



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 627 335**

⑮ Int. Cl.:
H01B 7/26
(2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.11.2012 PCT/EP2012/072440**

⑰ Fecha y número de publicación internacional: **28.11.2013 WO13174455**

⑯ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2012 E 12783619 (5)**

⑯ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2852957**

⑭ Título: **Cable blindado para el transporte de corriente alterna con pérdida reducida del blindaje**

⑯ Prioridad:
22.05.2012 WO PCT/EP2012/002184

⑮ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.07.2017

⑮ Titular/es:
PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)
Via Chiese, 6
20126 Milano, IT

⑯ Inventor/es:
**MAIOLI, PAOLO y
BECHIS, MASSIMO**

⑯ Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 627 335 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

Cable blindado para el transporte de corriente alterna con pérdida reducida del blindaje

La presente invención se refiere a un cable de alimentación y a un procedimiento para transportar corriente alterna en un cable blindado.

5 Generalmente se emplea un cable blindado en aplicaciones donde se prevén esfuerzos mecánicos. En un cable blindado, el núcleo o núcleos de cable (típicamente núcleos trenzados en este último caso) están rodeados por al menos una capa metálica en forma de alambres para reforzar la estructura de cable mientras se mantiene una flexibilidad adecuada.

10 Cuando la corriente alterna (CA) es transportada en un cable, la temperatura de los conductores eléctricos dentro del cable aumenta debido a las pérdidas resistivas, un fenómeno denominado efecto Joule.

La corriente transportada y los conductores eléctricos están típicamente dimensionados para garantizar que la temperatura máxima en conductores eléctricos se mantiene por debajo de un umbral prefijado (por ejemplo, por debajo de 90 °C) que garantiza la integridad del cable.

15 La norma internacional IEC 60287-1-1 (segunda edición 2006-12) proporciona procedimientos para calcular el grado de corriente admisible de los cables de los detalles del aumento de temperatura admisible, la resistencia del conductor, las pérdidas y las resistividades térmicas. En particular, el cálculo de la clasificación de corriente en los cables eléctricos es aplicable a las condiciones del funcionamiento en estado estacionario a todas las tensiones alternas. El término estado estacionario significa una corriente constante continua (factor de carga del 100 %) suficiente para producir asintóticamente la temperatura máxima del conductor, asumiéndose constantes las 20 condiciones ambientales circundantes. También se dan fórmulas para el cálculo de pérdidas.

25 En la norma IEC 60287-1-1, la corriente nominal admisible de un cable de CA se deriva de la expresión para el aumento de temperatura admisible del conductor $\Delta\theta$ por encima de la temperatura ambiente T_a , donde $\Delta\theta = T - T_a$, siendo T la temperatura del conductor cuando una corriente I fluye en el conductor y T_a es la temperatura del medio circundante en condiciones normales, en una situación en la que los cables están instalados o se van a instalar, incluyendo el efecto de cualquier fuente local de calor, pero no el aumento de la temperatura en la vecindad inmediata de los cables al calor resultante de los mismos. Por ejemplo, la temperatura del conductor T debe mantenerse inferior a aproximadamente 90 °C.

30 Por ejemplo, de acuerdo con la norma IEC 60287-1-1, en el caso de cables CA enterrados en los que no ocurre el secado del suelo o de cables de CA en el aire, se puede deducir la corriente admisible de la expresión para el aumento de temperatura por encima de la temperatura ambiente:

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - W_d \cdot [0,5 \cdot T_1 + n \cdot (T_2 + T_3 + T_4)]}{R \cdot T_1 + n \cdot R \cdot (1 + \lambda_1) \cdot T_2 + n \cdot R \cdot (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot (T_3 + T_4)} \right]^{0,5} \quad (1)$$

donde:

I es la corriente que fluye en un conductor (Amperio)

$\Delta\theta$ es el aumento de la temperatura del conductor por encima de la temperatura ambiente (Kelvin)

35 R es la resistencia a la corriente alterna por unidad de longitud del conductor a la temperatura máxima de funcionamiento (Ω/m);

W_d es la pérdida dieléctrica por unidad de longitud para el aislamiento que rodea al conductor (W/m);

T_1 es la resistencia térmica por unidad de longitud entre un conductor y la funda ($K.m/W$);

T_2 es la resistencia térmica por unidad de longitud del lecho entre la vaina y el blindaje ($K.m/W$);

40 T_3 es la resistencia térmica por unidad de longitud de la porción externa del cable ($K.m/W$);

T_4 es la resistencia térmica por unidad de longitud entre la superficie del cable y el medio circundante ($K.m/W$);

n es el número de conductores portadores de carga en el cable (conductores de igual tamaño y que llevan la misma carga);

45 λ_1 es la relación de las pérdidas en la vaina metálica respecto a las pérdidas totales en todos los conductores de ese cable;

λ_2 es la relación entre las pérdidas en el blindaje y las pérdidas totales en todos los conductores del cable.

En el caso de cables de tres núcleos y blindaje de alambre de acero, la relación λ_2 se da, en IEC 60287-1-1, mediante la siguiente fórmula:

$$\lambda_2 = 1,23 \frac{R_A}{R} \left(\frac{2c}{d_A} \right)^2 \frac{1}{\left(\frac{2,77 R_A 10^6}{\omega} \right)^2 + 1} \quad (2)$$

5 donde R_A es la resistencia de CA del blindaje a la temperatura máxima de blindaje (Ω/m);
 R es la resistencia a la corriente alterna por unidad de longitud del conductor a la temperatura máxima de funcionamiento (Ω/m);
 d_A es el diámetro medio del blindaje (mm);
 c es la distancia entre el eje de un conductor y el centro del cable (mm);
 10 ω es la frecuencia angular de la corriente en los conductores.

El solicitante observa que, en general, la reducción de pérdidas significa la reducción de la sección transversal del conductor/es y/o un aumento del grado de corriente admisible.

En el caso de un cable blindado de CA, se ha investigado la contribución de las pérdidas de blindaje a las pérdidas totales del cable.

15 El documento GB 360 996 divulga un cable submarino de dos núcleos que tiene los núcleos retorcidos juntos y los alambres de blindaje bobinados en la misma dirección en que están retorcidos los núcleos. La colocación de los núcleos puede ser de 3 a 4 pies (91,44 a 121,92 cm) y la de los alambres de blindaje no más de 2 pies (60,96 cm).
 20 J.J. Bremnes et al. ("Power loss and inductance of steel armoured multi-core cables: comparison of IEC values with "2,5D" FEA results and measurements", Cigré, Paris, B1-116-2010) analiza la pérdida de blindaje en un cable de tres núcleos. Afirman que, para las corrientes trifásicas balanceadas, el blindaje colectivo no permitirá ningún flujo de corriente inducida en los alambres de blindaje debido a la cancelación por trenzado/torsión. Cualquier excepción a esto requerirá que los alambres del blindaje tengan exactamente el mismo paso que los núcleos, que el cable es muy corto, o que todos los alambres del blindaje están tocando continuamente ambos alambres vecinos. Los autores afirman que esto está en marcado contraste con las fórmulas para la pérdida de blindaje multi-núcleo dada en IEC 60287-1-1, en la que la resistencia de blindaje R_A es un parámetro importante. Los autores afirman que, típicamente, para un cable submarino de tres núcleos, la fórmula IEC asignará una pérdida de potencia del 20-30 % a un blindaje de acero colectivo, mientras que sus modelos de elementos finitos 2,5D y las mediciones a escala completa predicen una pérdida de potencia insignificante en el blindaje.
 25 30 G. Dell'Anna et al. ("HV submarine cables for renewable offshore energy", Cigré, Bolonia, 0241-2011) indican que el campo magnético CA induce pérdidas en el blindaje y que la histéresis y la corriente de Foucault son responsables de las pérdidas generadas en el blindaje. Los autores muestran los resultados experimentales obtenidos midiendo las pérdidas en un cable de 12,3 m de largo, con un conductor de cobre de 800 mm^2 , y un diámetro exterior de 205 mm. Las mediciones se realizaron para una corriente que oscila entre 20A y 1600A. La figura 4 muestra los valores medidos de la resistencia de fase, en dos condiciones con las vainas de plomo en cortocircuito y el blindaje presente o completamente eliminado. La resistencia de fase (es decir, las pérdidas del cable) es constante con la corriente en ausencia de blindaje, mientras aumenta con la corriente en presencia del blindaje. Los autores afirman que el valor numérico de las pérdidas es importante, especialmente para cables conductores grandes, pero no es tan alto como se informó en las fórmulas IEC 60287-1-1.
 35 40 El solicitante observa que Bremnes et al. afirman que las pérdidas de energía en el blindaje son insignificantes. Sin embargo, utilizan modelos de elementos finitos 2,5D y realizan las medidas de pérdida con cables de 8,5 km y 12 km de longitud con una corriente de prueba muy baja de 51 A y conductores de 500 y 300 mm^2 . El solicitante observa que una corriente de prueba de 51 A no puede ser significativa para dicho tamaño de conductor transportando, típicamente, valores de corriente estándar superiores a 500 A.
 45 50 Por otro lado, Dell' Anna et al. indican que las pérdidas generadas en el blindaje se deben a histéresis y corrientes parásitas, aumentan con la corriente en presencia del blindaje y su valor numérico es importante, especialmente para cables conductores grandes, pero no tan altos como se indica en la fórmula IEC 60287-1-1.
 En vista de la enseñanza contradictoria en los documentos de la técnica anterior, el solicitante investigó además las pérdidas de blindaje en un cable eléctrico de corriente alterna que comprende al menos dos núcleos trenzados juntos de acuerdo con un paso A de trenzado del núcleo, comprendiendo cada núcleo un conductor eléctrico y un

blindaje que comprende una capa de alambres bobinados helicoidalmente alrededor del cable de acuerdo con un paso B de bobinado del blindaje.

Durante su investigación, el Solicitante observó que las pérdidas de blindaje cambian en gran medida dependiendo del hecho de que el paso B de blindaje es unicapa o contracapa al paso A de trenzado del núcleo.

5 En particular, el solicitante observó que las pérdidas de blindaje son altamente reducidas cuando el paso B de bobinado del blindaje es unilateral al paso A de hebra de núcleo, en comparación con la situación en la que el paso B de bobinado del blindaje es contracapa al paso de hebra de núcleo A, cuando el paso B tiene un valor predeterminado con respecto al paso A.

10 El solicitante encontró de este modo que, utilizando un cable CA blindado que comprende una capa de blindaje con un paso de enrollado de blindaje B que es unicapa al paso A de trenzado del núcleo y que tiene un valor predeterminado con respecto al paso A, se reducen las pérdidas de blindaje. De esta forma, es posible cumplir con los requisitos de corriente admisible IEC 60287-1-1, transmitiendo al conductor de cable un valor de corriente incrementado y/o utilizando conductores de cable con un valor reducido del área S de sección transversal (la resistencia CA por unidad de longitud R en la fórmula (1) anterior proporcional a ρ/S , donde ρ es la resistividad eléctrica del material conductor).

15 La presente invención se refiere así a un cable de alimentación de acuerdo con la reivindicación 1 y a un procedimiento para mejorar las prestaciones de un cable de alimentación según la reivindicación 13.

20 En la presente descripción y en las reivindicaciones, el término "núcleo" se utiliza para indicar un conductor eléctrico rodeado por al menos una capa aislante y, opcionalmente, por lo menos una capa semiconductora. Opcionalmente, dicho núcleo comprende además una pantalla metálica.

25 En la presente descripción y en las reivindicaciones, el término "unicapa" se usa para indicar que el bobinado de los alambres de una capa de cable (en el caso, el blindaje) alrededor del cable y el trenzado de los núcleos tienen la misma dirección, con un paso igual o diferente.

30 En la presente descripción y en las reivindicaciones, el término "contracapa" se usa para indicar que el bobinado de los cables de una capa de cable (en el caso, el blindaje) alrededor del cable y el trenzado de los núcleos tienen una dirección opuesta, con un paso igual o diferente.

35 En la presente descripción y en las reivindicaciones, el término "temperatura máxima admisible del conductor de trabajo" se utiliza para indicar la temperatura más alta que se permite alcanzar a un conductor en funcionamiento en estado estacionario, con el fin de garantizar la integridad del cable. Dicha temperatura depende sustancialmente de las pérdidas totales del cable, incluidas las pérdidas de conductores debidas al efecto Joule y los fenómenos disipativos.

Las pérdidas de blindaje son otro componente importante de las pérdidas totales del cable.

40 En la presente descripción y en las reivindicaciones, el término "evaluación de corriente admisible" se utiliza para indicar la corriente máxima que puede transportarse en un conductor eléctrico para garantizar que la temperatura del conductor eléctrico no excede la temperatura máxima admisible del conductor de trabajo en estado estacionario condición. El estado estacionario se alcanza cuando la velocidad de generación de calor en el cable es igual a la velocidad de disipación de calor desde la superficie del cable.

45 En la presente descripción y en las reivindicaciones, el término "ferromagnético" indica un material, por ejemplo, acero, que por debajo de una temperatura dada puede poseer magnetización en ausencia de un campo magnético externo.

En la presente descripción y en las reivindicaciones, el término "paso C transversal" se usa para indicar la longitud de cable tomada por los alambres del blindaje para hacer un solo giro completo alrededor de los núcleos de cable. El paso C transversal viene dado por la siguiente relación:

$$C = \left| \frac{\frac{I}{A} - \frac{I}{B}}{\frac{I}{A} - \frac{I}{B}} \right|$$

50 En la que A es el paso de trenzado del núcleo y B es el paso del bobinado del blindaje. A es positivo cuando los núcleos trenzados juntos giran a la derecha (tornillo derecho) y B es positivo cuando los cables de blindaje bobinados alrededor del cable giran a la derecha (tornillo derecho). El valor de C es siempre positivo. Cuando los valores de A y B son muy similares (tanto en módulo como en signo) el valor de C se vuelve muy grande.

De acuerdo con la invención, las prestaciones del cable de alimentación se mejoran ventajosamente en términos de corriente I alterna incrementada y/o área S de sección transversal de conductor eléctrico reducida con respecto a la

prevista en los requisitos de corriente admisible de la norma IEC 60287-1-1.

La corriente I alterna que se hace fluir en el cable y el área S de sección transversal cumplen ventajosamente con los requisitos de corriente admisible según la norma IEC 60287-1-1, con pérdidas de blindaje iguales o inferiores al 30 % de las pérdidas totales del cable.

5 Preferentemente, las pérdidas de blindaje son iguales o inferiores al 20 % de las pérdidas totales del cable. Preferentemente, las pérdidas de blindaje son iguales o inferiores al 10 % de las pérdidas totales del cable. Mediante una selección adecuada de los parámetros de paso, las pérdidas de blindaje pueden llegar hasta el 3 % de las pérdidas totales del cable.

10 Ventajosamente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, es de 1000 a 3000 mm. Preferentemente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, es a partir de 1500 mm. Preferentemente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, no es superior a 2600 mm.

Preferentemente, $C \geq 5A$. Incluso más preferentemente, $C \geq 10A$. Adecuadamente, C puede ser de hasta 12A.

Convenientemente, el blindaje rodea al menos dos núcleos juntos, como un todo.

En una realización, los al menos dos núcleos están trenzados helicoidalmente juntos.

15 En una realización, el blindaje comprende además una primera capa exterior de una pluralidad de alambres metálicos, que rodean dicha capa de una pluralidad de alambres metálicos. Los alambres metálicos de dicha primera capa exterior están bobinados adecuadamente alrededor de los núcleos de acuerdo con una disposición del bobinado de la primera capa exterior y un paso B' de bobinado de la primera capa exterior. Preferentemente, la disposición del bobinado de la primera capa exterior es helicoidal.

20 Preferentemente, la disposición del bobinado de la primera capa exterior tiene una dirección opuesta con respecto a la disposición de trenzado del núcleo (es decir, la disposición del bobinado de la primera capa exterior es contracapa con respecto a la disposición del reborde del núcleo y con respecto a la disposición del bobinado del blindaje). Esta configuración contracapa de la primera capa exterior es ventajosa en términos de actuaciones mecánicas del cable.

25 Preferentemente, el primer paso B' de bobinado de la capa exterior es más alto, en valor absoluto, que el paso B de bobinado del blindaje. Más preferentemente, el primer paso B' de bobinado de la capa exterior es superior, en valor absoluto, a B en al menos 10 % de B .

30 En la realización en la que el blindaje comprende también la primera capa exterior, el área S de sección transversal del conductor eléctrico es tal que hace que el cable funcione a la temperatura máxima admisible del conductor T mientras transporta la corriente I alterna con pérdidas de blindaje iguales o inferiores al 30 % de las pérdidas totales del cable, comprendiendo las pérdidas de blindaje tanto las pérdidas en dicha capa como en dicha primera capa exterior.

35 En una realización, el blindaje comprende además una segunda capa exterior de una pluralidad de alambres metálicos, que rodean a dicha primera capa exterior. Los alambres metálicos de dicha segunda capa exterior se enrollan adecuadamente alrededor de los núcleos de acuerdo con una segunda disposición de la capa exterior de bobinado y un segundo paso B'' de bobinado de la capa exterior. Preferentemente, la segunda disposición del bobinado de la capa exterior es helicoidal. Preferentemente, la segunda disposición del bobinado de la capa exterior tiene la misma dirección que la disposición de trenzado del núcleo (es decir, la segunda disposición del bobinado de la capa exterior es unicapa con respecto a la disposición de trenzado del núcleo y con respecto a la disposición del bobinado). Preferentemente, el segundo paso B'' de bobinado de la capa exterior es diferente del paso B de bobinado del blindaje. Preferentemente, el módulo $|B'' - A|$ es mayor que $|B - A|$.

40 En la realización en la que el blindaje comprende también la segunda capa exterior de una pluralidad de alambres metálicos, el área S de sección transversal del conductor eléctrico es tal que hace que el cable funcione a la temperatura T máxima admisible del conductor mientras transporta la corriente I alterna con pérdidas de blindaje iguales o inferiores al 30 % de las pérdidas totales del cable, comprendiendo las pérdidas de blindaje las pérdidas en dicha capa, en dicha primera capa exterior y en dicha segunda capa exterior.

45 En una realización, los alambres del blindaje están hechos de material ferromagnético. Por ejemplo, están hechos de acero de construcción, acero inoxidable ferrítico o acero al carbono.

50 En otra realización, los alambres del blindaje se pueden mezclar ferromagnéticos y no ferromagnéticos. Por ejemplo, en la capa de alambres, los alambres ferromagnéticos pueden alternarse con alambres no ferromagnéticos y/o los alambres pueden tener un núcleo ferromagnético rodeado por un material no ferromagnético (por ejemplo, plástico o acero inoxidable).

Ventajosamente, los alambres de blindaje tienen un diámetro de sección transversal de 2 a 10 mm. Preferentemente, el diámetro es de 4 mm. Preferentemente, el diámetro no es superior a 7 mm. Los alambres de blindaje pueden tener una sección transversal poligonal o, preferentemente, redonda.

Preferentemente, los al menos dos núcleos son núcleo de una sola fase. Ventajosamente, los al menos dos núcleos son núcleos multifásicos.

En una realización preferida, el cable comprende tres núcleos. En los sistemas de CA, el cable es ventajosamente un cable trifásico. El cable trifásico comprende ventajosamente tres núcleos monofásicos.

5 El cable de CA puede ser un cable de baja, media o alta tensión (LV, MV, HV, respectivamente). El término baja tensión se utiliza para indicar tensiones inferiores a 1kV. El término "media tensión" se utiliza para indicar tensiones de 1 a 35 kV. El término "alta tensión" se utiliza para indicar tensiones superiores a 35 kV.

El cable de CA puede ser terrestre o submarino. El cable terrestre puede ser al menos parcialmente enterrado o colocado en túneles.

10 Las características y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto mediante la siguiente descripción detallada de algunas realizaciones ejemplares de la misma, proporcionadas meramente a modo de ejemplos no limitativos, descripción que se llevará a cabo haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- La figura 1 muestra esquemáticamente un cable de alimentación ejemplar que puede utilizarse para implementar el procedimiento de la invención;

15 - La figura 2 muestra la resistencia de fase medida en un cable de tres núcleos frente a la corriente alterna que fluye en su interior, teniendo dicho cable un número variable de alambres de blindaje;

- La figura 3 muestra la resistencia de fase medida en un cable de tres núcleos frente a la corriente alterna que fluye en él, con o sin alambres de blindaje;

20 - La figura 4 muestra las pérdidas de blindaje calculadas para un cable de tres núcleos versus el paso B de bobinado del blindaje, considerando las pérdidas de blindaje inversamente proporcionales al paso C transversal;

- La figura 5 muestra las pérdidas de blindaje frente al paso B de blindaje calculado para el mismo cable de la figura 4 usando un cálculo 3D FEM;

- La figura 6 presenta las pérdidas inducidas en un alambre cilíndrico de material ferromagnético frente al diámetro del alambre, con diferentes valores de resistividad eléctrica y permeabilidad magnética relativa;

25 - La figura 7 ilustra esquemáticamente los núcleos trenzados y los alambres de blindaje bobinados, respectivamente con el paso A de trenzado de los núcleos y el paso B de bobinado del blindaje, de un cable adecuado para la invención.

La figura 1 muestra esquemáticamente un cable 10 de tres núcleos de corriente alterna para aplicación submarina que comprende tres núcleos 12. Cada núcleo comprende un conductor 12a metálico típicamente hecho de cobre, aluminio o ambos, en forma de una varilla o de alambres trenzados. El conductor 12a está rodeado secuencialmente por una capa semiconductora interior y una capa aislante y una capa semiconductora externa, estando dichas tres capas (no mostradas) hechas de material polimérico (por ejemplo, polietileno), papel envuelto o laminado de papel/polipropileno. En el caso de la(s) capa(s) semiconductora(s), el material de la misma se carga con material de relleno conductor tal como negro de carbón.

35 Los tres núcleos 12 están unidos helicoidalmente juntos de acuerdo con un paso A de trenzado del núcleo. Los tres núcleos 12 están envueltos cada uno por una vaina 13 metálica (por ejemplo, hecha de plomo) e incrustados en un relleno 11 polimérico rodeado, a su vez, por una cinta 15 y por una capa 14 amortiguadora. Alrededor de la capa 14 amortiguadora se proporciona un blindaje 16 que comprende una única capa de alambres 16a. Los alambres 16a están bobinados helicoidalmente alrededor del cable 10 de acuerdo con un paso B de bobinado del blindaje. De acuerdo con la invención, el paso B del bobinado es unicapa al paso A de trenzado del núcleo, como se muestra en la figura 7.

40 Los alambres 16a son metálicos, preferentemente están hechos de un material ferromagnético tal como acero al carbono, acero de construcción, acero inoxidable ferrítico.

El conductor 12a tiene un área S de sección transversal, donde $S = \pi (d/2)^2$, siendo d el diámetro del conductor.

45 Durante las actividades de desarrollo llevadas a cabo por el solicitante con el fin de investigar las pérdidas de blindaje en un cable eléctrico de corriente alterna, el solicitante analizó un primer cable de CA que tenía tres núcleos trenzados juntos de acuerdo con un paso A de 2570 mm; una única capa de ochenta y ocho (88) alambres bobinados alrededor del cable de acuerdo con un paso B de bobinado del blindaje de contracapa al paso A de trenzado del núcleo, siendo B -1890 mm, y el paso C transversal igual a aproximadamente 1089 mm; un diámetro de alambre d de 6 mm; un área S de sección transversal de 800 mm².

50 El Solicitante analizó también un segundo cable de CA que tenía tres núcleos trenzados juntos de acuerdo con un paso A de núcleo de 1442 mm; una sola capa de sesenta y un (61) alambres bobinados alrededor del cable de

acuerdo con un paso B de bobinado de blindaje unicapa al paso A de núcleo, siendo B 1117 mm y paso C transversal igual a aproximadamente 4956 mm; un diámetro d de alambre de 6 mm; un área S de sección transversal de 500 mm².

5 El solicitante midió experimentalmente la resistencia de fase (Ohmios/m) del primer y segundo cable con y sin alambres de blindaje, para una corriente alterna en cada conductor que varía de 20A a 1600A. La resistencia de fase se obtuvo a partir de pérdidas de cable medidas divididas por 3 (número de conductores) y por el cuadrado de la corriente I que circula en los conductores. La resistencia de fase se midió para los dos cables con una reducción progresiva del número de alambres, comenzando con el blindaje completo con cables 88/61, y eliminando entonces progresivamente los alambres igualmente distribuidos alrededor del cable.

10 La figura 2 muestra la resistencia de fase medida para el primer cable (cable contracapa). En particular, las medidas se han hecho con una reducción progresiva del número de alambres, comenzando con el blindaje completo con 88 alambres, y eliminando entonces 1 alambre cada 8 alambres igualmente distribuidos alrededor del cable. Las medidas con blindaje completo (88 alambres), con 66 alambres de blindaje y con los alambres de blindaje completamente eliminados se presentan en la figura 2.

15 La figura 3 muestra la resistencia de fase medida para el segundo cable (cable unicapa). Los valores de resistencia de fase obtenidos para este cable blindado eran muy inferiores a los obtenidos para el primer cable blindado y la variación de la resistencia de fase en ausencia de alambres de blindaje no era tan notable para este segundo cable. Por esta razón, solo se muestran en la figura 3 la primera y la última medida (con blindaje completo de 61 alambres y sin blindaje), incluso si las medidas se han hecho con una reducción progresiva del número de alambres también para este segundo cable.

20

En las figuras 2 y 3, el símbolo "E" significa "elevado" y "E-05" significa "1 · 10-5".

Comparando los resultados de las figuras 2 y 3, el solicitante observó además que el valor de la diferencia de la resistencia de fase medida para el segundo cable con blindaje completo y sin blindaje es del orden de 1 · 10-6 Ohmios/m, que es aproximadamente 10 veces menor que la medida para el primer cable con blindaje completo, y de todos modos notablemente inferior a la del primer cable con un número similar de alambres de blindaje (61 en el segundo cable frente a 66 en el primer cable blindado).

Analizando los resultados de la figura 2, el solicitante observó además que la resistencia de fase disminuye reduciendo el número de alambres.

30 El solicitante observó que esta última observación choca con la fórmula (véase la fórmula 2 descrita anteriormente) dada por la IEC 60287-1-1 para λ_2 (es decir, la relación entre las pérdidas en el blindaje y las pérdidas totales en todos los conductores). De hecho, de acuerdo con IEC 60287-1-1, la capa de alambres de blindaje se modela acumulativamente como un tubo sólido que tiene una resistencia R_A (en régimen CA) dada por $(\rho \cdot L)/(S \cdot N_{alambres})$, en donde ρ es la resistividad eléctrica del material de alambre, S es el área de sección transversal del alambre, L es la longitud del alambre y $N_{alambres}$ es el número total de cables en el blindaje. Según IEC 60287-1-1, la resistencia de blindaje R_A aumenta con un número decreciente de alambres, según IEC 60287-1-1, λ_2 (y por lo tanto la resistencia de fase antes mencionada) debería aumentar (y no disminuir como se muestra en la figura 2) con un número decreciente de alambres.

35 Observando que la resistencia de fase depende de la corriente I que circula en los conductores y que es bastante baja para valores de corriente bajos, el solicitante encontró además que los resultados mencionados anteriormente obtenidos por J.J. Bremnes et al. con cables de 8,5 km y 12 km de largo y una corriente de prueba de 51 A, no puede aplicarse a los cables de MT/HV que transportan valores de corriente estándar, típicamente superiores a 500 A.

40 De hecho, el solicitante cree que las corrientes de Foucault y la histéresis son responsables de las pérdidas generadas en el blindaje. Sin embargo, valores bajos de corriente alterna (por ejemplo, corriente de prueba de 51 A utilizada por J. J. Bremnes et al.) no provocan histéresis e inducen corrientes turbulentas muy bajas.

45 Además, sobre el resultado de que el valor de la diferencia de resistencia de fase medida para el segundo cable con blindaje completo (61 alambres) y sin blindaje es aproximadamente 10 veces menor que la medida para el primer cable (con blindaje completo de 88 alambres), el solicitante observó que tal diferencia no podía atribuirse (al menos únicamente) al hecho de que el segundo cable tiene una sección transversal más pequeña y un número menor de alambres en el blindaje.

50 Por lo tanto, el solicitante investigó las pérdidas de blindaje en un cable de CA calculando el porcentaje de pérdidas de blindaje como una función del paso B de bobinado del blindaje.

55 En particular, se calcularon las pérdidas de blindaje asumiéndolas como inversamente proporcionales al paso C transversal. Se consideraron las siguientes condiciones: un cable de tres núcleos de corriente alterna con los núcleos trenzados conjuntamente de acuerdo con un paso A de trenzado de núcleo, con A = 2500 mm; solo un alambre de blindaje, bobinado alrededor del cable de acuerdo con un paso B de bobinado de blindaje variable; una

hipótesis de que las pérdidas en el alambre de blindaje son inversamente proporcionales al paso C transversal; una corriente de 800 A en los conductores; Un área de sección de conductor S de 800 mm².

La figura 4 muestra los resultados del cálculo del porcentaje de pérdidas de blindaje como una función del paso B de bobinado del blindaje de acuerdo con las condiciones mencionadas anteriormente. El cálculo consideró las pérdidas

5 al 100 % de las medidas empíricamente con el primer cable de la figura 2. El valor negativo del paso de bobinado del blindaje significa direcciones de bobinado de contracapa de los alambres de blindaje con respecto a los núcleos; el valor positivo del paso de bobinado del blindaje significa direcciones de bobinado unicapa de los alambres de blindaje con respecto a los núcleos.

10 Como es visible en la figura 4, sobre la hipótesis hecha de que el valor de las pérdidas de blindaje en el alambre de blindaje es inversamente proporcional al paso C transversal, las pérdidas de blindaje son altas cuando el paso B de bobinado del blindaje – ya sea unicapa o contracapa con respecto al paso A de trenzado del núcleo - es muy corto (y, como consecuencia, el paso C transversal es aproximadamente 1/3 del paso A de trenzado del núcleo).

15 Un incremento del paso B de bobinado del blindaje - ya sea unicapa o contracapa con respecto al paso A de trenzado del núcleo - trae a la reducción de las pérdidas de blindaje, siendo la tendencia de tal reducción golpear en el caso del paso B del bobinado del blindaje es unicapa con respecto al paso A de trenzado del núcleo. Por ejemplo, un paso B de bobinado del blindaje unicapa de aproximadamente 1500 mm da como resultado un porcentaje de pérdida de blindaje de aproximadamente 25 % (-75 % con respecto al valor empírico obtenido para el primer cable de la figura 2), mientras que un paso B de bobinado del blindaje contracapa de aproximadamente 1500 mm (aproximadamente -1500 mm) da como resultado un porcentaje de pérdida de blindaje de aproximadamente 105 % (+5 % con respecto a dicho valor empírico).

20 Las pérdidas de blindaje tienen un mínimo cuando el paso A de trenzado del núcleo y el paso B de bobinado del blindaje son sustancialmente iguales (unicapa y con aproximadamente el mismo paso).

25 En vista de los resultados mencionados, el solicitante investigó las pérdidas de blindaje para un cable de CA en las mismas condiciones que la de la figura 4, pero utilizando un procedimiento 3D FEM (Procedimiento de Elemento Finito) para verificar la hipótesis hecha en el cálculo de la figura 4.

30 Al igual que en el caso del cálculo de la figura 4, el cálculo FEM consideró pérdidas al 100 % aquellas medidas empíricamente con el primer cable de la figura 2 (valor marcado con un círculo en la figura 5).

35 Los resultados de los cálculos de FEM se presentan en la figura 5, en los que se muestran los porcentajes de pérdida de blindaje en función del paso B de bobinado del blindaje. También en este caso las pérdidas de blindaje tienen un mínimo cuando el paso A de trenzado del núcleo y el paso B de bobinado del blindaje son iguales (cable unicapa con núcleos y alambre de blindaje con el mismo paso) mientras que son muy altos cuando B es cercano a cero (positivo o negativo). Además, los porcentajes de pérdida de blindaje pueden ser tan bajos como 25 % o menos cuando B es positivo (cable unilateral) mientras que dichos porcentajes son al menos aproximadamente 75 % cuando B es negativo (cable contracapa).

40 El patrón de las pérdidas de blindaje en la figura 5 es muy similar al mostrado en la figura 4. El cálculo de FEM realizado por el solicitante confirmó así que la hipótesis hecha en los cálculos de la figura 4 (que el valor de las pérdidas de blindaje en el alambre de blindaje es inversamente proporcional al paso C transversal) es correcta.

45 El solicitante encontró así que las pérdidas de blindaje cambian en gran medida dependiendo del hecho de que el paso B de bobinado del blindaje es unicapa o contracapa al paso A de trenzado del núcleo. En particular, las pérdidas de blindaje son altamente reducidas cuando el paso B de bobinado de blindaje es unicapa al paso A de trenzado del núcleo, en comparación con la situación en la que el paso B de bobinado del blindaje es contracapa al paso A de trenzado del núcleo.

50 El paso B de bobinado del blindaje es diferente del paso A de trenzado del núcleo ($B \neq A$). Tal diferencia es al menos igual al 10 % del paso A. Aunque aparentemente favorable en términos de reducción de la pérdida de blindaje, la configuración con $B = A$ sería desventajosa en términos de resistencia mecánica.

55 Ventajosamente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, es de 1000 a 3000 mm. Más ventajosamente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, es de 1500 a 2600 mm. Los valores bajos de A son económicamente desventajosos ya que se necesita una longitud de conductor más alta para una longitud de cable dada. Por otro lado, los valores altos de A son desventajosos en términos de flexibilidad del cable.

50 Según la invención, $C \geq 3A$, en módulo. Preferentemente, $C \geq 10A$, en módulo.

55 Sin pretender estar vinculado a ninguna teoría, el solicitante cree que el presente hallazgo (que las pérdidas de blindaje están altamente reducidas cuando B es unicapa a A) se debe al hecho de que cuando A y B son del mismo signo (misma dirección) y, en particular, cuando A y B son iguales o muy similares entre sí, los núcleos y los alambres de blindaje son paralelos o casi paralelos entre sí. Esto significa que el campo magnético generado por la corriente CA transportada por los conductores en los núcleos es perpendicular o casi perpendicular a los alambres

de blindaje. Esto hace que las corrientes parásitas inducidas en los alambres del blindaje sean paralelas o casi paralelas al eje longitudinal de los alambres del blindaje.

Por otra parte, cuando A y B son de signo opuesto (contracapa), los núcleos y los alambres de blindaje son perpendiculares o casi perpendiculares entre sí. Esto significa que el campo magnético generado por la corriente alterna transportada por los conductores en los núcleos es paralelo o casi paralelo a los alambres de blindaje. Esto hace que las corrientes parásitas inducidas en los alambres de blindaje sean perpendiculares o casi perpendiculares con respecto al eje longitudinal de los alambres de blindaje.

A la luz de las observaciones anteriores, el solicitante encontró que es posible reducir las pérdidas de blindaje en un cable de CA utilizando un paso B de bobinado de blindaje unicapa al paso A de trenzado del núcleo, con $C \geq 3A$. En particular, el solicitante encontró que, usando un paso B de bobinado del blindaje unicapa al paso A de trenzado del núcleo, con $C \geq 3A$, la relación λ_2' de las pérdidas en el blindaje a las pérdidas totales en todos los conductores en el cable eléctrico es mucho menor que el valor λ_2 según se calcula de acuerdo con la fórmula (2) mencionada anteriormente de la Norma IEC 60287-1-1.

En particular, y ventajosamente, $\lambda_2' \leq 0,75 \lambda_2$. Preferentemente, $\lambda_2' \leq 0,50 \lambda_2$. Más preferentemente, $\lambda_2' \leq 0,25 \lambda_2$. Incluso más preferentemente, $\lambda_2' \leq 0,10 \lambda_2$.

Teniendo en cuenta la fórmula anterior (1) proporcionada por la norma IEC 60287-1-1, la configuración unilateral de alambres y núcleos de blindaje permite aumentar la capacidad de corriente admisible de un cable. El aumento de la clasificación de corriente admisible conduce a dos mejoras en un sistema de transporte de CA: incrementar la corriente transportada por un cable y/o proporcionar un cable con un área S de sección transversal reducida, considerando el aumento/reducción con respecto al caso en el que las pérdidas de blindaje se calculan de acuerdo con la fórmula (2) anteriormente mencionada.

Esto es muy ventajoso porque permite hacer un cable más potente y/o reducir el tamaño de los conductores con la consiguiente reducción del tamaño, peso y coste del cable.

Por ejemplo, en el caso del cable unilateral de la figura 3 (con $A = 1442 \text{ mm}^2$, $B = 1117 \text{ mm}$, $S = 500 \text{ mm}^2$), el solicitante calculó el parámetro λ_2 utilizando la fórmula (2) anterior proporcionada por IEC 60287-1-1. Utilizando el valor de λ_2 así calculado ($\lambda_2 = 0,317$), el Solicitante calculó el grado de corriente admisible usando la fórmula (1) anterior proporcionada por IEC 60287-1-1 y considerando una profundidad de colocación de 1,5 m, una temperatura ambiente de 20 °C y la resistividad térmica del suelo de 0,8 K · m/W, se obtuvo un valor nominal de corriente admisible de 670 A.

Por otra parte, la relación λ_2 de las pérdidas en el blindaje a las pérdidas totales en todos los conductores del mismo cable eléctrico, medida experimentalmente por el Solicitante aplicando la inserción de Aron (P.P. Civalleri, *Lezioni di Elettrotecnica*, Libreria editrice Levrotto & Bella, Turín 1981) resultó ser igual a aproximadamente 0,025. Es decir, la relación λ_2' experimentalmente medida por el Solicitante resultó ser más de diez veces menor que el valor λ_2 calculado de acuerdo con la fórmula (2) mencionada anteriormente (es decir, $\lambda_2' \leq 0,10 \lambda_2$).

El solicitante observa que usando la fórmula (1) anterior en la misma condición de puesta como se mencionó anteriormente, pero con λ_2 reducida a 0,0317 (una décima de 0,317), la corriente admisible se convierte en 740 A. Esto significa que una corriente mucho más alta que la calculada considerando λ_2 calculado de acuerdo con IEC 60287 puede ser transportado por un cable dado que tiene, de acuerdo con la invención, un paso B de bobinado del blindaje unicapa o al paso A de trenzado del núcleo, con $C \geq 3A$.

Por otro lado, en la misma condición de colocación y con λ_2 reducida a 0,0317 (una décima de 0,317), se puede alcanzar la misma corriente admisible de 670 A con un conductor con un diámetro de 400 mm^2 en lugar de un conductor de 500 mm^2 (80 % de reducción del área S de sección transversal). Esto significa que una corriente determinada puede ser transportada por un cable con un tamaño de conductor mucho menor que el requerido por IEC 60287, cuando dicho cable tiene, según la invención, un paso B de bobinado de blindaje unicapa al paso A de trenzado de núcleo, con $C \geq 3A$.

La figura 6 muestra el cálculo de FEM de pérdidas (en unidades arbitrarias) inducidas en un alambre cilíndrico de material ferromagnético en función del diámetro del alambre, con diferentes valores de resistividad eléctrica y permeabilidad magnética relativa. Se consideraron dos casos de resistividad eléctrica, respectivamente de $20 \cdot 10^{-8} \text{ Ohmios} \cdot \text{m}$ y de $24 \cdot 10^{-8} \text{ Ohmios} \cdot \text{m}$, y dos casos de permeabilidad magnética relativa, respectivamente de $\mu_r = 300$ y $\mu_r = 900$. La combinación de los casos anteriores conduce a cuatro casos representativos, listados en la figura 6.

Los rangos indicados en la figura 6 son típicos para el acero de construcción.

A partir de la figura 6, es evidente que, para reducir las pérdidas, para diámetros de alambre inferiores a 6 mm es preferible elegir materiales con menor permeabilidad magnética relativa.

Por otro lado, para diámetros de alambre superiores a 6 mm es preferible elegir materiales con mayor permeabilidad

magnética relativa.

Además, para cualquier diámetro de alambre, con un valor igual de permeabilidad magnética relativa, es mejor elegir materiales con mayor resistividad eléctrica.

5 Teniendo en cuenta que el valor típico de la resistividad para los alambres de blindaje es de aproximadamente $14 \cdot 10^{-8}$ Ohmios · m, de acuerdo con la invención, el alambre blindado tiene preferentemente una resistividad al menos igual a $14 \cdot 10^{-8}$ Ohmios · m, más preferentemente al menos igual a $20 \cdot 10^{-8}$ Ohmios · m.

10 Además, teniendo en cuenta que el valor típico de la permeabilidad magnética relativa de los alambres de blindaje es de aproximadamente 300, de acuerdo con la invención, el alambre de blindaje preferentemente tiene una permeabilidad magnética relativa mayor o menor que 300 dependiendo del hecho de que el diámetro del alambre esté por encima o por debajo de 6 mm.

15 Se observa además que, según la invención, a la vista de los resultados mostrados en la figura 2, el número de alambres ferromagnéticos se reduce preferentemente con respecto a una situación en la que los alambres ferromagnéticos blindados cubren todo el perímetro externo del cable.

20 El número de alambres en una capa de blindaje se puede calcular, por ejemplo, como el número de alambres que llenan el perímetro del cable y se deja un hueco de aproximadamente un 5 % del diámetro de alambre entre alambres adyacentes.

25 Con el fin de reducir el número de alambres ferromagnéticos, el blindaje puede comprender ventajosamente alambres ferromagnéticos que alternan con alambres no ferromagnéticos (por ejemplo, plástico o acero inoxidable). Además, o en alternativa, los alambres de blindaje pueden comprender un núcleo ferromagnético rodeado por un material no ferromagnético.

30 Se observa que incluso si en la descripción y las figuras anteriores se han descrito cables que comprenden blindaje con una sola capa de alambres, la invención también se aplica a cables en los que el blindaje comprende una pluralidad de capas, superpuestas radialmente.

35 En dichos cables, el blindaje de múltiples capas preferentemente comprende una capa (interior) de alambres con una disposición del bobinado del blindaje y un paso B de bobinado del blindaje, una primera capa exterior de alambres, que rodea la capa (interior), con una disposición del bobinado de primera capa exterior y un paso B' de bobinado de la primera capa exterior y, opcionalmente, una segunda capa exterior de alambres, que rodea la primera capa exterior, con una segunda capa exterior de bobinado y un paso B'' de bobinado de segunda capa exterior.

40 En cuanto a las características de la capa (interior), la disposición del bobinado del blindaje, el paso B de bobinado del blindaje, la disposición de trenzado de núcleo y el paso A de trenzado del núcleo, se aplican las mismas consideraciones anteriores con referencia a un blindaje con una sola capa de alambres. En particular, la disposición del bobinado del blindaje de la capa interior es unicapa a la disposición de trenzado del núcleo.

45 En cuanto a la primera capa exterior, la disposición de la primera capa exterior de bobinado es preferentemente contracapa con respecto a la disposición del trenzado del núcleo (y a la disposición del bobinado del blindaje). Esto mejora ventajosamente las prestaciones mecánicas del cable.

Cuando también está presente la segunda capa exterior de alambres, la segunda disposición del bobinado de la capa exterior es preferentemente unicapa respecto a la disposición de trenzado del núcleo (y a la disposición del bobinado del blindaje).

50 Como se ha explicado con detalle más arriba, cuando la disposición del blindaje del bobinado de la capa (interior) de alambres es unicapa respecto a la disposición de trenzado del núcleo, las pérdidas en el blindaje son altamente reducidas, así como el campo magnético (generado por la corriente CA transportada por los conductores del cable) fuera de la capa (interior) del blindaje, que está protegida por la capa interior. De esta manera, la primera capa exterior, que rodea la capa (interior), experimenta un campo magnético reducido y genera pérdidas menores de blindaje, incluso si se usa en una configuración contracapa con respecto a la disposición del trenzado de núcleo.

Para los cables que comprenden un blindaje de múltiples capas, se aplican las mismas consideraciones hechas anteriormente con referencia a la relación λ_2 , (pérdidas en el blindaje a las pérdidas totales en todos los conductores en el cable eléctrico), donde las pérdidas en el blindaje se calculan como las pérdidas en la capa (interior), la primera capa exterior y, cuando está presente, la segunda capa exterior.

REIVINDICACIONES

1. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente I alterna a una temperatura máxima de trabajo admisible del conductor T que comprende:

5 - al menos dos núcleos (12) trenzados juntos de acuerdo con una disposición de trenzado de núcleo y un paso A de trenzado del núcleo, comprendiendo cada núcleo (12) un conductor (12a) eléctrico que tiene un área S de sección transversal y pérdidas de conductor cuando se transporta la corriente I ;

10 - un blindaje (16) que rodea los al menos dos núcleos (12), comprendiendo dicho blindaje (16) una capa de una pluralidad de alambres (16a) metálicos bobinados alrededor de los núcleos (12) de acuerdo con una disposición de bobinado de blindaje helicoidal y un paso B de bobinado de blindaje, teniendo dicho blindaje (16) pérdidas de blindaje cuando se transporta la corriente I ; dichas pérdidas de conductor y pérdidas de blindaje que contribuyen a las pérdidas de cable totales determinando la temperatura máxima de trabajo admisible del conductor T ;

en el que la disposición del bobinado del blindaje helicoidal tiene la misma dirección que la disposición de trenzado del núcleo, y

15 el área S de sección transversal es tal que hace que el cable opere a la temperatura máxima de trabajo admisible del conductor T mientras transporta la corriente I alterna con pérdidas de blindaje iguales o inferiores al 30 % de las pérdidas totales del cable,

20 **caracterizado porque** el paso B de bobinado del blindaje y el paso A de trenzado del núcleo son tales que un paso C transversal es mayor o igual que $3A$, siendo el paso B de bobinado del blindaje diferente del paso A de trenzado del núcleo en al menos 10 % y definiéndose el paso C transversal por la siguiente relación:

$$C = \left| \frac{I}{\frac{I}{A} - \frac{I}{B}} \right|$$

2. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 1, en el que $C \geq 5A$.

3. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 2, en el que $C \geq 10A$.

4. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 1, en el que C no es superior a $12A$.

25 5. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 1, en el que el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, es de 1000 a 3000 mm.

6. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 5, en el que el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, es a partir de 1500 mm.

30 7. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 5, en el que el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, no es superior a 2600 mm.

8. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 1, en el que las pérdidas de blindaje son iguales o inferiores al 10 % de las pérdidas totales del cable.

9. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 1, en el que las pérdidas de blindaje son iguales o inferiores al 3 % de las pérdidas totales del cable.

35 10. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 1, en el que el blindaje (16) comprende además una primera capa exterior de una pluralidad de alambres (16a) metálicos, que rodean dicha capa de una pluralidad de alambres (16a) metálicos, estando los alambres (16a) metálicos de dicha primera capa exterior bobinados alrededor de los núcleos (12) de acuerdo con una disposición del bobinado de la primera capa exterior y un paso B' de bobinado de la primera capa exterior.

40 11. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 10, en el que la disposición de bobinado de la primera capa exterior tiene una dirección opuesta con respecto a la disposición de trenzado de núcleo.

45 12. Cable (10) de alimentación para transportar una corriente alterna según la reivindicación 10, en el que el área S de sección transversal del conductor eléctrico es tal que hace que el cable opere a la temperatura máxima admisible del conductor T mientras transporta la corriente I alterna con pérdidas de blindaje iguales o inferiores al 30 % de las pérdidas totales del cable, comprendiendo las pérdidas de blindaje tanto las pérdidas en dicha capa como en dicha primera capa exterior.

13. Procedimiento para mejorar las prestaciones de un cable (10) de alimentación que comprende al menos dos

núcleos (12) trenzados juntos de acuerdo con una disposición de trenzado de núcleo y un paso A de trenzado del núcleo, comprendiendo cada núcleo (12) un conductor (12a) eléctrico que tiene un área S de sección transversal y pérdidas del conductor cuando se transporta la corriente I; y un blindaje (16) que rodea los al menos dos núcleos (12), comprendiendo dicho blindaje (16) una capa de una pluralidad de alambres (16a) metálicos bobinados alrededor de los núcleos (12) de acuerdo con una disposición de bobinado de blindaje helicoidal y un paso B de bobinado de blindaje, teniendo dicho blindaje (16) pérdidas de blindaje cuando se transporta la corriente I; contribuyendo dichas pérdidas del conductor y pérdidas de blindaje a las pérdidas de cable totales que determinan la temperatura máxima de trabajo admisible del conductor T, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

5 - reducir las pérdidas de blindaje a un valor igual o inferior al 30 % de las pérdidas totales de cable mediante la construcción del cable de alimentación de tal manera que:

- 10 * la disposición de bobinado del blindaje helicoidal tiene la misma dirección que la disposición de trenzado del núcleo,
- * el paso B de bobinado del blindaje difiere del paso A de trenzado del núcleo en al menos el 10 %, y
- * el paso B de bobinado del blindaje y el paso A de trenzado del núcleo son tales que un paso C transversal es mayor o igual que 3A, definiéndose el paso C transversal por la siguiente relación:

$$C = \left| \frac{I}{\frac{1}{A} - \frac{1}{B}} \right| ;$$

15 - construir el cable (10) de alimentación con un valor reducido del área S de sección transversal del conductor eléctrico, como se determina por el valor de las pérdidas reducidas de blindaje, y/o

20 - operar el cable (10) de alimentación a la temperatura máxima de trabajo admisible del conductor T, transportando dicha corriente I alterna con un valor incrementado, como se determina por el valor de las pérdidas reducidas de blindaje.

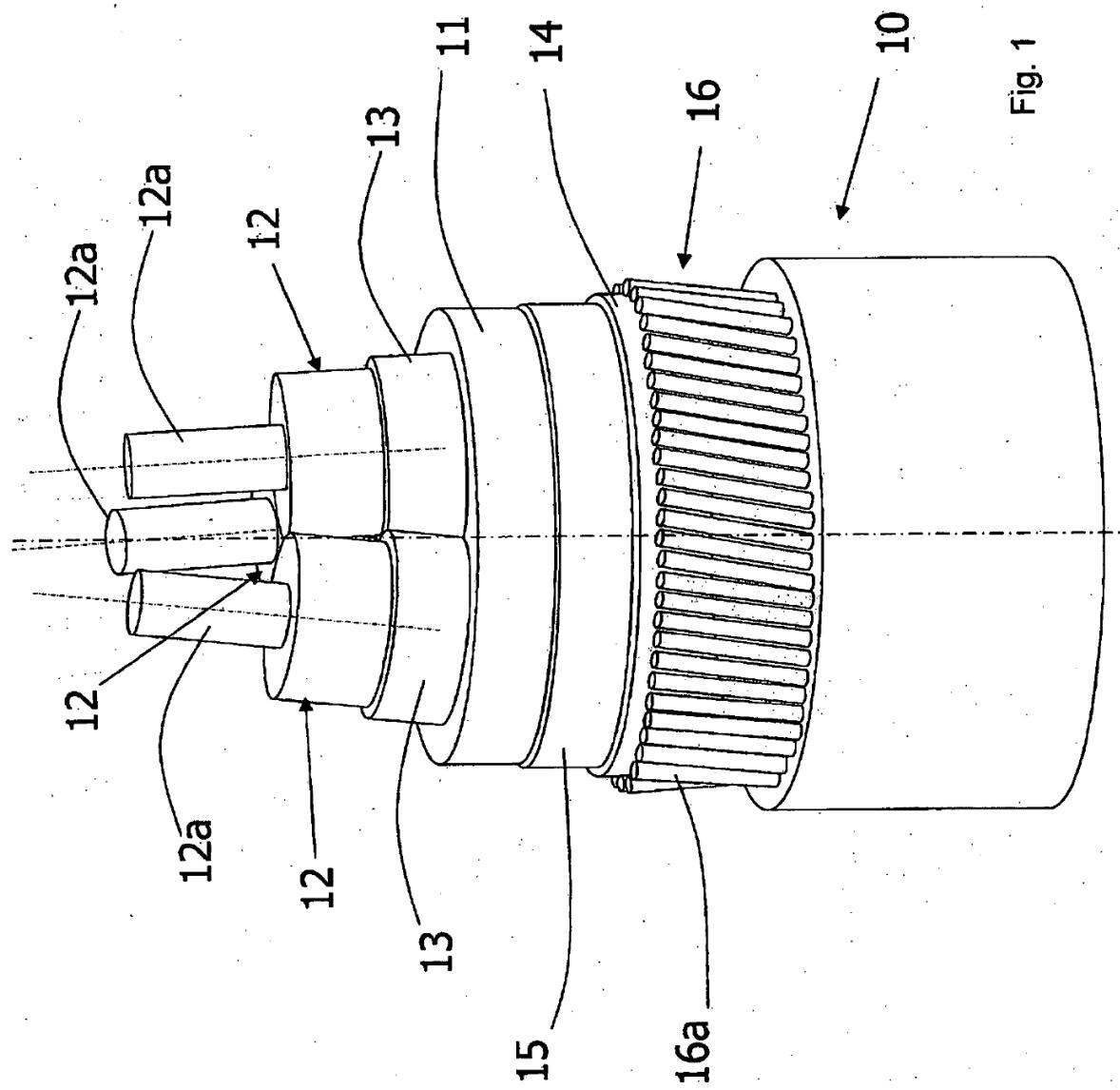


Fig. 1

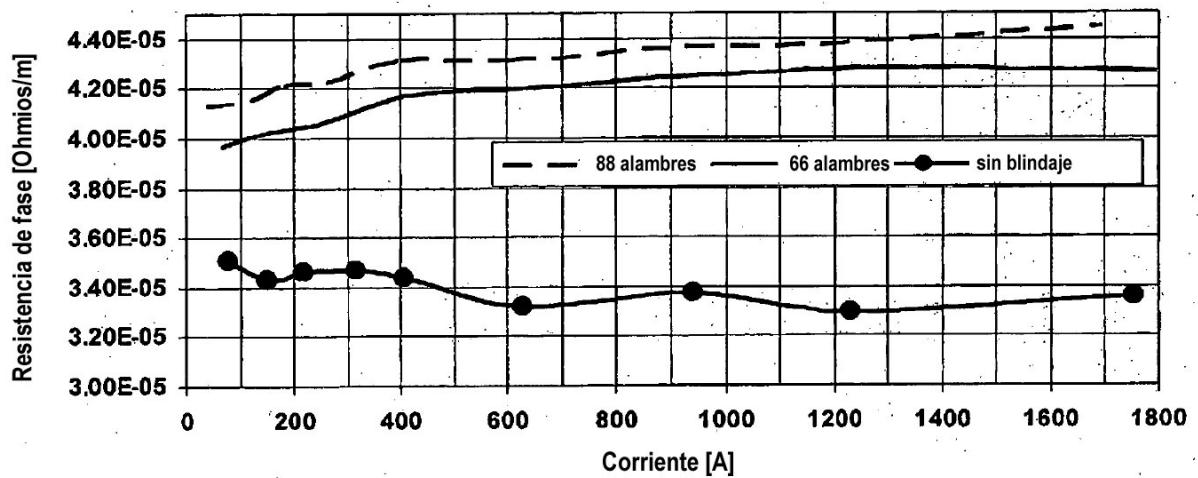


Fig. 2

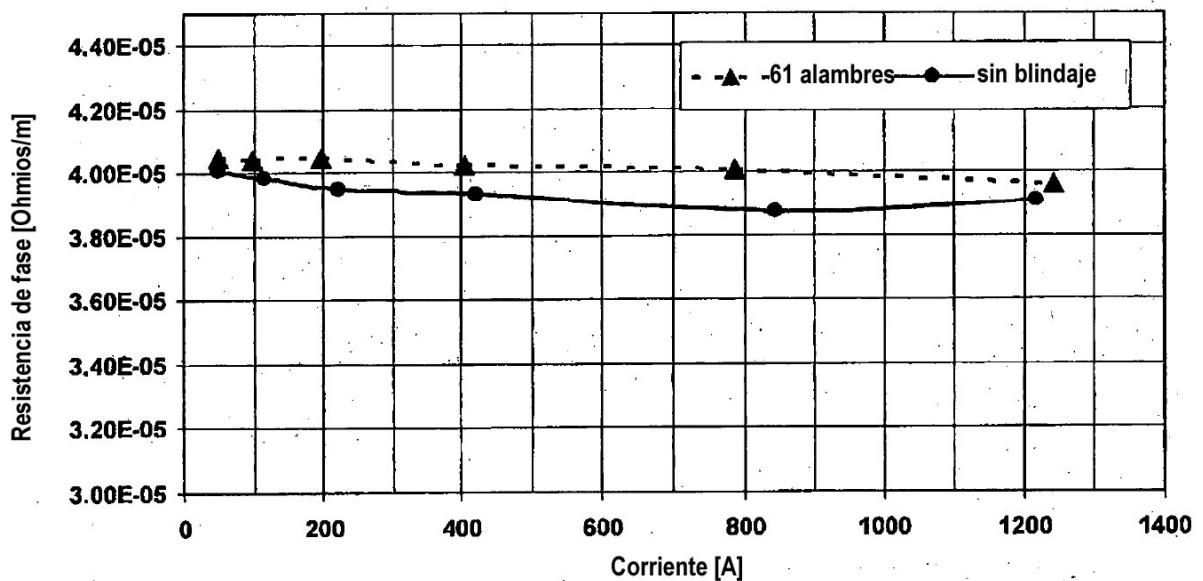


Fig. 3

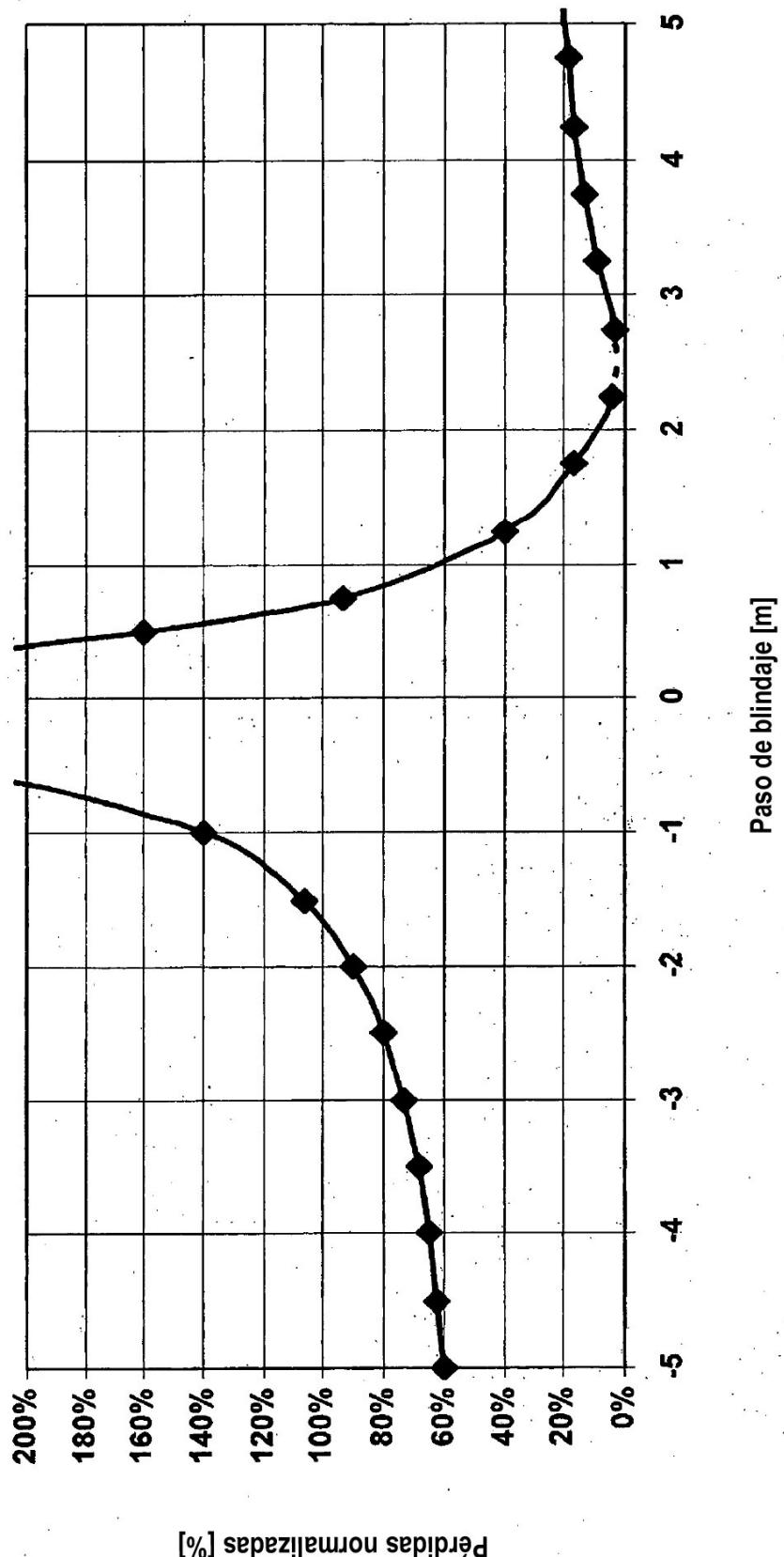


Fig. 4

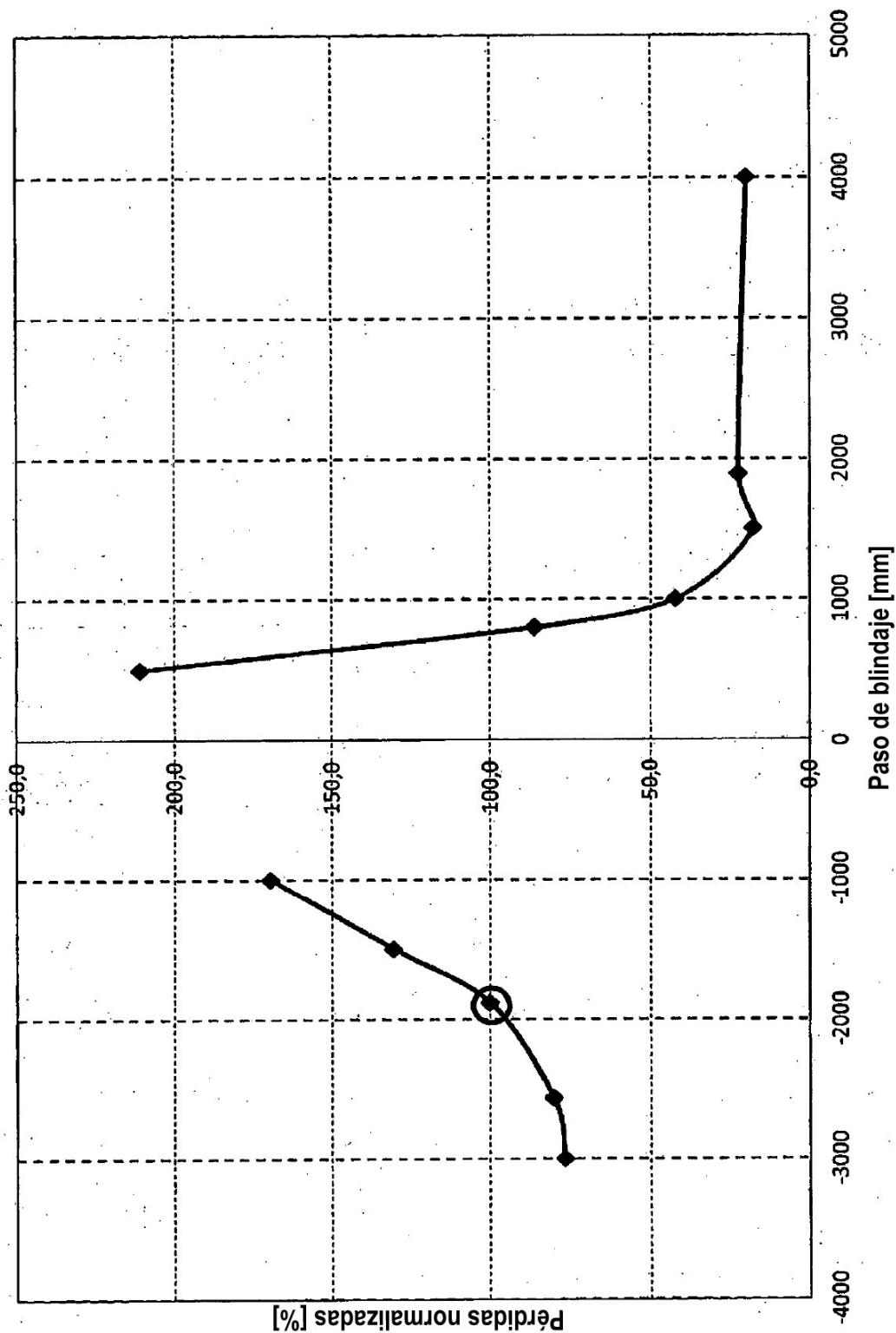


Fig. 5

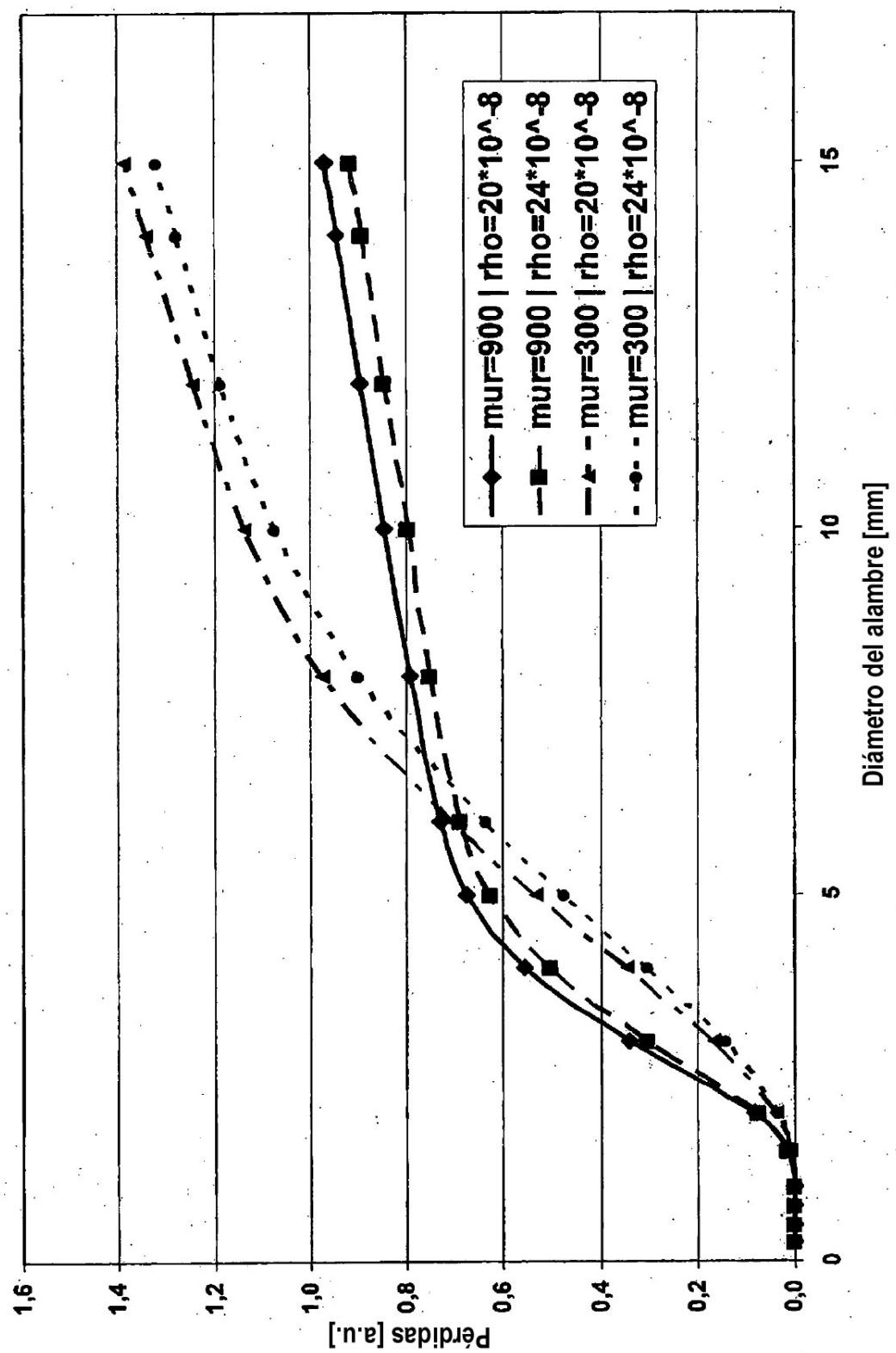


Fig. 6

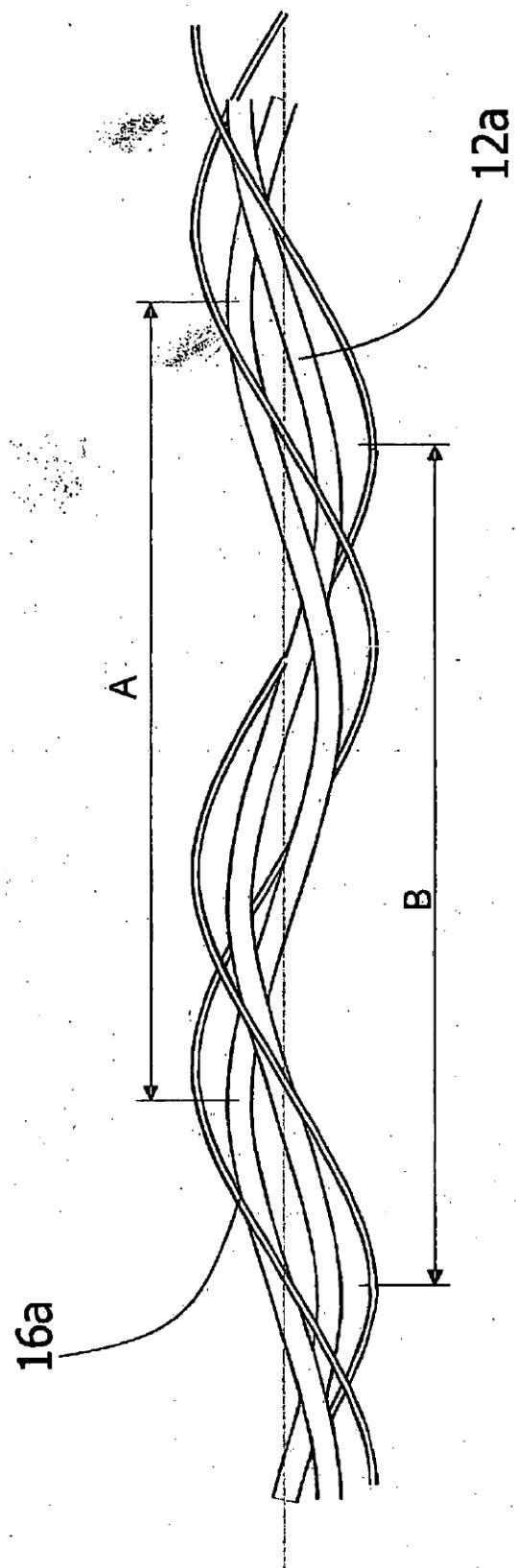


Fig. 7