



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 294**

51 Int. Cl.:  
**H01B 7/02** (2006.01)  
**H01B 13/14** (2006.01)  
**C08J 9/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05826507 .5**  
96 Fecha de presentación : **22.12.2005**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1969609**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.09.2008**

54

Título: **Cable eléctrico que comprende un aislamiento de poliolefina expandida y procedimiento de fabricación del mismo.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**02.06.2011**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**02.06.2011**

73

Titular/es: **PRYSMIAN S.p.A.**  
**Viale Sarca 222**  
**20126 Milano, IT**

72

Inventor/es: **Frigerio, Marco;**  
**Casiraghi, Flavio;**  
**Crisci, Vincenzo;**  
**Grasselli, Gianbattista;**  
**Pons, Jean-Louis y**  
**Bareggi, Alberto**

74

Agente: **Ponti Sales, Adelaida**

ES 2 360 294 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 eléctrico que comprende un aislamiento de poliolefina expandida y procedimiento de fabricación del mismo.

## 5 Antecedentes de la invención

**[0001]** La presente invención se refiere a un cable eléctrico.

**[0002]** Además, la presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de dicho cable eléctrico.

10

Técnica anterior

**[0003]** Los cables de transmisión de energía eléctrica se proporcionan por lo general con un conductor metálico que está rodeado por un revestimiento aislante.

15

**[0004]** Se puede proporcionar un cable de energía eléctrica con un revestimiento en una posición exterior radial con respecto a la capa aislante. Se proporciona dicho revestimiento para proteger el cable contra daños mecánicos.

**[0005]** El documento US 4.789.589 se refiere a un alambre conductor eléctricamente aislado, en el que el aislamiento que rodea el alambre conductor comprende una capa interna de un compuesto de poliolefina y una de construcción en celdas, y una capa externa de cloruro de polivinilo no endurecido y no endurecible.

**[0006]** El documento WO 03/088274 se refiere a un cable con un revestimiento aislante que comprende al menos dos capas aislantes de tal manera que, en una dirección radial desde el interior hacia el exterior del cable, la capa aislante comprende al menos una capa aislante fabricada de un material polimérico no expandido y al menos una capa aislante fabricada de un material polimérico expandido. De hecho, una capa aislante expandida muestra discontinuidades (es decir, huecos en el interior del material polimérico, rellenándose dichos huecos con aire o gas) y no podría trabajar apropiadamente en el espacio que rodea el conductor donde el campo eléctrico es más relevante.

**[0007]** Según se informa, por ejemplo, en el documento US 4.591.606, se produce espuma de poliolefina reticulada usando agentes de expansión química, tales como azidocarbamida, que se descompone o se calienta y genera nitrógeno gaseoso. La reticulación se consigue usualmente con la ayuda de un iniciador radicalario tal como peróxido de dicumilo. La reacción de reticulación se consigue también con la ayuda de calor. Se ha desarrollado también el procedimiento de fabricación de espuma de polietileno reticulada, pero en este caso la reticulación se lleva a cabo con la ayuda de irradiación. Los productos de dicho procedimiento tienen densidades muy bajas, de esta manera no se pueden contemplar aplicaciones que requieran fuerza y rigidez. Cuando se usa un peróxido orgánico como agente de reticulación, es difícil controlar el procedimiento debido a que los procedimientos de expandido y reticulación son ambos dependientes de la temperatura.

**[0008]** El documento US 3.098.831 se refiere a material de polietileno reticulado y expandido útil, *entre otros*, como aislamiento eléctrico. Se dice que dicho material de polietileno tiene una densidad no superior a  $0,32 \text{ g/cm}^3$  (20 libras por pie cúbico). Se proporcionan ejemplos con polietileno que tiene un grado de expansión de 90-95%. El polietileno expandido se prepara sometiendo polietileno reticulado que contiene un agente de expansión de caucho a una temperatura elevada a la cual el agente de expansión se descompone y de esta manera consigue que se expanda el polietileno. El material de partida del polietileno puede reticularse, por ejemplo, mediante un peróxido orgánico. La cantidad de agente de reticulación varía generalmente entre 0,002 y 0,01 mol por 100 gramos de polietileno. Entre los agentes de expandido, se toma la azodicarbonamida como ejemplo, y se emplean aproximadamente de 2 a 15 partes en peso de agente de expandido, basándose en 100 partes de material de polietileno.

**[0009]** Generalmente, un cable para cableado de edificios y aplicaciones industriales debería instalarse en el interior de paredes, y el procedimiento de instalación requiere que el cable pase por las restricciones de las paredes o, más frecuentemente, que se tienda el cable a través de vainas, en las que el cable queda permanentemente confinado.

**[0010]** Para que se pueda instalar correctamente con operaciones sencillas y rápidas, un cable necesita ser particularmente flexible a fin de que se puede insertar en los pasos de la pared y/o en las vainas de la pared y

seguir las sinuosidades de la ruta de instalación sin dañarse.

5 **[0011]** Durante una instalación personalizada, debido a la tortuosidad de la ruta de instalación y a la fricción durante la operación de tendido, los cables para cableado de edificio están sometidos a desgarramiento o raspado contra bordes y/o superficies rugosas.

10 **[0012]** Aumentar la flexibilidad de un cable eléctrico puede permitir reducir los daños producidos por dichas acciones de desgarramiento o raspado. Según se da a conocer, por ejemplo, en el documento WO 03/088274 citado anteriormente, se puede aumentar ventajosamente la flexibilidad del cable dotando el cable de una capa aislante expandida, con resultados favorables en el procedimiento de instalación del mismo..

15 **[0013]** Se puede proporcionar una flexibilidad aumentada mediante la capa aislante expandida gracias a la naturaleza "esponjosa" del material. En particular, la flexibilidad de un cable se puede maximizar cuando la capa aislante consta de una única capa de material expandido.

**[0014]** Adicionalmente, la presencia de un revestimiento expandido en un cable disminuye el peso del cable con ventajas en su transporte e instalación.

20 **[0015]** Sin embargo, una capa aislante expandida podría dar lugar a problemas tales como:  
 - cuando están en contacto con el conductor, las discontinuidades de un material expandido podrían alterar las propiedades aislantes de la capa;  
 - el material expandido del revestimiento aislante debería tener un grado de expansión suficientemente elevado para proporcionar la flexibilidad deseada, pero no tan grande que debilite de manera inadecuada el revestimiento desde el punto de vista mecánico.

25 **[0016]** Otro aspecto importante que un cable necesita satisfacer es un sencillo y rápido pelado del cable.

30 **[0017]** La propiedad de pelado de un cable, por ejemplo, para cableado del edificio, es una petición ampliamente demandada del mercado debido a que el pelado de un cable es una operación que el personal técnico lleva a cabo manualmente. Por esta razón, se requiere que dicha operación sea fácil y rápida de llevar a cabo por el operario, teniendo en cuenta que se lleva a cabo frecuentemente en espacios estrechos y en condiciones más bien incómodas.

35 **[0018]** Normalmente, un revestimiento de cable se fabrica de una mezcla basada en cloruro de polivinilo (PVC) y que comprende, entre otros, un plastificante. El plastificante es propenso a migrar hacia el exterior del revestimiento de PVC en la capa aislante alterando su composición. En el curso de un ensayo de envejecimiento acelerado, el solicitante ha observado que este efecto es significativo en el caso de una capa aislante sin expandir. Como consecuencia, la composición tiene propiedades eléctricas (aislantes) desequilibradas, a la vista de la naturaleza polar del plastificante, debilitamiento de las características mecánicas, y puede llevar a un envejecimiento prematuro  
 40 del cable.

Resumen de la invención

45 **[0019]** El solicitante percibió que un material de poliolefina expandida podría ser ventajoso como capa aislante para un cable cuando el material de poliolefina está expandido y reticulado a la vez. La reticulación y la expansión coexistentes proporcionan un material de poliolefina con flexibilidad mejorada y facilidad de pelado sin desequilibrar las propiedades mecánicas de la capa formada entre los anteriores.

50 **[0020]** El solicitante ha observado que si se intenta expandir y reticular una poliolefina, no se puede controlar en general el grado de expansión, siendo tanto excesivo como insuficiente.

55 **[0021]** Sin embargo, en el ámbito de la presente invención, el solicitante ha encontrado que se puede obtener una capa aislante correctamente expandida y reticulada mediante un sistema de reticulación basado en silano y un agente de expansión exotérmico. La capa aislante obtenida de esta manera tiene un grado de expansión ventajoso para dar como resultado el cable con las características anteriormente mencionadas.

**[0022]** En particular, el solicitante ha encontrado que la capa aislante de polímero expandido/reticulado mejora la estabilidad al envejecimiento de un cable revestido.

**[0023]** Se cree que dicho resultado es debido al hecho de que dicha capa aislante tiene una mejor compatibilidad con respecto a los materiales del revestimiento.

Definiciones

- 5
- [0024]** En la presente memoria descriptiva, la expresión “núcleo del cable” indica una estructura que comprende al menos un conductor y un revestimiento aislante eléctrico respectivo dispuesto en una posición radialmente externa a dicho conductor.
- 10 **[0025]** Para los objetivos de la presente invención, la expresión “cable unipolar” significa un cable provisto de un único núcleo según se ha definido anteriormente, mientras que la expresión “cable multipolar” significa un cable provisto de al menos un par de dichos núcleos. Con mayor detalle, cuando un cable multipolar tiene un número de núcleos igual a dos, dicho cable se define técnicamente como “cable bipolar”, si existen tres núcleos, se conoce dicho cable como “cable tripolar”, y así sucesivamente.
- 15 **[0026]** En la presente memoria descriptiva, el término “pelado de un cable” se usa para indicar la eliminación de todas las capas de cable que se encuentran radialmente externas con respecto al conductor de tal manera que esto da como resultado un conductor no revestido que se conecta eléctricamente a un conductor de un cable adicional o a un aparato eléctrico, por ejemplo.
- 20 **[0027]** En la presente memoria descriptiva, la expresión “voltaje bajo” significa un voltaje de menos de aproximadamente 1 kV.
- [0028]** En la presente memoria descriptiva y en las reivindicaciones posteriores, por “conductor” se entiende un elemento conductor de forma alargada y preferiblemente de material metálico, por ejemplo, aluminio o cobre.
- [0029]** Como “revestimiento aislante” o “capa aislante” se entiende un revestimiento o capa fabricada de un material que tiene una constante de aislamiento ( $k_i$ ) mayor de 0,0367 MOhm km (según la norma IEC 60502).
- 30 **[0030]** En la presente memoria descriptiva y reivindicaciones, por “reticulado con silano” se entiende un material de poliolefina que tiene enlaces de siloxano (-Si-O-Si) como el elemento de reticulación.
- [0031]** En la presente memoria descriptiva y reivindicaciones, por “material de poliolefina expandida” se entiende un material con un porcentaje de espacio libre en el interior del material, es decir, un espacio no ocupado por el
- 35 material polimérico, sino por gas o aire, expresándose dicho porcentaje mediante el “grado de expansión” (G), definido de la siguiente forma:
- $$G = \left( \frac{d_0 - d_e}{d_0} \right) \times 100$$
- en la que  $d_0$  es la densidad del polímero sin expandir y  $d_e$  es la densidad aparente medida en el polímero expandido.
- 40 **[0032]** La densidad aparente se mide según la norma italiana CEI EN 60811-1-3:2001-06.
- [0033]** En la presente memoria descriptiva y reivindicaciones, se pretende que el término “revestimiento” identifique una capa externa protectora del cable que tiene la función de proteger el último de impactos accidentales o de abrasión. De lo anterior, según el término mencionado anteriormente, no se requiere que el revestimiento del
- 45 cable proporcione al cable propiedades aislantes eléctricas específicas.
- [0034]** En la presente memoria descriptiva y reivindicaciones por “sistema de reticulación basado en silano” se entiende un compuesto o una mezcla de compuesto que comprende al menos un silano orgánico.
- 50 **[0035]** En la presente memoria descriptiva y reivindicaciones por “sistema de expansión” se entiende un compuesto o mezcla de compuestos que comprende uno o más agentes de expansión, de los cuales al menos uno es un agente de expansión exotérmico.
- [0036]** En la presente memoria descriptiva y reivindicaciones, por “agente de expansión endotérmico” se entiende
- 55 un compuesto o una mezcla de compuestos que es térmicamente inestable y origina la absorción de calor generando a la vez gas y calor a una temperatura predeterminada.

**[0037]** En la presente memoria descriptiva y reivindicaciones, por “agente de expansión exotérmico” se entiende un compuesto o una mezcla de compuestos que es térmicamente inestable y se descompone para dar como resultado gas y calor a una temperatura predeterminada.

5 **[0038]** En la presente memoria descriptiva y reivindicaciones, por “relación de trefilado” se entiende la relación del espesor de la apertura de la matriz de la extrusora al espesor final del producto extrudido.

**[0039]** En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para fabricar un cable eléctrico que comprende al menos un núcleo que comprende un conductor y un revestimiento aislante que rodea dicho

10 conductor, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

- proporcionar un material de poliolefina, un sistema de reticulación basado en silano, y un sistema de expansión que comprende al menos un agente de expansión exotérmico en una cantidad de entre 0,1% a 0,5% en peso con respecto al peso total del material de poliolefina;
- formar una mezcla con el material de poliolefina, el sistema de reticulación basado en silano y el agente de
- 15 expansión:
- extrudir la mezcla sobre el conductor para formar el revestimiento aislante.

**[0040]** Por “material de poliolefina” se entiende un polímero seleccionado entre el grupo que comprende: poliolefinas, copolímeros de diversas olefinas, copolímeros de olefinas/ésteres insaturados, poliésteres, y sus

20 mezclas. Preferiblemente, dicho material de poliolefina es: polietileno (PE), en particular PE de baja densidad (LDPE), PE de densidad media (MDPE), PE de elevada densidad (HDPE), y PE lineal de baja densidad (LLDPE); copolímeros elastoméricos de etileno-propileno (EPM) o terpolímeros de etileno-propileno-dieno (EPDM); copolímeros de etileno/éster de vinilo, por ejemplo etileno/acetato de vinilo (EVA); copolímeros de etileno/acrilato; copolímeros termoplásticos de etileno/ $\alpha$ -olefina; y sus copolímeros o mezclas mecánicas.

25 **[0041]** Es más preferido según la invención un material de poliolefina seleccionado entre polietileno (PE), en particular, PE de baja densidad (LDPE), PE de densidad media (MDPE), PE de elevada densidad (HDPE) y PE lineal de baja densidad (LLDPE), más preferiblemente LLDPE, opcionalmente en mezcla con EPDM o copolímero de olefina.

30 **[0042]** Cuando el material de poliolefina de la invención es una mezcla de un material de polietileno y un material copolímero, el último está ventajosamente presente en una cantidad de entre 5 phr a 30 phr.

35 **[0043]** Los silanos preferidos que se pueden usar son alquiloxi ( $C_1$ - $C_4$ ) silanos con al menos un doble enlace, y en particular vinil o acril alquiloxi ( $C_1$ - $C_4$ ) silanos; los compuestos adecuados para el objetivo pueden ser  $\gamma$ -metacriloxi-propiltrimetoxi silano, viniltrimetoxisilano, viniltrietoxisilano, vinildimetoxietoxisilano, viniltris-(2-metoxietoxi) silano, y sus mezclas.

40 **[0044]** El sistema de reticulación basado en silano para el procedimiento de la invención comprende al menos un peróxido. Preferiblemente, los peróxidos que se pueden usar ventajosamente son di(tercbutilperoxipropil-(2)-benceno, peróxido de dicumilo, peróxido de di-tercbutilo, peróxido de benzoilo, peróxido de terc-butilcumilo, 1,1-di(terc-butilperoxi)-3,3,5-trimetil-ciclohexano, 2,5-bis(tercbutilperoxi)-2,5-dimetilhexano, tercbutilperoxi-3,5,5-trimetilhexanoato de 2,5-bis(tercbutilperoxi)-2,5-dimetilhexano, 3,3-di(tercbutilperoxi)butirato de etilo, butil-4,4-di(tercbutilperoxi)valerato, y tercbutilperoxibenzoato.

45 **[0045]** Preferiblemente, el sistema de reticulación basado en silano del procedimiento de la invención comprende al menos un catalizador de reticulación, que se escoge entre los conocidos en la materia; preferiblemente, es conveniente usar un titanato orgánico o un carboxilato metálico. Se prefiere especialmente dilaurato de dibutilestaño (DBTL).

50 **[0046]** Ventajosamente, la cantidad de sistema de reticulación basado en silano es tal que proporcione a la mezcla de 0,003 a 0,015 moles de silano por 100 gramos de material de poliolefina. Preferiblemente la cantidad de silano es de entre 0,006 a 0,010 moles de silano por 100 gramos de material de poliolefina.

55 **[0047]** Opcionalmente, el sistema de expansión del presente procedimiento comprende al menos un agente de expansión endotérmico, preferiblemente en una cantidad igual a o inferior del 20% en peso con respecto al peso total del material de poliolefina.

**[0048]** Ventajosamente, el agente de expansión exotérmico del procedimiento de la invención es un azocompuesto

tal como azodicarbonamida, azobisisobutironitrilo, y diazoaminobenceno. Preferiblemente, el agente de expansión exotérmico es azodicarbonamida.

5 **[0049]** Preferiblemente, el agente de expansión exotérmico está en una cantidad de entre 0,15% a 0,24% con respecto al peso total del material de poliolefina.

10 **[0050]** Ventajosamente, el sistema de expansión se añade al material poliolefínico como mezcla básica que comprende un material polimérico, preferiblemente un homopolímero o copolímero de etileno tal como un copolímero de etileno/acetato de vinilo (EVA), copolímero de etileno-propileno (EPR) y copolímero de etileno/acrilato de butilo (EBA). Dicha mezcla básica comprende una cantidad de agente de expansión (exotérmico y, en su caso, endotérmico) de entre 1% en peso a 80% en peso, preferiblemente de entre 5% en peso a 50% en peso, más preferiblemente de entre 10% en peso a 40% en peso, con respecto al peso total del material polimérico.

15 **[0051]** Ventajosamente, el sistema de expansión comprende además al menos un activador (conocido también como pateador). Preferiblemente, los activadores adecuados del sistema de expansión de la invención son compuestos metálicos de transición.

20 **[0052]** Opcionalmente, el sistema de expansión del procedimiento de la invención comprende además al menos un agente de nucleación. Preferiblemente, el agente de nucleación es un nucleador activo.

**[0053]** Ventajosamente, el procedimiento de la presente invención se lleva a cabo en una extrusora de husillo simple.

25 **[0054]** Preferiblemente, la etapa de extrudir la mezcla sobre el cable conductor para proporcionar a dicho conductor una capa aislante comprende las etapas de  
 - alimentar dicho conductor a una máquina de extrusión;  
 - depositar la capa aislante mediante extrusión.

30 **[0055]** Ventajosamente, la etapa de extrudir la mezcla se efectúa por medio de una matriz con un diámetro reducido, según la "relación de trefilado" (DDR) inferior de 1 preferiblemente inferior de 0,9, más preferiblemente inferior de 0,8.

35 **[0056]** Opcionalmente, el procedimiento de fabricación según la invención comprende además la etapa de proporcionar una capa de revestimiento en una posición externa radialmente perimetral con respecto a el al menos un conductor revestido con la capa aislante relevante. Dicha etapa se lleva a cabo mediante extrusión.

40 **[0057]** En otro aspecto, la presente invención se refiere a un cable eléctrico que comprende al menos un núcleo constituido por un conductor y una revestimiento aislante que rodea dicho conductor y en contacto entre los anteriores, consistiendo dicho revestimiento aislante en una capa de material de poliolefina expandida, reticulada con silano que tiene un grado de expansión de entre 3% a 40%.

**[0058]** Preferiblemente, el cable eléctrico de la invención tiene tres núcleos según se ha descrito anteriormente.

45 **[0059]** El cable eléctrico según la invención es preferiblemente un cable de voltaje bajo.

50 **[0060]** Como "material de poliolefina" se entiende un polímero seleccionado entre el grupo que comprende: poliolefinas, copolímeros de diversas olefinas, copolímeros de olefinas/ésteres insaturados, poliésteres, y sus mezclas. Preferiblemente, dicho material de poliolefina es: polietileno (PE), en particular PE de baja densidad (LDPE), PE de densidad media (MDPE), Polietileno de elevada densidad (HDPE), y PE lineal de baja densidad (LLDPE); copolímeros elastoméricos de etileno-propileno (EPM) o terpolímeros de etileno-propileno-dieno (EPDM); copolímeros de etileno/éster de vinilo, por ejemplo etileno/acetato de vinilo (EVA); copolímeros de etileno/acrilato; copolímeros termoplásticos de etileno/ $\alpha$ -olefina; y sus copolímeros o mezclas mecánicas.

55 **[0061]** Es más preferido según la invención un material de poliolefina seleccionado entre polietileno (PE), en particular PE de baja densidad (LDPE), PE de densidad media (MDPE), PE de elevada densidad (HDPE) y PE lineal de baja densidad (LLDPE), más preferiblemente LLDPE, opcionalmente en mezcla con EPDM o copolímero de olefina.

**[0062]** Cuando el material de poliolefina de la invención es una mezcla de un material de polietileno y un material

copolímero, el último está ventajosamente presente en una cantidad de entre 5 phr a 30 phr.

**[0063]** Más preferiblemente, el revestimiento aislante del cable de la invención tiene un grado de expansión de entre 5% a 30%, incluso más preferiblemente de entre 10% a 25%.

5

**[0064]** Ventajosamente, el revestimiento aislante del cable de la invención muestra una expansión caracterizada por un diámetro específico de la celda promedio.

**[0065]** En particular, el revestimiento aislante del cable de la invención tiene ventajosamente un diámetro de celda promedio igual o menor de 300  $\mu\text{m}$ , preferiblemente igual a o menor de 100  $\mu\text{m}$ .

10

**[0066]** Ventajosamente, el revestimiento aislante de la invención no se expande en una porción perimetral en contacto con y/o en la proximidad del conductor, es decir, no hay celdas sustancialmente presentes en el anterior.

**[0067]** Preferiblemente, el cable según la presente invención va provisto de una capa de revestimiento, en posición radialmente externa con respecto a la capa aislante, preferiblemente en contacto con la anterior.

15

**[0068]** Preferiblemente, dicha capa de revestimiento se fabrica de un compuesto que comprende cloruro de polivinilo (PVC), un relleno, tal como creta, un plastificante, por ejemplo, octil, nonil o decil ftalato, y aditivos.

20

**[0069]** En un aspecto adicional, la presente invención se refiere a un procedimiento para mejorar la estabilidad al envejecimiento de un cable que comprende un conductor, una capa aislante y un revestimiento, en el que dicho revestimiento aislante comprende un material de poliolefina reticulado con silano que tiene un grado de expansión de entre 3% a 40%.

25

Breve descripción de los dibujos

**[0070]** Las características y ventajas serán más claras a la luz de la siguiente descripción de algunas de las realizaciones preferidas de la presente invención.

30

**[0071]** La siguiente descripción hace referencia a los dibujos que la acompañan, en los que:

- La Figura 1 muestra una sección transversal derecha de un ejemplo de un cable según la presente invención;
- La Figura 2 es una fotografía de una muestra de la capa aislante del cable comparativo 17;
- La Figura 3 es una fotografía de una muestra de la capa aislante del cable 19 según la invención;
- La Figura 4 es una fotografía de una muestra de la capa aislante del cable 20 según la invención.

35

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

**[0072]** La Figura 1 muestra la sección transversal de un cable según la invención para la transmisión de energía eléctrica a un voltaje bajo.

40

**[0073]** El cable 10 es del tipo tripolar (con tres núcleos) y comprende tres conductores 1 cada uno de los cuales esta cubierto por un revestimiento aislante polimérico expandido y reticulado 2. Tres conductores 1 con los revestimientos aislantes relevantes están rodeados por un revestimiento 3.

45

**[0074]** La constante de aislamiento  $k_i$  de la capa aislante eléctrica 2 es tal que las propiedades aislantes eléctricas requeridas son compatibles con los estándares (por ejemplo, la norma IEC 60502 u otra equivalente de la anterior). Por ejemplo, la capa aislante eléctrica 2 tiene una constante de aislamiento  $k_i$  igual a o mayor que 3,67 mOhm km a 90°C.

50

**[0075]** El grado de expansión de la capa aislante para el cable de la invención es de entre 3% a 40%. En particular, el solicitante observó que un grado de expansión menor de 3% no proporciona al cable ventajas apreciables en términos de flexibilidad y reducción de peso. Por otra parte, cuando el grado de expansión es mayor del 40%, las características mecánicas del cable, por ejemplo, la resistencia a la tracción están desequilibradas en una extensión inaceptable para los requerimientos de la instalación.

55

**[0076]** La Figura 1 muestra únicamente una de las posibles realizaciones de cables en la que se puede emplear ventajosamente la presente invención. Se puede realizar, por tanto, cualquier modificación adecuada a las

realizaciones mencionadas anteriormente tal como, por ejemplo, el uso de cables del tipo multipolar o conductores de sección transversal sectorial.

- 5 **[0077]** Según la presente invención, con el fin de conferir al revestimiento aislante una resistencia mecánica adecuada sin disminuir la flexibilidad del cable, el material de poliolefina de la misma se obtiene a partir de un material de poliolefina que, antes de la expansión, tiene un módulo flexor a temperatura ambiente, medido según el estándar D790-86 de la ASTM, comprendido entre 50 MPa y 1.000 MPa. Preferiblemente, dicho módulo flexor a temperatura ambiente no es mayor de 600 MPa, más preferiblemente, está comprendido entre 100 MPa y 600 MPa.
- 10 **[0078]** Por ejemplo, se puede producir el cable de la Figura 1 mediante un procedimiento llevado a cabo en un equipo de extrusión con una extrusora de husillo simple que tenga un diámetro de entre 60 a 175 mm, y una longitud de aproximadamente 20 D a 30 D, seleccionándose estas características a la vista del diámetro del cable que se va a obtener y/o la producción de la velocidad deseada.
- 15 **[0079]** Adecuadamente, el husillo puede ser un husillo de filete simple, con la presencia opcional de un filete de barrera en la zona de transición; preferiblemente, no se adopta dispositivo mezclador a lo largo del husillo.
- [0080]** El equipo de extrusión se alimenta ventajosamente por un sistema de dosificación multicomponente de tipo gravimétrico o, preferiblemente, de tipo volumétrico. El sistema de dosificación puede alimentar los ingredientes
- 20 (material de poliolefina, sistema de reticulación basado en silano y sistema de expansión).
- [0081]** Si se desea un cable coloreado (tanto completamente coloreado como provisto con un revestimiento de piel coloreada), se puede usar una mezcla básica de pigmento.
- 25 **[0082]** Los ingredientes anteriormente mencionados se alimentan ventajosamente a la boca de alimentación de la extrusora en forma de aglomerado y se dosifican en el porcentaje deseado a través de un sistema de control gravimétrico o volumétrico. Una mezcla preliminar de los ingredientes, fuera de línea o en la tolva por encima de la boca de alimentación, puede mejorar ventajosamente la dispersión de los componentes y la calidad del producto final.
- 30 **[0083]** Opcionalmente, el sistema de reticulación, normalmente disponible es estado líquido, se introduce en la extrusora inyectando éste en la parte inferior de la tolva de la extrusora (parte superior de la boca de alimentación) a baja presión (1 bar; 100 kPa), se puede comprobar gravimétrica o volumétricamente el porcentaje del sistema de reticulación introducido.
- 35 **[0084]** Por ejemplo, los ingredientes relacionados anteriormente se alimentan en la boca de la extrusora, se calientan, se funden y se mezclan mediante el husillo a lo largo de la extrusora y finalmente se miden en la cruceta de extrusión.
- 40 **[0085]** El injerto de los grupos silano con cadenas poliméricas se activa químicamente a lo largo de la extrusora y comienza el procedimiento de reticulación.
- [0086]** La expansión del material de poliolefina del revestimiento aislante de la invención se lleva a cabo por medio de un agente de expansión específico. Dicho agente de expansión se selecciona ventajosamente entre el grupo del
- 45 agente de expansión exotérmico, en particular de los azocompuestos tales como azodicarbonamida, azobisisobutironitrilo, y diazoaminobenceno. Los azocompuestos son agentes de expansión preferidos en virtud de su inercia química con respecto a los reactivos empleados en la preparación del revestimiento aislante, especialmente con respecto al sistema de reticulación.
- 50 **[0087]** El sistema de expansión está mezclado con los otros ingredientes y comienza a descomponerse a una temperatura predeterminada. Tras la reacción, el gas generado por el sistema de expansión permanece disperso en el interior de la mezcla.
- 55 **[0088]** La mezcla, tras pasar por la unidad de filtración, se alimenta, por ejemplo, a una cruceta en la que se distribuye alrededor del conductor en una configuración ortogonal con respecto a la extrusora. En la zona de la matriz, el conductor está revestido por la mezcla y, después en las matrices cuando se libera la presión, comienza la expansión de la mezcla. Tras un lapso de, por ejemplo, 1 m en el que el conductor se expone al entorno, se sumerge el mismo en la boca de enfriamiento, en el que se somete a enfriamiento mediante agua turbulenta u otro líquido de enfriamiento similar. La boca de enfriamiento puede ser de paso simple o de tipo multipaso.

**[0089]** La fase de expansión de la capa aislante extrudida se detiene tan pronto como se enfría el fundido, de tal manera que éste debe suceder en un corto tiempo.

**[0090]** Al final de la unidad de enfriamiento se seca el conductor aislado, por ejemplo, mediante el uso de un sistema de chorro de aire o calentamiento, y posteriormente se devana en tambores.

**[0091]** En esta etapa, continúa opcionalmente la reticulación del revestimiento aislante con la ayuda de agua y temperatura; se puede reducir el tiempo de retardo para completar la fase de reticulación colocando un tambor con el conductor aislado en el interior de una cámara de endurecimiento (sauna).

**[0092]** La etapa de extrudir la mezcla se puede efectuar por medio de una matriz con un diámetro reducido según la "relación de trefilado" (DDR), con el fin de aumentar la compresión del compuesto fundido y obtener una expansión con regularidad y dimensión mejoradas de las celdas.

**[0093]** Según lo anterior, en el presente procedimiento, el agente de expansión exotérmico está en una cantidad de entre 0,1% y 0,5% en peso con respecto al peso total del material de poliolefina. Cantidades menores del 0,1% en peso dan como resultado grados de expansión despreciables del material de poliolefina. Por otra parte, como se mostrará en los ejemplos acompañantes, cantidades mayores de 0,5% en peso dan como resultado grados de expansión demasiado elevados que desequilibran las características mecánicas de los productos.

**[0094]** El sistema de expansión de la invención puede comprender además al menos un activador, por ejemplo, compuestos de cinc, cadmio o plomo (óxidos, sales, usualmente de un ácido graso, u otros compuestos organometálicos) aminas, amidas y glicoles.

**[0095]** El sistema de expansión del procedimiento de la invención puede comprender además al menos un agente de nucleación. El agente de nucleación proporciona sitios de nucleación que los que el agente de expansión física se pondrá en disolución durante la expansión de la espuma; un sitio de nucleación significa un punto de partida a partir del que las celdas de la espuma comienzan a crecer. Si un agente de nucleación puede proporcionar un número mayor de sitios de nucleación, se forman entonces más celdas y el tamaño de celda promedio será más pequeño.

**[0096]** Se pueden usar dos tipos de agentes de nucleación en el procedimiento de la invención, nucleadores inactivos (o pasivos) y activos. Los nucleadores inactivos incluyen materiales sólidos con tamaño de partículas fino tales como talco, arcilla, tierra de diatomeas, carbonato de calcio, óxido de magnesio y sílice. Estos materiales funcionan como nucleadores facilitando una interrupción en el sistema cuando el agente de expansión se pone en disolución para iniciar una burbuja. La eficacia de estos materiales se ve afectada por la forma y el tamaño de las partículas. Los agentes de expansión química, materiales que generan gas tras descomposición, por ejemplo, azodicarbonamida, pueden actuar también como nucleadores activos. La nucleación de sistemas gasificados directos con agentes de expansión química se denomina "nucleación activa". Los nucleadores activos son preferibles por ser más eficaces y proporcionar celdas más pequeñas y más uniformes frente a los nucleadores inactivos.

**[0097]** La cantidad de sistema de reticulación con silano es tal que proporciona la mezcla con entre 0,003 a 0,015 mol de silano por 100 gramos de material de poliolefina. Una cantidad de silano menor de 0,003 mol de silano no proporciona una reticulación suficiente del material de poliolefina, mientras que una cantidad mayor de 0,015 mol, además de ser un gran exceso, puede producir un deslizamiento del husillo en la extrusora.

### Ejemplo 1

**[0098]** Se prepararon cables de voltaje bajo, tanto de acuerdo como no de acuerdo con presente invención, según el diseño del cable que se muestra en la Figura 1.

**[0099]** El cable conductor 1 se fabricó de cobre y tenía una sección transversal de aproximadamente 1,5 mm<sup>2</sup>.

Tamaño de la extrusora principal:	150/26D	
Punta de la matriz:	1,38 mm	
Reborde de la matriz:	2,70 mm	
Sistema de dosificación de la mezcla base de expansión:		Maguire (tipo gravimétrico)
Perfil de temperaturas (°C)		

Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	H1	H2	H3	H4
160	180	190	200	210	220	220	230	240	240

Velocidad de la línea: 1500 m/min  
 Velocidad de la extrusora principal: 48 rpm  
 Corriente: 65 A  
 5 Presión: 380 bar (38.000 kPa)  
 Diámetro del cable caliente: 2,9 mm  
 Diámetro del cable frío: 2,9 mm

10 **[0100]** El espesor de cada revestimiento aislante fue aproximadamente de 0,6 mm. 0,7 mm según la norma italiana CEI-UNEL 35752 (2ª Edición – febrero de 1990).

**[0101]** Cada cable se enfrió posteriormente en agua y se bobinó en una devanadora de almacenamiento.

15 **[0102]** La Tabla 1 muestra también los grados de expansión de cada mezcla polimérica.

Tabla 1

Cable	Poliolefina	Sistema de reticulación		Agente de expansión		Expansión	
		Tipo	Mol	Tipo	% p/p	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Grado (%)
1	LL4004 EL	Sil/perox	0,01	-	-	0,926	0,0
2	LL4004 EL	Sil/perox	0,01	Hostatron	0,27	0,628	32,2
3	BPD 3220	Silfin 06	0,006	-	-	0,903	0,0
4	BPD 3220	Silfin 06	0,006	Hostatron	0,24	0,700	22,2
5	BPD 3220	Silfin 06	0,006	Hostatron	0,15	0,860	4,4
6	BPD 3220	Silfin 06	0,008	Hostatron	0,15	0,850	5,6
7	BPD 3220	Silfin 06	0,006	Hostatron 50%	0,15	0,817	9,5
8	BPD 3220	Silfin 06	0,006	Hostatron 50%	0,18	0,764	15,4
9	BPD 3220	Silfin 06	0,006	Hostatron	0,18	0,787	12,8
10	BPD 3220	Sil/perox	0,006	Hostatron	0,24	0,711	21,5
11*	BPD 3220	Sil/perox	0,12	Hostatron	0,09	0,906	0,3
12	BPD 3220	Sil/perox	0,12	Hostatron	0,18	0,833	8,1
13	BPD 3220	Sil/perox	0,12	Hostatron	0,24	0,694	23,4
14*	BPD 3220	Sil/perox	0,006	Hostatron 50%	0,60	0,481	48,0
15*	LL4004 EL	Sil/perox	0,01	Hydrocerol	0,40	0,611	34,0
16*	BPD 3220	Silfin 06	0,006	Hydrocerol	0,16	0,876	3,0
17*	BPD 3220	Silfin 06	0,006	Hydrocerol	0,45	0,570	38,0
18	BPD 3220	Sil/perox	0,006	Hostatron 50%	0,24	0,764	15,4

Nota al pie. – el mol y el % p/p se refieren al contenido de, respectivamente, silano o agente de expansión

**[0103]** Los cables marcados con un asterisco son los comparativos.

20 **[0104]** LL4004 EL = LLDPE con un MFL de 0,33 g/10 min a 190°C con una carga de 2,16 kg (de ExxonMobil Chemical)

**[0105]** BPD 3220 = LLDPE (de BP)

25 **[0106]** Sil/perox = LUPEROX 801 (de Arkema) más DYNASYLAN VTMO (de Degussa)

**[0107]** Silfin 06 = mezcla de vinilsilano, peróxido iniciador y catalizador de reticulación (de Degussa)

30 **[0108]** Hostatron = Sistema de expansión PV22167 basado en el agente de expansión azodicarbonamida (de Clariant)

**[0109]** Hostatron 50% = Sistema de expansión PV22167 basado en agente de expansión azodicarbonamida (de Clariant) al 50% en mezcla básica EVA

35 **[0110]** Hydrocerol = BIH 40, sistema de expansión basado en una mezcla de ácido cítrico y carbonato de sodio

básico como agentes de expansión (de Clariant)

[0111] En la Tabla 1 se muestra la composición de dichas mezclas (expresada en partes en peso por 100 partes en peso de polímero base).

5

[0112] El % p/p del agente de expansión se refiere a la cantidad de agente de expansión añadido.

[0113] Se proporcionan los cables 1 y 3 (sin usarse agente de expansión) como referencia para calcular el grado de expansión, y para el ensayo eléctrico de los cables con la capa aislante reticulada y expandida.

10

[0114] Los Cables 15\* - 17\* relacionados están aislados por mezclas poliméricas expandidas con un agente de expansión endotérmico (Hydrocerol).

[0115] Los Cables 11\* y 14\* están aislados por mezclas poliméricas expandidas con un agente de expansión exotérmico en una cantidad no comprendida en el intervalo preferido. En el caso del Cable 11, el grado de expansión es sustancialmente nulo, ya que este cable no está dotado de ventajas en términos de flexibilidad y capacidad de pelado con respecto a un cable que no tiene revestimiento aislante expandido. Por otra parte, el Cable 14 muestra un revestimiento aislante con un grado de expansión demasiado elevado y que desequilibra las propiedades mecánicas, como se mostrará en el Ejemplo 3.

20

### Ejemplo 2

[0116] Se ensayaron cables como los del ejemplo 1 para evaluar el grado de reticulación del revestimiento aislante de los mismos según la norma italiana CEI EN 60811-2-1:1999-05. En la Tabla 2 se muestran los resultados.

25

Tabla 2

Cable	Expansión		Ajuste en caliente
	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Grado (%)	Alargamiento (%)
1	0,926	0,0	45
2	0,628	32,2	50
3	0,903	0,0	90
4	0,700	22,2	110
5	0,860	4,4	75
6	0,850	5,6	85
8	0,764	15,4	100
9	0,787	12,8	90
10	0,711	21,5	107
12	0,833	8,1	35
13	0,694	23,4	45
14*	0,481	48,0	110
15*	0,611	34,0	60
16*	0,876	3,0	> 200
17*	0,764	15,4	Roto
18	0,570	38,0	50

[0117] Los cables marcados con un asterisco son los comparativos.

[0118] Teniendo en cuenta que el límite prescrito por el requerimiento anteriormente mencionado es hasta un 175%, el Cable 16\* se muestra fuera de escala, es decir, la poliolefina no se reticula suficientemente y esto afecta negativamente a la resistencia a la termopresión. El Cable 17\* se rompe debido a un diámetro de celda promedio excesivo y a una distribución de celda irregular en la poliolefina expandida, según se muestra en la Figura 2. Los dos fracasos informados en la Tabla 2 se adscriben al uso de un agente de expansión endotérmico como único agente de expansión del procedimiento para producir un material de poliolefina reticulado y expandido. El agente de expansión endotérmico podría interactuar negativamente con el sistema de reticulación basado en silano.

35

### Ejemplo 3

[0119] Se probaron los Cables producidos según el ejemplo 1 con el fin de medir las propiedades mecánicas de

40

los mismos, según la norma italiana CEI EN 60811-1-1:2001-06, que requiere un límite elástico de al menos 12,5 MPa. En la Tabla 3 se muestran los resultados.

Tabla 3

Cable	Expansión		Resistencia a la tracción MPa
	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Grado (%)	
1	0,926	0,0	20,00
2	0,628	32,2	12,50
3	0,903	0,0	20,54
4	0,700	22,2	13,57
5	0,860	4,4	17,37
6	0,850	5,6	18,92
8	0,764	15,4	16,43
9	0,787	12,8	17,02
10	0,711	21,5	18,90
12	0,833	8,1	18,10
13	0,694	23,4	14,10
14*	0,481	48,0	9,70
15*	0,611	34,0	9,20
18	0,570	38,0	12,80

5

**[0120]** Los cables marcados con un asterisco son los comparativos.

**[0121]** El Cable 14\* aislado por mezclas poliméricas se expandió con un agente de expansión exotérmico según la invención pero en una cantidad no comprendida (mayor) en el intervalo seleccionado, y proporcionando un revestimiento aislante con un grado de expansión (48%) no según la invención. Dicho cable mostró características mecánicas inadecuadas.

**[0122]** El Cable 15\* aislado por mezclas poliméricas se expandió con un agente de expansión endotérmico y proporcionó un revestimiento aislante que tenía un grado de expansión en el intervalo de la invención (34%) que mostró de cualquier manera malas características mecánicas. Esto es debido al uso de un agente de expansión endotérmico que da como resultado un grado de expansión insatisfactorio desde el punto de vista cualitativo.

**Ejemplo 4**

**[0123]** En la siguiente Tabla 4 se evaluaron conjuntamente con el diámetro de celda promedio las propiedades mecánicas y el ajuste en caliente de dos cables según la invención y un cable comparativo.

**[0124]** Se evaluó el diámetro de celda promedio de la siguiente forma. Se seleccionó aleatoriamente una porción expandida del revestimiento aislante y se cortó perpendicularmente al eje longitudinal. Se observó la superficie de corte mediante un microscopio y se formó la imagen en una fotografía. Se midió el diámetro principal de 50 celdas seleccionadas aleatoriamente (teniendo en cuenta que las celdas no son perfectamente redondas). La media aritmética de los 50 diámetros medidos representa el diámetro de celda promedio.

**[0125]** Por cada cable se probaron dos muestras. Todos los cables difirieron de los de los ejemplos anteriores exactamente en que el conductor 1 tenía una sección transversal de aproximadamente 2,5 mm<sup>2</sup>.

**[0126]** Los revestimientos de aislamiento de los cables 17\* y 19 se extrudieron con una DDR = 1, el revestimiento de aislamiento del cable 20 se extrudió con una DDR = 0,7.

**[0127]** Se calculó la relación de trefilado comparando el área de la sección transversal de la matriz con el área de la sección transversal de la extrusión. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$DDR = \frac{D_A^2 - D_M^2}{D_C^2 - D_B^2}$$

en la que

40 DDR = relación de trefilado

$D_a$  = Diámetro interno del reborde de la matriz de extrusión  
 $D_m$  = Diámetro externo de la punta de la matriz  
 $D_t$  = Diámetro externo del tubo  
 $D_b$  = Diámetro interno del tubo.

5

Tabla 4

Cable	Polioléfina	Agente de expansión		Grado de expansión	Diámetro de celda promedio	Propiedades mecánicas		Ajuste en caliente
		Tipo	% p/p	(%)	$\mu\text{m}$	TS (MPa)	EB (%)	Alargamiento (%)
17*	BPD 3220	Hydrocerol	0,24	15,4	500	11,03	486,5	Ambos rotos
19	BPD 3220	Hostatron 50%	0,18	13	300	15,61	580,6	90; 100
20	BPD 3220	Hostatron 50%	0,18	13	100	17,15	573,3	80;80

TS = Resistencia a la tracción  
 EB = Alargamiento a la rotura  
 Los cables marcados con un asterisco son los comparativos

**[0128]** Se encontró que la disminución del diámetro de celda promedio mejoraba las características mecánicas, tales como el ajuste en caliente y la resistencia a la tracción de la capa aislante.

10

**[0129]** El aislamiento del Cable 17\* tiene un grado de expansión similar al de los cables de la invención, pero el diámetro de celda promedio es mayor. El elevado diámetro de celda promedio del cable 17\* va acompañado de una expansión desigual, como es visible en la Figura 2.

15 **[0130]** Los Cables 19 y 20 según la invención tienen propiedades mecánicas mejoradas con respecto al Cable 17\* comparativo. En particular, el Cable 20 tiene el mismo grado de expansión del Cable 19, pero un menor diámetro de celda promedio debido a la menor DDR de extrusión y está dotado de un límite elástico superior. Se muestran dichos cables en las Figuras 3 y 4, respectivamente.

20 EJEMPLO 5

**[0131]** Se probaron unos cables como los del ejemplo 4 con el fin de medir la facilidad de pelado del material de revestimiento aislante del conductor, en comparación con el cable 3 sin expandir.

25 **[0132]** Se proporcionaron seis muestras de 120 mm de longitud de cada cable. Se peló previamente una extensión de 40 mm de cada muestra, de tal manera que se emplearon 80 mm de muestra en la prueba, efectuada según el documento MIL-W-22759.

30 **[0133]** En la siguiente Tabla 5 se muestran los resultados.

Tabla 5

Cable	Grado de expansión (%)	Pelado (prueba de desvainado)		
		Carga máxima (N)	Carga mínima (N)	Carga promedio (N)
3	-	53,27	23,02	38,14
20	13	16,21	10,73	13,47

**[0134]** La fuerza aplicada para el pelado del cable de la invención es menor que la del cable 3 de referencia que tiene una capa aislante no expandida. La carga máxima es la fuerza aplicada para comenzar el pelado.

35

Ejemplo 6

40 **[0135]** Se probaron tres cables producidos según el Ejemplo 1 y se revistieron con PVC que contenía ftalato de decilo como plastificante (espesor del revestimiento = 1,56 mm), para evaluar las características mecánicas de los mismos después de 7 días a 100°C (test de envejecimiento según la norma EN 60811). Según los requerimientos de la prueba, la variación máxima de la resistencia a la tracción no debe exceder  $\pm 25\%$ . En la Tabla 6 se muestran los

resultados.

Tabla 6

Cable	Expansión		Características mecánicas	
	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Grado (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	Variación máxima (%)
3	0,903	0,0	19,72 ± 0,49	-25,3 ± 2,6
4	0,700	22,2	12,25 ± 0,63	-12,2 ± 6,4
5	0,860	4,4	17,72 ± 1,41	12,4 ± 4,9
6	0,850	5,6	18,91 ± 0,79	-12,4 ± 5,2

5

**[0136]** Los cables 4-6 según la invención pasaron la prueba, mientras que el cable 3 de referencia que tenía una capa aislante no expandida no la pasó.

10 **[0137]** La presencia de una capa aislante expandida mejora las propiedades mecánicas tras la prueba de compatibilidad, disminuyendo los efectos negativos de la migración del plastificante presente en el revestimiento del cable.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de un cable eléctrico que comprende al menos un núcleo que comprende un conductor y un revestimiento aislante expandido y reticulado que rodea dicho conductor, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:
- 5 - proporcionar un material de poliolefina, un sistema de reticulación basado en silano y un sistema de expansión que comprende al menos un agente de expansión exotérmico en una cantidad de entre 0,1% a 0,5% con respecto al peso total del material de poliolefina;
- 10 - formar una mezcla con el material de poliolefina, el sistema de reticulación basado en silano y el sistema de expansión;
- extrudir la mezcla sobre el conductor para formar el revestimiento aislante.
2. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el material de poliolefina se selecciona entre polietileno de baja densidad, polietileno de densidad media, polietileno de elevada densidad, polietileno lineal de
- 15 baja densidad y sus mezclas con terpolímeros de propileno-dieno o copolímeros de olefina.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el sistema de reticulación basado en silano comprende al menos un silano seleccionado entre unos alquiloxi (C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>) silanos con al menos un doble enlace.
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el sistema de reticulación basado en silano comprende al menos un peróxido.
5. Procedimiento según la reivindicación 4 en el que se selecciona al menos un peróxido entre di(tercbutilperoxipropil-(2)-benceno, peróxido de dicumilo, peróxido de ditercbutilo, peróxido de benzoílo, peróxido de
- 25 tercbutilcumilo, 1,1-di(tercbutilperoxi)-3,3,5-trimetil-ciclohexano, 2,5-bis(tercbutilperoxi)-2,5-dimetilhexano, tercbutilperoxi-3,5,5-trimetilhexanoato de 2,5-bis(tercbutilperoxi)-2,5-dimetilhexino, 3,3-di(tercbutilperoxi)butirato de etilo, butyl-4,4-di(tercbutilperoxi)valerato, y tercbutilperoxibenzoato.
6. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el sistema de reticulación basado en silano
- 30 comprende al menos un catalizador de reticulación.
7. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que se añade el sistema de reticulación con silano en una cantidad tal para facilitar la mezcla con entre 0,003 a 0,015 mol de silano por 100 gramos de material de
- 35 poliolefina.
8. Procedimiento según la reivindicación 7 en el que se añade el sistema de reticulación con silano en una cantidad tal para facilitar la mezcla con entre 0,006 a 0,010 mol de silano por 100 gramos de material de
- 40 poliolefina.
9. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el sistema de expansión comprende al menos un agente de expansión endotérmico.
10. Procedimiento según la reivindicación 9 en el que al menos un agente de expansión endotérmico está en una cantidad igual a o inferior del 20% en peso con respecto al peso total del material de poliolefina.
- 45 11. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el agente de expansión exotérmico es un azocompuesto seleccionado entre azodicarbonamida, azobisisobutironitrilo, y diazoaminobenceno.
12. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el agente de expansión exotérmico está en una
- 50 cantidad de entre 0,1% a 0,5% en peso con respecto al peso total del material de poliolefina.
13. Procedimiento según la reivindicación 12 en el que el agente de expansión exotérmico está en una cantidad de entre 0,15% a 0,24% en peso con respecto al peso total del material de poliolefina.
- 55 14. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que se añade el sistema de expansión al material de poliolefina como una mezcla base que comprende material polimérico.
15. Procedimiento según la reivindicación 14 en el que el material polimérico de la mezcla base se selecciona entre un homopolímero de etileno y un copolímero de etileno.

16. Procedimiento según la reivindicación 15 en el que la mezcla base comprende una cantidad de agente de expansión de entre 1% en peso a 80% en peso con respecto al peso total del material polimérico.
17. Procedimiento según la reivindicación 16 en el que la cantidad de agente de expansión es de entre 5% en peso a 50% en peso con respecto al peso total del material polimérico.
18. Procedimiento según la reivindicación 17 en el que la cantidad de agente de expansión es de entre 10% en peso a 40% en peso con respecto al peso total del material polimérico.
19. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el sistema de expansión comprende al menos un activador.
20. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que el sistema de expansión comprende al menos un agente de nucleación.
21. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que la etapa de formación de una mezcla con el material de poliolefina, el sistema de reticulación basado en silano, y el sistema de expansión se efectúa en una extrusora de husillo simple.
22. Procedimiento según la reivindicación 21 en el que la extrusora se alimenta mediante un sistema de dosificación multicomponente de tipo volumétrico.
23. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que la etapa de formación de una mezcla con el material de poliolefina, el sistema de reticulación basado en silano y el sistema de expansión está precedido por una etapa de mezcla fuera de línea del material de poliolefina, el sistema de reticulación basado en silano y el sistema de expansión.
24. Procedimiento según la reivindicación 1 en el que la etapa de extrudir la mezcla se efectúa por medio de una matriz con una relación de trefilado menor de 1.
25. Cable eléctrico que comprende al menos un núcleo constituido por un conductor y un revestimiento aislante que rodea dicho conductor y en contacto entre los anteriores, consistiendo esencialmente dicho revestimiento aislante de una capa de material de poliolefina expandida reticulada con silano que tiene un grado de expansión de entre 3% a 40%.
26. Cable eléctrico según la reivindicación 25 que es un cable de voltaje bajo.
27. Cable eléctrico según la reivindicación 25 en el que el material de poliolefina se selecciona entre poliolefinas, copolímeros de olefinas, copolímeros de olefinas/ésteres insaturados, y sus mezclas.
28. Cable eléctrico según la reivindicación 27 en el que el material de poliolefina se selecciona entre polietileno de baja densidad, polietileno de densidad media, polietileno de elevada densidad, polietileno lineal de baja densidad, y sus mezclas con terpolímeros de etileno-propileno-dieno o copolímeros de olefina.
29. Cable eléctrico según la reivindicación 25 en el que el revestimiento aislante tiene un grado de expansión de entre 5% y 30%.
30. Cable eléctrico según la reivindicación 25 en el que el aislante tiene un diámetro de celda promedio igual a o menor de 300  $\mu\text{m}$ .
31. Cable eléctrico según la reivindicación 25 en el que una porción perimetral del revestimiento aislante expandido que entra en contacto con el conductor no se expande.
32. Cable eléctrico según la reivindicación 25 que va provisto de una capa de revestimiento, en posición radialmente externa con respecto a la capa aislante.
33. Procedimiento para mejorar la estabilidad al envejecimiento de un cable que comprende un conductor, una capa aislante y un revestimiento, en el que dicho revestimiento aislante comprende un material de poliolefina reticulado con silano que tiene un grado de expansión de entre 3% a 40%.

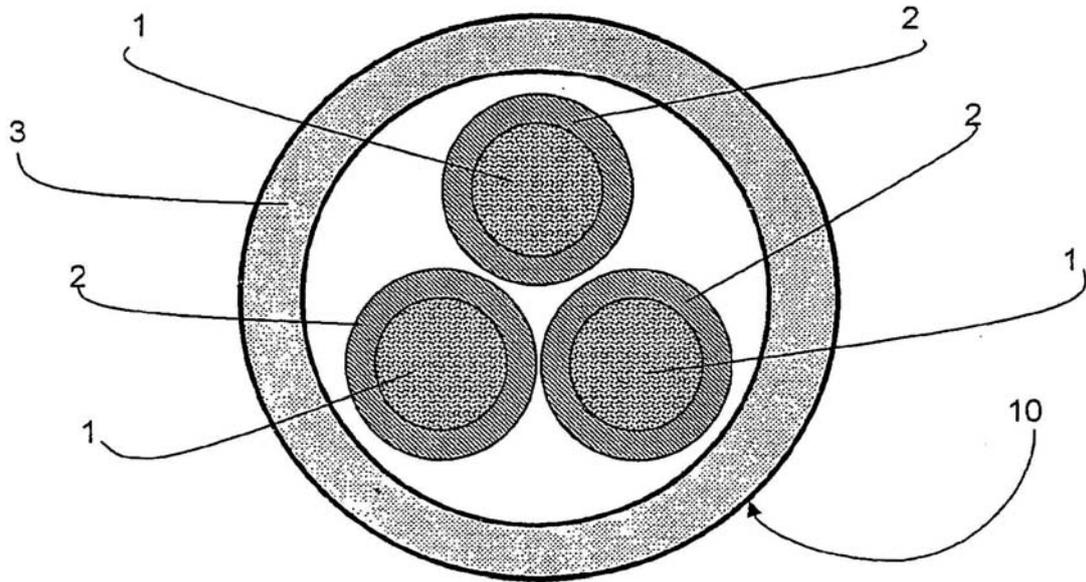


FIG. 1

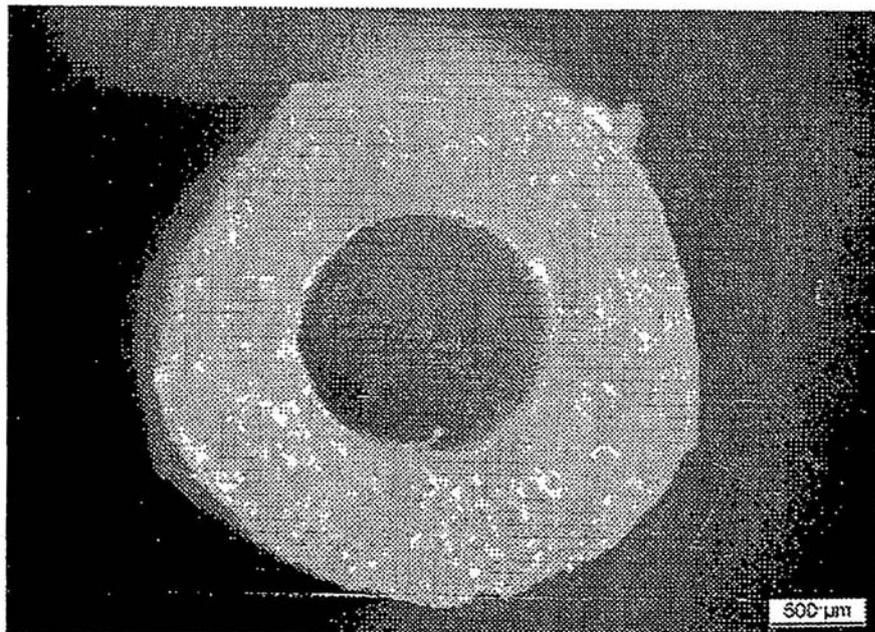


FIG. 2

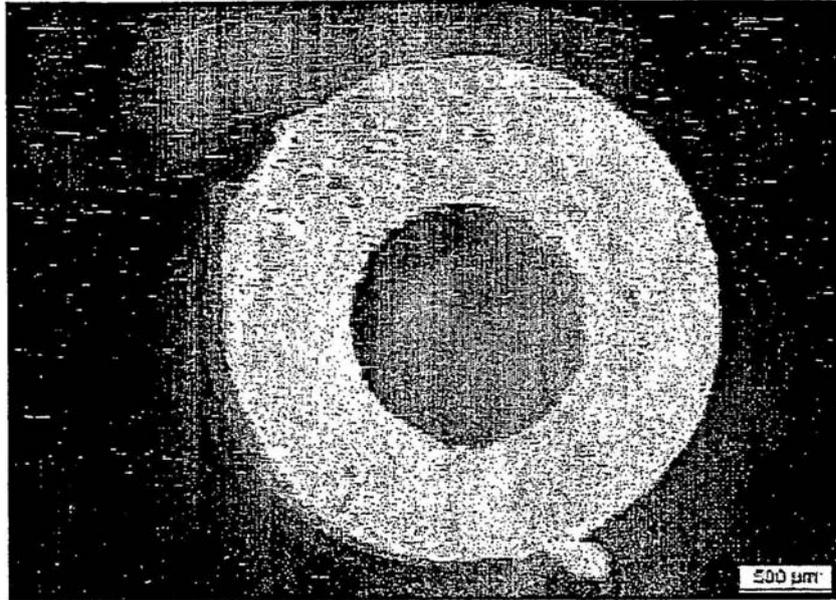


FIG. 3

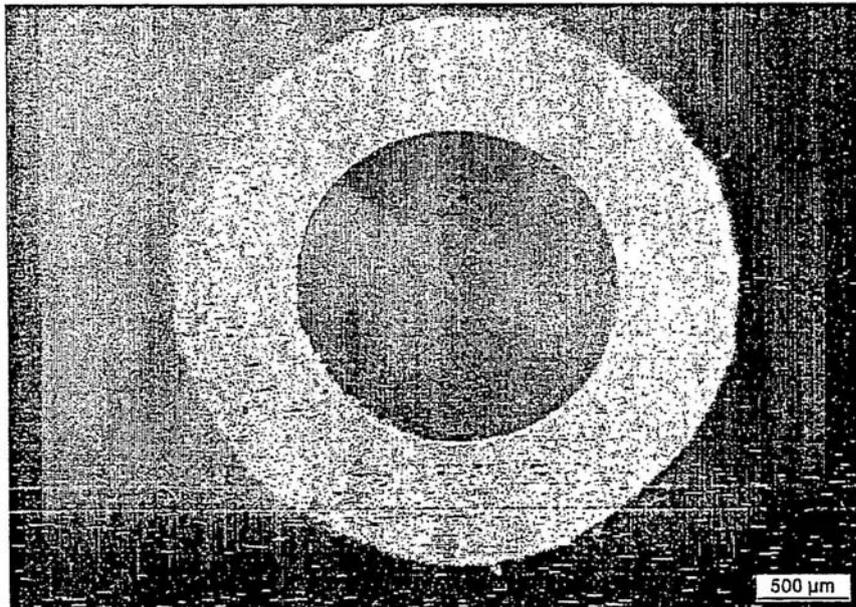


FIG. 4