

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 700 744**

51 Int. Cl.:

**H01B 7/26**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2013 PCT/EP2013/064550**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.01.2015 WO15003745**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2013 E 13739632 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 3020051**

54 Título: **Procedimiento y cable de alimentación blindado para el transporte de corriente alterna**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.02.2019**

73 Titular/es:

**PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)  
Via Chiese, 6  
20126 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**MAIOLI, PAOLO y  
BECHIS, MASSIMO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 700 744 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento y cable de alimentación blindado para el transporte de corriente alterna

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

5 Un cable de alimentación blindado se emplea en general en aplicaciones en las que se prevén tensiones mecánicas. En un cable de alimentación blindado, el núcleo o núcleos del cable (típicamente tres núcleos trenzados en el segundo caso) están rodeados por al menos una capa metálica en la forma de alambres para reforzar la estructura del cable mientras se mantiene una adecuada flexibilidad.

10 Cuando se transporta corriente alterna (CA) en un cable, la temperatura de los conductores eléctricos dentro del cable se eleva debido a las pérdidas resistivas, un fenómeno que se conoce como el efecto Joule.

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

15 La norma internacional IEC 60287-1-1 (segunda edición 2006-12) proporciona procedimientos para el cálculo del valor de la corriente admisible en los cables a partir de detalles de la elevación de temperatura admisible, resistencia del conductor, pérdidas y resistividades térmicas. En particular, el cálculo del valor de la corriente en cables eléctricos es aplicable a las condiciones de funcionamiento en estado estable de todas las tensiones alternas. El término "estado estable" está dirigido a indicar una corriente constante continua (factor de carga del 100 %) justamente suficiente para producir asintóticamente la máxima temperatura del conductor, suponiéndose constantes las condiciones ambientes circundantes. También se da la fórmula para el cálculo de las pérdidas.

20 En IEC 60287-1-1, el valor de la corriente admisible de un cable de CA se deduce de la expresión de la elevación de temperatura  $\Delta\theta$  admisible en el conductor por encima de la temperatura ambiente  $T_a$ , en la que  $\Delta\theta = T - T_a$ , siendo T la temperatura del conductor cuando está circulando una corriente I en el conductor y siendo  $T_a$  la temperatura del medio ambiente en condiciones normales, en una situación en la que están instalados los cables, o se van a instalar, incluyendo el efecto de cualquier fuente local de calor, pero no el incremento de temperatura en la proximidad inmediata de los cables por el calor que surge de los mismos. Por ejemplo, la temperatura del conductor T debería mantenerse por debajo de aproximadamente 90 °C.

25 Por ejemplo, de acuerdo con IEC 60287-1-1, en caso de cables de CA enterrados en los que no tiene lugar el secado del suelo o cables de CA al aire, el valor de la corriente admisible puede deducirse de la expresión para el aumento de la temperatura por encima de la temperatura ambiente:

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

en la que:

I es la corriente que circula en un conductor (amperios)

$\Delta\theta$  es la elevación de temperatura del conductor por encima de la temperatura ambiente (kelvin)

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

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

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

$T_2$  es la resistencia térmica por unidad de longitud del asentamiento entre revestimiento y blindaje (K·m/W);

40  $T_3$  es la resistencia térmica por unidad de longitud del servicio externo 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 de transporte de carga del cable (conductores de igual tamaño y que transportan la misma carga);

45  $\lambda_1$  es la relación de pérdidas en el revestimiento metálico a las pérdidas totales en todos los conductores en ese cable;

$\lambda_2$  es la relación de pérdidas en el blindaje respecto a las pérdidas totales en todos los conductores en el cable.

En el caso de cables de tres núcleos y blindaje de alambre de acero, se da la relación  $\lambda_2$ , en la norma IEC 60287-1-1, por 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        en la que  $R_A$  es la resistencia para CA del blindaje a la temperatura de blindaje máxima ( $\Omega/m$ );

$R$  es la resistencia para corriente alterna por unidad de longitud del conductor a la máxima temperatura de funcionamiento ( $\Omega/m$ );

$d_A$  es el diámetro medio del blindaje (mm);

$c$  es la distancia entre los ejes de un conductor y el centro del cable (mm);

10        $\omega$  es la frecuencia angular de la corriente en los conductores.

El presente solicitante observa que, en general, la reducción de pérdidas significa la reducción de la sección transversal de los conductores y/o un incremento en el valor de la corriente admisible.

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

15       Los documentos US 2012/0024565 A1, CN 101 950 619 A y GB 2 437 161 A divulgan la reducción de pérdidas en un cable eléctrico de alimentación.

Ernesto Zaccone, "Mechanical Aspects of Submarine Cable Armour", primavera de 2012 - ICC Submarine cables - 27 de marzo de 2012, Seattle, Estados Unidos, divulga el preámbulo de la reivindicación 8.

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 pérdidas en el blindaje en un cable de triple núcleo. Establece que, para equilibrar las corrientes trifásicas, el blindaje colectivo no permitirá ninguna circulación de corriente inducida en los alambres del blindaje debido a la cancelación por trenzado/retorcido. Cualquier excepción a esto requerirá que los alambres del blindaje tengan exactamente el mismo paso que los núcleos, que el cable sea muy corto, o que los alambres del blindaje estén tocando continuamente ambos alambres contiguos. Los autores establecen que esto está en claro contraste con la fórmula para pérdidas en el blindaje multi-núcleo dada en la IEC 60287-1-1, en la que la resistencia del blindaje  $R_A$  es un parámetro importante. Los autores establecen que, típicamente, para un cable submarino de núcleo triple, la fórmula de IEC asigna un 20-30 % de pérdidas de alimentación a un blindaje colectivo de acero, mientras que sus modelos de elementos finitos 2,5D y mediciones a plena escala predicen ambas pérdidas de alimentación insignificantes en el blindaje.

30       G. Dell'Anna et al. ("HV submarine cables for renewable offshore energy", Cigré, Bolonia, 0241-2011) establecen que los campos magnéticos en CA inducen pérdidas en el blindaje y que la histéresis y las corrientes parásitas son responsables de las pérdidas generadas en el blindaje. Los autores muestran resultados experimentales obtenidos mediante la medición de pérdidas en un cable de 12,3 m de longitud, con un conductor de cobre de 800 mm<sup>2</sup>, y un diámetro exterior de 205 mm. Las mediciones se realizaron para una corriente variable desde 20 A a 1600 A. La figura 4 muestra los valores medidos de la resistencia de fase, en dos condiciones con revestimiento de plomo cortocircuitado y blindaje presente o completamente retirado. La resistencia de fase (esto es las pérdidas del cable) es constante con la corriente en ausencia de blindaje, mientras que se incrementa con la corriente en presencia de blindaje. Los autores establecen que el valor numérico de las pérdidas es importante, especialmente para cables de grandes conductores, pero no es tan alta como se notifica en la fórmula de la IEC 60287-1-1.

40       El presente Solicitante observa que Bremnes et al. establecen que las pérdidas de alimentación en el blindaje son insignificantes. Sin embargo, usan modelos de elementos finitos 2,5D y realizan las mediciones de pérdidas con cables de 8,5 km y 12 km de longitud con una corriente de ensayo muy baja de 51 A y conductores de 500 y 300 mm<sup>2</sup>. El presente solicitante observa que una corriente de ensayo de 51 A no puede ser significativa para dicho tamaño de conductor que transporta, típicamente, valores estándar de corriente por encima de 500 A.

45       Por otro lado, Dell'Anna et al. establecen que las pérdidas generadas en el blindaje son debidas a histéresis y corrientes parásitas, se incrementa con la corriente en presencia del blindaje y su valor numérico es importante, especialmente para cables de grandes conductores con, pero no tan alta como se notifica en la fórmula de la IEC 60287-1-1.

A la vista de las enseñanzas contradictorias en los documentos de la técnica anterior, el presente Solicitante

investigó adicionalmente las pérdidas en el blindaje en cables eléctricos de CA blindados.

5 Durante la investigación, el presente Solicitante tuvo en consideración la forma de la sección transversal en los alambres del blindaje. Como se mostrará posteriormente en la descripción con referencia a la Tabla 1 y la figura 5, el presente solicitante midió las pérdidas en alambres sencillos que tenían sustancialmente el mismo grosor  $D_w$  y diferían en la forma de sección transversal. En particular, las pérdidas generadas por un alambre sencillo con sección transversal alargada se compararon con la de un alambre sencillo con sección transversal redonda o cuadrada, y las primeras se hallaron más altas que las segundas.

10 Sin embargo, cuando el presente Solicitante midió las pérdidas en un blindaje realizado con alambres con sección transversal alargada y las pérdidas en un blindaje hecho con alambres con sección transversal redonda o cuadrada —teniendo ambos blindajes sustancialmente la misma área de sección transversal— sorprendentemente se descubrió que las primeras eran más bajas que las segundas. En particular, el presente Solicitante observó que las pérdidas en el blindaje se reducían cuando los alambres del blindaje tenían sección transversal alargada con el eje principal orientado tangencialmente con respecto a la circunferencia del cable.

15 El presente solicitante halló que, mediante el uso de un cable de CA blindado que incluía una capa de blindaje en la que los alambres del blindaje tenían sección transversal alargada con un eje principal orientado tangencialmente con respecto a la circunferencia del cable, se reducían las pérdidas en el blindaje. Esto permite mejorar los rendimientos de los cables de CA blindados en términos de la corriente transmitida y/o área  $S$  de la sección transversal del cable conductor. Realmente, es posible cumplir con los requisitos de la norma IEC 60287-1-1 para el valor de la corriente admisible mediante la transmisión en el cable conductor de un valor de corriente incrementado y/o mediante el uso de conductores del cable con un valor reducido del área  $S$  de sección transversal (siendo la resistencia para CA por unidad de longitud  $R$  en la fórmula anterior (1) proporcional a  $\rho/S$ , en la que  $\rho$  es la resistividad eléctrica del material conductor).

20 En un primer aspecto, la presente invención se refiere por ello a un procedimiento para mejorar los rendimientos de un cable (10) de alimentación de acuerdo con la reivindicación 1.

25 En un segundo aspecto la presente invención se refiere a un cable de alimentación de acuerdo con la reivindicación 8.

En la presente descripción y reivindicaciones, el término “núcleo” se usa para indicar un conductor eléctrico rodeado por al menos una capa aislante y, opcionalmente, al menos una capa semiconductor. Opcionalmente, dicho núcleo comprende además una pantalla metálica.

30 En la presente descripción y reivindicaciones, todas las indicaciones de direcciones y similares, tales como “axial”, “radial” y “tangencial” se realizan con referencia al eje longitudinal del cable.

35 En particular, “axial” se usa para indicar una dirección paralela al eje longitudinal del cable; “radial” se usa para indicar una dirección de intersección con el eje longitudinal del cable y dispuesta en un plano perpendicular a dicho eje longitudinal; y “tangencial” se usa para indicar una dirección perpendicular a la dirección “radial” y dispuesta en un plano perpendicular al eje longitudinal del cable.

En la presente descripción y reivindicaciones, la expresión “sección transversal alargada” se usa para indicar la forma de sección transversal perpendicular al eje longitudinal del alambre de blindaje, siendo oblonga dicha forma, alargada en una dimensión.

40 La presente descripción y reivindicaciones, el término “unicapa” se usa para indicar que el bobinado de alambres de una capa de cable (en este caso, el blindaje) alrededor del cable y el trenzado de los núcleos tienen una misma dirección, con un mismo o diferente paso.

En la presente descripción y reivindicaciones, el término “contracapa” se usa para indicar que el bobinado de los alambres de una capa de cable (en este caso, el blindaje) alrededor del cable y el trenzado de los núcleos tienen una dirección opuesta, con un mismo o diferente paso.

45 En la presente descripción y reivindicaciones, la expresión “temperatura de trabajo del conductor permisible máxima” se usa para indicar la temperatura más alta que se permite que alcance un conductor en funcionamiento en condición de trabajo estable, para garantizar la integridad del cable. La temperatura de trabajo del conductor depende sustancialmente de las pérdidas totales del cable, incluyendo las pérdidas en el conductor debido al efecto joule y otros fenómenos de disipación adicionales.

50 Las pérdidas en el blindaje son otro componente significativo de las pérdidas totales del cable.

En la presente descripción y reivindicaciones “la expresión valor de la corriente admisible” se usa para indicar la corriente máxima que puede transportarse en un conductor eléctrico para garantizar que la temperatura del conductor eléctrico no excede la temperatura de trabajo del conductor permisible máxima en condiciones de trabajo estable. El estado estable 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, de acuerdo con las condiciones de disposición.

En la presente descripción y reivindicaciones el término “ferromagnético” indica un material, por ejemplo acero, que por debajo de una temperatura dada tiene una permeabilidad magnética relativa significativamente mayor de 1.

5 En la presente descripción y reivindicaciones, la expresión “paso C transversal” se usa para indicar la longitud de cable tomada por los alambres del blindaje para realizar una vuelta simple completa alrededor de los núcleos del cable. El paso C transversal viene dado por la siguiente relación:

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

10 en la que A es el paso de trenzado del núcleo y B el paso de bobinado del blindaje. A es positivo cuando los núcleos trenzados juntos giran a derechas (atornillado a derechas) y B es positivo cuando los alambres del blindaje alrededor del cable giran a derechas (atornillado a derechas). 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.

15 De acuerdo con la invención, los rendimientos del cable de alimentación pueden mejorarse en términos de corriente alterna transportada incrementada con respecto a un cable que tenga sustancialmente la misma área S de sección transversal del conductor eléctrico y área total de sección transversal del blindaje con alambres de blindaje no alargados; o en términos de área S de sección transversal del conductor eléctrico reducida con respecto a un cable que transporte sustancialmente la misma cantidad de corriente alterna y que tenga sustancialmente la misma área total de sección transversal de blindaje con alambres de blindaje no alargados. También puede plantearse una combinación de estas dos alternativas.

20 En el mercado de cables, se ofrece un cable en venta o vendido acompañado por la indicación relativa, entre otras, a la cantidad de corriente alterna transportada, el área S de sección transversal del (de los) conductor(es) eléctrico(s) y la temperatura de trabajo del conductor permisible máxima. Con respecto a un cable conocido, un cable de acuerdo con la invención llevará indicación de un área de sección transversal reducida del (de los) conductor(es) eléctrico(s) con sustancialmente la misma cantidad de corriente alterna transportada y temperatura de trabajo del conductor permisible máxima, o una cantidad incrementada de corriente alterna transportada con sustancialmente el mismo área de sección transversal del (de los) conductor(es) eléctrico(s) y temperatura de trabajo del conductor permisible máxima.

Esto es muy ventajoso debido a que permite realizar un cable más potente y/o reducir el tamaño de los conductores con la reducción consecuente de tamaño, peso y coste del cable.

30 La corriente alterna I que se hace que circule en el cable y el área S de sección transversal cumplen ventajosamente con los requisitos del valor de la corriente admisible de acuerdo con la norma IEC 60287-1-1, por la estimación de pérdidas en blindaje iguales a o menores del 40% de las pérdidas totales del cable.

35 Las pérdidas en el blindaje pueden ser iguales a o menores al 20 % de las pérdidas totales del cable. Mediante la apropiada selección de la construcción del blindaje de acuerdo con las enseñanzas de la invención, las pérdidas en el blindaje pueden ser iguales o inferiores al 10 % de las pérdidas totales del cable y pueden incluso reducirse hasta el 3 % de las pérdidas totales del cable.

Mediante una selección apropiada de la construcción del blindaje de acuerdo con las enseñanzas de la invención, las pérdidas en el blindaje  $\lambda_2'$  pueden ser significativamente más bajas que las  $\lambda_2$  calculadas por la norma internacional IEC 60287-1-1, segunda edición 2006-12. 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,  $\lambda_2' \leq 0,10 \lambda_2$ .

40 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un procedimiento para el transporte de corriente alterna con una temperatura T de trabajo del conductor permisible máxima (tal como se determina por las pérdidas totales del cable comprendiendo las pérdidas en el blindaje) en un cable de alimentación que comprende al menos un núcleo comprendiendo, a su vez, un conductor eléctrico que tiene un área S de sección transversal, y un blindaje que rodea al menos un núcleo. Las pérdidas en el blindaje se reducen mediante la construcción del blindaje del cable con una  
45 capa de una pluralidad de alambres metálicos que tienen una sección transversal alargada, y mediante la disposición de los alambres metálicos con el eje principal orientado tangencialmente con respecto a una circunferencia del cable. Las pérdidas en el blindaje así reducidas permiten el incremento del valor de dicha corriente alterna transportada a dicha temperatura T de trabajo del conductor permisible máxima (tal como se determina por las pérdidas totales en el cable comprendiendo las pérdidas en el blindaje reducidas) o reducir el valor del área S de  
50 sección transversal de cada conductor eléctrico para el transporte de la corriente alterna a dicha temperatura T de trabajo del conductor permisible máxima (tal como se determina por las pérdidas totales del cable comprendiendo las pérdidas en el blindaje reducidas). Dicha etapa de incremento y etapa de reducción pueden realizarse

simultáneamente.

La presente invención en al menos uno de los aspectos anteriormente mencionados puede tener al menos una de las siguientes características preferidas.

- 5 Preferentemente, los alambres metálicos del blindaje tienen sección transversal alargada con una relación entre la longitud del eje principal y la longitud del eje menor al menos igual a 1,5, más preferentemente al menos igual a 2. Ventajosamente, dicha relación no es mayor que 5 debido a que los alambres del blindaje con sección transversal alargada que tienen un eje principal demasiado largo pudieran dar lugar a problemas de fabricación durante la etapa de bobinado del blindaje alrededor del cable.
- 10 Ventajosamente, la sección transversal alargada de los alambres de blindaje tiene bordes suavizados. Junto a ser preferentes desde un punto de vista de fabricación, los alambres de blindaje con bordes suavizados evitan daños a las capas del cable subyacentes y el riesgo de aparición de picos de campo eléctrico.
- 15 Preferentemente, los bordes de los alambres del blindaje están suavizados con un radio de curvatura  $\beta \times Dw$ , en la que  $Dw$  es el grosor del alambre a lo largo del eje menor de la sección transversal alargada y  $\beta$  va desde 0,1 a 0,5, más preferentemente desde 0,2 a 0,4. Un valor de  $\beta$  fuera de los intervalos preferidos puede dar lugar a un incremento en las pérdidas en el blindaje.
- La sección transversal alargada de los alambres del blindaje puede tener una forma sustancialmente rectangular.
- Alternativamente, la sección alargada se conforma sustancialmente como una parte de anillo. Esta forma proporciona la ventaja en términos de estabilidad en la construcción de blindaje cuando el radio del cable es sustancial.
- 20 En una realización adicional, la sección transversal alargada se proporciona con una muesca y un resalte en los dos extremos opuestos a lo largo del eje principal, de modo que se mejore la forma de combinación de alambres adyacentes. El enclavamiento muesca/resalte entre alambres hace un blindaje ventajosamente firme incluso en el caso de cable dinámico.
- 25 Preferentemente, la sección transversal alargada de los alambres del blindaje tiene un eje menor desde aproximadamente 1 mm a aproximadamente 7 mm de largo, más preferentemente, desde 2 mm a 5 mm de largo.
- Preferentemente, la sección transversal alargada de los alambres del blindaje tiene un eje principal desde 3 mm a 20 mm de largo, más preferentemente desde 4 mm a 10 mm de largo.
- Preferentemente, el cable de la invención comprende al menos dos núcleos trenzados conjuntamente de acuerdo con un tendido de trenzado de núcleo y un paso A de trenzado de núcleo.
- 30 Preferentemente, los alambres metálicos del blindaje se bobinan alrededor de los al menos dos núcleos de acuerdo con un tendido de bobinado de blindaje helicoidal y un paso B de bobinado de blindaje.
- Ventajosamente, el tendido del bobinado del blindaje helicoidal tiene la misma dirección que el tendido del trenzado del núcleo y el paso B de bobinado de blindaje va desde 0,4A a 2,5A y difiere de A en al menos el 10 %.
- 35 Preferentemente,  $\text{paso B} \geq 0,5A$ . Más preferentemente,  $\text{paso B} \geq 0,6A$ . Preferentemente,  $\text{paso B} \leq 2A$ . Más preferentemente,  $\text{paso B} \leq 1,8A$ .
- Ventajosamente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, va desde 1000 a 3000 mm. Preferentemente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, va desde 1500 mm. Preferentemente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, no es mayor de 2600 mm.
- 40 Preferentemente el paso C transversal  $\geq A$ . Más preferentemente,  $C \geq 5A$ . Incluso más preferentemente,  $C \geq 10A$ . Adecuadamente, C puede ser de hasta 12A.
- Adecuadamente, cuando el cable de la invención comprende dos o más núcleos, el blindaje rodea todos los dichos núcleos juntos, como conjunto.
- El blindaje del cable de la invención puede comprender una capa exterior de una pluralidad de alambres metálicos, rodeando dicha capa (interior) de una pluralidad de alambres metálicos.
- 45 Los alambres metálicos de la capa de blindaje exterior se bobinan adecuadamente alrededor de los núcleos de acuerdo con un tendido del bobinado de la capa exterior y un paso B' de bobinado de la capa exterior. Preferentemente, el tendido del bobinado de la capa exterior es helicoidal.
- 50 Preferentemente, el tendido del bobinado de la capa exterior tiene una dirección opuesta con respecto al tendido del trenzado del núcleo (esto es, el tendido del bobinado de la capa exterior está a contracapa con respecto al tendido del trenzado del núcleo y con respecto al tendido del bobinado del blindaje). Esta configuración a contracapa de la

capa exterior es ventajosa en términos de los comportamientos mecánicos del cable.

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

- 5 Preferentemente, los alambres metálicos de la capa exterior del blindaje tienen sustancialmente la misma sección transversal en forma y, opcionalmente, en tamaño que los de la capa radialmente interna a los mismos.

Los alambres del blindaje pueden fabricarse de material ferromagnético. Por ejemplo, pueden fabricarse de acero de construcción, acero inoxidable ferrítico o de acero al carbono.

- 10 Alternativamente, los alambres del blindaje pueden ser ferromagnéticos y no ferromagnéticos mezclados. Por ejemplo, en la capa de alambres, los alambres ferromagnéticos pueden alternar con alambres no ferromagnéticos.

Preferentemente, cuando el cable de la invención comprende dos o más núcleos, cada uno de ellos es un núcleo de fase simple. Ventajosamente, los al menos dos núcleos son núcleos multifase.

Típicamente, el cable comprende tres núcleos, en sistemas de CA, el cable ventajosamente es un cable trifásico. El cable trifásico comprende ventajosamente tres núcleos de fase simple.

- 15 El cable de CA puede ser un cable de baja, media o alta tensión (BT, MT, AT, respectivamente). El término baja tensión se usa para indicar tensiones por debajo de 1 kV. El término media tensión se usa para indicar tensiones desde 1 a 35 kV. El término de alta tensión se usa para indicar tensiones más elevadas de 35 kV.

El cable de CA puede ser terrestre o submarino. El cable terrestre puede estar al menos en parte enterrado o situado en túneles.

- 20 Las características y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la descripción detallada a continuación de algunas realizaciones ejemplares de la misma, proporcionadas meramente por medio de ejemplos no limitativos, descripción que se realizará haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 muestra esquemáticamente un cable de alimentación ejemplar de acuerdo con una realización de la invención;

- 25 - las figuras 2-4 muestran esquemáticamente tres ejemplos de secciones transversales alargadas de alambres del blindaje metálico que se usan en el cable de la figura 1;

- la figura 5 muestra esquemáticamente el significado de los símbolos Dw,  $\alpha$  y  $\beta$ ;

- 30 - la figura 6 ilustra esquemáticamente núcleos trenzados y alambres de blindaje bobinados, respectivamente con paso de trenzado del núcleo A y paso de bobinado del blindaje B, de un cable de alimentación de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 1 muestra esquemáticamente un cable 10 de alimentación de CA ejemplarmente blindado para aplicación submarina que comprende tres núcleos 12. Cada núcleo comprende un conductor 12a eléctrico metálico típicamente fabricado de cobre, aluminio o de ambos, en la forma de una barra o de alambres trenzados. El conductor 12a se rodea secuencialmente por una capa semiconductor interior y capa de aislamiento y una capa semiconductor exterior, fabricándose dichas tres capas (no mostradas) de material polimérico (por ejemplo, polietileno), papel envuelto o laminado de papel/polipropileno. En el caso de la(s) capa(s) semiconductor(s), el material de las mismas se carga con un relleno conductor tal como negro de carbono.

- 40 Los tres núcleos 12 se trenzan helicoidalmente juntos de acuerdo con un paso A de trenzado del núcleo. Los tres núcleos 12 se envuelven cada uno mediante una funda 13 metálica (por ejemplo, fabricada de plomo) y embebida en un relleno polimérico 11 rodeado, a su vez, por una cinta 15 y una capa 14 acolchada. Alrededor de la capa 14 acolchada se proporciona un blindaje 16 que comprende una capa de alambres 16a. Los alambres 16a se bobinan helicoidalmente alrededor de la capa 14 de acolchado de acuerdo con un paso B de bobinado de blindaje. El blindaje 16 está rodeado por una funda 17 protectora.

- 45 Cada conductor 12a tiene un área S de sección transversal, en la que  $S = \pi(d/2)^2$ , siendo d el diámetro del conductor.

Los alambres 16a son metálicos y se fabrican preferentemente de un material ferromagnético tal como acero al carbono, acero de construcción, acero inoxidable ferrítico.

En el blindaje 16, el número de alambres 16a ferromagnéticos está preferentemente reducido con respecto a una situación en la que los alambres ferromagnéticos del blindaje cubran todo el perímetro externo del cable 10.

- 50 El número de alambres en la capa de blindaje puede calcularse, por ejemplo, como el número de alambres que

llenen el perímetro del cable y se deja un hueco de aproximadamente del 5 % de un diámetro de alambre entre dos alambres adyacentes.

Para reducir el número de alambres ferromagnéticos, el blindaje 16 puede comprender ventajosamente alambres ferromagnéticos alternando con alambres no ferromagnéticos (por ejemplo, de plástico o acero inoxidable).

5 De acuerdo con la invención, los alambres 16a tienen una sección transversal alargada con un eje principal orientado tangencialmente con respecto al cable 10.

10 Las figuras 2-4 muestran esquemáticamente tres ejemplos de blindaje 16 fabricados de alambres 16a con diferentes secciones transversales alargadas adecuadas para la presente invención. Las áreas de sección transversal de los tres ejemplos pueden ser diferentes entre sí. El eje principal de la sección transversal del alambre se indica con A' y el eje menor con A''.

Por razones de claridad, en estas figuras solo se muestran los alambres 16a rodeando una circunferencia O, que encierra el (los) núcleo(s) 12 del cable 10.

En la realización de la figura 2 la sección transversal alargada de los alambres 16a tiene una forma sustancialmente rectangular, con ángulos suavizados.

15 En la realización de la figura 3, en donde se muestra solo una parte del blindaje 16, la sección transversal alargada tiene una muesca y un resalte en los dos extremos opuestos a lo largo del eje principal A', de modo que se mejore la forma en la combinación de alambres 16a adyacentes.

En la realización de la figura 4 la sección transversal alargada es sustancialmente una parte circunferencial de un anillo, con ángulos suavizados.

20 Como se muestra en la figura 2, el eje principal A' de la sección transversal alargada de los alambres 16a se orienta de acuerdo con una dirección tangencial Tn de la circunferencia O.

25 Durante el desarrollo de las actividades realizadas para investigar las pérdidas en el blindaje en un cable de alimentación eléctrica de CA, el presente Solicitante ensayó un cable de alimentación trifásico de CA que tenía: tres núcleos trenzados juntos de acuerdo con un paso A de núcleo de 1442 mm; un área S de sección transversal del conductor eléctrico de 500 mm<sup>2</sup>; una corriente de CA en cada conductor de 800 A; una frecuencia de 50 Hz; una tensión de fase a fase de 18/30 kV; alambres de blindaje con una resistividad eléctrica ρ de 20,8×10<sup>-8</sup> ohmios×metro, y una permeabilidad magnética relativa  $\mu_r = |\mu_r| \cdot e^{-1\varphi}$  siendo  $|\mu_r| = 300$  y  $\varphi = 60^\circ$ .

30 En una primera investigación realizada sobre un modelo basado en dicho cable, el presente Solicitante calculó, mediante el uso de un modelo 3D, las pérdidas generadas en un alambre de blindaje simple recto que tenía una sección transversal circular, cuadrada o rectangular con bordes suavizados, con diferentes tamaños.

Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 1 a continuación. El significado de los símbolos Dw, β y α en caso de sección transversal cuadrada y rectangular con bordes suavizados se muestra esquemáticamente en la figura 5. En caso de sección transversal circular, Dw es el diámetro del alambre. Las pérdidas totales en el alambre indican tanto las pérdidas resistivas como de histéresis.

35 Tabla 1

Forma y tamaño de la sección transversal del alambre	α	Área de la sección transversal del alambre (mm <sup>2</sup> )	Pérdidas totales en el alambre (W/m)
Circular Dw=5mm	1	19,6	0,272
Circular Dw=5,5mm	1	23,8	0,309
Cuadrada Dw=5mm; β=0,15	1	25,0	0,327
Rectangular Dw=5mm; β=0,15	2	50,0	0,548
Rectangular Dw=5mm; β=0,15	3	75,0	0,744
Rectangular Dw=5mm; β=0,15	4	100,0	0,919

40 En caso de un alambre de blindaje recto simple, sustancialmente paralelo al eje longitudinal del cable, el alambre del blindaje que tiene una sección transversal circular o cuadrada proporciona en general pérdidas menores con respecto a un alambre que tiene una sección transversal rectangular. En los alambres simples que tienen sección transversal rectangular, las pérdidas se incrementan proporcionalmente a la relación α eje principal/eje menor.

En una investigación adicional realizada sobre el mismo modelo que anteriormente, el presente Solicitante calculó, mediante el uso de un modelo 3D, las pérdidas en el blindaje generadas en una capa de blindaje formada por alambres rectos que tenían sección transversal circular, cuadrada o rectangular con bordes suavizados y diferentes

tamaños, siendo sustancialmente el área total de la sección transversal del blindaje sustancialmente la misma.

Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 2 a continuación.

Tabla 2

Forma y tamaño de la sección transversal del alambre	$\alpha$	Número de alambres	Área total de la sección transversal del blindaje (mm <sup>2</sup> )	Pérdidas totales en el blindaje (W/m)
Circular Dw = 4,8mm	1	66	1194,3	8,78
Circular Dw = 5mm	1	61	1197,7	9,11
Circular Dw = 5,5mm	1	50	1187,9	9,41
Cuadrada Dw = 5mm; $\beta=0,15$	1	48	1200,0	9,56
Rectangular Dw = 5mm; $\beta=0,15$	2	24	1200,0	8,64
Rectangular Dw = 5mm; $\beta=0,15$	3	16	1200,0	8,12
Rectangular Dw = 5mm; $\beta=0,15$	4	12	1200,0	7,75

5 En el caso de blindaje con una pluralidad de alambres de blindaje rectos, sustancialmente paralelos al eje longitudinal del cable, las pérdidas tuvieron un comportamiento que es justamente el opuesto al comportamiento  
10 mostrado en la Tabla 1. Realmente, en el presente ensayo los blindajes que tenían alambres con sección transversal rectangular tuvieron pérdidas mucho más bajas que los blindajes que tenían alambres con sección transversal circular o cuadrada. En particular, las pérdidas en el blindaje disminuyeron con el incremento en la relación  $\alpha$  eje principal/eje menor. El presente Solicitante midió también las pérdidas en un blindaje fabricado con un tubo metálico que tenía un área de sección transversal de 1200,0 mm<sup>2</sup>. Las pérdidas de este tubo llegaron a 11,44 W/m, considerablemente mayor que cualquier otra configuración de blindaje ensayada en la Tabla 2.

15 Teniendo en cuenta la fórmula (1) anterior proporcionada por la norma IEC 60287-1-1, la reducción en las pérdidas en el blindaje debido al uso de alambres de sección transversal alargada permite incrementar el valor de la corriente admisible del cable. La elevación del valor de la corriente admisible conduce a dos mejoras en el sistema de transporte de CA: incrementar la corriente transportada por un cable de alimentación y/o proporcionar un cable de alimentación con un área S de sección transversal del conductor eléctrico reducida, considerándose el incremento/reducción con respecto al caso en el que las pérdidas en el blindaje se calculan en su lugar con alambres que no tienen sección transversal alargada, siendo sustancialmente la misma el área total de la sección transversal del blindaje.  
20

Esto es muy ventajoso debido a que permite fabricar un cable más potente y/o reducir el tamaño de los conductores eléctricos con la reducción consecuente de tamaño, peso y coste del cable.

25 Sin desear quedar vinculado a teoría alguna, el presente Solicitante cree que su hallazgo (que las pérdidas en el blindaje se reducen grandemente cuando los alambres de blindaje tienen una sección transversal alargada con el eje principal orientado tangencialmente con respecto al cable) es debido al hecho de que el uso de alambres de blindaje que tienen una sección transversal alargada permite reducir la superficie del alambre que mira al campo magnético generado por la corriente de CA transportada por los conductores del cable con respecto al volumen de material magnético de los alambres, reduciendo de ese modo las corrientes parásitas inducidas en los alambres de blindaje.

30 Se observa que las investigaciones anteriores se han realizado considerando alambres de blindaje rectos, para investigar los efectos de la sección transversal del alambre sobre las pérdidas en el blindaje independientemente de cualquier otro efecto sobre las pérdidas en el blindaje debido, por ejemplo, al bobinado del alambre.

Sin embargo, en el cable 10 los alambres 16a se bobinan ventajosamente helicoidalmente de acuerdo con un paso B de bobinado de blindaje.

35 Durante el desarrollo de las actividades realizadas por el presente Solicitante para investigar las pérdidas en el blindaje en un cable eléctrico de CA, el presente Solicitante halló adicionalmente que las pérdidas en el blindaje cambian grandemente dependiendo del hecho de que el paso B de bobinado de blindaje sea unicapa, o contracapa respecto al paso A de trenzado del núcleo. En particular, las pérdidas en el blindaje se reducen grandemente cuando el paso B de bobinado del blindaje es unicapa respecto al paso A de trenzado del núcleo, comparado con la  
40 situación en la que el paso B de bobinado del blindaje está a contracapa respecto al paso A de trenzado del núcleo.

En una realización preferida de la invención, para reducir adicionalmente las pérdidas en el blindaje, el tendido del bobinado de blindaje helicoidal tiene así la misma dirección que el tendido del trenzado del núcleo, como se muestra esquemáticamente en la figura 6.

Ventajosamente el paso B de bobinado de blindaje es mayor que 0,4A. Preferentemente,  $B \geq 0,5A$ . Más

preferentemente,  $B \geq 0,6A$ . Ventajosamente, el paso B de bobinado de blindaje es menor que  $2,5A$ . Más preferentemente el paso B de bobinado de blindaje es menor que  $2A$ . Incluso más preferentemente, el paso B de bobinado de blindaje es menor de  $1,8A$ .

5 Ventajosamente el paso B de bobinado del blindaje es diferente del paso A de trenzado del núcleo ( $B \neq A$ ). Dicha diferencia es al menos igual al 10 % del paso A. Aunque aparentemente favorable en términos de reducción de las pérdidas en el blindaje, la configuración con  $B = A$  sería perjudicial en términos de solidez mecánica.

10 Ventajosamente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, va desde 1000 a 3000 mm. Más ventajosamente, el paso A de trenzado del núcleo, en módulo, va desde 1500 a 2600 mm. Bajos valores de A son económicamente perjudiciales dado que es necesaria una longitud del conductor más alta para una longitud de cable dada. Por otro lado, elevados valores de A son perjudiciales en términos de flexibilidad del cable.

Ventajosamente, el paso C transversal es preferentemente mayor que el paso A de trenzado del núcleo, en módulo. Más preferentemente,  $C \geq 3A$ , en módulo. Incluso más preferentemente,  $C \geq 10A$ , en módulo.

15 Sin desear de quedar vinculado a teoría alguna, el presente Solicitante cree que su hallazgo adicional (que las pérdidas en el blindaje se reducen grandemente cuando B es unicapa respecto a A) es debido 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 alambres de los núcleos y del blindaje están paralelos o casi paralelos entre sí. Esto significa que el campo magnético generado por la corriente de CA transportada por los conductores en los núcleos es perpendicular o casi perpendicular a los alambres del blindaje. Esto provoca que las corrientes parásitas inducidas en los alambres del blindaje sean paralelas o casi paralelas al eje longitudinal de los alambres del blindaje.

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

25 A la luz de las observaciones anteriores, el presente Solicitante halló que es posible reducir adicionalmente las pérdidas en el blindaje en un cable de CA mediante el uso de un paso B de bobinado del blindaje unicapa respecto al paso A de trenzado del núcleo, siendo  $0,4A \leq B \leq 2,5A$ . En particular, el presente solicitante halló que, durante el uso de un paso B de bobinado del blindaje unicapa respecto al paso A de trenzado del núcleo, siendo  $0,4A \leq B \leq 2,5A$ , la relación  $\lambda_2$  de pérdidas en el blindaje respecto a las pérdidas totales en todos los conductores en el cable de alimentación eléctrica es mucho menor que el valor  $\lambda_2$  tal como se calcula de acuerdo con la fórmula (2) anteriormente mencionada de la norma IEC 60287-1-1.

35 Teniendo en cuenta la fórmula (1) anterior proporcionada por IEC 60287-1-1, la configuración unicapa de alambres de blindaje y núcleos permite incrementar el valor de la corriente admisible de un cable. Como se ha establecido anteriormente, la elevación del valor de la corriente admisible conduce a dos mejoras en el 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, considerándose el incremento/reducción con respecto al caso en el que las pérdidas en el blindaje se calculan en su lugar de acuerdo con la fórmula (2) anteriormente mencionada.

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

En dichos cables, el blindaje de capa múltiple comprende preferentemente una capa (interior) de alambres con un tendido de bobinado de blindaje y un paso B de bobinado de blindaje, y una capa exterior de alambres, rodeando la capa (interior), con un tendido de bobinado de capa exterior y un paso B' de bobinado de capa exterior.

45 En cuanto a las características de la capa (interior), el tendido de bobinado del blindaje, del paso B de bobinado del blindaje, del tendido de trenzado del núcleo y del paso A de trenzado del núcleo, se aplicarán las mismas consideraciones realizadas anteriormente con referencia a un blindaje con una única capa de alambres.

En particular, los alambres de la capa (interior) tienen una sección transversal alargada con un eje principal orientado tangencialmente con respecto al cable 10. Además, el tendido de bobinado del blindaje de la capa (interior) es preferentemente unicapa respecto al tendido del trenzado del núcleo.

50 En cuanto a la capa exterior, el tendido del bobinado de la capa exterior es preferentemente a contracapa con respecto al tendido de trenzado de núcleo (y al tendido del bobinado del blindaje). Esto mejora ventajosamente los comportamientos mecánicos del cable.

55 Como se ha explicado en detalle anteriormente, cuando el tendido del bobinado del blindaje de la capa (interior) de alambres es unicapa respecto al tendido del trenzado del núcleo, las pérdidas en el blindaje se reducen grandemente así como el campo magnético (tal como se genera por la corriente de CA transportada por los

conductores del cable) fuera de la capa (interior) del blindaje, que está apantallada por la capa interior. En esta forma, la capa exterior, que rodea la capa (interior), experimenta un campo magnético reducido y genera menos pérdidas en el blindaje, incluso si se usa en una configuración a contracapa con respecto al tendido del trenzado del núcleo.

- 5 Para cables que comprenden blindajes de capas múltiples, se aplican las mismas consideraciones realizadas anteriormente con respecto a la relación  $\lambda_2$  (pérdidas en el blindaje respecto a pérdidas totales en todos los conductores en el cable eléctrico), en el que las pérdidas en el blindaje se calculan como las pérdidas en la capa (interior) y la capa exterior.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para mejorar los rendimientos de un cable (10) de alimentación que comprende al menos un núcleo (12), comprendiendo un conductor (12a) eléctrico que tiene un área S de sección transversal, y un blindaje (16) que rodea dicho al menos un núcleo (12) a lo largo de una circunferencia (O), teniendo el cable (10) de alimentación pérdidas totales del cable cuando transporta una corriente alterna I a una temperatura T de trabajo del conductor permisible máxima, incluyendo las pérdidas totales del cable pérdidas en el conductor y pérdidas en el blindaje, estando el procedimiento **caracterizado porque** comprende:
- reducir las pérdidas en el blindaje a un valor no mayor que el 40 % de las pérdidas totales del cable mediante la fabricación de dicho blindaje (16) con una capa de una pluralidad de alambres (16a) metálicos que tienen una sección transversal alargada con un eje principal A', estando dicho eje principal A' orientado tangencialmente con respecto a la circunferencia (O);
  - construir el cable (10) de alimentación con un valor reducido de área S de sección transversal del conductor eléctrico, siendo determinado y hecho posible este valor reducido por el valor de las reducidas pérdidas en el blindaje no mayores del 40 % de las pérdidas totales del cable, y/o
  - operar el cable (10) de alimentación a dicha temperatura T de trabajo del conductor permisible máxima de transporte en el conductor (12a) eléctrico de dicha corriente alterna I con un valor incrementado, siendo determinado y hecho posible este valor incrementado por el valor de las reducidas pérdidas en el blindaje no mayores del 40 % de las pérdidas totales del cable.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la sección transversal alargada de la pluralidad de alambres (16a) metálicos de dicho blindaje (16) tiene una relación entre la longitud A' del eje principal y la longitud A'' del eje menor al menos igual a 1,5.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la sección transversal alargada de la pluralidad de alambres (16a) metálicos de dicho blindaje (16) tiene una relación entre la longitud A' del eje principal y la longitud A'' del eje menor no mayor de 5.
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las pérdidas en el blindaje se reducen a un valor igual o inferior al 20 % de las pérdidas totales del cable.
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la sección transversal alargada de la pluralidad de alambres (16a) metálicos de dicho blindaje (16) tiene un eje menor A'' desde aproximadamente 1 mm a aproximadamente 7 mm de largo.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la sección transversal alargada de la pluralidad de alambres (16a) metálicos de dicho blindaje (16) tiene un eje principal A' desde 3 mm a 20 mm de largo.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el cable (10) de alimentación comprende más de un núcleo (12), y la etapa de reducir las pérdidas en el blindaje a no más altas del 40 % de las pérdidas totales del cable comprende:
- trenzado conjunto de los núcleos (12) de acuerdo con un tendido de trenzado del núcleo y un paso A de trenzado del núcleo, y
  - bobinado de la pluralidad de alambres (16a) metálicos alrededor de los núcleos (12) de acuerdo con un tendido de bobinado del blindaje helicoidal y un paso B de bobinado del blindaje, en el que el tendido de bobinado de blindaje helicoidal tiene la misma dirección que el tendido de trenzado del núcleo, y el paso B de bobinado del blindaje va desde 0,4A a 2,5A y difiere de A en al menos el 10 %.
8. Cable (10) de alimentación para el transporte de una corriente alterna I que comprende al menos un núcleo (12) que comprende un conductor (12a) eléctrico, y un blindaje (16) que rodea el al menos un núcleo (12) a lo largo de una circunferencia (O), en el que cada conductor (12a) eléctrico tiene un área S de sección transversal dimensionada para la operación del cable para transportar dicha corriente alterna I a una temperatura T de trabajo del conductor permisible máxima, tal como se determina por las pérdidas totales del cable incluyendo las pérdidas en el blindaje, en el que:
- el blindaje (16) comprende una pluralidad de alambres (16a) metálicos con sección transversal alargada, disponiéndose dicha pluralidad de alambres (16a) metálicos con el eje principal A' orientado tangencialmente con respecto a la circunferencia (O), por lo que las pérdidas en el blindaje se reducen a un valor no mayor del 40 % de las pérdidas totales del cable, **caracterizado porque**:
  - el área S de sección transversal del conductor (12a) eléctrico para el transporte de dicha corriente alterna I se dimensionan por la estimación de pérdidas reducidas en el blindaje no mayores del 40 % de las pérdidas totales del cable, en el que:
  - el cable (10) de alimentación tiene un valor reducido del área S de sección transversal del conductor (12a) eléctrico, siendo determinado y hecho posible este valor reducido por el valor reducido de las pérdidas en el blindaje no mayores del 40 % de las pérdidas totales del cable, y/o
  - se clasifica para funcionar a dicha temperatura T de trabajo del conductor permisible máxima por el transporte

en el conductor (12a) eléctrico de dicha corriente alterna I con un valor incrementado, siendo determinado y hecho posible este valor incrementado por el valor reducido de las pérdidas en el blindaje no mayores del 40 % de las pérdidas totales del cable.

- 5 9. Cable (10) de alimentación de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la sección transversal alargada de la pluralidad de alambres (16a) metálicos tiene una relación entre la longitud A' del eje principal y la longitud A'' del eje menor al menos igual a 1,5.
10. Cable (10) de alimentación de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la sección transversal alargada de la pluralidad de alambres (16a) metálicos tiene una relación entre la longitud A' del eje principal y la longitud A'' del eje menor no mayor de 5.
- 10 11. Cable (10) de alimentación de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la sección transversal alargada de la pluralidad de alambres (16a) metálicos tiene un eje menor A'' desde aproximadamente 1 mm a aproximadamente 7 mm de largo.
12. Cable (10) de alimentación de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la sección transversal alargada de la pluralidad de alambres (16a) metálicos tiene un eje principal A' de 3 mm a 20 mm de largo.
- 15 13. Cable (10) de alimentación de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende al menos dos núcleos (12) trenzados conjuntamente de acuerdo con un tendido de trenzado del núcleo y un paso A de trenzado del núcleo, en el que la pluralidad de alambres (16a) metálicos se bobinan alrededor de los al menos dos núcleos (12) de acuerdo con un tendido de bobinado de blindaje helicoidal y un paso B de bobinado de blindaje, el tendido de bobinado de blindaje helicoidal tiene la misma dirección que el tendido de trenzado del núcleo, y el paso B de bobinado del blindaje es desde 0,4A a 2,5A y difiere de A en al menos el 10 %.
- 20

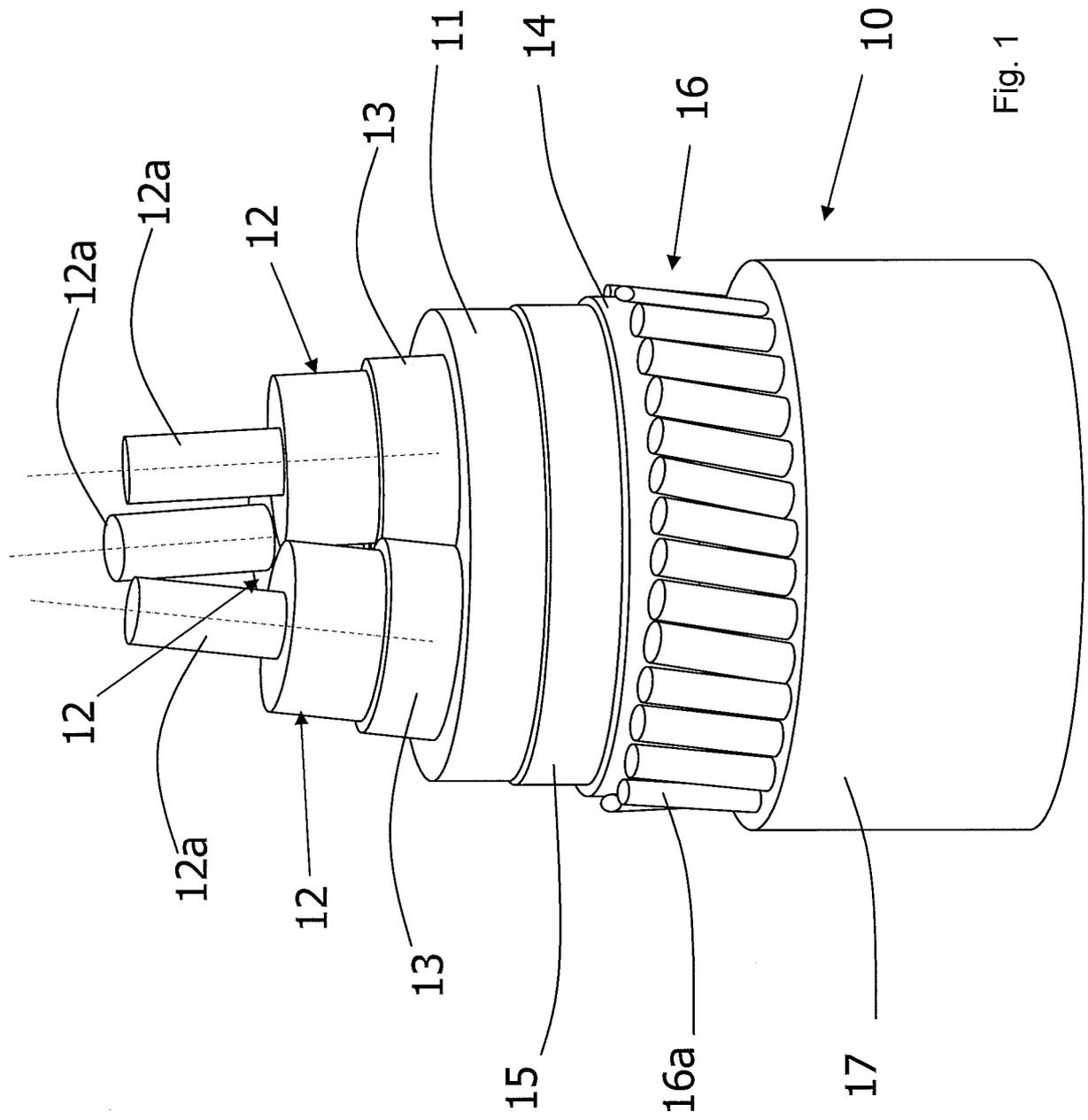


Fig. 1

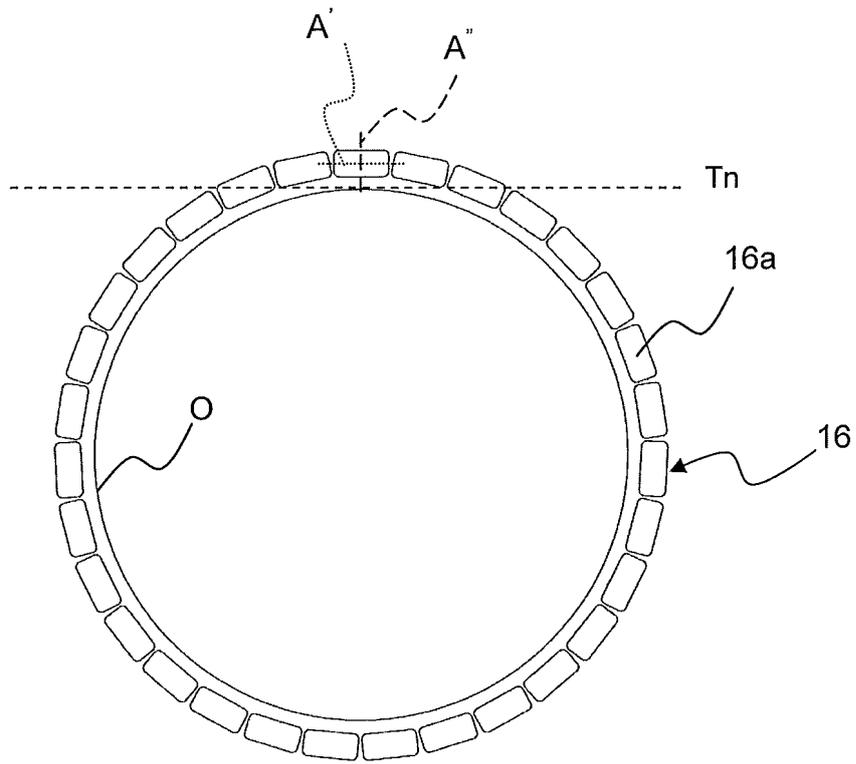


Fig. 2

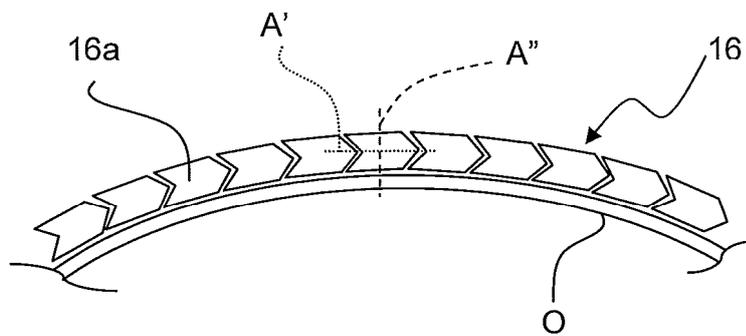


Fig. 3

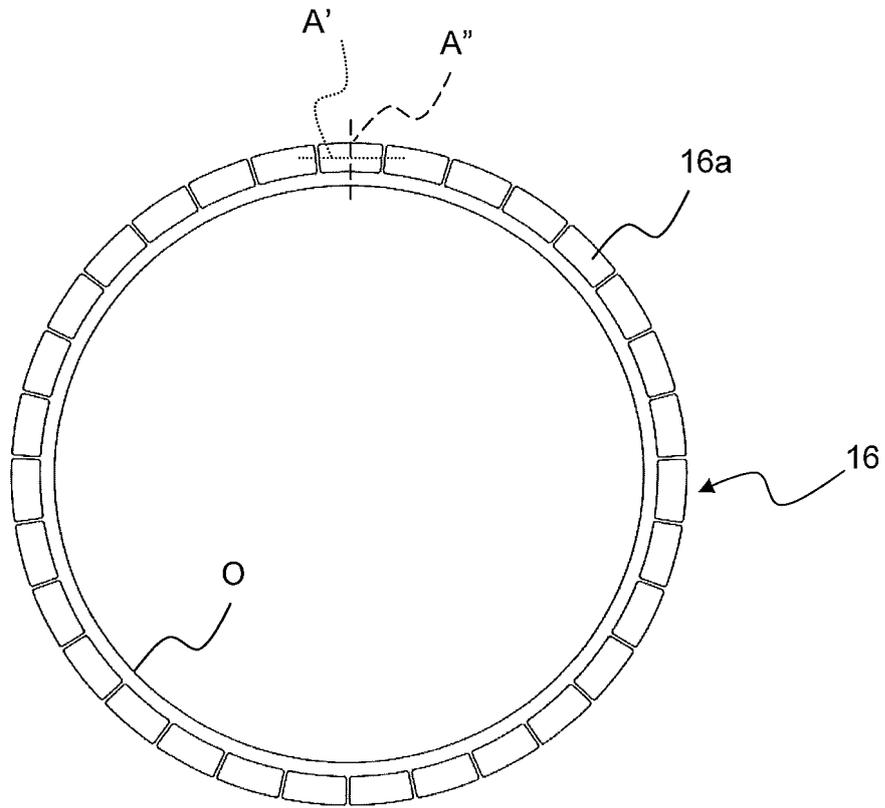


Fig. 4

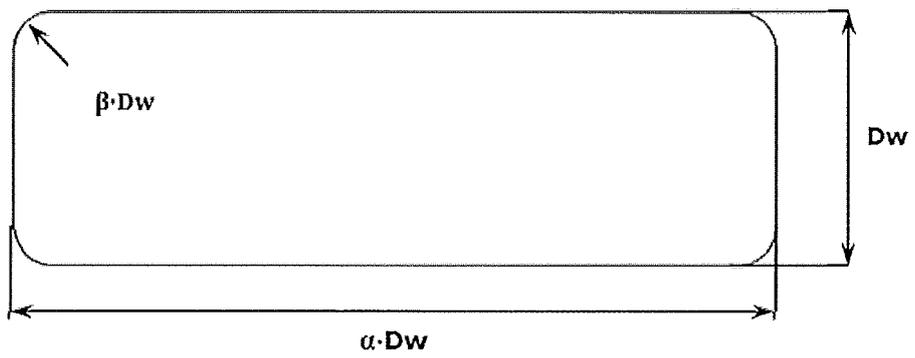


Fig. 5

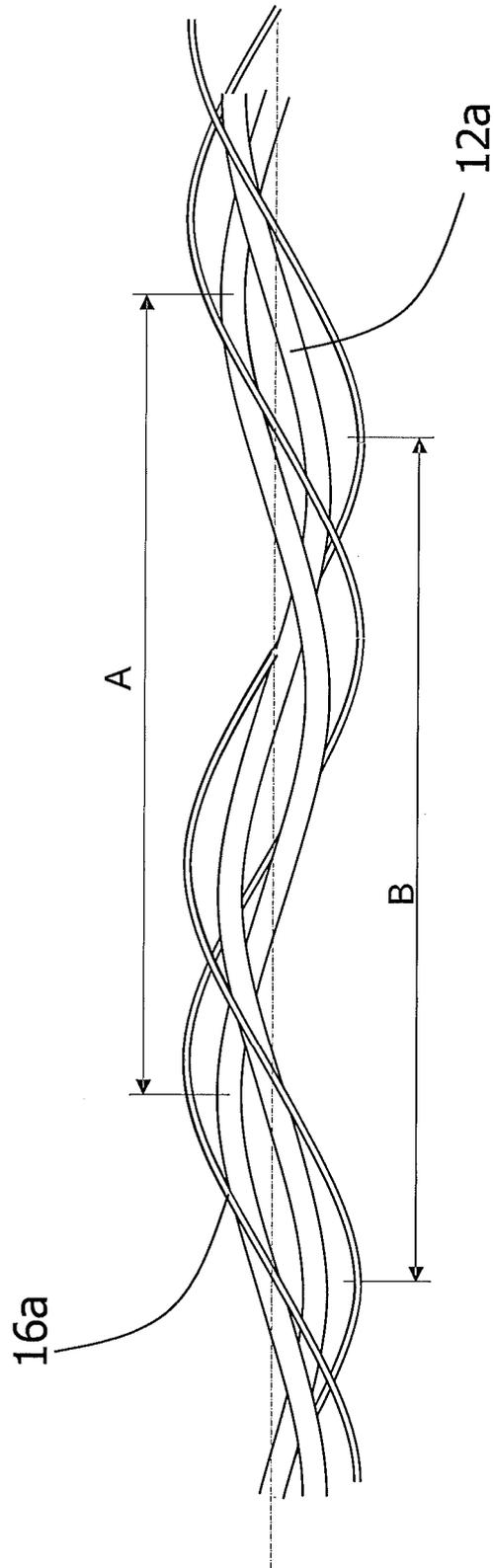


Fig. 6