



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 362 864**

51 Int. Cl.:
H01B 9/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02743226 .9**

96 Fecha de presentación : **19.06.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1399929**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.03.2004**

54 Título: **Procedimiento para el apantallado del campo magnético generado por una línea de transmisión de energía eléctrica y línea de transmisión de energía eléctrica apantallada magnéticamente.**

30 Prioridad: **29.06.2001 EP 01115881**
06.07.2001 US 303138 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.07.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.07.2011

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

72 Inventor/es: **Donazzi, Fabrizio;**
Maioli, Paolo;
Dubitsky, Yuri, A.;
Petinov, Vladimir, I. y
Kasimov, Robert, S.

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 362 864 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 para el apantallado del campo magnético generado por una línea de transmisión de energía eléctrica y línea de transmisión de energía eléctrica apantallada magnéticamente

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el apantallado del campo magnético generado por una línea de transmisión de energía eléctrica.

La presente invención también se refiere a una línea de transmisión de energía eléctrica apantallada magnéticamente y a una pantalla magnética multicapa diseñada para proporcionar el apantallado magnético a dicha línea de transmisión.

10 En general, una línea de transmisión de energía eléctrica de alta potencia se diseña para soportar tensiones del orden de cientos de kV (típicamente 400 kV) y corrientes del orden de cientos de amperios (típicamente 300 - 2000 A). Por lo tanto la energía eléctrica transmitida en estas líneas puede alcanzar valores del orden de miles de MVA, típicamente 1000 MVA.

15 En general, la corriente eléctrica transmitida por dichas líneas es del tipo alterna de baja frecuencia. Para las finalidades de la presente descripción, la expresión "baja frecuencia" indica frecuencias de menos de 400 Hz, típicamente 50 ó 60 Hz.

En particular, la presente invención se refiere a un cable para la transmisión o distribución de energía eléctrica en alta tensión, con corriente alterna de baja frecuencia.

20 Para las finalidades de la presente descripción, la expresión "baja tensión" indica una tensión de menos de aproximadamente 1 kV, la expresión "media tensión" indica una tensión en el intervalo de aproximadamente 1 kV a aproximadamente 30 kV y la expresión "alta tensión" indica una tensión de más de aproximadamente 30 kV.

Dichas líneas de transmisión se usan convencionalmente para la transmisión de energía eléctrica desde las centrales de generación de energía eléctrica a los centros de población, a través de distancias del orden de decenas de km (normalmente 10 - 100 km).

25 En general, dichas líneas están enterradas y, preferentemente, localizadas dentro de conductos posicionados a una profundidad de aproximadamente 1 - 1,5 m por debajo del nivel del suelo.

En una configuración usada convencionalmente, dichas líneas de transmisión son del tipo trifásico, compuestas de 3 cables separados, preferentemente combinados entre sí para formar una estructura en trébol.

En el espacio que rodea inmediatamente a los cables, el campo magnético H, generado por la corriente que circula en dichos cables, puede alcanzar valores particularmente altos, por ejemplo del orden de 10^3 A/m.

30 Por lo tanto, esto significa que la inducción magnética B a nivel del suelo debido al campo magnético H puede alcanzar valores particularmente altos, por ejemplo del orden de 20 - 60 μ T, dichos valores dependen también de la disposición entre sí de los cables individuales que forman la línea de transmisión anteriormente mencionada.

35 Aunque hasta el presente no hay datos verificados científicamente que demuestren ningún efecto perjudicial sobre un cuerpo humano producidos por una exposición continua a los campos magnéticos de dicha entidad, generados por fuentes de baja frecuencia (por ejemplo del orden de 50 Hz, en otras palabras a frecuencia industrial), recientemente la comunidad científica internacional ha estado prestando una atención particular a este problema que forma parte del fenómeno más complejo generalmente conocido como "electropolución".

Este término significa la polución producida por los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos que se producen comúnmente por los equipos eléctricos e instalaciones eléctricas en general.

40 En ese escenario, el Solicitante ha intentado mantener la inducción magnética, generada por una línea de transmisión de energía eléctrica en o por debajo del valor umbral.

Por lo tanto, para preservar la salud de la población y proteger el entorno, el solicitante ha considerado que un valor de umbral de no más de 0,5 μ T, y preferentemente no más de 0,2 μ T, era suficientemente conservador.

45 Son conocidas en la técnica algunas soluciones técnicas diseñadas para apantallar el campo magnético generado por una línea de transmisión de energía eléctrica.

El artículo de P. Argaut, J.Y. Daurelle, F. Protat, K. Savina y C.A. Wallaert, "Shielding technique to reduce magnetic fields from buried cables", A 10.5, JICABLE 1999, por ejemplo, describe algunas soluciones para el apantallado de los campos magnéticos generados por una línea enterrada que se compone de tres cables separados.

50 En particular, describe los resultados de algunas simulaciones realizadas mediante el uso tanto de pantallas de sección abierta (por ejemplo una hoja de material ferromagnético situada por encima de los cables), como de

pantallas de sección cerrada (por ejemplo un conducto de sección rectangular hecha de material ferromagnético, que contiene los tres cables en su interior).

5 Más aún, dicho artículo también analiza la dependencia de la eficiencia del apantallado sobre una pluralidad de factores, tal como la permeabilidad magnética relativa del material de apantallado usado, el grosor de dicho material y la posición de la pantalla magnética con respecto a los cables.

De acuerdo con el artículo anteriormente mencionado, el material óptimo para el apantallado de dicha línea es uno que tenga una permeabilidad magnética relativa en el intervalo de desde 700 a 1000 y un grosor en el intervalo de 3 mm a 5 mm.

10 Adicionalmente, en el caso en que se use una pantalla del tipo de sección cerrada, dicho artículo desvela que la posición relativa óptima de los cables y la pantalla es aquella de acuerdo con la que los cables se sitúan aproximadamente a 1/3 de la distancia desde la parte superior de la pantalla.

Finalmente, se señala que se pueden obtener factores de apantallado del campo magnético, generado por dicha línea, de aproximadamente 5 - 7 con pantallas de sección abierta, mientras que se pueden obtener factores de apantallado de aproximadamente 15 - 20 con pantallas de sección cerrada.

15 Adicionalmente, se pueden obtener factores de apantallado de aproximadamente 30-50 en el caso en el que la pantalla de sección cerrada se coloque muy cerca de los cables, por ejemplo en el caso en el que se envuelve una hoja de material ferromagnético directamente alrededor de los tres cables.

La solicitud de patente (Kokai) JP 10-117083 describe una solución adicional para el apantallado del campo magnético generado por un cable de transmisión de energía eléctrica.

20 En detalle, la solución propuesta consiste en realizar una tubería de material ferromagnético dentro de la que se pueden colocar los cables de la línea de transmisión. Preferentemente, dicha tubería se produce mediante el devanado en espiral de una banda de material magnético sobre un soporte tubular, tal como un tubo de material de resina o metálico, dentro del que se colocan dichos cables.

25 Este devanado en espiral se puede realizar en una única etapa, para formar una única capa de apantallado o es posible proporcionar una pluralidad de etapas para formar una pluralidad de capas sobrepuestas del mismo material de apantallado.

En el ejemplo descrito, la banda se realiza de acero de grano orientado y tiene una permeabilidad magnética mayor en una dirección paralela a la dirección de devanado que en la dirección perpendicular a dicha dirección de devanado.

30 La expresión "grano orientado" indica un material en el que los dominios del cristal (grano) tienen esencialmente una dirección preferida de alineación.

Esta alineación se puede evaluar mediante procedimientos conocidos, por ejemplo mediante examen con microscopio óptico o mediante difracción de rayos X y se puede producir mediante un proceso de laminación y recocido especial, como se ha descrito, por ejemplo, en el documento EP-606.884.

35 El documento US-5.389.736 se refiere a un cable, particularmente un cable de control o un cable para transmisión de energía a alta frecuencia (del orden de varios MHz), específicamente para uso naval, provisto con una pantalla para el apantallado electromagnético de los conductores del cable.

40 De acuerdo con dicho documento, esta pantalla es tal que proporciona, además del efecto de apantallado deseado, una buena resistencia a la temperatura, incluso en el caso de fuego, y una buena flexibilidad del cable con un grosor de pantalla limitado.

Esta pantalla se compone de una capa interior, que consiste en una o más bandas de cobre que forman una pantalla electromagnética que tiene un factor de atenuación en el intervalo de desde 80 a 115 dB y una capa exterior, formada por una banda de acero, capaz de asegurar una buena resistencia a las altas temperaturas, así como una resistencia a la corrosión y protección del ambiente exterior.

45 Sin embargo, el presente Solicitante ha observado que algunas soluciones de técnicas anteriores, tal como las descritas en el artículo de Argaut y col., no son capaces de apantallar satisfactoriamente el campo magnético generado por una línea de transmisión eléctrica.

50 Adicionalmente, el presente Solicitante ha observado que otras soluciones de técnicas anteriores, tal como la descrita en la solicitud de patente JP 10-117083 citada anteriormente, se basan en el uso de una pantalla magnética realizada a partir de un único material de apantallado.

Este tipo de apantallado, aunque proporciona un buen efecto de apantallado, no representa una solución óptima, dado que es necesario satisfacer dos requisitos en conflicto, concretamente limitar el grosor de la pantalla, para

reducir su peso y coste, en tanto que se proporciona un apantallado eficiente del campo magnético producido por la línea de transmisión.

5 Sin embargo, en el caso de una pantalla realizada a partir de un único material, la eficiencia del apantallado depende tanto del grosor usado (dado que el efecto de apantallado aumenta con el aumento en el grosor de la pantalla) como del tipo de material elegido, cuya permeabilidad magnética relativa, que corresponde al valor del campo magnético H generado por la línea, ha de caer fuera de la zona de saturación de modo que dicho material pueda funcionar eficientemente.

10 Por las razones anteriores, una pantalla magnética realizada a partir de un único material es una solución de compromiso y no es por lo tanto una solución óptima en términos de coste y/o eficiencia de apantallado y/o grosor de la pantalla usados.

El presente Solicitante ha considerado el problema de proporcionar un apantallado eficiente del campo magnético generado por una línea de transmisión de energía eléctrica.

15 En particular, el presente Solicitante ha percibido que es necesario apantallar el campo magnético generado por una línea de transmisión de alta potencia, situado en una zanja excavada en la tierra, de tal manera que se obtenga un valor de la inducción magnética que no exceda de $0,5 \mu\text{T}$, y preferentemente no exceda de $0,2 \mu\text{T}$ a una distancia dada del centro de dicha línea (preferentemente a aproximadamente 1 - 1,5 m).

El presente Solicitante ha descubierto que este resultado técnico se puede conseguir mediante la preparación de una pantalla magnética del tipo multicapa, que encierre dentro de ella la línea de transmisión de energía eléctrica que se ha de apantallar.

20 En particular, el presente solicitante ha descubierto que es posible obtener un valor deseado de apantallado (por ejemplo igual o menor de $0,5 \mu\text{T}$) mediante el uso de una pantalla multicapa que tenga un grosor reducido (y por lo tanto un peso y coste reducidos) y una alta eficiencia de apantallado (aprovechando en su totalidad las propiedades de apantallado de cada material usado), lo que suprime el campo magnético en una forma progresiva cuando pasa desde una capa a la siguiente de la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención.

25 Con mayor detalle, el presente Solicitante ha descubierto que dichos resultados de apantallado se pueden conseguir proporcionando una pantalla magnética multicapa, estando producida cada capa de material ferromagnético diferente del de la capa adyacente.

30 El documento GB885165 desvela un sistema de cable de potencia de corriente alterna que comprende una pluralidad de cables aislados de núcleo simple o múltiple dispuestos dentro de un conducto ferromagnético, cuya superficie interior se interrumpe mediante estrechas hendiduras circunferenciales estrechamente separadas cortadas entre de la pared del conducto, siendo estas ranuras o bien ranuras circunferenciales separadas o bien ranuras helicoidales continuas, y el conducto.

35 En otras palabras, el presente Solicitante ha descubierto que la modularidad en la dirección radial de dicha pantalla magnética permite que el campo magnético generado por la línea de transmisión se reduzca considerablemente de modo progresivo y que cada capa pueda por ello realizarse de un material ferromagnético elegido de tal manera que tenga una permeabilidad magnética relativa adecuada.

Por lo tanto, al realizar esto, cada capa individual es tal que el campo magnético se reduce considerablemente en un grado deseado y funciona en condiciones óptimas, aprovechando totalmente las propiedades de apantallado del material usado para formar la capa individual.

40 Por lo tanto, en un primer aspecto la presente invención se refiere a un procedimiento para el apantallado del campo magnético generado por una línea de transmisión de energía eléctrica compuesta al menos con un cable eléctrico, comprendiendo dicho procedimiento la provisión de una pantalla magnética en una posición radialmente exterior a dicho al menos un cable eléctrico, caracterizado porque la permeabilidad magnética relativa máxima de dicha pantalla magnética aumenta en una dirección radial desde el interior hacia el exterior de dicha pantalla magnética.

45 Con mayor detalle, dicha pantalla magnética comprende:

- una primera capa radialmente interior, que comprende al menos un primer material ferromagnético, y
- al menos una segunda capa, radialmente exterior a la primera capa, que comprende al menos un segundo material ferromagnético,

50 en la que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un primer material ferromagnético es más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un segundo material ferromagnético.

Más aún, el presente solicitante ha descubierto que, para mejorar el apantallado del campo magnético producido por una línea de transmisión, es particularmente conveniente proporcionar un elemento de apantallado adicional que pueda apantallar la línea de transmisión del campo magnético de la Tierra.

- 5 Esto es debido a que los materiales de las capas de apantallado de dicha pantalla que, como se ha establecido anteriormente, se coloca en una posición radialmente exterior a la línea de transmisión, son polarizados por el campo magnético de la Tierra. Esto significa, por lo tanto, que el material ferromagnético de la capa más exterior de la pantalla multicapa de acuerdo con la invención ha de tener en cuenta no sólo el campo magnético producido por el cable, sino también el campo magnético de la Tierra. En otras palabras, el material ferromagnético de dicha capa más exterior se ha de elegir de tal manera que tenga una permeabilidad magnética relativa máxima en el valor de H que sea la suma de los dos campos magnéticos anteriormente mencionados.
- 10 De acuerdo con la realización mencionada anteriormente, dicho elemento de apantallado adicional se diseña de tal manera que los materiales de las capas de apantallado de dicha pantalla, particularmente el material ferromagnético de la capa más exterior, no queden perturbados por la presencia del campo magnético de la Tierra y puedan funcionar con la mejor de sus capacidades de apantallado, enfocando su acción exclusivamente sobre el campo magnético generado por la línea de transmisión.
- 15 Por lo tanto, de acuerdo con una realización preferida de la presente invención, dicho procedimiento de apantallado se caracteriza porque dicho apantallado del campo magnético de la Tierra se realiza proporcionando al menos un elemento de apantallado hecho de material ferromagnético en una posición radialmente exterior a dicha pantalla magnética.
- 20 En una realización preferida de la presente invención, dicho procedimiento de apantallado comprende la provisión de un conducto dentro del que se coloca la línea de transmisión, estando situado dicho conducto en una zanja de tendido de cables excavada en la tierra.
- En una realización preferida, dicho conducto se usa únicamente para contener dentro de él dicha línea de transmisión provista con la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención.
- 25 En una realización adicional, dicho conducto se usa como el soporte para la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención.
- En una realización adicional, dicho conducto se usa como el soporte para una o más capas de la pantalla magnética de acuerdo con la invención, mientras que las restantes capas que forman dicha pantalla se devanan directamente sobre los cables que forman la línea de transmisión.
- 30 Ventajosamente, dicho conducto se realiza de un material del tipo polímero, tal como polietileno (PE) o polivinilo de cloruro (PVC) o a partir de fibra de vidrio-resina laminada.
- En una realización preferida, el procedimiento de acuerdo con la invención comprende la colocación del cable o de los cables de dicha línea dentro del conducto anteriormente mencionado, de tal manera que el centro de gravedad de una sección transversal de dicha línea esté cercano al centro geométrico de la sección correspondiente del conducto.
- 35 Ventajosamente, el procedimiento de acuerdo con la invención comprende el devanado de al menos un elemento alargado, por ejemplo una cuerda, alrededor del cable o cables de dicha línea.
- En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a una línea de transmisión de energía eléctrica, que comprende:
- al menos un cable eléctrico y
 - una pantalla magnética colocada en una posición radialmente exterior a dicho al menos un cable eléctrico,
- 40 caracterizado porque la permeabilidad magnética relativa máxima de dicha pantalla magnética aumenta en una dirección radial desde el interior hacia el exterior de dicha pantalla magnética.
- Con mayor detalle, dicha pantalla magnética comprende:
- una primera capa radialmente interior que comprende el menos un primer material ferromagnético y
 - al menos una segunda capa radialmente exterior a la primera, que comprende al menos un segundo material ferromagnético,
- 45 en la que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un primer material ferromagnético es más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima del dicho al menos un segundo material ferromagnético.
- En una primera realización, la línea de transmisión de acuerdo con la invención comprende una pantalla magnética provista con una primera capa de apantallado radialmente interior y con al menos una segunda capa de apantallado radialmente exterior a la primera.
- 50 Dicha primera capa y al menos una segunda capa hecha de materiales ferromagnéticos diferentes, elegidos de tal manera que la permeabilidad magnética relativa máxima de dichos materiales aumente en una dirección radial, concretamente desde dicha primera capa hacia dicha al menos una segunda capa.

El presente Solicitante ha realizado una pantalla magnética multicapa que, dado que esta provista con una pluralidad de capas, cada una de las cuales puede proporcionar el máximo efecto de apantallado obtenible, puede mantener la inducción magnética debido al campo magnético generado por la línea de transmisión en o por debajo de un valor de umbral deseado.

- 5 En particular, la pantalla multicapa de acuerdo con la invención permite mantener la inducción magnética en o por debajo del valor anteriormente mencionado a una distancia de aproximadamente un metro desde la superficie más exterior de dicha pantalla, en cualquier dirección radial con respecto a la línea de transmisión.

Ventajosamente, dicha primera capa y dicha al menos una segunda capa, colocada en una posición radialmente superpuesta sobre los cables eléctricos de dicha línea, están en contacto entre sí.

- 10 De acuerdo con una realización adicional de la presente invención, la pantalla magnética multicapa se coloca en una posición radialmente exterior a los cables de dicha línea de transmisión y la capa radialmente interior de dicha pantalla está en contacto con dichos cables.

- 15 De acuerdo con una realización adicional, la línea de transmisión comprende un conducto dentro del que se colocan los cables eléctricos que forman dicha línea, estando colocado dicho conducto en la parte inferior de una zanja de tendido de cables excavada en la tierra.

Preferentemente, dicho conducto está realizado de un material del tipo de polímero, tal como PE o PVC o de laminado de fibra de resina-vidrio.

De acuerdo con una realización adicional, la pantalla magnética multicapa descrita anteriormente se coloca en una posición radialmente exterior a dicho conducto y en contacto con la superficie radialmente exterior de este último.

- 20 De acuerdo con una realización preferida, se coloca un elemento de apantallado adicional en una posición radialmente exterior a dicha pantalla magnética multicapa para el apantallado del campo magnético de la Tierra.

- 25 Como se ha mencionado anteriormente, dado que el campo magnético de la Tierra tiene un efecto sobre las propiedades magnéticas de los materiales que forman cada capa de la pantalla magnética, el presente Solicitante ha percibido la necesidad de preparar un elemento de apantallado adecuadamente dedicado al apantallado del campo magnético de la Tierra de tal manera que las capas de dicha pantalla magnética multicapa puedan funcionar en lo mejor de su potencial de apantallado, sin reducción de su efecto de apantallado debido a la influencia del campo magnético de la Tierra.

- 30 De acuerdo con dicha realización adicional de la invención, el material ferromagnético a partir del que está realizado el elemento de apantallado es tal que su curva de magnetización (H , μ) alcanza un pico en el valor del campo magnético de la Tierra. El campo magnético de la Tierra es esencialmente un campo estático con un valor de aproximadamente 40 A/m.

En una realización preferida, dicho elemento de apantallado está en una posición radialmente exterior a dicha al menos una segunda capa y en contacto con esta última.

- 35 En una realización adicional, dicho elemento de apantallado está en una posición radialmente exterior al conducto anteriormente mencionado y está en contacto con este último, mientras que dicha primera capa y dicha al menos una segunda capa están radialmente superpuestas sobre los cables eléctricos que forman dicha línea.

En una realización adicional, la línea de transmisión de acuerdo con la invención comprende un elemento alargado devanado en espiral alrededor de los cables eléctricos de dicha línea de transmisión.

- 40 Preferentemente, dicho elemento alargado es una cuerda de material dieléctrico, seleccionada ventajosamente a partir del grupo que comprenden fibras de poliamida, fibras de aramida y fibras de poliéster.

En un tercer aspecto, la presente invención se refiere a una pantalla magnética multicapa, que comprende:

- una primera capa radialmente interior que comprenden al menos un primer material ferromagnético y
- al menos una segunda capa radialmente exterior a dicha primera capa, comprendiendo al menos un segundo material ferromagnético,

- 45 en la que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un primer material ferromagnético es más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un segundo material ferromagnético.

Preferentemente, cada capa de dicha pantalla magnética se produce mediante una operación de encintado, proporcionando, si es necesario, una pluralidad de devanados para formar cada capa.

- 50 En una realización particular, las cintas que forman las capas de dicha pantalla se devana helicoidalmente de acuerdo con un paso predeterminado con solape parcial de las bobinas de devanado axialmente adyacentes.

De acuerdo con una realización adicional, cada capa de dicha pantalla magnética se realiza con una forma tubular, por ejemplo mediante extrusión, o mediante laminado para formar una hoja de dimensiones predeterminadas que se curva y suelda posteriormente a lo largo de sus bordes longitudinalmente opuestos.

5 Preferentemente, cada capa de dicha pantalla magnética multicapa se realiza de un material ferromagnético tal como: acero al silicio, aleaciones de vidrio metálico o materiales polímeros rellenos con material ferromagnético, por ejemplo nanopartículas ferromagnéticas, ferrita en polvo o virutas de hierro.

Las características y ventajas adicionales se comprenderán más claramente a partir de la descripción detallada de algunos ejemplos de la presente invención.

10 Esa descripción, dada a continuación, se refiere a los dibujos adjuntos que se suministran únicamente a modo de ejemplo y sin intención restrictiva y en los que:

- la Figura 1 muestra una sección transversal esquemática de una línea de transmisión de acuerdo con una realización de la presente invención;
- la Figura 2 muestra esquemáticamente una curva de magnetización típica (H , μ) de un material ferromagnético, en la que se indican las coordenadas ($H_{\mu\max}$, μ_{\max}) del pico de la curva;
- 15 - las Figuras 3 y 4 muestran las curvas de magnetización de dos materiales ferromagnéticos diferentes usados para la realización de las capas de apantallado;
- la Figura 5 muestra una vista en perspectiva esquemática de un dispositivo para la medición de la inducción magnética B en función de la distancia desde la línea de transmisión;
- la Figura 6 muestra una comparación de la variación del módulo de inducción magnética en función de la distancia desde la línea de transmisión, realizada mediante un cálculo de elementos finitos y mediante un procedimiento experimental;
- 20 - las Figuras 7 y 8 muestran las curvas de magnetización de materiales magnéticos adicionales usados para realizar las capas de apantallado.

25 Para los fines de la presente descripción, la expresión "curva de magnetización" indica una curva que describe la variación de la permeabilidad magnética relativa μ_r de un material con respecto a un campo magnético H aplicado, tal como se determina de acuerdo con la norma IEC 404, "Materiales magnéticos".

En particular, de acuerdo con esta norma, la permeabilidad magnética se mide mediante la inmersión de un anillo del material en un campo magnético dirigido circunferencialmente con respecto al anillo.

30 Un ejemplo de la curva de magnetización de un material ferromagnético se muestra esquemáticamente en la Figura 2. Los símbolos $\mu_{r\max}$ y $H_{\mu\max}$ indican las coordenadas del pico de dicha curva.

El presente Solicitante ha percibido que la capacidad de apantallado de la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la presente invención depende del valor asumido por el campo magnético dentro del material de apantallado de cada capa de dicha pantalla.

35 En particular, el presente Solicitante ha percibido que el campo magnético generado por los cables que forman una línea de transmisión de energía eléctrica se puede reducir de modo eficiente, para alcanzar valores de inducción magnética de $0,2 \mu\text{T}$ o incluso inferiores, mediante la preparación de una pantalla magnética multicapa en la que cada capa está hecha de un material ferromagnético cuya curva de magnetización es tal que el pico de dicha curva (en otras palabras, la permeabilidad magnética relativa máxima $\mu_{r\max}$) está centrada en un valor del campo magnético (concretamente $H_{\mu\max}$) aproximadamente igual al valor que el campo magnético tiene dentro del material ferromagnético de cada capa.

40 De hecho, la permeabilidad magnética relativa del material de apantallado tiene un valor muy alto en la región de pico de dicha curva de magnetización y por lo tanto el hecho de que dicho material se pueda realizar para funcionar dentro de dicha región asegura que hay un apantallado máximo para cada capa de la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención. En otras palabras, si el campo magnético tiene un valor cercano a $H_{\mu\max}$ dentro del apantallado, en otras palabras una alta capacidad de "atrapar" el campo magnético dentro de él.

La Figura 1 muestra una sección transversal esquemática de una línea de transmisión eléctrica de alta potencia 100 de acuerdo con una realización de la invención.

50 Dicha línea 100 comprende tres cables 101a, 101b y 101c llevando cada uno una corriente alterna de baja frecuencia, típicamente 50 ó 60 Hz.

Dichos cables 101a, 101b y 101c se disponen en una configuración en trébol, en otras palabras de tal manera que, en una vista en sección transversal tal como la de la Figura 1, los centros geométricos de dichos cables están situados aproximadamente en los vértices de un triángulo.

Ventajosamente, dichos cables están en contacto entre sí.

Típicamente, cada uno de los cables 101a, 101b y 101c comprende: un conductor; un recubrimiento semiconductor interior; un recubrimiento aislante, hecho por ejemplo de polietileno reticulado (XLPE); un recubrimiento semiconductor exterior, una pantalla metálica; una armadura metálica y un revestimiento polimérico para protección del ambiente exterior.

- 5 Si es necesario, se puede colocar también un revestimiento metálico en una posición radialmente exterior a dicho revestimiento polimérico, como una barrera protectora de la humedad.

El diámetro exterior total de cada cable está típicamente en el intervalo de 80 a 160 mm.

La línea de transmisión 100 mostrada en la Figura 1 también comprende un conducto 102 dentro del que se disponen los cables 101a, 101b y 101c de acuerdo con la configuración en trébol anteriormente mencionada.

- 10 Preferentemente, dicho conducto 102 tiene una sección transversal cerrada, de forma esencialmente circular y tiene un grosor generalmente en el intervalo de desde 1 mm a 10 mm y preferentemente desde 3 mm a 5 mm.

Preferentemente, dicho conducto 102 está hecho de PE, PVC o laminado de fibra de resina-vidrio.

- 15 En general, el diámetro interior del conducto 102 se elige dentro de un intervalo de desde 2,3 a 2,8 veces el diámetro del cable que lleva una fase simple, de tal manera que se haga que la operación de tendido de los cables dentro del conducto sea suficientemente fácil.

- 20 Preferentemente, los cables 101a, 101b y 101c se sitúan en una posición elevada por encima de la parte inferior del conducto 102, de tal manera que se reduzca la distancia entre el centro de gravedad de una sección transversal del trébol de cables y el centro geométrico de una sección transversal correspondiente del conducto 102. Esto tiene un efecto positivo sobre la inducción magnética a una distancia dada de la línea (por ejemplo, 1 - 1,5 m), siendo ventajosamente disminuida dicha inducción magnética.

Para proporcionar este tipo de disposición de trébol dentro del conducto 102, los cables 101a, 101b y 101c están soportados por un elemento de soporte adecuado 103.

- 25 En una realización preferida que se ilustra en la Figura 1, dicho elemento de soporte 103 se representa mediante un elemento alargado devanado en espiral alrededor de dicho trébol de cables. Preferentemente, este elemento alargado es una cuerda.

El uso de este elemento de soporte y el consecuente desplazamiento del centro de gravedad de los cables hacia el centro geométrico del conducto, hace que las líneas de flujo de la inducción magnética queden remarcablemente contenidas dentro del conducto en sí y que tengan una disposición más simétrica.

- 30 Adicionalmente, el elemento de soporte 103 hace posible reducir las pérdidas debido a corrientes parásitas, que se sitúan en las regiones del conducto 102 cerca de los puntos de contacto de los cables 101a, 101b y 101c, gracias al desplazamiento de los dos cables 101b y 101c fuera de la parte inferior del conducto: en la región superior del conducto 102 hay un ligero incremento de las pérdidas, debido a la correspondiente aproximación del cable 101a. El efecto global es una reducción en las pérdidas.

- 35 Ventajosamente, el uso de un elemento de devanado alrededor de los cables 101a, 101b y 101c permite mantener a los cables en estrecho contacto entre sí en todo momento, incluso cuando podrían tender a separarse como resultado de las fuerzas termomecánicas o electromecánicas.

Manteniendo los cables en contacto entre sí, la distancia entre los centros de los cables, en otras palabras entre los centros de las corrientes que circulan en los cables, se puede reducir a un mínimo a lo largo del conducto 102, con una disminución en consecuencia de la inducción magnética a ser apantallada.

- 40 El diámetro del elemento de soporte 103 se puede elegir de tal manera que lleve al centro de gravedad de los cables más cerca del centro geométrico del conducto 102 (visto en sección), a una distancia preferentemente menor que $(D-d)/6$, en la que D es el diámetro interior del conducto 102 y d es el diámetro exterior de uno de los cables 101a, 101b y 101c.

- 45 En esta forma es posible obtener un buen compromiso entre la reducción de la inducción magnética y la limitación impuesta por las dimensiones globales de la totalidad que comprende el elemento de soporte y los cables dentro del conducto 102.

En una realización alternativa, los cables 101a, 101b y 101c se soportan en contacto directo con la parte inferior del conducto 102 y no se proporciona ningún elemento de soporte 103.

- 50 En el espacio 104 dentro del conducto 102 que no está ocupado por los cables en trébol 101a, 101b y 101c y el soporte 103, está presente generalmente aire. Sin embargo, en algunos casos puede ser ventajoso introducir un fluido, por ejemplo un gas inerte, dentro de dicho espacio 104.

- 5 En otra realización particular, se usa un ligero exceso de presión dentro del conducto 102 para impedir la entrada de humedad desde el exterior del conducto. Por ejemplo, se puede introducir nitrógeno seco en el espacio interior 104 y se somete entonces el conducto a un ligero exceso de presión interna de aproximadamente 0,5 bares. Así se hace innecesario el revestimiento metálico contra la humedad que normalmente se coloca en una posición radialmente exterior a cada cable.
- La línea de transmisión 100, de acuerdo con la realización mostrada en la Figura 1, también comprende una pantalla magnética multicapa 200 colocada en una posición radialmente exterior al conducto 102 en contacto con este último.
- De acuerdo con dicha realización, la pantalla magnética 200 esta formada por dos capas de apantallado 201, 202 realizadas de material ferromagnético que es diferente en cada capa.
- 10 En detalle, se coloca una primera capa de apantallado radialmente interior 201 en contacto directo con la superficie exterior del conducto 102 y tiene la función de reducir parcialmente el campo magnético generado por la línea 100, de modo que se puede seleccionar y diseñar una segunda capa de apantallado 202, radialmente exterior a la primera capa 201, de tal manera que apantalle de modo eficiente el campo magnético que se genera por la línea y que no es apantallado por dicha primera capa 201. En particular, dado que el campo magnético generado por dicha
- 15 línea se ha apantallado parcialmente por dicha primera capa, el material ferromagnético de dicha segunda capa se puede seleccionar de tal manera que tenga una permeabilidad magnética relativa más grande que la del material de dicha primera capa y por lo tanto sea capaz de apantallar de modo efectivo el campo magnético que no es apantallado por dicha primera capa.
- De acuerdo con la realización mostrada en la Figura 1, se coloca un elemento de apantallado 400 en una posición radialmente exterior a dicha pantalla magnética 200 y puede realizar la función de apantallado de la línea 100 del
- 20 campo magnético de la Tierra.
- Dicha línea de transmisión 100 se entierra típicamente en una zanja de tendido de cables, generalmente a una profundidad no menor de 0,5 m y preferentemente en el intervalo de 1 a 1,5 m, este valor está en relación con el punto en el que la línea descansa sobre la parte inferior de la zanja.
- 25 De acuerdo con una realización adicional de la presente invención (no mostrada), la pantalla magnética multicapa 200 se coloca en una posición radialmente exterior al trébol de cables 101a, 101b y 101c y en contacto con dicho trébol.
- En este caso, dado que el conducto 102 está en contacto directo con la tierra en el interior de la zanja de tendido de cables, es necesario también cubrir la pared exterior de dicho conducto con materiales resistentes a la corrosión, por
- 30 ejemplo polietileno o alquitrán.
- De acuerdo con una realización adicional (no mostrada), la pantalla magnética multicapa 200 de acuerdo con la presente invención es tal que las capas que forman dicha pantalla no se sitúan todas secuencialmente en contacto entre sí.
- 35 De acuerdo con una realización adicional (no mostrada), la primera capa de apantallado 201 y la segunda capa de apantallado 202 se superponen radialmente sobre la configuración en trébol de dichos cables 101a, 101b y 101c y el elemento de apantallado 400 está en una posición radialmente exterior al conducto 201 en contacto con este último.
- Cuando la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención o el elemento de apantallado se colocan en una posición radialmente exterior al conducto 102, se prefiere que estén cubiertos con un revestimiento para protección del entorno exterior, por ejemplo un revestimiento de PE (no mostrado en la figura).
- 40 Para el tendido de una línea de transmisión de acuerdo con la presente invención, por ejemplo una del tipo mostrado en la Figura 1, se prepara en general una zanja de tendido de cables y se coloca entonces el conducto 102 dentro de ella, estando este último normalmente hecho de una pluralidad de largos separados y equipado con la pantalla magnética multicapa 200.
- Los largos individuales se juntan mediante soldadura o por otro procedimiento y la zanja se rellena para permitir que
- 45 el área afectada por el tendido sea rápidamente repuesta.
- Los cables de la línea se insertan a continuación en un extremo del conducto y se tira desde el otro extremo.
- En la realización preferida mostrada en la Figura 1, en una etapa que precede a su inserción en el conducto 102, los cables 101a, 101b y 101c se juntan en una configuración en trébol.
- La siguiente etapa es devanar el elemento alargado 103 alrededor de dicha configuración, impidiendo de ese modo
- 50 el movimiento de un cable con respecto a los otros y se inserta a continuación la estructura así obtenida dentro del conducto 102.
- Durante el tendido de los cables, la cuerda 103 se somete a una tracción considerable debido al peso de los cables 101a, 101b y 101c y a la fricción con la parte inferior del conducto 102: por esta razón, el material del que está hecho

el elemento alargado 103 ha de ser capaz de soportar tanto la tracción como la abrasión producida por la fricción con la pared inferior del conducto.

5 Preferentemente, dicho elemento alargado es un material dieléctrico. Incluso más preferentemente, dicho material se selecciona de entre el grupo que comprende fibras de poliamida (por ejemplo nailon), fibras de poliéster y fibra de aramida (por ejemplo Kevlar®).

Para describir adicionalmente la invención, se proporcionan en el presente documento a continuación algunos ejemplos de realizaciones que son ilustrativas de la invención, pero que no son limitativas con respecto a la misma.

Ejemplo 1

10 Se consideró una línea trifásica para la transmisión de energía eléctrica a 400 kV y 1500 A, del tipo mostrado en la Figura 1 y enterrada en una zanja a una profundidad de 1,5 m.

15 Dicha línea comprendía tres cables dispuestos en una configuración en trébol, teniendo cada cable una estructura convencional que incluye respectivamente en una dirección radial desde el interior al exterior del cable: un conductor del tipo Milliken hecho de cobre esmaltado, con una sección de 1600 mm²; un recubrimiento semiconductor interior; un recubrimiento aislante de polietileno reticulado (XLPE); un recubrimiento semiconductor exterior; una pantalla metálica; una armadura metálica y un revestimiento de polímero exterior. El diámetro exterior del cable era de 122 mm.

Dicha línea de transmisión comprendía también un elemento alargado hecho de nailon, con un diámetro de 36 mm, devanado alrededor de la configuración en trébol anteriormente mencionada en una posición radialmente exterior de acuerdo con una espiral que tenía un paso de 1 m.

20 Dicha línea estaba provista también con un conducto adecuado para contener en su interior la configuración en trébol anteriormente mencionada. Dicho conducto se realizó de laminado de fibra de resina-vidrio, producido mediante el impregnado de una matriz de lana de vidrio con resina endurecedora y que tenía un diámetro interior de 263 mm y un grosor de 0,7 mm, formando un diámetro exterior del conducto de 264,4 mm.

25 La pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención se colocó en una posición radialmente exterior a dicho conducto y comprendía una primera capa radialmente interior en contacto directo con la superficie exterior del conducto y una segunda capa, radialmente exterior a la primera capa en contacto con esta última.

En detalle, el material ferromagnético usado para realizar dicha primera capa radialmente interior fue acero al silicio de grano orientado (denominado a continuación como a-FeSi-1) con la fórmula Fe_{96,8}Si_{3,2}, laminado en frío y sometido a un tratamiento de recocido.

30 Las características químicas y físicas del dicho acero al silicio a-FeSi-1 eran las siguientes:

- densidad $\delta = 7650 \text{ kg/m}^3$;
- resistividad eléctrica $\rho_{e1} = 5 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$;
- inducción magnética en la saturación $B_s = 1,98 \text{ T}$;
- campo coercitivo $H_c = 52 \text{ A/m}$.

35 La figura 3 muestra la curva de magnetización (H, μ_r) de dicho acero. Para los valores de H y μ_r de dicho material, se pueden obtener dichos valores a partir de la curva de magnetización de la Figura 1, la Tabla I muestra los valores de la inducción magnética B determinada por medio de la siguiente ecuación:

$$B = \mu_r \times \mu_0 \times H \quad (1)$$

en la que μ_0 es la permeabilidad magnética en el vacío igual a $1,257 \times 10^{-6} \text{ (H/m)}$.

40 Tabla I

H (A/m)	μ_r	B (T)
0	6000	0
10	9000	0,08

(cont.)

H (A/m)	μ_r	B (T)
20	12000	0,30
40	10000	0,50
80	8000	0,80
159	5100	1,02
200	4400	1,10
290	3380	1,21
400	2620	1,31
1000	1160	1,47
2100	690	1,87

5 El presente Solicitante ha descubierto que un aumento en el tamaño del grano del acero está acompañado por una mejora correspondiente en la capacidad de apantallado de la capa. De acuerdo con las normas internacionales, el tamaño de grano del acero se puede determinar por medio de un índice adimensional G (de acuerdo con la norma ASTM E-112), que se puede obtener contando el número de granos presentes en un área predeterminada. Por lo tanto, el índice G disminuye cuando el tamaño de grano aumenta.

10 Dicha primera capa radialmente interior de la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención se produjo realizando 7 devanados sucesivos de una cinta que tenía un ancho de 20 mm y un grosor de 80 μm . Dicha cinta estaba ventajosamente provista sobre su capa exterior con una película de óxido de silicio, que actuaba como un aislante eléctrico, que tenían grosor de 1,5 μm y que formaba un grosor total de la cinta de 81,5 μm . Por lo tanto, dicha primera capa tenía un grosor total de aproximadamente 0,6 mm y un diámetro exterior de aproximadamente 265,6 mm.

15 El grosor total de dicha primera capa, y consecuentemente el número de devanados requeridos para conseguir dicho grosor total, se calculó como sigue.

El campo magnético H se puede calcular mediante la siguiente ecuación de Biots-Savart que es válida para el cálculo del campo magnético a una cierta distancia de un filamento recto de corriente de longitud infinita:

$$H = \frac{I}{2\pi d} \quad (2)$$

en la que, en el caso presente,

20 H es el campo magnético presente a una distancia d de la fuente que da lugar al campo anteriormente mencionado, por ejemplo un cable 101a, 101b y 101c; e I es la corriente que circula en dicho cable.

25 Con referencia a la configuración de la línea 100 mostrada en la Figura 1, pero descartando la presencia del conducto 102 y del elemento alargado 103 y la presencia simultánea de los tres cables separados 101a, 101b y 101c, el valor de H sobre la superficie exterior de uno de dichos cables fue de 3.913 A/m, siendo determinado dicho valor mediante la sustitución en la ecuación (2) del valor de 1500 A para la corriente I que circula y el valor de 61 mm para el radio del cable d.

Dado que dicho valor del campo magnético H se calculó en el punto más crítico, en otras palabras en el punto de contacto con el cable, se supuso que se tenía un valor de H igual a la mitad del valor calculado, en otras palabras igual a 1.956 A/m, de tal manera que se consideró sustancialmente un valor medio presente en la capa.

30 Adicionalmente, en ausencia de una pantalla magnética, dado que la línea de transmisión 100 género una inducción magnética B de 34 μT en el suelo (valor calculado por medio de la ecuación de Biots-Savart en su forma de vector), mientras que, como se ha mencionado anteriormente, uno de los propósitos del solicitante fue obtener un valor de inducción magnética igual a, o incluso por debajo de, 0,2 μT , para conseguir dicho propósito fue necesario proveer a dicha línea con una pantalla magnética capaz de reducir el campo magnético H en un factor de 170 veces con respecto al valor inicial de dicho campo en ausencia de una pantalla magnética. Por lo tanto, el valor 170 representó el factor de apantallado total S_{tot} de la pantalla magnética en su totalidad.

Se decidió que se debería atribuir a la primera capa de apantallado radialmente interior un efecto de apantallado del 5%; en otras palabras, se decidió que dicha primera capa debería ser capaz de suprimir el 5% del campo magnético generado por la línea. Por lo tanto, se atribuyó un factor de apantallado S_1 de 8,5 (siendo dicho valor el 5% de S_{tot}) a dicha primera capa, siendo definido dicho factor de apantallado generalmente como:

5
$$S = \frac{H_{inc}}{H_{tr}} \quad (3)$$

en la que, en el caso específico anteriormente mencionado con relación a dicha primera capa radialmente interior:

H_{inc} es el campo magnético incidente, en otras palabras el campo magnético que se genera por la línea y que alcanza dicha primera capa de apantallado;

10 H_{tr} es el campo magnético transmitido, en otras palabras el campo magnético que sale de dicha primera capa; en otras palabras, H_{tr} representa la fracción del campo magnético producido por la línea que no es apantallado por dicha primera capa.

Si se da un valor a H_{inc} de 1.956 A/m y S_1 tiene un valor de 8,5 en la ecuación anteriormente mencionada (3), hallamos que H_{tr} es igual a 230 A/m.

15 Por otro lado, el factor de apantallado S se puede calcular también de acuerdo con la siguiente ecuación (válida para pantallas cilíndricas cuyo grosor es pequeño con respecto al diámetro):

$$S = 0,66 \mu_r \frac{\delta}{R} \quad (4)$$

en la que:

μ_r es la permeabilidad magnética relativa del material usado;

δ es el grosor de la capa en cuestión;

20 R es el radio medio de la capa en cuestión.

Dado que el material ferromagnético era conocido, concretamente a-FeSi-1, entonces, de acuerdo con la curva de magnetización de la Figura 3 y la Tabla I para dicho material, se eligió un valor de 2.500 para la permeabilidad magnética relativa media μ_r , correspondiente al intervalo del campo magnético desde $H_{inc} = 1.956$ A/m a $H_{tr} = 230$ A/m.

25 Por lo tanto, mediante la aplicación de la ecuación (4) a dicha primera capa de apantallado, fue posible seleccionar un grosor δ y en consecuencia un radio R , de tal manera que se obtuvo el factor de apantallado S_1 deseado, concretamente 8,5.

30 Se calculó que, cuando el grosor δ de la primera capa de apantallado era de 0,6 mm (correspondiente, como se ha mencionado anteriormente, a un diámetro exterior de aproximadamente 265,6 mm y a una secuencia de 7 devanados sucesivos de la cinta anteriormente mencionada), el factor de apantallado S_1 tenía un valor de 7,6, siendo dicho valor suficientemente cercano al valor deseado de 8,5.

De acuerdo con la invención, la pantalla magnética multicapa tenía también una segunda capa, radialmente exterior a la primera capa.

35 En detalle, el material ferromagnético usado para dicha segunda capa fue acero al silicio (denominado de aquí en adelante como a-FeSi-2) similar al de la primera capa, pero sometido a un tratamiento de recocido adicional.

La Figura 4 muestra la curva de magnetización (H , μ_r) de dicho acero. La tabla II muestra los valores de inducción magnética B obtenidos mediante el uso de la ecuación (1), para valores de H y de μ_r con relación al material anteriormente mencionado que se puede determinar a partir de la curva de magnetización de la Figura 4.

Tabla II

H (A/m)	μ_r	B (T)
0	10.000	0
4	15.000	0,08
8	21.000	0,210
20	18.000	0,450

(cont.)

H (A/m)	μ_r	B (T)
40	14.600	0,730
60	11.300	0,851
80	9.700	0,970
160	6.600	1,12
200	4.720	1,18
300	3.360	1,26
400	2.640	1,32
1.000	1.150	1,44

5 Dicha segunda capa, radialmente exterior a la primera capa, de la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención se produjo realizando 40 devanados sucesivos de la cinta que tenía un ancho de 20 mm y un grosor de 80 μm . En una forma similar a la descrita para la cinta que forma la primera capa radialmente interior, también la cinta que forma dicha segunda capa estaba provista sobre su superficie exterior con una capa de óxido de silicio, que actuaba como un aislante eléctrico, con un grosor de 1,5 μm , dando un grosor total de la cinta de 81,5 μm . Por lo tanto, dicha segunda capa tenía un grosor total de aproximadamente 3,2 mm y un diámetro exterior de aproximadamente 272 mm.

10 Mediante un procedimiento similar al seguido para la primera capa radialmente interior, el valor del grosor total de dicha primera capa, y consecuentemente el número de devanados requeridos para tener dicho grosor total, se calculó por medio de las ecuaciones (3) y (4), haciendo el valor del factor de apantallado S_2 igual a 160 (en otras palabras aproximadamente el 95% del campo magnético generado por la línea de transmisión). En particular, cuando S_2 se hizo igual a 160 y H_{inc} igual a 230 A/m, el campo magnético transmitido (en otras palabras, el campo magnético que salía de la segunda capa de apantallado) H_{tr} se halló que era aproximadamente 2 A/m y, en base a este intervalo de valores desde H_{inc} a H_{tr} , y mediante el uso de la curva de magnetización de la Figura 4 y los datos de la Tabla II con relación a dicho material ferromagnético $\alpha\text{-FeSi}_2$, se calculó un valor medio de permeabilidad magnética relativa μ_r de aproximadamente 12.000 y se usó para su inserción en la ecuación (4).

20 Por lo tanto, por medio de dicha ecuación (4) fue posible seleccionar un grosor λ y, por lo tanto, un radio R de la segunda capa de apantallado, de tal manera que se obtuviera el factor de apantallado deseado S_2 , en otras palabras un factor de apantallado igual a 160.

25 Se calculó a continuación que, cuando el grosor δ de la segunda capa de apantallado fue de 3,2 mm (correspondiente, como se ha mencionado anteriormente, a un diámetro exterior de aproximadamente 272 mm y a una secuencia de 40 devanados sucesivos de la cinta anteriormente mencionada), el factor de apantallado S_2 fue igual a 186, siendo dicho valor suficientemente cercano al valor deseado de 160.

De acuerdo con la invención, se colocó un elemento de apantallado adicional en una posición radialmente exterior a la segunda capa de dicha pantalla magnética, teniendo dicho elemento de apantallado la función de apantallar dicha segunda capa de la influencia del campo magnético de la Tierra.

30 Debido a las propiedades de simetría de las ecuaciones del campo magnético, el factor de apantallado S se puede calcular en general mediante el uso de la ecuación (3) en el caso de que la fuente del campo magnético sea interior o exterior a la capa de aislamiento. Por lo tanto, en el caso de dicho elemento de apantallado, la ecuación (3) se convierte en:

$$S_3 = \frac{H_{inc}}{H_{tr}} = \frac{H_{Tierra}}{H_{tr}} \quad (3')$$

35 en la que H_{Tierra} representa el valor del campo magnético de la Tierra, en otras palabras el campo magnético incidente sobre dicho elemento de apantallado.

El campo magnético de la Tierra tiene un valor, a latitudes medias, que es esencialmente constante e igual a 40 A/m.

Adicionalmente, en esta situación, el campo magnético transmitido H_{tr} se ha de entender que es el campo magnético

de la Tierra residual que no se ha apantallado por dicho elemento de apantallado y que es por lo tanto incidente sobre dicha segunda capa de apantallado. Dado que, como se muestra en la Tabla II, la permeabilidad magnética relativa máxima del material ferromagnético de dicha segunda capa se encuentra en presencia de un campo magnético en el intervalo de 8 A/m a 20 A/m, y es el deseo del presente Solicitante que dicha segunda capa funcione en condiciones de máxima permeabilidad, la elección se realizó para introducir un valor de campo magnético transmitido H_{tr} de 8 A/m en la ecuación (3'). Por lo tanto, en base a los valores anteriormente mencionados, se obtuvo a partir de la ecuación (3') que el factor de apantallado S_3 era igual a 5.

Se decidió que dicho elemento de apantallado se debería hacer del mismo material ferromagnético que dicha segunda capa de apantallado, se realizaron dos devanados sucesivos para dar un grosor total a dicho elemento de apantallado igual a aproximadamente 0,1 mm y un diámetro exterior igual a aproximadamente 272,2 mm.

Mediante un procedimiento similar al seguido para la primera capa radialmente interior y para la segunda capa, radialmente exterior a la primera capa, el valor del grosor total de dicho elemento de apantallado y consecuentemente el número total de devanados necesarios para proporcionar dicho grosor total, se calculó por medio de las ecuaciones (3') y (4). En particular, en base al intervalo de valores de H_{Tierra} igual a 40 A/m a H_{tr} igual a 8 A/m, y mediante el uso de la curva de magnetización de la Figura 4 y de los datos de la Tabla II en relación a dicho material ferromagnético a-FeSi-2, se calculó un valor medio de la permeabilidad magnética relativa μ_r de aproximadamente 10.000, para su inserción en la ecuación (4).

Por lo tanto, mediante el uso de dicha ecuación (4) fue posible seleccionar un grosor δ y consecuentemente un radio R de dicho elemento de apantallado, de tal manera que se obtuviera el factor de apantallado deseado S_3 , concretamente 5.

Se calculó adicionalmente que, cuando el grosor δ de la segunda capa de apantallado era igual a 0,1 mm (correspondiendo, como se ha mencionado anteriormente, a un diámetro exterior de aproximadamente 272,2 mm y a una secuencia de 2 devanados sucesivos de la cinta anteriormente mencionada), el factor de apantallado S_3 tenía un valor suficientemente cercano al valor deseado de 5.

Por lo tanto, el grosor total del conjunto formado por la pantalla magnética multicapa y el elemento de apantallado fue de aproximadamente 4 mm y el factor de apantallado total S_{tot} fue de 198,6.

El factor de apantallado S_{tot} de la línea de transmisión y distribución de energía eléctrica en alta tensión, dentro de la que circula una corriente eléctrica de 1500 A, es igual a 194, siendo obtenido este valor mediante el uso de la ecuación (4) dentro de la que se inserta el grosor total anteriormente mencionado, el radio medio de dicho conjunto y un valor de permeabilidad magnética relativa que es la media de los de las capas que forman dicha pantalla multicapa y del elemento de apantallado adicional.

Consecuentemente, el factor de apantallado anteriormente mencionado S_{tot} de 198,6 es esencialmente igual al factor de apantallado S_{tot} ($= S_1 + S_2 + S_3$) de 194, lo que demuestra la eficiencia de apantallado de la solución de acuerdo con la invención.

La línea de transmisión 100 provista con la pantalla magnética multicapa 200 y el elemento de apantallado 400 de acuerdo con la invención se sometió a una medición del campo de inducción magnética B.

Para esta medición, se preparó un dispositivo de medición 300, mostrado esquemáticamente en la Figura 5, comprendiendo dicho dispositivo un sensor de medición 301 que se podía mover horizontal y verticalmente de tal manera que se podía posicionar a una instancia predeterminada de dicha línea de transmisión 100.

En detalle, el dispositivo de medición 300 comprende un par de montantes 302 que pueden soportar un poste 303 sobre el que se puede situar de modo extraíble dicho sensor de medición 301. El poste 303 se fija a dichos montantes 302 mediante un par de bloques 304 que permiten que el sensor de medición 301 se posicione como se desee con respecto a la línea de transmisión 100, estando ilustrada esta última en la Figura 5 como dispuesta sobre una superficie de soporte 305.

El funcionamiento de dichos bloques 304 es tal que proporcionan tanto un movimiento horizontal de los montantes 302, permitiéndoles moverse hacia y/o separarse desde la línea de transmisión 100, como un movimiento vertical del poste 303, que le permite moverse hacia y/o separarse desde la línea de transmisión 100. Estos movimientos le permiten por ello el posicionamiento deseado del sensor de medición 301 con respecto a la línea 100 para la detección de la inducción magnética B a una distancia dada de dicha línea.

El dispositivo de medición 300 está hecho completamente de material no ferromagnético, generalmente plexiglás, para evitar afectar a las mediciones.

El procedimiento de medición es particularmente simple, dado que consiste en situar el sensor a una distancia predeterminada y en la medición de la inducción magnética radial B_r y la inducción magnética circunferencial B_θ .

En el ejemplo en cuestión, se midieron los siguientes valores:

$$B_r = 0,11 \mu\text{T}$$

$$B_\theta = 0,15 \mu\text{T}.$$

Por lo tanto, dado que el módulo de la inducción magnética es:

$$|B| = \sqrt{B_r^2 + B_\theta^2} \quad (5)$$

5 mediante la sustitución de los valores medidos anteriormente en (5), se obtuvo que $|B| = 0,18 \mu\text{T}$.

Adicionalmente, el conjunto formado por la pantalla magnética multicapa y el elemento de apantallado adicional de acuerdo con la invención se sometió a una simulación de elementos finitos para evaluar la fiabilidad de los datos medidos experimentalmente con el dispositivo de medición 300 anteriormente mencionado.

10 La figura 6 muestra el módulo de la inducción magnética $|B|$ en función de la distancia L desde el eje de la línea de transmisión. En particular, la línea mostrada en línea continua se obtuvo mediante el cálculo de elementos finitos, mientras que los puntos calculados experimentalmente por medio del dispositivo de medición anteriormente mencionado se indican por puntos.

Un análisis de dicha figura reveló un alto grado de correspondencia entre los puntos experimentales y la curva calculada teóricamente en el ordenador, lo que demostró la validez de dicho dispositivo de medición.

15 **Ejemplo 2**

Se consideró una línea trifásica similar a la del Ejemplo 1, provista con una pantalla magnética multicapa que comprendía una capa radialmente interior similar a la del Ejemplo 1.

De acuerdo con la invención, dicha pantalla magnética multicapa también tenía una segunda capa, radialmente exterior a la primera capa, hecha de acero al silicio del tipo a-FeSi-2 descrito anteriormente.

20 Dicha segunda capa se produjo mediante la realización de 12 devanados sucesivos de una cinta que tenía dimensiones iguales a la del Ejemplo 1, consiguiendo un grosor medido total de aproximadamente 1,07 mm en dicha segunda capa.

25 La pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención también tenía una tercera capa, radialmente exterior a la segunda capa, hecha de un tipo particular de vidrio metálico (denominado a continuación como "MetGlass A"), teniendo dicho material la propiedad de poseer una permeabilidad magnética relativa más grande que la del acero al silicio.

30 En general, los vidrios metálicos son materiales que tiene una composición de tipo metálico, pero que tienen una estructura microscópica no cristalina (o amorfa) típica del vidrio. Esencialmente, se pueden describir como aleaciones metálicas del tipo al vidrio que se pueden obtener, por ejemplo, mediante un enfriado abrupto de dichas aleaciones. La rapidez de dicho enfriado es esencial para asegurar que el material no tiene tiempo suficiente para formar centros de nucleado y por lo tanto no tiene tiempo suficiente para cristalizar (véase, por ejemplo, el artículo de Praveen Chaudhari, Bill C. Giessen y David Turnbull, en Scientific American, N° 42, junio de 1980).

El MetGlass A usado para dicha tercera capa tenía la fórmula $\text{Co}_{68}\text{Fe}_4\text{MoNiSi}_{16}\text{Bi}_{10}$, cuyas características químicas y físicas son las siguientes:

- 35 • inducción magnética en la saturación $B_s = 0,476 \text{ T}$
- campo coercitivo $H_c = 3,2 \text{ A/m}$.

La Figura 7 muestra la curva de magnetización (H , μ_r) de dicho material. En la Tabla III, se muestran los valores de inducción magnética B para los valores H y μ_r con relación al material anteriormente mencionado, estando determinados estos valores a partir de la curva de magnetización de la Figura 7.

40 Tabla III

H (A/m)	μ_r	B (T)
0	20.000	0
1.5	22.500	0,042
3	25.000	0,094
8	18.500	0,185

(cont.)

H (A/m)	μ_r	B (T)
20	15.000	0,375
31	11.700	0,457
63	6.010	0,475
189	2.000	0,475
320	1.174	0,475

Dicha tercera capa se obtuvo realizando 10 devanados sucesivos de una cinta que tenía un ancho de 14,8 mm y un grosor de 35,5 μm , dando un grosor total de dicha capa de aproximadamente 0,4 mm.

5 Dicho grosor se calculó en una forma similar a la descrita en el Ejemplo 1.

La pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención también tenía una cuarta capa, radialmente exterior a dicha tercera capa y realizada de un tipo diferente adicional de vidrio metálico (denominado a continuación como "MetGlass B"), que tenía la misma fórmula química que el MetGlass A pero que se sometió a un tratamiento térmico de recocido diseñado para aumentar la permeabilidad magnética relativa y reducir $H_{\mu\text{max}}$.

10 La figura 8 muestra la curva de magnetización (H, μ_r) para dicho material. En la Tabla IV se muestran los valores de inducción magnética B para los valores H y μ_r con relación al material anteriormente mencionado, estando determinados estos valores a partir de la curva de magnetización de la Figura 8.

Tabla IV

H (A/m)	μ_r	B (T)
0	80.000	0
1,5	90.000	0,170
3	98.400	0,380
6	52.130	0,391
10	31.680	0,396
16	20.000	0,401
22	15.900	0,415
30	14.900	0,431
40	9.020	0,451
64	6.135	0,488
80	4.900	0,488

15 Dicha cuarta capa se obtuvo mediante la realización de 20 devanados sucesivos de una cinta que tenía un ancho de 14,8 mm y un grosor de 16 μm , lo que hace un grosor total de dicha capa de aproximadamente 0,38 mm.

Dicho grosor se calculó en una forma similar al descrito en el Ejemplo.

En una forma similar a la ilustrada en el Ejemplo 1, se colocó un elemento de apantallado adicional en una posición radialmente exterior a la cuarta capa de la pantalla magnética multicapa, para apantallar dicha cuarta capa de los efectos del campo magnético de la Tierra.

20 Para impedir que el material que formaba la cuarta capa fuese polarizado en presencia del campo magnético de la Tierra y por lo tanto impedir que funcionase en la región de saturación, el efecto de apantallado proporcionado por dicho elemento de apantallado había de ser tal que el campo magnético que alcanzase a dicha cuarta capa debía

ser menor de 1 A/m.

Por lo tanto, mediante la sustitución de 40 A/m para H_{inc} y 1 A/m para H_{tr} en la ecuación (3'), se obtuvo que el factor de apantallado S de dicho elemento de apantallado era igual a 40.

5 Se decidió realizar dicho elemento de apantallado a partir del mismo material ferromagnético que dicha segunda capa de apantallado, realizando 7 devanados sucesivos para tener un grosor total de dicho elemento de apantallado de aproximadamente 0,6 mm.

10 El grosor total de dicho elemento de apantallado y consecuentemente el número de devanados requeridos para conseguir dicho grosor total, se calculó por medio de las ecuaciones (3') y (4). En particular, en base al intervalo de valores desde H_{Tierra} , igual a 40 A/m, hasta H_{tr} , igual a 1 A/m y mediante el uso de la curva de magnetización de la Figura 4 y los datos de la Tabla II en relación a dicho material ferromagnético a-FeSi-2, se calculó un valor medio de permeabilidad magnética relativa μ_r de aproximadamente 8.000 y éste se insertó en la ecuación (4).

Por lo tanto, por medio de dicha ecuación (4) fue posible seleccionar un grosor δ y consecuentemente un radio R de dicho elemento de apantallado, de tal manera que se obtuviera el factor de apantallado deseado S , en otras palabras igual a 40.

15 Se calculó por lo tanto que, cuando el grosor δ de dicho elemento de apantallado era igual a 0,6 mm (correspondiente a una secuencia de 7 devanados sucesivos de la cinta anteriormente mencionada), el factor de apantallado S tenía un valor suficientemente cercano al valor deseado de 40.

20 Consecuentemente, el grosor total del conjunto formado por la pantalla magnética multicapa y el elemento de apantallado adicional fue aproximadamente de 3 mm, formando un diámetro exterior de aproximadamente 270,4 mm y el factor total de apantallado fue de 40.

25 El factor de apantallado S_{tot} de la línea de transmisión y distribución de energía eléctrica de alta tensión a la que se proveyó con la pantalla magnética multicapa y el elemento de apantallado anteriormente mencionados y dentro de la que circulaba una corriente eléctrica de 1500 A, fue igual a 236, siendo obtenido este valor por medio de la ecuación (4) dentro de la que se insertaron los anteriormente mencionados grosor total, radio medio de dicho conjunto y un valor de la permeabilidad magnética relativa que era una media de los de las capas que formaban dicha pantalla multicapa y el elemento de apantallado adicional.

Mediante el uso del dispositivo de medición 300 descrito anteriormente, se detectaron los siguientes valores para el ejemplo en cuestión:

$$B_r = 0,09 \mu T$$

30
$$B_\theta = 0,123 \mu T.$$

Cuando dichos valores se sustituyeron en la ecuación (5) anteriormente mencionada, el módulo de la inducción magnética $|B|$ se descubrió que era igual a 0,15 μT .

35 Por lo tanto, la pantalla magnética multicapa de la presente invención permite que un campo magnético generado por una línea de transmisión de energía eléctrica sea apantallado de tal manera que los valores de la inducción magnética en el espacio que rodea a dicha línea se puedan mantener en o por debajo de unos valores de umbral predeterminados.

El uso de materiales que tengan una permeabilidad magnética relativa que aumente desde una capa de apantallado radialmente interior hacia una capa de apantallado radialmente exterior mejora las propiedades de apantallado de la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención.

40 Por lo tanto, la pantalla magnética multicapa de acuerdo con la invención permite conseguir un apantallado que es más eficiente que el obtenido en técnicas anteriores, proporcionando una reducción ventajosa del grosor de la pantalla y por lo tanto del peso de esta última y también del peso del cable provisto con tal pantalla.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el apantallado del campo magnético generado por una línea de transmisión de energía eléctrica (100) que se compone al menos de un cable eléctrico (101a, 101b, 101c), comprendiendo dicho procedimiento la provisión de la pantalla magnética (200) en una posición radialmente exterior a dicho al menos un cable eléctrico (101a, 101b, 101c), **caracterizado porque**
- 5 dicha pantalla magnética (200) comprende:
- una primera capa radialmente interior (201), que comprende al menos un primer material ferromagnético y
 - al menos una segunda capa (202), radialmente exterior a la primera capa radialmente interior (201), que comprende al menos un segundo material ferromagnético,
- 10 siendo la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un primer material ferromagnético más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un segundo material ferromagnético.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que en dicha pantalla magnética (200) comprende además al menos una tercera capa, radialmente exterior a la al menos una segunda capa (202), comprendiendo al menos un tercer material ferromagnético, siendo la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un
- 15 segundo material ferromagnético más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un tercer material ferromagnético.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que dicha pantalla magnética (200) comprende además al menos una cuarta capa, radialmente exterior a la al menos una tercera capa, comprendiendo al menos un cuarto material ferromagnético, siendo la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un tercer material
- 20 ferromagnético más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un cuarto material ferromagnético.
4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 que comprende además la provisión de al menos un elemento de apantallado (400) en una posición radialmente exterior a dicha pantalla magnética (200).
5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 4, que comprende además la provisión de un conducto (102) dentro del que se ha de colocar el al menos un cable eléctrico (101a, 101b, 101c).
- 25 6. Procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 5, que comprende además el enterrado de dicho conducto (102) en una zanja de profundidad predeterminada.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 ó 6, que comprende la colocación de dicho al menos un cable (101a, 101b, 101c) en dicho conducto (102) de tal manera que el centro de gravedad de la sección transversal de dicho al menos un cable (101a, 101b, 101c) esté cercano al centro geométrico de una sección correspondiente de dicho conducto (102).
- 30 8. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además el devanado de al menos un elemento alargado (103) alrededor del dicho al menos un cable (101a, 101b, 101c).
9. Línea de transmisión de energía eléctrica (100), que comprende:
- 35
- al menos un cable eléctrico (101a, 101b, 101c) y
 - una pantalla magnética (200) colocada en una posición radialmente exterior a dicho al menos un cable eléctrico (101a, 101b, 101c),
- caracterizado porque**
- dicha pantalla magnética (200) comprende:
- 40
- una primera capa radialmente interior (201) que comprende al menos un primer material ferromagnético, y
 - al menos una segunda capa (202) radialmente exterior a la primera, que comprende al menos un segundo material ferromagnético,
- en el que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho primer material ferromagnético es más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un segundo material ferromagnético.
- 45 10. Línea de transmisión (100) de acuerdo con la reivindicación 9, en la que dicha pantalla magnética (200) comprende además al menos una tercera capa, radialmente exterior a la al menos una segunda capa (202), comprendiendo al menos un tercer material ferromagnético, siendo la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un segundo material ferromagnético más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un tercer material ferromagnético.
- 50 11. Línea de transmisión (100) de acuerdo con la reivindicación 10, en la que dicha pantalla magnética (200)

- comprende además al menos una cuarta capa, radialmente exterior a la al menos una tercera capa, comprendiendo al menos un cuarto material ferromagnético, siendo la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un tercer material ferromagnético más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un cuarto material ferromagnético.
- 5 12. Línea de transmisión (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en la que dicha primera capa radialmente interior (201) y la al menos una segunda capa (202) se superponen radialmente y en contacto entre sí.
- 10 13. Línea de transmisión (100) de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones 9 a 12, en la que dicha pantalla magnética (200) se superpone sobre dicho al menos un cable eléctrico (101a, 101b, 101c) y está en contacto con este último.
14. Línea de transmisión (100) de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 9 a 13, que comprende un conducto (102) dentro del que se coloca dicho al menos un cable eléctrico (101a, 101b, 101c).
15. Línea de transmisión (100) de acuerdo con la Reivindicación 14, en el que dicha pantalla magnética (200) está en contacto con la superficie radialmente exterior de dicho conducto (102).
- 15 16. Línea de transmisión (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que comprende además un elemento de apantallado (400) que comprende al menos un material ferromagnético, estando colocado dicho elemento de apantallado (400) en una posición radialmente exterior a dicha pantalla magnética (200).
17. Línea de transmisión (100) de acuerdo con la Reivindicación 16, en la que dicho elemento de apantallado (400) se superpone sobre la dicha al menos una segunda capa (202) y está en contacto con esta última.
- 20 18. Línea de transmisión (100) de acuerdo con la Reivindicación 14, que comprende además un elemento de apantallado (400) que comprende al menos un material ferromagnético, estando colocado dicho elemento de apantallado (400) en una posición radialmente exterior a dicho conducto (102) en contacto con este último.
- 25 19. Línea de transmisión (100) de acuerdo con la Reivindicación 18, en la que dicha primera capa radialmente interior (201) y dicha al menos una segunda capa (202) están radialmente superpuestas sobre dicho al menos un cable eléctrico (101a, 101b, 101c) de dicha línea de transmisión (100) y dicha primera capa radialmente interior (201) está en contacto con dicho conducto (102).
20. Línea de transmisión (100) de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 16 a 18, en la que la curva de magnetización de dicho al menos un material ferromagnético de dicho elemento de apantallado (400) alcanza un pico en el valor del campo magnético de la tierra (H_{Tierra}).
- 30 21. Línea de transmisión (100) de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 9 a 20, que comprende además un elemento alargado (103) devanado en espiral alrededor de dicho al menos un cable (101a, 101b, 101c).
22. Línea de transmisión (100) de acuerdo con la Reivindicación 21, en la que dicho elemento alargado (103) es una cuerda de material dieléctrico.
- 35 23. Línea de transmisión (100) de acuerdo con la Reivindicación 22 en la que dicho material dieléctrico se selecciona de entre el grupo que comprende: fibras de poliamida, fibras de aramida y fibras de poliéster.
24. Pantalla magnética multicapa (200), que comprende:
- una primera capa radialmente interior (201) que comprende al menos un primer material ferromagnético y
 - al menos una segunda capa (202) radialmente exterior a dicha una primera capa (201) y que comprende al menos un segundo material ferromagnético,
- 40 en la que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un primer material ferromagnético es más baja que la permeabilidad magnética relativa máxima de dicho al menos un segundo material ferromagnético.
25. Pantalla magnética multicapa (200) de acuerdo con la Reivindicación 24, en la que la permeabilidad magnética relativa máxima de los materiales ferromagnéticos que forman cada capa (201, 202) de dicha pantalla (200) aumentan desde dicha una primera capa (201) hacia dicha al menos una segunda capa (202).
- 45 26. Pantalla magnética multicapa (200) de acuerdo con la Reivindicación 24, en la que cada capa (201, 202) de dicha pantalla (200) se produce mediante encintado.
27. Pantalla magnética multicapa (200) de acuerdo con la Reivindicación 26, en la que cada capa se forma a partir de una pluralidad de devanados.
- 50 28. Pantalla magnética multicapa (200) de acuerdo con la Reivindicación 24, en la que cada capa (201, 202) de dicha pantalla (200) tiene una forma tubular.

29. Pantalla magnética multicapa (200) de acuerdo con la Reivindicación 28, en la que dicha forma tubular se produce mediante extrusión.
30. Pantalla magnética multicapa (200) de acuerdo con la Reivindicación 28, en la que dicha forma tubular se produce mediante laminado y posteriores doblado y soldadura.
- 5 31. Pantalla magnética multicapa (200) de acuerdo con una cualquiera de las Reivindicaciones 24 a 30, en la que cada capa (201, 202) de dicha pantalla magnética (200) fabricada de material ferromagnético elegido de entre el grupo que comprende: acero al silicio, aleaciones de vidrio metálico o materiales de polímero rellenos con materiales ferromagnéticos.
- 10 32. Pantalla magnética multicapa (200) de acuerdo con la Reivindicación 31, en la que dichos materiales ferromagnéticos, con los que se rellenan dichos materiales de polímero, se eligen dentro del grupo que comprende: nanopartículas ferromagnéticas, ferrita en polvo y virutas de hierro.

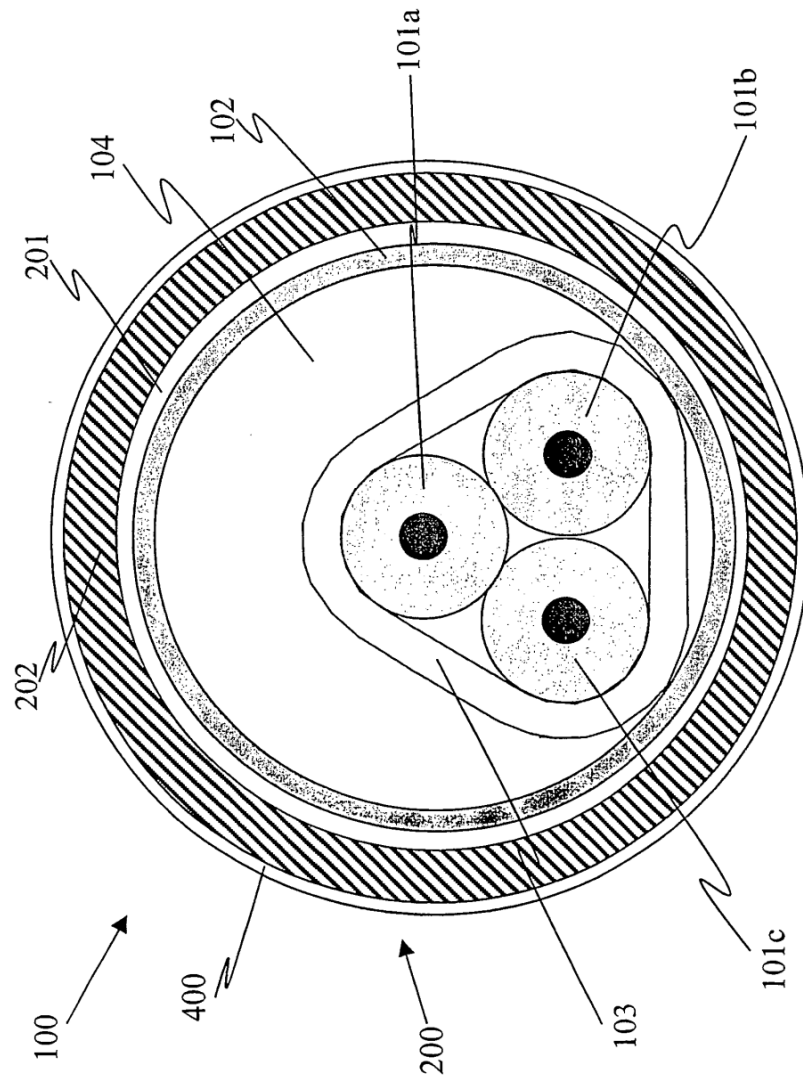


Fig. 1

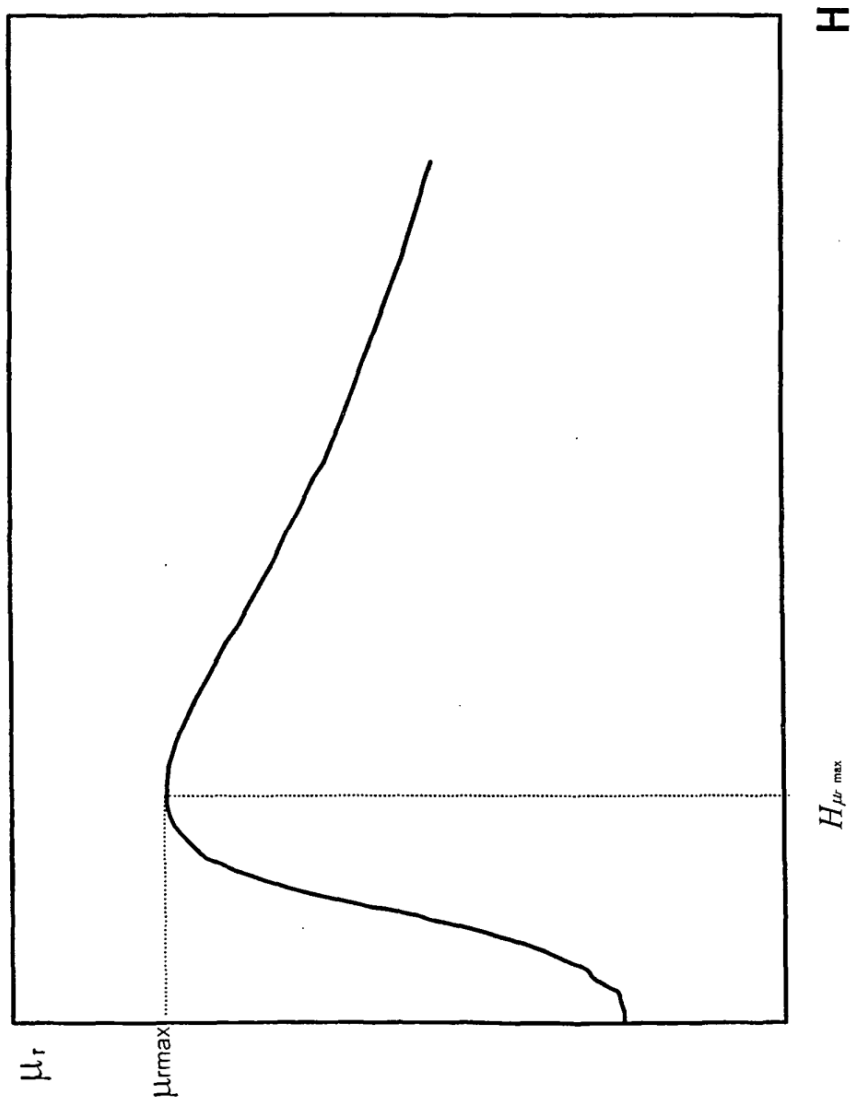


Fig. 2

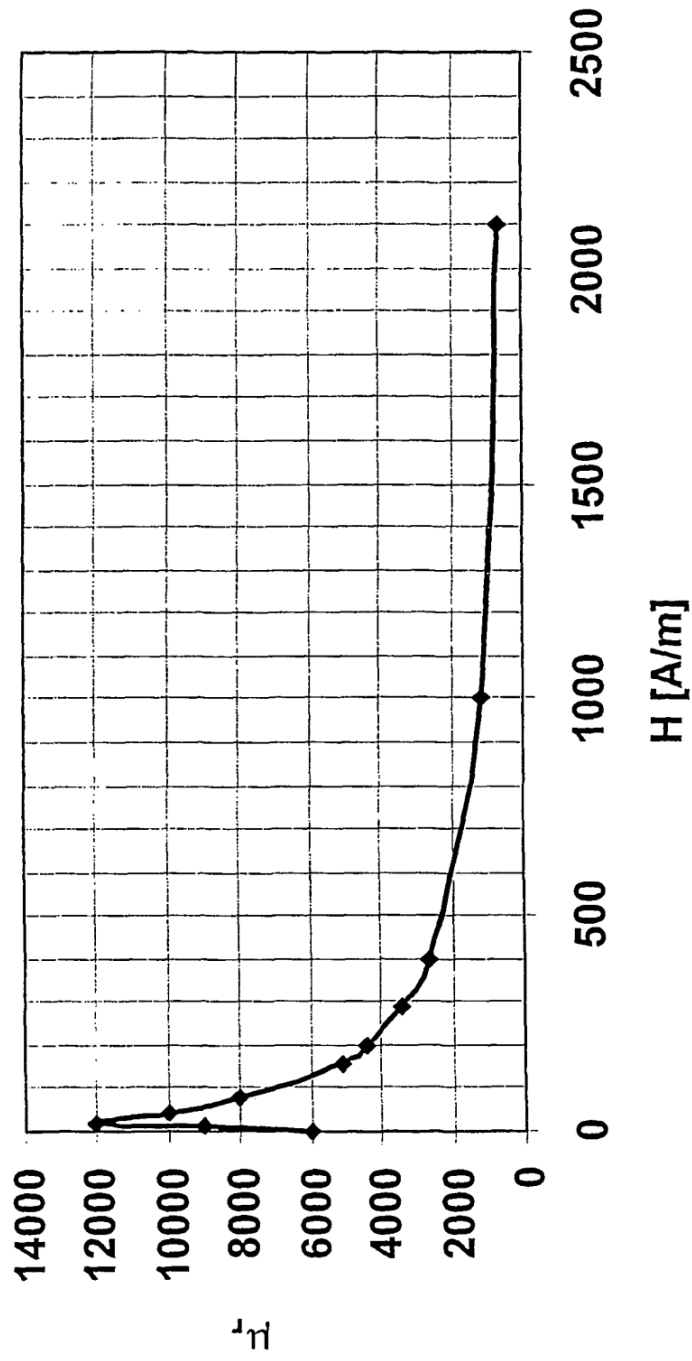


Fig. 3

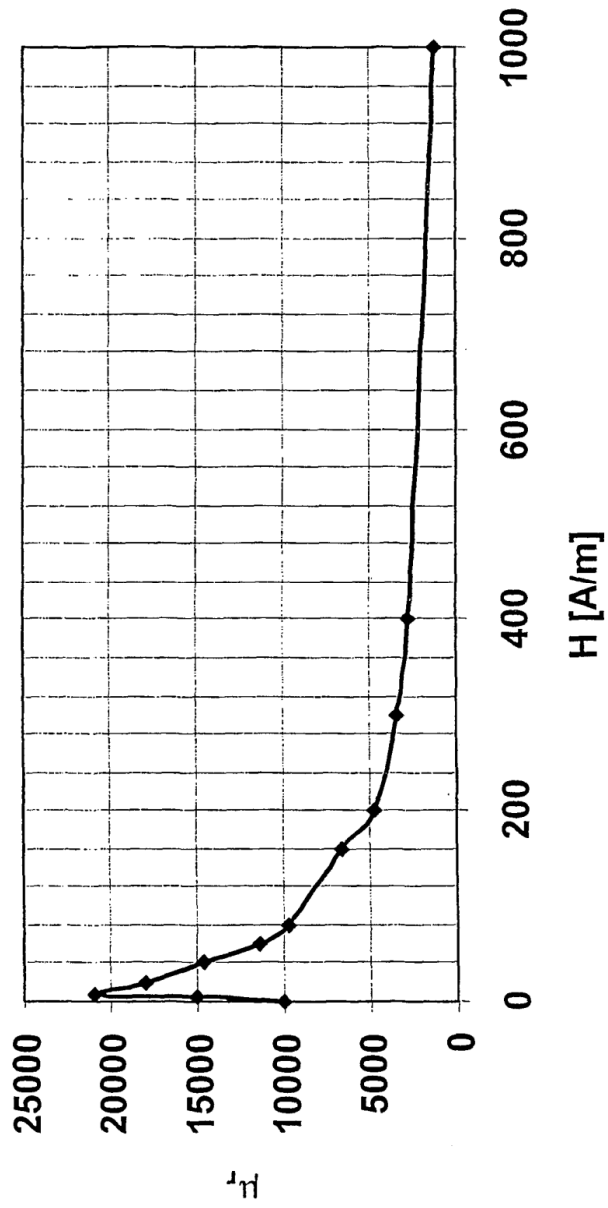


Fig. 4

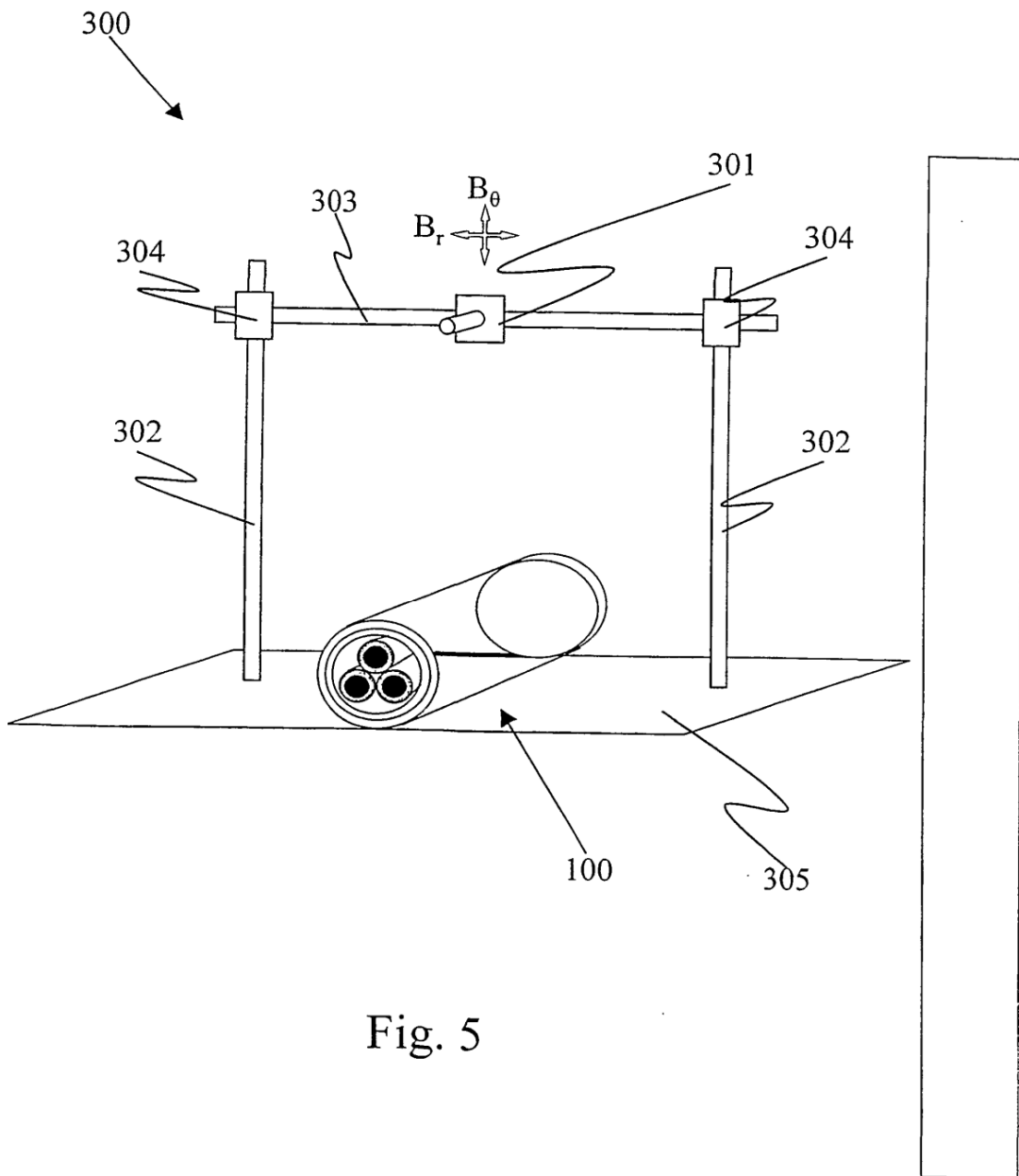


Fig. 5

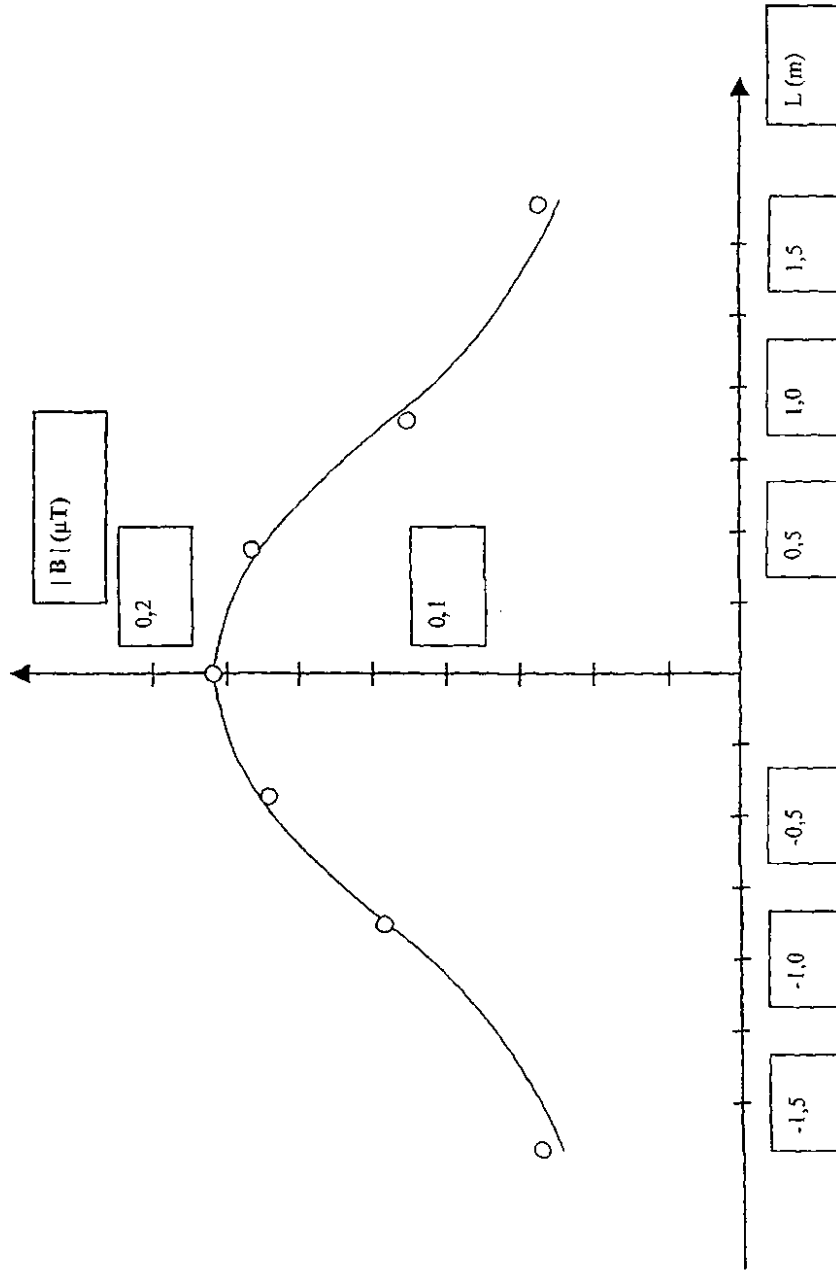


Fig. 6

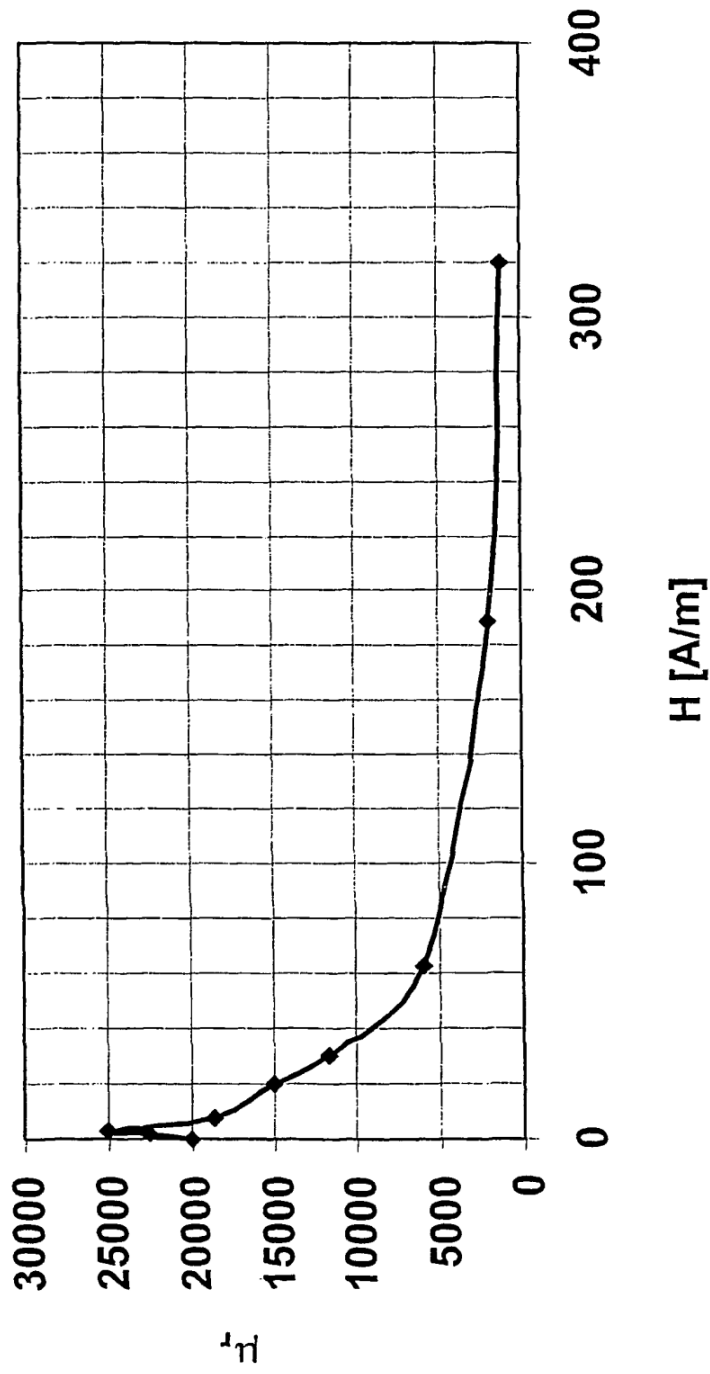


Fig. 7

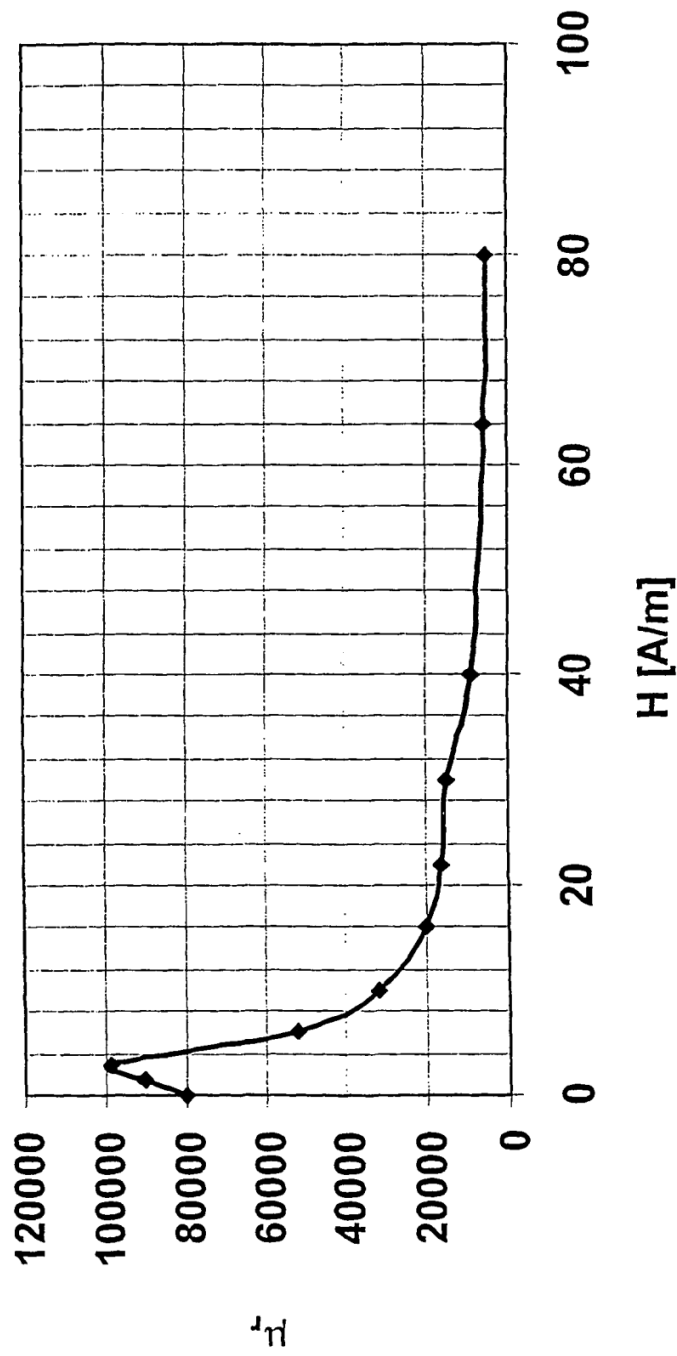


Fig. 8