se explica en la descripción de la invención.

Se pretende fabricar un cable final formado por un par trenzado según las características que se muestran y una cubierta protectora de PVC. El espesor de la cubierta debe aproximarse a 0.44 mm y el material requerido es PVC. En estas condiciones, se pretende obtener el parámetro de control del trenzado en el proceso de fabricación que asegure un valor de capacidad entre conductores para el cable final de un valor aproximado de 60 pF/m (60 E-12 F/m).

El método predice el valor de la variable vueltas/m (**n**) para satisfacer esta característica del producto final, y se concluye para este caso un valor de $n = 35$ (vueltas/m), que es equivalente a un paso de 28,6 mm (0.0286 mm). En consecuencia, en el proceso de trenzado se debe establecer la relación entre el avance y el giro en los cables a un valor de 35. Es decir, en una máquina de trenzado convencional, la relación entre las velocidades citadas

$$\frac{Vg(rpm)/60}{Va(m/s)} = 35(vueltas/m). \text{ El control de los parámetros de la máquina es inmediato; si, por ejemplo, la velocidad}$$

Va es constante, el control de la característica se reduce al control de la velocidad de giro del elemento que trenza según la expresión: $Vg(rpm) = 35(vueltas/m) \cdot 60 \cdot Va(m/s)$. En un caso genérico donde se dan estas condiciones se plantea la solución de control según la expresión $Vg(rpm) = n(vueltas/m) \cdot 60 \cdot Va(m/s)$, donde **n** se obtiene al aplicar el método descrito.

En la presente invención no se pretende limitar el tipo de máquina de trenzado a un tipo o modelo particular, sino que se establecen los parámetros de la misma que condicionan los resultados que se plantean. Es decir, se ha establecido como parámetro de control en los ejemplos 1 y 2 la relación entre el avance de los cables en línea de producción y el giro de torsión con el que se trenzan. Este parámetro se refiere, en definitiva, al paso final del trenzado del cable a fabricar, que es un dato que se determina indirectamente también por medio del número de vueltas por metro o el ángulo de avance de la hélice para cables de dimensiones conocidas. Tampoco se limita el tipo de control de las velocidades de avance y giro a un modelo particular sino que se extiende a cualquier tipo de control mecánico o electrónico que realice la misma función.

Aplicación industrial de la invención

La aplicación industrial de la invención es inmediata en el sector de la técnica que se ha establecido al inicio de la presente descripción. Dicha invención aporta una mejora de gran interés en el sector de la fabricación de cable eléctrico y permite el control de la capacidad en esta línea de productos industriales a través de la variación de los parámetros de trenzado que se describen.

REIVINDICACIONES

1. Nuevo procedimiento para la predicción y el control de la capacidad eléctrica de un cable de par trenzado en el proceso de fabricación según un valor predefinido y determinado por las dimensiones y la naturaleza de los elementos que lo conforman y controlado mediante el parámetro *paso del trenzado*, o también los parámetros equivalentes *número de vueltas por metro* y *ángulo* de avance de la hélice, en la máquina de trenzado, y donde dicho procedimiento está **caracterizado** porque la etapa de trenzado del par de conductores determina el valor de capacidad final del cable a través de la variación de la relación entre la velocidad de giro del elemento que trenza los cables individuales y la velocidad de tracción que se establece para su recogida o bobinado.

2. Un procedimiento según reivindicación 1 **caracterizado** porque el cable final que se fabrica con valor de capacidad controlado contiene un apantallamiento formado por una lámina de doble capa trenzada con el conjunto descrito en dicha reivindicación, aislante en su parte exterior y conductora en la parte interna, con conductor de drenaje trenzado en triple hélice junto con los conductores del par.

3. Un procedimiento según reivindicación 2 **caracterizado** porque al conjunto descrito en ella se le incorpora una cubierta protectora de material aislante en un proceso de extrusión.

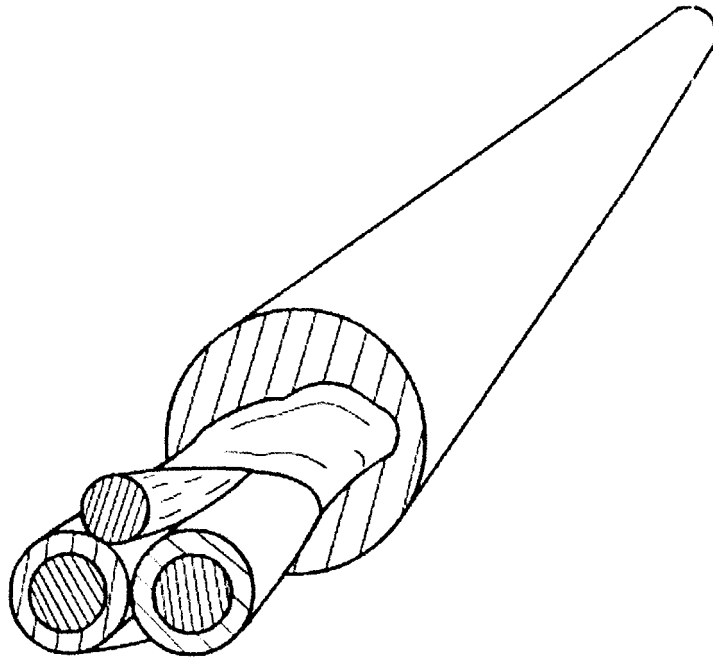


Fig. 1

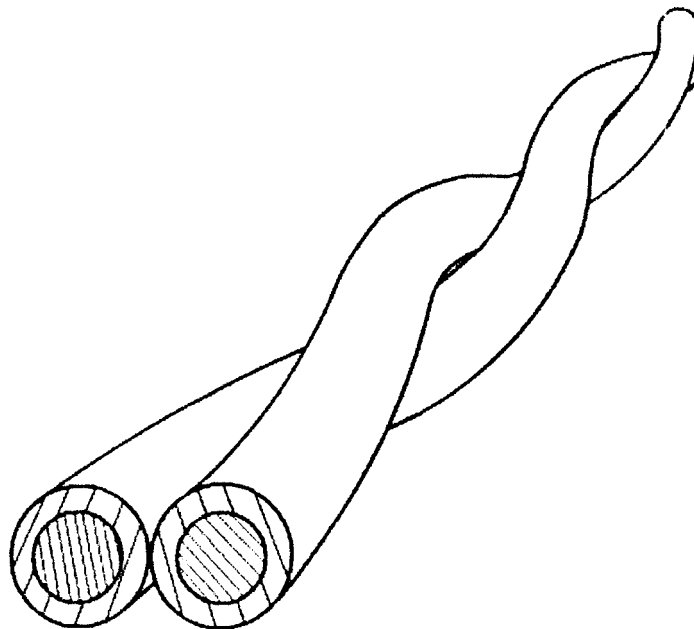


Fig. 2

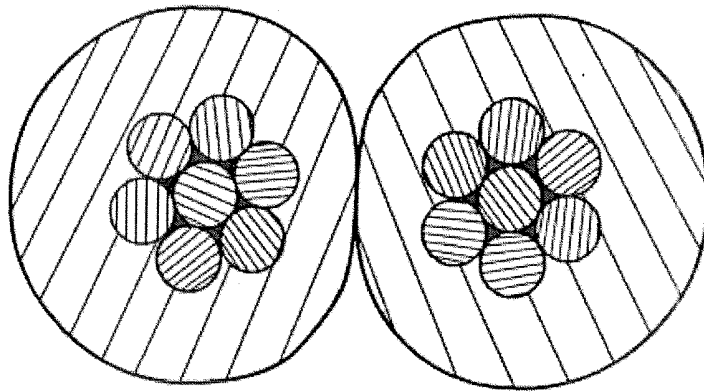


Fig. 3

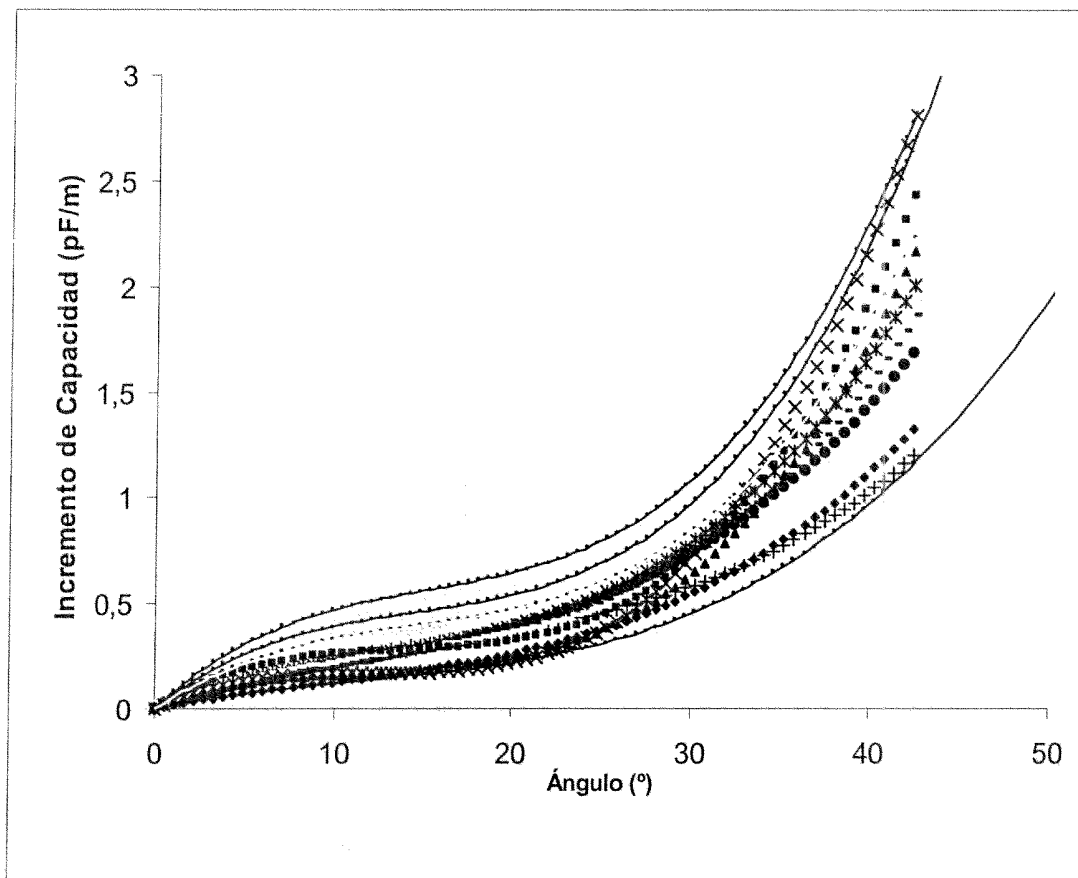


Fig. 4

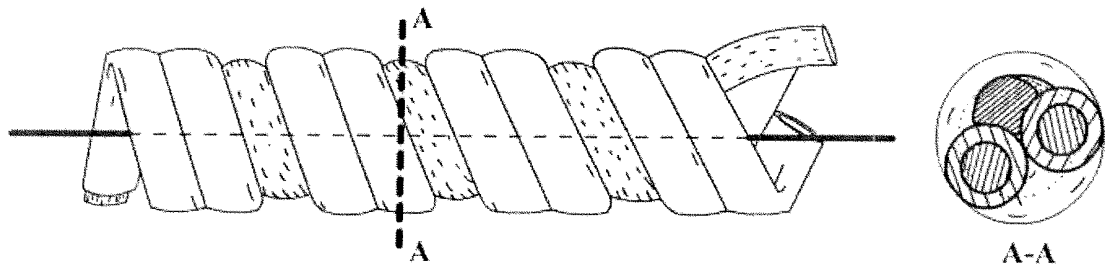


Fig. 5

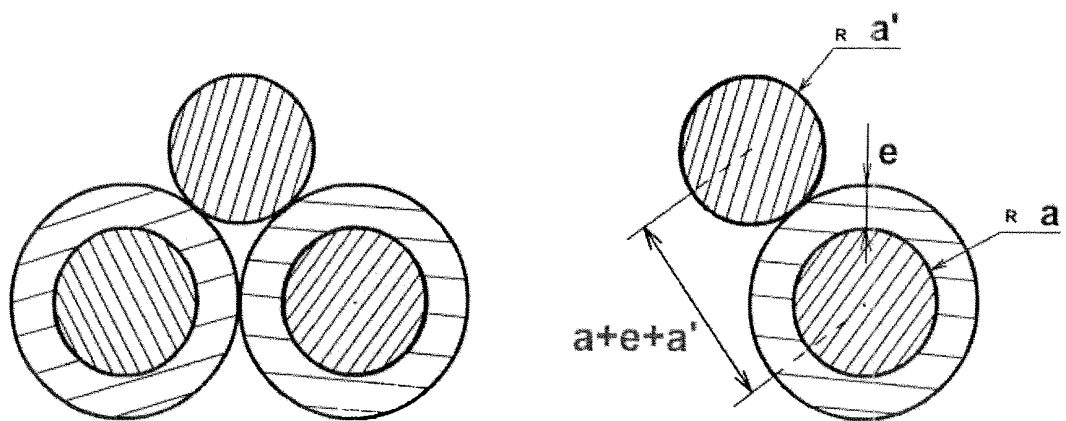


Fig. 6

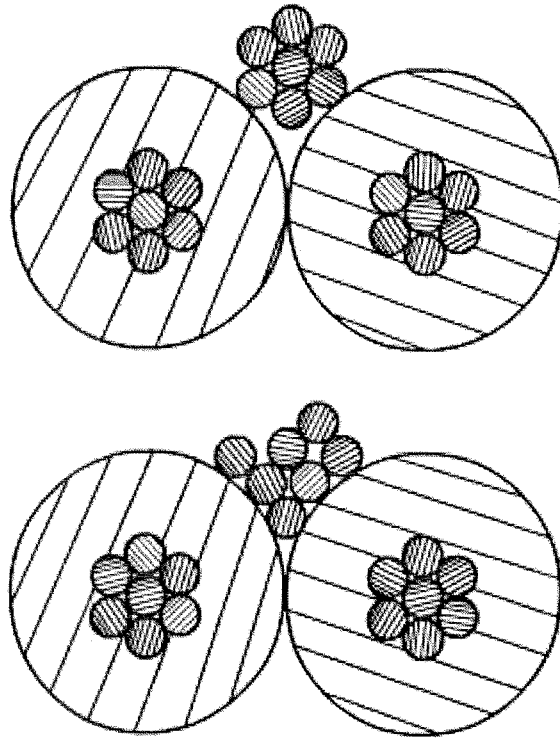


Fig. 7

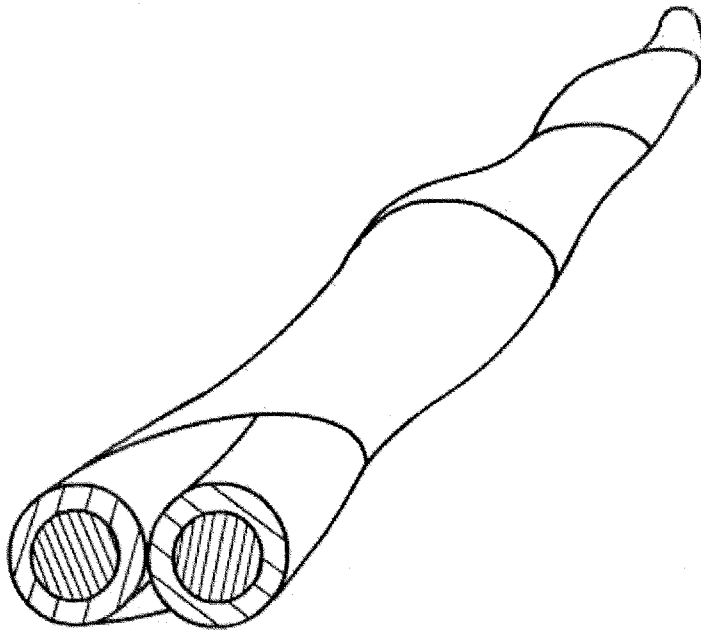


Fig. 8

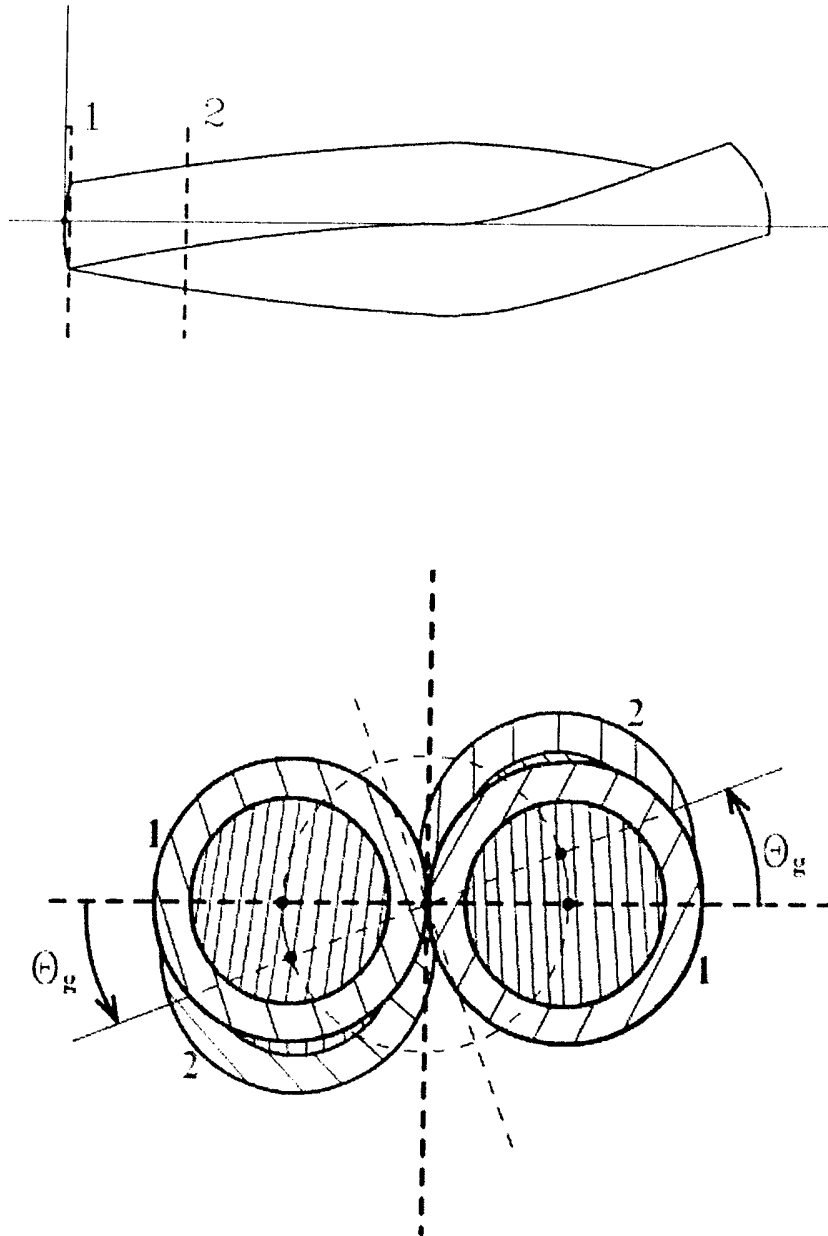


Fig. 9

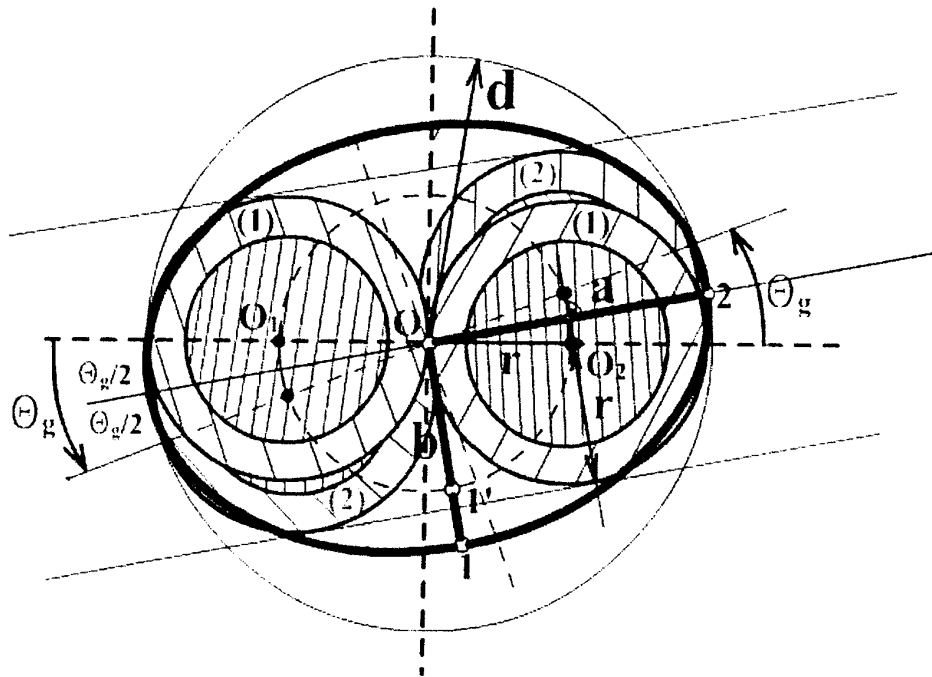


Fig. 10

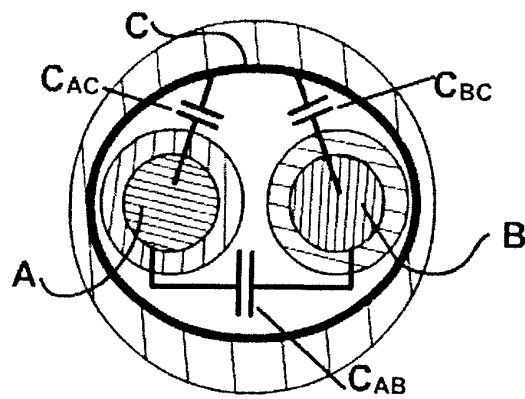


Fig.11

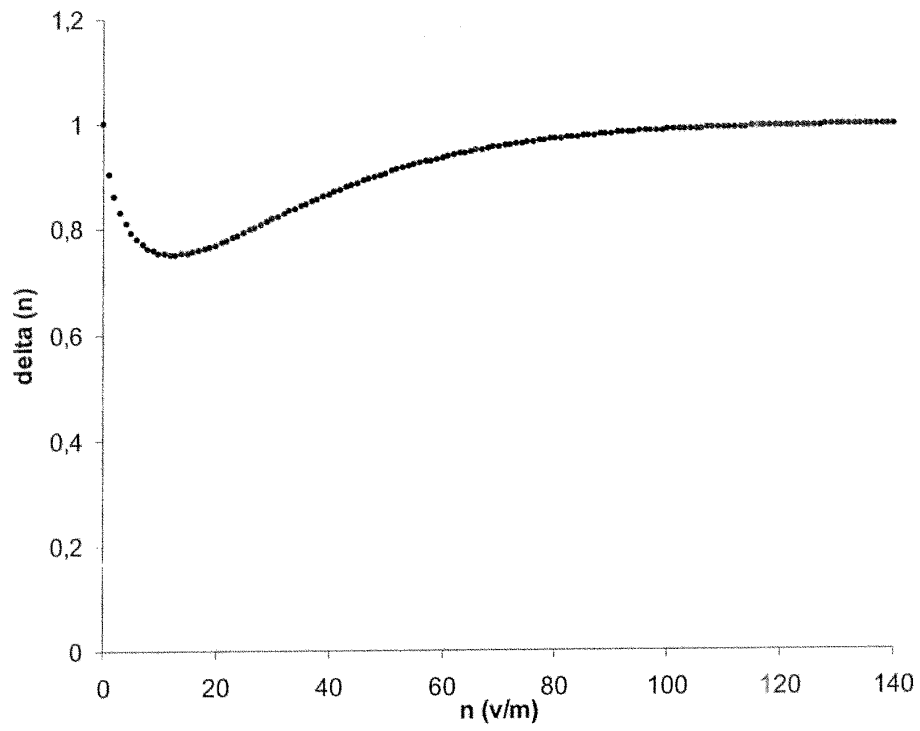


Fig. 12

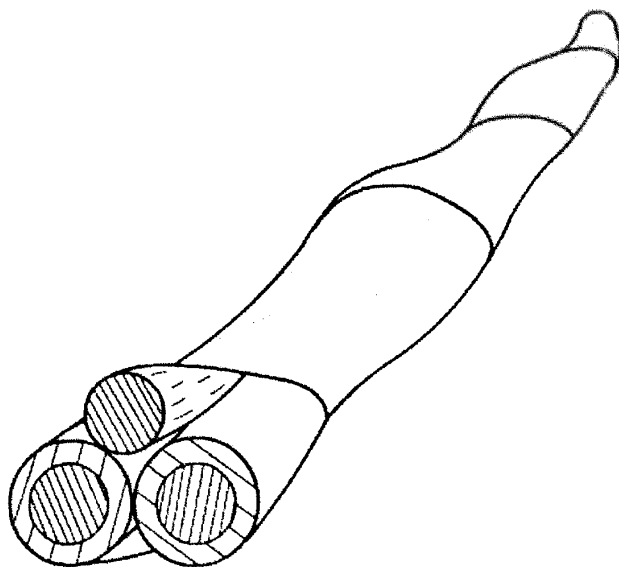


Fig.13

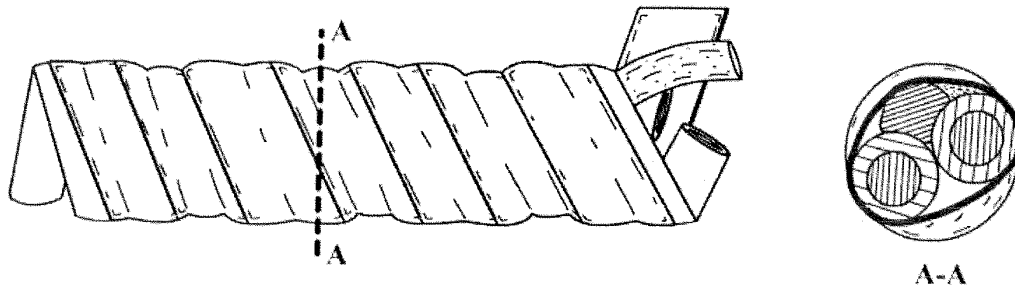


Fig. 14

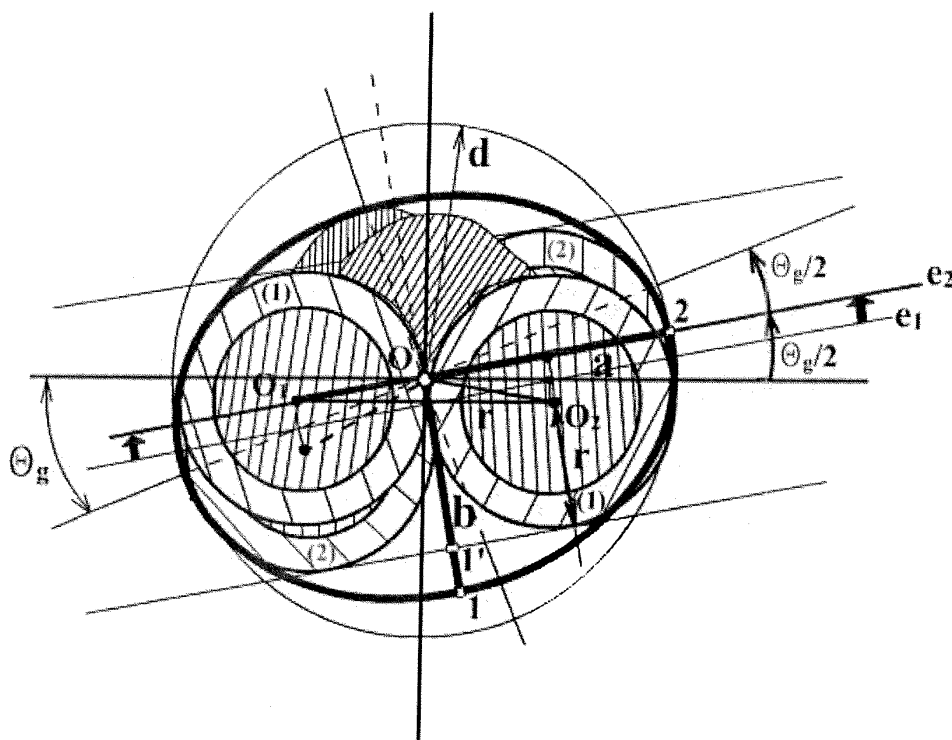


Fig. 15

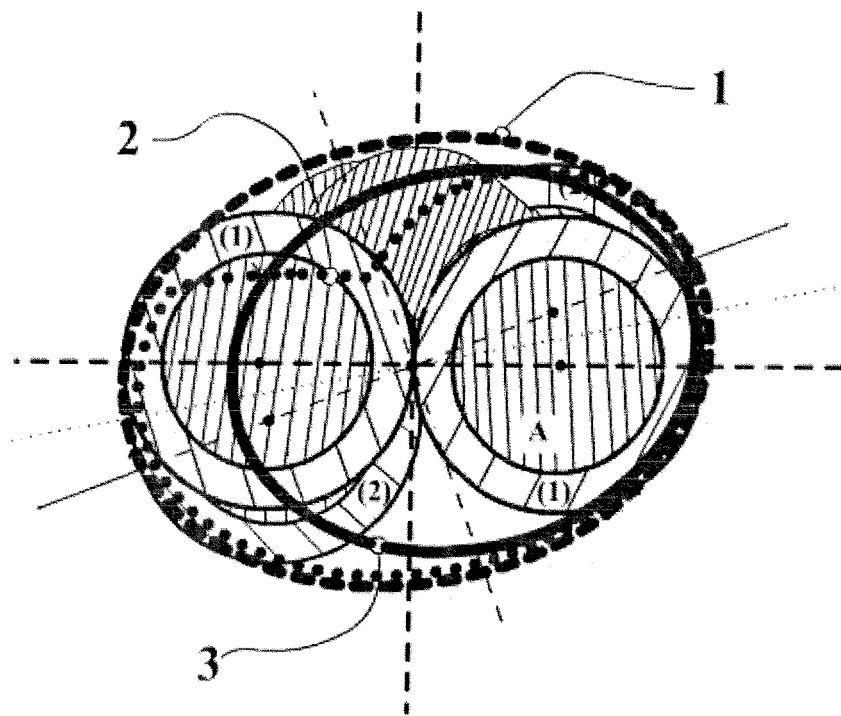


Fig. 16



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 296 461

⑫ Nº de solicitud: 200501825

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: **26.07.2005**

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **H01B 13/02** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	BASE DE DATOS WPI en EPOQUE, semana 198702, THOMPSON, AN 1987-011480 & JP 61269812 A (FURUKAMA ELECTRIC CO) 29.11.1986, resumen.	1
A	EP 09318103 A2 (ROSENDAHL MASCHINEN- GMBH) 25.08.1999, resumen.	1
A	ES 2190891 B2 (BELDEN WIRE & CABLE CO) 16.08.2003, página 2, columna 2, líneas 55-64.	2,3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

17.03.2007

Examinador

P. Pérez Moreno

Página

1/1