

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 437 612**

51 Int. Cl.:

**B32B 27/10** (2006.01)  
**H01B 3/52** (2006.01)  
**H01B 3/54** (2006.01)  
**H01B 7/02** (2006.01)  
**H01B 9/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2009 E 09796803 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2013 EP 2512803**

54 Título: **Cable de corriente continua de alta tensión que tiene un aislamiento estratificado impregnado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.01.2014**

73 Titular/es:  
**PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)**  
**Viale Sarca 222**  
**20126 Milano, IT**

72 Inventor/es:  
**MARITANO, MAURO y**  
**MIRAMONTI, GIANNI**

74 Agente/Representante:  
**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 437 612 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 de corriente continua de alta tensión que tiene un aislamiento estratificado impregnado

**Antecedentes de la invención**

5 La presente invención versa acerca de un cable de corriente continua (CC) de alta tensión que tiene un aislamiento estratificado impregnado. Más en particular, la presente invención versa acerca de un cable de CC de alta tensión que tiene un aislamiento estratificado fabricado de un material laminar de papel-polipropileno impregnado con un fluido aislante eléctricamente, siendo adecuado dicho cable para instalaciones terrestres o, preferentemente, submarinas.

10 Para los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones adjuntas, con la expresión "alta tensión" se quiere significar una tensión de al menos 35 kV. Para los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones adjuntas, con la expresión "muy alta tensión" se quiere significar una tensión de al menos 200 kV, preferentemente de al menos 300 kV.

15 Se conocen cables con un aislamiento estratificado impregnado en los que el conductor eléctrico está aislado eléctricamente al enrollar cintas delgadas fabricadas de papel o, preferentemente, de un material laminar de papel-poliolefina (normalmente polipropileno) de múltiples capas. Entonces, se impregna completamente el aislamiento estratificado con un fluido que tiene una resistividad eléctrica elevada y una viscosidad predeterminada, cuya importancia se expondrá a continuación.

Como se documenta, por ejemplo, en el documento US 6.207.261, ejemplos de cables de energía eléctrica de CC (corriente continua) y de CA (corriente alterna) impregnados incluyen:

20 cable relleno de aceite autónomo (OF) impregnado con aceite aislante que tiene una viscosidad relativamente baja, suministrado desde un aparato de alimentación de aceite proporcionado en un extremo, o en ambos, de la línea del cable, de forma que se mantenga la capa aislante bajo una presión positiva por medio del aceite aislante;

25 cable OF de tipo tubo de alta presión (POF) desplegado al insertar un alma del cable (conjunto de conductor/es y aislamiento del cable) en un tubo de acero instalado previamente, vaciar el tubo de acero y llenar el tubo de acero con un aceite aislante que tiene una viscosidad ligeramente superior a la del aceite aislante para el cable OF;

cable de papel impregnado (o compacto) que está impregnado con un aceite aislante que tiene una mayor viscosidad que la del aceite aislante para el cable POF, cubierto por una vaina metálica.

30 Los cables de papel impregnado de corriente continua de alta tensión (HVDC) son especialmente útiles para un transporte de energía de larga distancia, especialmente a lo largo de líneas submarinas, como, por ejemplo, según el documento US 4.782.194 o el documento WO 99/33068. Además de las ventajas proporcionadas por el transporte de corriente continua (por ejemplo, pérdidas dieléctricas sistemáticamente reducidas), los cables de HVDC no adolecen de una migración de fluido encontrada en los cables de papel impregnado de HVAC (corriente alterna de alta tensión). Los cables impregnados con aceite de HVAC son normalmente de los tipos OF o POF mencionados anteriormente.

El documento GB 2.196.781 da a conocer composiciones conocidas para impregnar un aislamiento en capas para un cable de CC que tienen una viscosidad, a temperatura ambiente (20°C), desde 10 hasta 500 cm<sup>2</sup>/s.

40 La etapa de impregnar el material laminar de papel-polipropileno con el fluido es crítica. En particular, se sumerge el alma del cable laminado semiacabado en el fluido y se deja que se asiente durante un periodo que dura, típicamente, aproximadamente 30 días para permitir que el fluido penetre incluso hasta las capas más internas radialmente del material laminar. Una penetración total y completa es de suma importancia para evitar una reducción significativa del rendimiento eléctrico. Durante la impregnación el material laminar aumenta de volumen hasta cierto punto, debiéndose el fenómeno principalmente al aumento de volumen de la capa de polipropileno. Tal aumento de volumen podría provocar una exfoliación. La posible separación de una capa de la otra, aunque sea parcial, tiene consecuencias sumamente graves sobre la funcionalidad del cable. Se han realizado esfuerzos para mejorar la adhesión entre el papel y el polipropileno para obtener un material laminar con una resistencia mejorada al aumento de volumen. Se consideraron características como la densidad y la permeabilidad del papel, la cristalinidad del polipropileno, un tratamiento especial en la fabricación del material laminar.

50 El uso de un fluido de alta viscosidad, como se utiliza generalmente para cables de papel impregnado, hace que el procedimiento de impregnación sea aún más crítico, como se explica a continuación en el presente documento.

55 La patente US nº 5.850.055 versa acerca de un cable eléctrico para tensiones altas y muy altas en el que los conductores están rodeados por un aislamiento estratificado impregnado con un fluido aislante, estando constituido dicho aislamiento por un material laminar de papel/polipropileno/papel en el que la capa central está formada por una película de polipropileno irradiada, es decir, una película de polipropileno irradiada con radiaciones ionizantes de

alta energía. El fluido aislante es un aceite que tiene una viscosidad muy baja, del orden de 0,05-0,15 cm<sup>2</sup>/s, y una resistividad de al menos 1016 ohmios/cm, tal como aceites minerales, alquilnaftalenos y alquibencenos. El papel tiene una densidad baja, normalmente una densidad máxima de 0,85 g/cm<sup>3</sup>, preferentemente desde 0,65 hasta 0,75 g/cm<sup>3</sup>. Típicamente, el papel tiene una impermeabilidad al aire que varía desde 10×10<sup>6</sup> hasta 30×10<sup>6</sup> unidades Emanuelli (correspondientes a (unidad Gurley × 455)/grosor del papel (mm)).

El cable dado a conocer por la patente mencionada anteriormente está impregnado con un aceite de baja viscosidad que no es adecuado para cables de papel impregnado.

El documento US 6.207.261 versa acerca de un papel laminado de aislamiento eléctrico que comprende una o dos hojas de un papel aislante kraft y una capa de película plástica de una resina de poliolefina integrada mediante extrusión por fusión, que ha sido calandrada o supercalandrada, por lo que el grosor total de la misma es desde 30 hasta 200 μm y la proporción de la capa de película plástica es desde un 40 hasta un 90%. Se comparan ejemplos de materiales laminares que comprenden papel con una densidad de 0,70-0,72 g/cm<sup>3</sup> y una impermeabilidad al aire de 2.500-3.000 seg/100 ml con materiales laminares que comprenden papel con una densidad de 1,09-1,13 g/cm<sup>3</sup> y una impermeabilidad al aire de al menos 100.000 seg/100 ml (correspondiente a 100.000 Gurley seg<sup>-1</sup>). Se sometieron los materiales laminares a un ensayo de curado a una temperatura de 100°C en un aceite de alquibenceno (un aceite aislante de baja viscosidad) que es utilizado en un cable OF durante 24 horas. Después del curado, se midió la fuerza adhesiva entre las capas de papel y la capa de polipropileno: las muestras comparativas que utilizaban papel de alta densidad y de impermeabilidad elevada al aire mostraron una fuerza adhesiva muy deficiente y experimentaron una exfoliación completa de las capas durante o después del baño por inmersión en el aceite de alquibenceno.

### **Sumario de la invención**

El solicitante se ha enfrentado al problema de mejorar el rendimiento y la fiabilidad de cables de corriente continua de alta tensión y de muy alta tensión (denominados más adelante, colectivamente, de "alta tensión", a no ser que se indique lo contrario) que tienen un aislamiento estratificado impregnado, en los que se lleva a cabo la impregnación utilizando un fluido aislante de alta viscosidad (viscosidad cinemática de al menos 10 cm<sup>2</sup>/s a 60°C). Es conveniente utilizar un fluido aislante con tal viscosidad elevada en cables de CC y reduce la migración del fluido aislante en el material laminar impregnado como consecuencia de los ciclos térmicos a los que es sometido el cable de CC durante la operación. Una migración no controlada del fluido aislante puede provocar microcavidades en el aislamiento estratificado, con los riesgos consiguientes de descargas eléctricas y, por lo tanto, de una rotura del aislamiento.

Como ya se ha mencionado, una de las causas principales de la rotura de los cables de papel impregnado es el aumento de volumen del material laminar cuando hace contacto con el fluido aislante, en particular el aumento de volumen de la capa de polipropileno que es mucho más propensa a absorber los hidrocarburos contenidos en el fluido aislante que las capas de papel. El aumento de volumen del polipropileno puede causar finalmente una exfoliación: una separación entre las capas adyacentes, incluso cuando sea parcial, puede provocar daños graves que podrían poner en peligro la funcionalidad del cable.

El solicitante ha observado que una etapa crítica que debería ser controlada con cuidado para evitar la exfoliación es la etapa de impregnar el aislamiento estratificado con el fluido aislante. Debido a la viscosidad elevada de este, tal etapa de impregnación es muy larga y engorrosa, dado que requiere una inmersión completa del cable aislado en un depósito lleno de fluido aislante, que penetra progresivamente a través de las capas del material laminar hasta que se consigue una impregnación completa. Tal procedimiento se lleva a cabo, generalmente, a una temperatura superior a 100°C durante un tiempo de varios días o incluso semanas (normalmente desde 20 hasta 40 días).

En particular, el solicitante se ha percatado de que una fase clave del procedimiento de impregnación se corresponde aproximadamente con los primeros diez días del propio procedimiento, durante los que las capas externas del aislamiento estratificado, que son las primeras con las que hace contacto el fluido aislante, son sometidas a un aumento de volumen notable, lo que puede dificultar la impregnación de las capas del material laminar radialmente internas. Por lo tanto, se prolongará el procedimiento de impregnación para permitir que las capas del material laminar más internas sean impregnadas completamente por el fluido aislante. Este tiempo prolongado a temperatura elevada podría provocar un deterioro del rendimiento eléctrico y mecánico y un aumento de volumen excesivo de las cintas aislantes externas de material laminar.

El solicitante ha comprobado que es posible mejorar el rendimiento y la fiabilidad de un cable de alta tensión, en particular para aplicaciones de corriente continua como se ha descrito anteriormente, al proporcionar un material laminar de polipropileno/papel con un aumento de volumen (reducido) controlado solo en las etapas anteriores del procedimiento de impregnación. Para conseguir el anterior resultado, la capa de polipropileno está acoplada a al menos una capa de papel que tiene una impermeabilidad al aire de al menos 100.000 Gurley seg<sup>-1</sup>. Se ha descubierto que tal impermeabilidad elevada al aire (obsérvese que cuanto mayor sea el valor medido como Gurley seg<sup>-1</sup>, mayor es la impermeabilidad al aire del papel) está asociada con la capacidad del papel para reducir notablemente el aumento de volumen de la o las capas de polipropileno durante la impregnación con un fluido

aislante de alta viscosidad. En particular, se consigue un aumento de volumen no superior a un 1%, preferentemente no superior a un 0,2%, después de la inmersión del material laminar en un fluido aislante, que tiene una viscosidad cinemática de al menos  $10 \text{ cm}^2/\text{s}$  a  $60^\circ\text{C}$ , a una temperatura de  $120^\circ\text{C}$  durante un tiempo de 240 horas. La capacidad de que tal material laminar mantenga un grado de aumento de volumen dentro de los límites aceptables mencionados evita la exfoliación hasta el final del procedimiento de impregnación de todo el aislamiento estratificado. Se consigue tal resultado sin aumentar la duración de la etapa de impregnación.

Por lo tanto, según un primer aspecto, la presente invención versa acerca de un cable de corriente continua (CC) de alta tensión que comprende:

- al menos un conductor eléctrico,
- al menos una capa semiconductor,
- al menos un aislamiento estratificado fabricado de enrollamientos de al menos un material laminar de papel-polipropileno, estando impregnado dicho aislamiento estratificado con al menos un fluido eléctricamente aislante, en el que el al menos un fluido eléctricamente aislante tiene una viscosidad cinemática de al menos  $10 \text{ cm}^2/\text{s}$  a  $60^\circ\text{C}$ ;
- en el que el material laminar incluye al menos una capa de papel que tiene una impermeabilidad al aire de al menos  $100.000 \text{ Gurley seg}^{-1}$ .

### **Descripción detallada de la invención**

Para los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones adjuntas, excepto cuando se indique lo contrario, se debe comprender que todos los números que expresan cantidades, cuantías, porcentajes, etcétera, están calificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Además, todos los intervalos incluyen cualquier combinación de los puntos máximo y mínimo dados a conocer e incluyen cualquier intervalo intermedio entre los mismos, que puede estar enumerado específicamente o no en el presente documento.

En una realización preferente, el cable según la presente invención comprende una capa semiconductor interna dispuesta entre el conductor y el aislamiento estratificado, y una capa semiconductor externa dispuesta entre la capa aislante y un blindaje metálico externo.

Según una realización preferente, el al menos un material laminar de papel-polipropileno está constituido por una capa central de polipropileno intercalada entre dos capas de papel.

Preferentemente, la al menos una capa de papel tiene una impermeabilidad al aire igual o superior a  $100.000 \text{ Gurley seg}^{-1}$ . Más preferentemente, la al menos una capa de papel tiene una impermeabilidad al aire desde  $100.000$  hasta  $150.000 \text{ Gurley seg}^{-1}$ . Se puede determinar la impermeabilidad al aire según técnicas conocidas, por ejemplo IEC 554-2 (1977).

Preferentemente, al menos una capa de papel está fabricada de papel kraft.

Según una realización preferente, la al menos una capa de papel tiene una densidad de al menos  $0,9 \text{ g/cm}^3$ . Más preferentemente, dicha densidad no es superior a  $1,4 \text{ g/cm}^3$ . De forma ventajosa, la al menos una capa de papel tiene una densidad desde  $0,9$  hasta  $1,2 \text{ g/cm}^3$ .

En cuanto al polipropileno, este puede ser seleccionado de:

- (a) homopolímero de propileno termoplástico;
- (b) copolímeros termoplásticos de propileno con al menos un comonomero seleccionado de: etileno, alfaolefinas que tiene desde 4 hasta 10 átomos de carbono.

Un comonomero preferente en el copolímero (b) es etileno. Preferentemente, la cantidad total de etileno en el copolímero (b) es desde 0,5 hasta 10% en peso, más preferentemente desde 0,5 hasta 5% en peso. El homopolímero o copolímero de propileno tiene, preferentemente, un valor de índice de fluidez (MFI) de al menos  $5 \text{ g}/10'$ , más preferentemente desde 7 hasta  $50 \text{ g}/10'$ , medido a  $230^\circ\text{C}/2,16 \text{ kg}$  según ASTM D1238-04C.

Preferentemente, el homopolímero o copolímero de propileno tiene un valor de entalpía de fusión, medido mediante calorimetría de exploración diferencial (DSC) según el estándar ASTM D3417-83, de al menos  $100 \text{ J/g}$ . Preferentemente, el homopolímero o copolímero de propileno tiene un valor de entalpía de fusión igual o inferior a  $135 \text{ J/g}$ , más preferentemente la entalpía de fusión es desde 105 hasta  $110 \text{ J/g}$ .

Preferentemente, el homopolímero o copolímero de propileno tiene un valor de aumento de volumen, medido como un aumento porcentual de peso, cuando es sumergido en un fluido aislante T2015 a  $90^\circ\text{C}$  durante 168 horas, no superior al 10%. T2015 es un fluido aislante de viscosidad elevada, comercializado por H&R ChemPharm (UK) Ltd., basado en un aceite mineral al que se le ha añadido aproximadamente un 2% en peso de un poliisobuteno de peso molecular elevado como agente de aumento de la viscosidad.

En cuanto al fluido eléctricamente aislante adecuado para la presente invención, tiene generalmente una viscosidad de al menos  $10 \text{ cm}^2/\text{s}$  a  $60^\circ\text{C}$ , preferentemente desde 11 hasta  $12 \text{ cm}^2/\text{s}$  a  $60^\circ\text{C}$ , según ASTM D445-09 (2000). En general, la resistividad eléctrica de tal fluido es superior a  $1 \times 10^{14} \Omega\text{m}$ . Los fluidos de este tipo comprenden, en general, un aceite nafténico o parafínico o un aceite sintético de hidrocarburo (por ejemplo, poliisobutileno) o una mezcla de los mismos, a la que se añade opcionalmente al menos un aditivo de aumento de la viscosidad en una cantidad de forma que se obtenga la viscosidad deseada, normalmente desde 0,5% hasta 10% en peso, preferentemente desde 1% hasta 5% en peso. Se puede seleccionar el aditivo de aumento de la viscosidad, por ejemplo, de: poliolefinas de peso molecular elevado, por ejemplo poliisobutilenos; resinas colofonias polimerizadas; ceras microcristalinas; elastómeros en una forma subdividida, por ejemplo cauchos de estireno o de isopreno; o mezclas de los mismos.

En general, el material laminar de papel-propileno tiene un grosor total que varía desde 50 hasta  $300 \mu\text{m}$ , preferentemente desde 70 hasta  $200 \mu\text{m}$ . En general, la capa de polipropileno tiene un grosor que varía desde el 35% hasta el 75%, preferentemente desde el 50 hasta el 65%, del grosor total del material laminar.

La presente invención se ilustra adicionalmente con referencia a las figuras adjuntas en las que:

La Figura 1 muestra una vista en corte transversal del cable según la Figura 1;  
la Figura 2 muestra una vista en corte transversal de un material laminar según la presente invención;  
la Figura 3 muestra los diagramas de variación del grosor en función del tiempo durante la impregnación de distintos materiales laminares con un fluido aislante de alta viscosidad.

Con referencia a las figuras mencionadas anteriormente, el cable (1) según la presente invención comprende, secuencialmente desde el centro hasta el exterior, un conductor (2), una capa semiconductor interna (3), un aislamiento estratificado (4), una capa semiconductor externa (5), y una vaina metálica (6).

El conductor (2) está formado, en general, por una pluralidad de conductores individuales, fabricados preferentemente de cobre o aluminio, por ejemplo en forma de hilos trenzados entre sí mediante procedimientos convencionales o, preferentemente (como se ilustra en la Figura 1), el conductor (2) es del tipo de cobre conformado o de Milliken.

En torno al conductor (2) hay colocada una capa (3) que tiene propiedades semiconductoras, que consiste, por ejemplo, en enrollamientos de cintas de papel de celulosa rellenas de negro de humo conductor. Se puede fabricar una construcción análoga para la segunda capa semiconductor (5) colocada en torno al aislamiento estratificado (4).

El aislamiento estratificado (4) está formado, en general, mediante enrollamientos sucesivos del material laminar (12) de papel-propileno como se ha ilustrado anteriormente.

La vaina metálica (6), fabricada normalmente de plomo o aleaciones de plomo, rodea el alma del cable formado por los elementos mencionados anteriormente, y se llena cualquier espacio dentro de la vaina (6) por medio del fluido aislante de forma que impregne completamente las capas del cable, en particular el aislamiento estratificado (4).

En torno a la vaina metálica (6), normalmente hay dispuesta una estructura blindada, para proporcionar una protección mecánica al cable. Esta estructura blindada puede comprender, por ejemplo, una vaina (7) fabricada de un material plástico, sobre la que se coloca un refuerzo metálico (8), formado, por ejemplo por cintas de acero. Por fuera, se puede aplicar al menos un blindaje (10), fabricado por ejemplo de acero al carbono, combinado con al menos una capa (9) de almohadilla, fabricada por ejemplo de cintas o hilos, pudiendo evitar la capa (9) de almohadilla que el blindaje (10) dañe las capas internas. Como capa más externa, normalmente hay presente una vaina (11) de servicio, fabricada de material polimérico, que se proporciona para una protección y uniformidad de la superficie del cable.

La Figura 2 muestra una vista en corte transversal de una realización preferente del material laminar (12) según la presente invención, en el que una capa central (13) fabricada de polipropileno está intercalada entre dos capas (14) de papel.

El material laminar puede estar fabricado según técnicas conocidas, preferentemente mediante revestimiento por extrusión en el que las dos capas (14) de papel, normalmente a temperatura ambiente, son puestas en contacto con una película de polipropileno en el estado fundido, normalmente a una temperatura desde  $200^\circ\text{C}$  hasta  $320^\circ\text{C}$ , es decir, a una temperatura mucho mayor que la temperatura de fusión del polímero. Después, se calandran las capas que hacen contacto a temperaturas reducidas, normalmente mediante rodillos enfriados.

Se proporcionan los siguientes ejemplos de trabajo para ilustrar mejor la invención.

**Ejemplo 1**

Se acoplaron dos capas de papel kraft (celulosa pura de conífera) que tenían un grosor de 0,025 mm, una densidad de 0,93 g/ml y una impermeabilidad al aire de 100.000 Gurley  $\text{seg}^{-1}$  con una capa de Pro-fax™ PF611 (Basell), un homopolímero de propileno (PP) que tiene una densidad de 0,902 g/ml (ASTM D 792) y un MFI a 230°C/2,16 kg de 30,0 g/10' (ASTM D 1258). El material laminar resultante de papel/PP/papel tenía un grosor de 0,100 mm, un contenido porcentual de PP de un 60% en peso y un peso de 100 g/m<sup>2</sup>. Se midió la resistencia a la exfoliación entre el PP y el papel en el material laminar seco según el estándar ASTM D 1876-08 y resultó ser de 13 g/15 mm.

El material laminar obtenido de esta manera fue secado en un horno al vacío durante 8 horas a 135°C y luego fue impregnado a 125°C con un fluido aislante que tenía una viscosidad a 100°C de 12 cm<sup>2</sup>/s (producto comercial T2015 de H&R ChemPharm (UK) Ltd.). Durante el procedimiento de impregnación, se midió la variación (aumento de volumen) del grosor a intervalos regulares: se documentan los resultados en el diagrama de la Figura 4. Después de 240 horas el aumento de volumen total fue de un 0,14%. Se midió la resistencia a la exfoliación entre el PP y el papel en el material laminar impregnado y resultó ser de 25 g/15 mm.

Al usar el material laminar anterior, se produjo una muestra de cable con un conductor de cobre con un corte transversal de 2000 mm<sup>2</sup> y un aislamiento estratificado con un grosor de 18,1 mm. Después de la impregnación del aislamiento estratificado con el mismo fluido aislante T2015, se llevaron a cabo algunos ensayos (ensayo de flexión basado en tres ciclos repetidos y ensayos eléctricos, como corriente continua de alta tensión con ciclos de carga de hasta 1080 kV y un ensayo de impulsos de hasta 1650 kV) para comprobar el funcionamiento del cable: no se encontró ningún defecto.

**Ejemplo 2**

Se acoplaron dos capas de papel kraft (celulosa pura de conífera) que tenían un grosor de 0,025 mm, una densidad de 0,93 g/ml y una impermeabilidad al aire de 100.000 Gurley  $\text{seg}^{-1}$  con una capa de HD601 CF (Borealis), un homopolímero de propileno (PP) que tiene una densidad de 0,90 g/ml (ISO 1183) y un MFI a 230°C/2,16 kg de 8,0 g/10' (ISO 1133). El material laminar resultante de papel/PP/papel tenía un grosor de 0,100 mm, un contenido porcentual de PP de un 60% en peso y un peso de 100 g/m<sup>2</sup>. Se midió la resistencia a la exfoliación entre el PP y el papel en el material laminar seco según el estándar ASTM D 1876-08 y resultó ser de 100 g/15 mm.

El material laminar obtenido de esta manera fue secado en un horno al vacío durante 8 horas a 135°C y luego fue impregnado a 125°C con un fluido aislante que tenía una viscosidad a 100°C de 12 cm<sup>2</sup>/s (producto comercial T2015 de H&R ChemPharm (UK) Ltd.). Durante el procedimiento de impregnación, se midió la variación (aumento de volumen) del grosor a intervalos regulares: se documentan los resultados en el diagrama de la Figura 4. Después de 240 horas el aumento de volumen total fue de un 0,84%. Se midió la resistencia a la exfoliación entre el PP y el papel en el material laminar impregnado y resultó ser de 25 g/15 mm.

**Ejemplo 3 (comparativo)**

Se acoplaron dos capas de papel kraft (celulosa pura de mezcla de conífera/árbol de hoja ancha) que tenían un grosor de 0,025 mm, una densidad de 1,01 g/ml y una impermeabilidad al aire de 40.000 Gurley  $\text{seg}^{-1}$  con una capa de Pro-fax™ PF611 (Basell), un homopolímero de propileno (PP) que tiene una densidad de 0,902 g/ml (ASTM D 792) y un MFI a 230°C/2,16 kg de 30,0 g/10' (ASTM D 1258). El material laminar resultante de papel/PP/papel tenía un grosor de 0,100 mm, un contenido porcentual de PP de un 60% en peso y un peso de 100 g/m<sup>2</sup>. Se midió la resistencia a la exfoliación entre el PP y el papel en el material laminar seco según el estándar ASTM D 1876-08 y resultó ser de 50 g/15 mm.

El material laminar obtenido de esta manera fue secado en un horno al vacío durante 8 horas a 135°C y luego fue impregnado a 125°C con un fluido aislante que tenía una viscosidad a 100°C de 12 cm<sup>2</sup>/s (producto comercial T2015 de H&R ChemPharm (UK) Ltd.). Durante el procedimiento de impregnación, se midió la variación (aumento de volumen) del grosor a intervalos regulares: se documentan los resultados en el diagrama de la Figura 4. Después de 240 horas, el aumento de volumen total fue de un 1,95%. Se midió la resistencia a la exfoliación entre el PP y el papel en el material laminar impregnado y resultó ser de 30 g/15 mm.

Al usar el material laminar anterior, se produjo una muestra de cable con un conductor de cobre con un corte transversal de 2000 mm<sup>2</sup> y un aislamiento estratificado con un grosor de 18,1 mm. Después de la impregnación del aislamiento estratificado con el mismo fluido aislante T2015, se descubrió que un aumento de volumen excesivo de los enrollamientos externos del material laminar dificultaba la penetración del fluido aislante a través de las capas internas del material laminar, lo que causaba, de esta manera, una falta inaceptable de homogeneidad en la impregnación del aislamiento.

**Ejemplo 4 (comparativo)**

Se acoplaron dos capas de papel kraft (celulosa pura de conífera) que tenían un grosor de 0,025 mm, una densidad de 0,75 g/ml y una impermeabilidad al aire de 1.000 Gurley  $\text{seg}^{-1}$  con una capa de Pro-fax™ PF611 (Basell), un

## ES 2 437 612 T3

homopolímero de propileno (PP) que tiene una densidad de 0,902 g/ml (ASTM D 792) y un MFI a 230°C/2,16 kg de 30,0 g/10' (ASTM D 1258). El material laminar resultante de papel/PP/papel tenía un grosor de 0,100 mm, un contenido porcentual de PP de un 60% en peso y un peso de 88 g/m<sup>2</sup>. Se midió la resistencia a la exfoliación entre el PP y el papel en el material laminar seco según el estándar ASTM D 1876-08 y resultó ser de 50 g/15 mm.

- 5 El material laminar obtenido de esta manera fue secado en un horno al vacío durante 8 horas a 135°C y luego fue impregnado a 125°C con un fluido aislante que tenía una viscosidad a 100°C de 12 cm<sup>2</sup>/s (producto comercial T2015 de H&R ChemPharm (UK) Ltd.). Durante el procedimiento de impregnación, se midió la variación (aumento de volumen) del grosor a intervalos regulares: se documentan los resultados en el diagrama de la Figura 4. Después de 240 horas el aumento de volumen total fue de un 3,5%. Se midió la resistencia a la exfoliación entre el PP y el papel
- 10 en el material laminar impregnado y resultó ser de 30 g/15 mm.

**REIVINDICACIONES**

1. Un cable de corriente continua (CC) de alta tensión que comprende:
  - al menos un conductor eléctrico,
  - al menos una capa semiconductora,
  - al menos un aislamiento estratificado fabricado de enrollamientos de al menos un material laminar de papel-polipropileno, estando impregnado dicho aislamiento estratificado con al menos un fluido eléctricamente aislante,
  - en el que el al menos un fluido eléctricamente aislante tiene una viscosidad cinemática de al menos 10 cm<sup>2</sup>/s a 60°C;
  - en el que el material laminar incluye al menos una capa de papel que tiene una impermeabilidad al aire de al menos 100.000 Gurley seg<sup>-1</sup>.
2. El cable según la reivindicación 1, en el que el material laminar de papel-polipropileno tiene un aumento de volumen no superior a un 1%, preferentemente no superior a un 0,2%, después de una inmersión del material laminar en un fluido aislante, que tiene una viscosidad cinemática de al menos 10 cm<sup>2</sup>/s a 60°C, a una temperatura de 120°C durante un tiempo de 240 horas.
3. El cable según la reivindicación 1, que comprende una capa semiconductora interna dispuesta entre el conductor y el aislamiento estratificado, y una capa semiconductora externa dispuesta entre la capa aislante y un blindaje metálico externo.
4. El cable según la reivindicación 1, en el que el al menos un material laminar de papel-polipropileno está constituido por una capa central de polipropileno intercalada entre dos capas de papel.
5. El cable según la reivindicación 1, en el que la al menos una capa de papel tiene una impermeabilidad al aire entre 100.000 y 150.000 Gurley seg<sup>-1</sup>.
6. El cable según la reivindicación 1, en el que la al menos una capa de papel tiene una densidad de al menos 0,9 g/cm<sup>3</sup>, preferentemente no superior a 1,4 g/cm<sup>3</sup>.
7. El cable según la reivindicación 6, en el que la al menos una capa de papel tiene una densidad entre 0,9 y 1,2 g/cm<sup>3</sup>.
8. El cable según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el polipropileno está seleccionado de:
  - (a) homopolímeros termoplásticos de propileno;
  - (b) copolímeros termoplásticos de propileno con al menos un comonomero seleccionado de: etileno, alfaolefinas que tienen desde 4 hasta 10 átomos de carbono.
9. El cable según la reivindicación 8, en el que, en el copolímero termoplástico (b), el comonomero es etileno.
10. El cable según la reivindicación 9, en el que la cantidad total de etileno en el copolímero (b) esta entre un 0,5 y un 10% en peso, más preferentemente entre un 0,5 y un 5% en peso.
11. El cable según la reivindicación 1, en el que el homopolímero o copolímero de propileno tiene un valor de índice de fluidez (MFI) de al menos 5 g/10', más preferentemente desde 7 hasta 50 g/10', medido a 230°C/2,16 kg según ASTM D1238-04C.
12. El cable según la reivindicación 1, en el que el homopolímero o copolímero de polipropileno tiene un valor de entalpía de fusión de al menos 100 J/g, medido mediante calorimetría de exploración diferencial (DSC) según el estándar ASTM D3417-83.
13. El cable según la reivindicación 12, en el que la entalpía de fusión del homopolímero o copolímero de polipropileno es igual o inferior a 135 J/g, preferentemente desde 105 hasta 110 J/g.
14. El cable según la reivindicación 1, en el que el polipropileno tiene un valor de aumento de volumen, medido como un aumento porcentual del peso, cuando se sumerge en un fluido aislante T2015 a 90°C durante 168 horas, no superior a un 10%.
15. El cable según la reivindicación 1, en el que el al menos un fluido eléctricamente aislante tiene una viscosidad de al menos 10 cm<sup>2</sup>/s a 60°C, preferentemente entre 11 y 12 cm<sup>2</sup>/s a 60°C según ASTM D 445-09 (2000).
16. El cable según la reivindicación 1, en el que el material laminar de papel-polipropileno tiene un grosor total que varía desde 50 hasta 300 μm, preferentemente desde 70 hasta 200 μm.

17. El cable según la reivindicación 1, en el que la capa de polipropileno tiene un grosor que varía desde un 35% hasta un 75%, preferentemente desde un 50 hasta un 65%, del grosor total del material laminar.

FIG 1

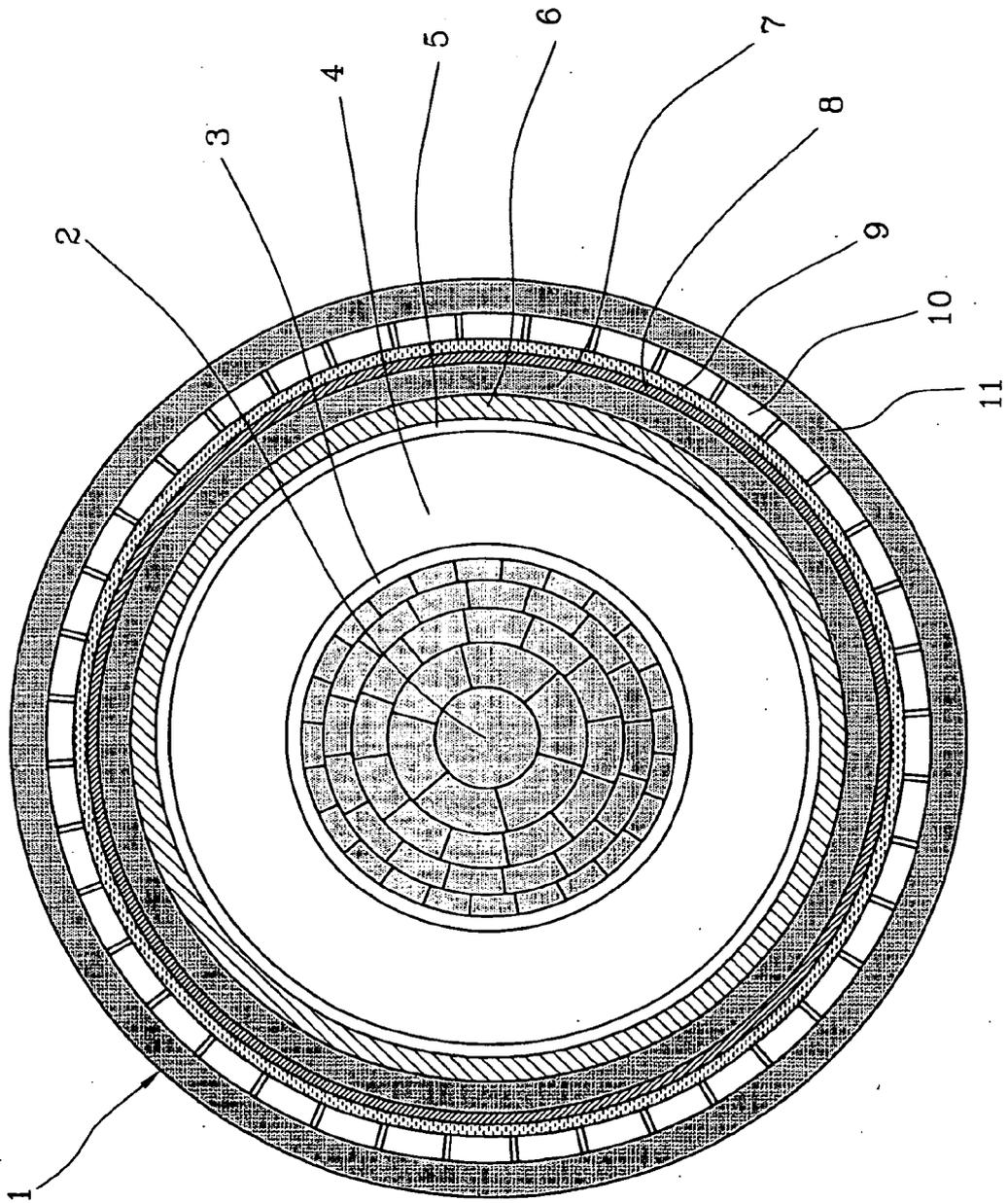


FIG 2

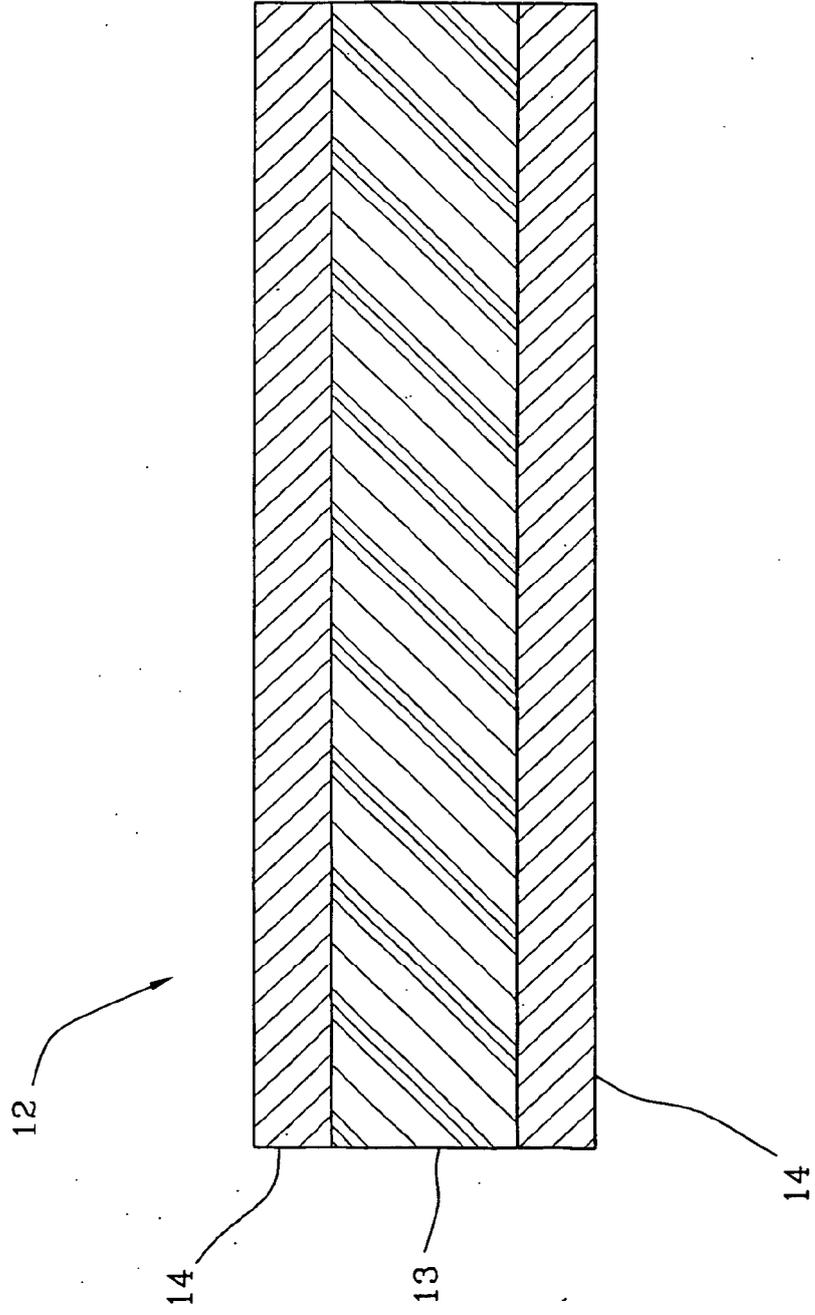


FIG 3

