

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 148**

51 Int. Cl.:

H01F 27/25 (2006.01)

H01F 41/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2002 E 02734034 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2012 EP 1425766**

54 Título: **Núcleos metálicos amorfos de tres columnas para transformadores trifásicos**

30 Prioridad:

25.04.2001 US 841944

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

14.03.2013

73 Titular/es:

**METGLAS, INC. (100.0%)
440 ALLIED DRIVE
CONWAY, SC 29526, US**

72 Inventor/es:

**NGO, DUNG A. y
BORGMEIER, KIMBERLY M.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 398 148 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

Núcleos metálicos amorfos de tres columnas para transformadores trifásicos.

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a núcleos de transformador y, más particularmente, a núcleos de transformador hechos de una tira o cinta compuesta de material ferromagnético, particularmente aleaciones de metal amorfo.

Antecedentes de la invención

10 Los transformadores utilizados convencionalmente en aplicaciones de distribución, industriales, de potencia y de tipo seco son típicamente de la variedad de núcleo devanado o apilado. Los transformadores de núcleo devanado se utilizan generalmente en aplicaciones de alto volumen, tales como transformadores de distribución, puesto que el diseño de núcleo devanado conduce a técnicas de fabricación automatizadas para producción en masa. Se ha desarrollado un equipo para devanar una tira de núcleo ferromagnético alrededor y a través de la ventana de una bobina de vueltas múltiples preformada a fin de producir un conjunto de núcleo y bobina. Sin embargo, el procedimiento de fabricación más común implica devanar o apilar el núcleo independientemente de las bobinas preformadas con las que se vinculará finalmente el núcleo. La última disposición requiere que el núcleo se forme con una o más juntas para el núcleo devanado y con múltiples juntas para el núcleo apilado. Las chapas del núcleo están separadas en las juntas para abrir el núcleo, permitiendo así su inserción en la ventana o ventanas de las bobinas. El núcleo se cierra a continuación para rehacer la junta. Este procedimiento se denomina comúnmente "enlace" del núcleo con una bobina.

15 Un proceso típico para fabricar un núcleo devanado compuesto de metal amorfo consiste en los siguientes pasos: devanado de cinta, corte de chapas, apilamiento de chapas o devanado de chapas, recocido y acabado del borde del núcleo. El proceso de fabricación de un núcleo de metal amorfo, incluyendo devanado de cinta, corte de chapas, apilamiento de chapas y envoltura con una tira se describe en las patentes US Nos. 5.285.565; 5.327.806; 5.063.654; 5.528.817; 5.329.270; y 5.155.899.

20 Un núcleo acabado tiene una forma rectangular con la ventana de junta en una culata extrema. Las patas del núcleo son rígidas y la junta puede abrirse para la inserción de la bobina. Las chapas amorfas tienen un espesor de alrededor de 25,4 μm (0,001 pulgadas). Esto hace que sea relativamente complejo el proceso de fabricación de núcleos metálicos amorfos devanados en comparación con la fabricación de núcleos devanados a partir del material de acero de transformador compuesto de grano orientado laminado en frío (SiFe). En el acero al silicio de grano orientado no sólo los espesores de las capas de grano orientado laminadas en frío son sustancialmente más grandes (en general en exceso de alrededor de 330 μm (alrededor de 0,013 pulgadas)), sino que, además, el acero de silicio de grano orientado es particularmente flexible. Estas combinaciones de características técnicas, es decir, mayores espesores y flexibilidad sustancialmente mayor en aceros al silicio, diferencian inmediatamente el acero al silicio de tiras de metal amorfo, en particular tiras de metal amorfo recocidas, y obvia muchos de los problemas técnicos asociados con la manipulación de tiras de metal amorfo. La consistencia en la calidad del proceso utilizado para transformar el núcleo de su forma anular en una forma rectangular depende ampliamente del factor de apilamiento de las chapas de metal amorfo, puesto que las solapas de las juntas necesitan coincidir apropiadamente desde un extremo de la chapa hasta el otro extremo a modo de "peldaños de escalera". Si el proceso de conformación del núcleo no se lleva a cabo apropiadamente, el núcleo puede reforzarse en las secciones de pata y esquina del núcleo durante los procesos de envolvimiento de la tira y de conformación del núcleo, lo que afectará negativamente a las propiedades de pérdida en el núcleo y de potencia de excitación del núcleo acabado.

25 Las configuraciones de núcleo-bobina utilizadas convencionalmente en transformadores de metal amorfo monofásicos son: tipo de núcleo, comprendiendo un núcleo, dos columnas de núcleo y dos bobinas; tipo de envuelta, comprendiendo dos núcleos, tres columnas de núcleo y una bobina. El transformador de metal amorfo trifásico utiliza generalmente configuraciones de núcleo-bobina de los siguientes tipos: cuatro núcleos, cinco columnas de núcleo y tres bobinas; tres núcleos, tres columnas de núcleo y tres bobinas. En cada una de estas configuraciones, los núcleos tienen que ensamblarse conjuntamente para alinear las columnas y asegurar que las bobinas puedan insertarse con holguras apropiadas. Dependiendo del tamaño del transformador, una matriz de múltiples núcleos de los mismos tamaños pueden ensamblarse conjuntamente para formar tamaños de más kVA. El proceso de alineación de las columnas de los núcleos para la inserción de las bobinas puede ser relativamente complejo. Además, alineando las múltiples columnas del núcleo, el procedimiento utilizado ejerce un esfuerzo adicional sobre los núcleos cuando cada columna de estos se flexiona y se dobla alcanzando su posición. Este esfuerzo adicional tiende a incrementar la pérdida en el núcleo, dando como resultado el transformador completado.

30 La chapa del núcleo es frágil debido al proceso de recocido y requiere cuidado extra, tiempo y un equipo especial para abrir y cerrar las juntas del núcleo en el proceso de ensamble del transformador. Ésta es una propiedad intrínseca del metal amorfo recocido y no puede evitarse. La rotura y el escamado de las chapas no son fácilmente evitables durante este proceso de apertura y cierre de la junta del núcleo, pero idealmente se minimiza. La presencia de escamas puede producir amplios detrimentos en el funcionamiento del transformador. Las escamas dispersadas

entre las capas laminares pueden reducir el contacto cara con cara de las chapas en un núcleo devanado y reducir así la eficiencia de funcionamiento total del transformador. Las escamas y el sitio de una junta enlazada reducen también el contacto cara con cara, reduce el solape entre secciones de junta conjugadas y reduce nuevamente la eficiencia de funcionamiento total del transformador. Esto es particularmente importante en el lugar geométrico de la junta enlazada, ya que es en este punto en el que se espera que ocurran las pérdidas más grandes debido al escamado. Se requieren métodos de contención para asegurar que las escamas rotas no entren en las bobinas y creen condiciones de cortocircuito potenciales entre las capas dentro del núcleo. Las tensiones inducidas en las chapas durante la apertura y el cierre de las juntas del núcleo provocan a veces un incremento permanente de la pérdida en el núcleo y de la potencia de excitación en el transformador completado, así como reducciones permanentes en la eficiencia de funcionamiento del transformador.

El documento JP06231986A describe un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas que tiene dos secciones de núcleo interiores dentro de una sección de núcleo exterior, en donde cada una de las secciones de núcleo tiene una sola junta enlazable.

Así, sería particularmente ventajoso proporcionar un núcleo de metal amorfo que se caracterice inherentemente por una probabilidad reducida de rotura de chapas que pueda ocurrir durante el montaje de un transformador de potencia.

Sería también particularmente ventajoso proporcionar un núcleo de metal amorfo que se caracterice inherentemente por condiciones de esfuerzo reducido dentro del núcleo de metal amorfo devanado y laminado, particularmente dentro de núcleos de metal amorfo de tres columnas adecuados para uso en transformadores trifásicos.

En un primer aspecto, la invención consiste en un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas de acuerdo con la reivindicación adjunta 1.

En un segundo aspecto, la invención consiste en un procedimiento para la fabricación de un núcleo de transformador de metal amorfo multinúcleo de acuerdo con la reivindicación adjunta 3.

Breve descripción de los dibujos

La invención se entenderá más completamente y las ventajas adicionales llegarán a ser evidentes cuando se haga referencia a la siguiente descripción detallada y los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La figura 1 es una vista lateral de un carrete devanado en el que se aloja una tira de metal amorfo destinada a cortarse en un grupo de tiras;

La figura 2 es una vista lateral de un grupo cortado que consta de una pluralidad de capas de tira de metal amorfo;

La figura 3 es una vista lateral de un paquete que comprende un número predeterminado de grupos cortados, estando escalonado cada grupo para proporcionar un solape en escalón indexado con relación al grupo inmediatamente por debajo del mismo;

La figura 4 es una vista lateral de un segmento de núcleo que comprende una pluralidad de paquetes, una junta de solapamiento y una junta de subsolapamiento;

La figura 5 representa un núcleo de transformador de cinco columnas según la técnica anterior;

La figura 6 representa un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas según la invención;

La figura 7 ilustra el núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas de la figura 6 en una condición desenlazada;

La figura 8 representa el núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas de la figura 6 en una condición enlazada, así como la representación adicional de la colocación de las bobinas del transformador;

La figura 9 ilustra en una vista en perspectiva separada un ejemplo adicional de un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas que está compuesto de secciones discretas;

La figura 10 representa en una vista en perspectiva el núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas ensamblado de la figura 9;

La figura 11 representa una vista en sección transversal de una porción de un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas según la invención;

La figura 12 representa una vista en sección transversal de una realización adicional de una porción de un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas según la invención; y

La figura 13 representa una vista en perspectiva de un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas según la figura 12.

Sumario de la invención

5 Según un aspecto de la invención, se proporciona un núcleo de metal amorfo para un transformador que se caracteriza inherentemente por una probabilidad reducida de rotura de chapas que pueda ocurrir durante un ensamble de un transformador.

En un segundo aspecto de la invención se proporciona un núcleo de metal amorfo de tres columnas, particularmente adecuado para su inclusión dentro de un transformador trifásico.

10 En otra realización de la invención se proporciona un transformador trifásico que incluye un núcleo de metal amorfo de tres columnas que se caracteriza por pérdidas reducidas en el núcleo.

Todavía en otra realización de la invención se proporciona un procedimiento para el ensamble o la fabricación de un núcleo de metal amorfo de tres columnas que es particularmente adecuado para su inclusión dentro de un transformador trifásico.

15 Todavía en otro aspecto de la invención se proporciona un método mejorado para la fabricación de transformadores trifásicos con núcleos de metal amorfo de tres columnas, que da como resultado pérdidas reducidas en el núcleo, así como pasos de ensamblaje y/o tiempos de ensamblaje reducidos.

Descripción detallada y realizaciones preferidas

20 Con respecto a la figura 1, se ilustra en ella una vista lateral de un carrete devanado 5 en el que se aloja una tira de metal amorfo 10 destinada a cortarse en segmentos de tira 12. Estos segmentos de tira 12 se estratifican posteriormente en coincidencia unos con otros para formar grupos 20 de tiras de metal amorfo. Esto se ilustra más claramente en la figura 2, que es una vista lateral representativa de un grupo 20 de tiras de metal amorfo. Como puede verse por la figura 2, cada uno de los segmentos de tira individuales 12 que forman el grupo 20 tiene una longitud aproximadamente igual a las longitudes de los otros segmentos de tira 12. El número específico de segmentos de tira individuales 12 que constituyen cada uno de los grupos 20 no es necesariamente un parámetro crítico, pero debe entenderse que existen varias consideraciones técnicas que incluyen el espesor de cada uno de los segmentos de tira 12, las propiedades de flexión de cada uno, así como las dimensiones finales definitivas de los núcleos devanados de metal amorfo a formar. Así, aunque sólo se ilustran en la figura 2 cuatro segmentos de tira independientes 12, debe entenderse que un número mayor o menor de segmentos de tira 12 constituirá cada uno de los grupos 20.

30 Volviendo ahora a la figura 3, se muestra en ella en una vista lateral un paquete 40 que consta de una pluralidad de grupos 20. Típicamente, el número de grupos 20 se predetermina con referencia al espesor de cada uno de los segmentos de tira 12, las propiedades de flexión de cada uno, así como las dimensiones finales definitivas de los núcleos devanados de metal amorfo a formar, requiriéndose sólo que el número y las dimensiones de cada uno de los grupos 20 se seleccionen de tal manera que, finalmente, pueda ensamblarse el núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas. A fin de facilitar el ensamble del núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas, cada uno de los grupos 20 se estratifica en una posición relativa de manera que entre dos grupos cualesquiera adyacentes 20 se proporcione un solape en escalón 42. Más deseablemente, como se muestra en la figura 3, se proporciona una pluralidad de solapes en escalón 42 en cada uno de los paquetes 40. Como ya se ve fácilmente por la figura, cada grupo 20 está escalonado para proporcionar un solape en escalón indexado con relación al grupo 20 inmediatamente adyacente. Con respecto a las dimensiones relativas de cada una de los solapes en escalón, esto no es siempre crítico para el éxito de la presente invención, pero debe entenderse que existen varias consideraciones técnicas incluyendo, pero sin limitarse a ello, el espesor de cada uno de los segmentos de tira 12, las propiedades de flexión de cada uno particularmente después del recocido, así como las dimensiones finales definitivas de los núcleos devanados de metal amorfo a formarse a partir del paquete 40. Además, como se explicará con más detalle a continuación, se seleccionan las dimensiones de los grupos individuales 20 y su disposición relativa en cada uno de los paquetes 40 de tal manera que las juntas conjugadas indexadas se formen definitivamente cuando se ensamblen los núcleos devanados de metal amorfo a formar a partir del paquete 40.

50 La figura 4 ilustra una vista lateral de un segmento de núcleo 50 que comprende una pluralidad de paquetes 40. Aquí, se representan tres paquetes 40, pero se contempla que puedan usarse también un número mayor o menor de paquetes para formar un segmento de núcleo 50. Como puede verse por la figura 4, los tres paquetes 40 se estratifican de tal manera que en un extremo se forman tres juntas de solapamiento 52, vista cada una como un patrón de "peldaños de escalera" invertidos formado por los solapes en escalón individuales 42 de cada uno de los paquetes 40. En el extremo opuesto de cada uno de estos tres paquetes se forman tres juntas 54 de subsolapamiento, cada una visible como un patrón de "peldaños de escalera" que está formado por los solapes en escalón individuales 42 de cada uno de los paquetes 40. En la figura 4, los grupos 20 se disponen de tal manera que

el patrón de solapes en escalón 42 se repite dentro de cada uno de los paquetes 40, y los propios paquetes 40 se disponen formando un patrón de solapes en escalón repetido del segmento de núcleo 50. Aunque la realización ilustrada en la figura 4 representa una realización preferida de la presente invención, debe entenderse que el número de solapes en escalón en cada paquete 40, así como en el segmento de núcleo 50, podría ser el mismo o diferente de los mostrados en la figura. Asimismo, los patrones de las juntas de solapamiento 52, 54 pueden variar también dentro de cada paquete 40, así como en cada segmento de núcleo 50. No es esencial para la presente invención que esté presente un patrón de "peldaños de escalera", sino que más bien debe entenderse que puede utilizarse cualquier disposición de paquetes 40 cuyos paquetes 40 formen juntas indexadas y cuya disposición de paquetes 40 y el segmento de núcleo 50 proporcionen el número requerido de paquetes para cumplir las especificaciones de construcción del segmento de núcleo de metal amorfo. Un patrón alternativo para las juntas solapadas 52, 54 es que, en lugar de utilizar los extremos opuestos de un grupo 20, excepto cuando la junta está enlazada, se forme más bien un solapamiento tal que los extremos de un grupo se solaparán con su otro extremo cuando se enlaza la junta. Esta técnica puede repetirse para cada uno de los grupos, así como para cada uno de los paquetes utilizados a fin de formar un núcleo de transformador de metal amorfo devanado.

Ciertos beneficios de la presente invención se presentarán ahora con respecto a ciertas limitaciones inherentes a la técnica anterior. Volviendo ahora a la figura 5, se muestra en ella un núcleo de transformador de cinco columnas según la técnica anterior. Como puede verse por la figura 5, el transformador de cinco columnas comprende cuatro secciones de núcleo 60, cada una sustancialmente idéntica a la otra. Como se representa en esta vista lateral, cada uno de los núcleos es de construcción sustancialmente rectangular y estos están destinados a representar núcleos metálicos devanados. Además, representada en cada uno de los núcleos hay una serie de juntas 62 que, aunque se muestran en el dibujo incluyendo una pluralidad de solapamientos y subsolapamientos, pueden ser esencialmente de cualquier otra configuración, requiriéndose sólo que pueda reensamblarse cada uno de los núcleos devanados.

Un inconveniente significativo, que es inherente en la técnica y está representado por el conjunto de núcleo de la figura 5, reside en el hecho de que, típicamente, se producen tales núcleos de metales y, en particular, de metales amorfos, ya que se requiere que, durante el paso de recocido, se coloque un campo magnético alrededor de cada uno de los núcleos. Según procesos de la técnica conocida, cada núcleo individual se ensambla primero y luego se le recuece en condiciones de temperatura y tiempo apropiadas en presencia de un campo magnético, después de lo cual se permite que se enfríe. Típicamente, cada uno de los núcleos individuales 60 se recuecen individualmente y es sólo posteriormente cuando se ensambla cada uno de los núcleos individuales 60. Un problema técnico significativo, que es inherente a tales núcleos de metal amorfo de cinco columnas, reside en la configuración final de un transformador que utiliza dicho núcleo de transformador. Como puede verse en el dibujo, las proporciones relativas dan como resultado necesariamente un transformador que tiene una relación anchura ("w") altura ("h") bastante mayor. Este aspecto resulta inherentemente debido al hecho de que, cuando se requiere un transformador trifásico, se demandan necesariamente múltiples patas. Como se ha discutido anteriormente, esto requiere a su vez el ensamblaje de una serie de núcleos 60 que se hayan recocido individualmente, ya que no ha sido posible ensamblar primero el núcleo de transformado tal como se representa en la figura 5 y luego a continuación, en un paso del proceso, recocer el núcleo de transformador completo en presencia de un único campo magnético. Naturalmente, las dimensiones resultantes del transformador de cinco columnas requieren inherentemente un mayor espacio necesario para la instalación de cualquier transformador de la técnica anterior que utilice este diseño de transformador de cinco columnas. Naturalmente, en muchos casos en los que el espacio es una premisa muy importante, no puede utilizarse tal transformador de cinco columnas.

Un inconveniente adicional, que no es evidente a partir de la figura 5, pero que se entenderá, sin embargo, por los profesionales expertos en esta técnica relevante, reside en el hecho de que se sabe que deberán mantenerse uniformemente campos magnéticos uniformes y consistentes, así como variables de tiempo y temperatura uniformes y consistentes en los núcleos de transformador que deben ensamblarse formando un transformador acabado. Las diferencias, frecuentemente incluso las ligeras diferencias, entre las condiciones de tiempo y/o temperaturas que afectan a una bobina sometida a recocido y las variaciones en el campo magnético que se aplican al núcleo durante el proceso de recocido, pueden tener un impacto notable y, frecuentemente, deletéreo en las características de funcionamiento del núcleo de transformador recocido resultante. A fin de que el transformador de cinco columnas según la técnica anterior funcione en condiciones óptimas, se requeriría que cada uno de los cuatro núcleos de transformador devanados utilizados para ensamblar el transformador acabado que tiene esta configuración se someta a campos magnéticos idénticos, así como a condiciones de tiempo/temperatura idénticas durante la etapa de recocido. Esto es generalmente poco práctico en la actualidad, si no es realmente imposible. Tales dificultades que no permiten tales condiciones de recocido consistentes incluyen variables conocidas que incluyen geometrías de hornos, variaciones en los devanados o en la potencia utilizados para excitar campos magnéticos, así como otras no particularmente elucidadas aquí. Estas variaciones en el recocido de los núcleos individuales dan como resultado variaciones en las propiedades magnéticas resultantes que variarán de un núcleo devanado a otro. Así, cuando los núcleos de transformador devanados múltiples se ensamblan formando el transformador de cinco columnas, las variaciones entre los núcleos darán como resultado una pérdida de funcionamiento total. De nuevo, tales pérdidas de funcionamiento deben evitarse siempre que sea posible.

Muchos de los inconvenientes inherentes a tal núcleo de transformador de cinco columnas de la técnica anterior se

abordan y se superan sorprendentemente y con éxito por el núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas, así como por otros aspectos de la presente invención.

Volviendo ahora a la figura 6, se representa en ella un núcleo de transformador de metal amorfo 70 de tres columnas según la invención en un estado ensamblado. Como puede verse por la figura 6 en esta vista lateral, el núcleo de metal amorfo 70 de tres columnas está compuesto por tres secciones de núcleo, de la que una es una sección de núcleo exterior 72 que encierra dos secciones de núcleo interiores 80, 90. Con respecto a la sección de núcleo exterior, se ve que tiene dimensiones que son adecuados para acomodar dentro de su interior 74 las dos secciones de núcleo 80, 90, de tal manera que las patas laterales del núcleo exterior 74, 76 hagan tope al menos con una pata lateral 82, 92 de los respectivos núcleos interiores. Análogamente, los núcleos interiores 80, 90 incluyen cada uno también una pata 84, 94 que hacen tope una con otra, pero que no hacen tope con ninguna pata del núcleo exterior 72. Como puede verse por la figura 6, cada uno de los segmentos de núcleo 72, 80, 90 incluyen cada uno una junta enlazada 78, 88, 98. Como revelará una revisión más detallada de la figura 6, la junta enlazada 78 del núcleo exterior 72 tiene una configuración de juntas de solapamiento y subsolapamiento que contrasta con las juntas 88, 98 similares a escaleras de los dos núcleos interiores 80, 90. Aunque en la figura 6 se ha representado una configuración particular para las juntas, debe entenderse, no obstante, que puede utilizarse también cualquier otra configuración en la que pueda enlazarse y desenlazarse una junta a fin de permitir la inserción sobre las patas de un conjunto de bobina. Esto incluye expresamente una unión de solape decalado en donde los dos extremos de un grupo o paquete no hacen tope uno con otro, pero tienen extremos de solapamiento. Asimismo, es significativo señalar que, según realizaciones preferidas particulares de la presente invención como se representa en la figura 6, cada uno de los segmentos de núcleo 72, 80 y 90 incluye sólo una junta enlazable. Esto contrasta y distingue la construcción de los núcleos de metal amorfo de tres columnas descritos aquí frente a algunos de los ilustrados en la técnica anterior y, en particular, frente al representado como figura 9 del documento US7057489B. Esta distinción no debe subestimarse y, en realidad, proporciona uno de los beneficios de la invención. Como se ha observado anteriormente, un problema significativo inherente en la producción de los núcleos de transformador a partir de componentes de metal amorfo recocidos reside en el riesgo de rotura o escamado de las tiras de metal amorfo, lo que, a su vez, introducen pérdidas en el núcleo. Sin embargo, tal rotura y escamado de las tiras de metal amorfo es difícil de evitar debido a la fragilidad inherente que se imparte al metal amorfo después del proceso de recocido. Naturalmente, serían muy deseadas la minimización del número de juntas y, en particular, también la minimización de las etapas de montaje requeridas para producir un transformador a partir de tales núcleos de metal amorfo, puesto que reducirían la probabilidad de rotura o escamado de núcleo de las tiras de metal amorfo, lo que, a su vez, minimizaría las pérdidas en el núcleo, así como la probabilidad de un cortocircuitado interno de los núcleos de metal amorfo devanados. En el documento US7057489B muchos de estos problemas se superaron debido a la producción de segmentos de núcleo individuales, incluyendo segmentos de núcleo "tipo C", "tipo I" y rectos, que se recoció individualmente y se ensamblaron a continuación formando núcleos de transformador. En el documento US7057489B puede verse que se requirieron un mínimo de al menos dos juntas para producir un núcleo de transformador. Cuando se ponen en práctica los métodos de la presente invención utilizando segmentos de núcleo de tipo C, de tipo I y rectos, tal como se describe en el documento US7057489B, pueden hacerse núcleos de transformador mejorados. Esto se materializa cuando, antes de cualquier paso de recocido, se ensamblan segmentos de núcleo apropiados de tipo C, de tipo I y rectos para formar un núcleo de transformador que se somete seguidamente a un campo magnético y se recuece apropiadamente. El uso de segmentos de núcleo de tipo C, de tipo I y rectos es particularmente ventajoso porque puede hacerse una variedad de diversas configuraciones de transformador. No obstante, a diferencia de los pasos de producción mencionados en el documento US7057489B, en el que se contempla originalmente que cada uno de estos segmentos individual se recueza primero bajo un campo magnético y a continuación se ensamble, según la presente invención se hace primero el ensamblaje y sólo a continuación se realiza el recocido en un campo magnético. Una ventaja importante en tal proceso es que, según los procesos del documento US7057489B, no hubo ningún potencial significativo de escamado o rotura reducidos de las juntas, ya que una multiplicidad de juntas necesitaron ser enlazadas una con otra después del recocido. El metal amorfo recocido es particularmente frágil y difícil de manipular, particularmente durante la aplicación de un reenlazado manual que es necesario para fabricar un transformador. Según los procesos de acuerdo con la presente invención, aunque el metal amorfo está todavía en un estado no recocido y es flexible, el núcleo de transformador se ensambla y sólo se recuece seguidamente. A continuación, sólo un número mínimo de juntas necesitan ser desenlazadas a fin de permitir la inserción de bobinas de transformador apropiadamente calibradas y dimensionadas y las juntas abiertas tienen que ser reenlazadas para reconstituir el núcleo de transformador. Según ciertas realizaciones particularmente ventajosas, uno o más de los núcleos de transformador presentes en los núcleos de transformador de la presente invención comprenden sólo una junta enlazable.

Sin embargo, aunque puede estar presente más de una junta en los núcleos de transformador de la presente invención, se ha encontrado ventajosamente que, según la práctica de la presente invención, pueden producirse núcleos de transformador de metal amorfo de tres columnas particularmente adecuados para la producción de transformadores de potencia trifásicos con un número reducido de juntas de núcleo para cada uno de los núcleos, especialmente los que tienen sólo una junta por núcleo.

Según un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un procedimiento para la fabricación de núcleos de transformador de metal amorfo de tres columnas que se adaptan particularmente para utilizarse en

transformadores de potencia trifásicos. Según este procedimiento, se proporciona un núcleo exterior adecuadamente dimensionado que encierra dos núcleos de metal amorfo interiores tales como los generalmente descritos con referencia a la figura 6. Sin embargo, ni el núcleo de metal amorfo, ni las tiras de metal amorfo individuales se han sometido aún a un proceso de recocido antes de su ensamblaje formando un núcleo. Después del ensamblaje del núcleo de transformador de metal amorfo tal como se representa en la figura 6, se aplica un primer campo magnético a una primera columna lateral (definida por las patas laterales 76 del núcleo exterior 72 y la pata de tope 82 del primer núcleo interior) y se aplica un segundo magnético a una segunda columna del núcleo de transformador 70 (definida por la otra pata lateral 74 del núcleo exterior 72 y el lado de tope 92 del otro núcleo interior 90), y bajo la presencia de estos dos campos magnéticos se somete el núcleo de metal amorfo de tres columnas ensamblado a condiciones de tiempo y temperatura apropiadas a fin de recocer apropiadamente las tiras de metal amorfo contenidas en el mismo mientras el núcleo de transformador está en un estado ensamblado. A continuación, se permite que se enfríe el núcleo de metal amorfo de tres columnas.

En un aspecto adicional de la invención, puede utilizarse el núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas así producido en la fabricación de un transformador de potencia. Según este aspecto, el núcleo de transformador de metal amorfo recocido producido como se describe anteriormente se desenlaza entonces en la junta respectiva de cada uno de los tres núcleos y, seguidamente, se disponen bobinas de transformador apropiadamente dimensionada sobre cada una de las columnas y, a continuación, se reenlazan las juntas para reconstituir el núcleo de transformador.

Los presentes inventores encontraron inesperadamente que el método de fabricación descrito anteriormente podría practicarse con éxito; hasta ahora, no se esperaba que pudiera conseguirse una imantación apropiada del metal amorfo durante el proceso de recocido en el que se ensamblaba completamente tal núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas durante el paso de recocido. Sorprendentemente, de acuerdo con la configuración aquí descrita y, en particular, con la configuración preferida como se representa en la figura 6, se encontró que se podría impartir una imantación efectiva del campo durante el proceso de recocido al núcleo de metal amorfo de tres columnas ya ensamblado.

Volviendo ahora a la figura 6, se representa un núcleo de transformador de metal amorfo 70 de tres columnas en una condición enlazada. La figura ilustra también la condición del núcleo 70 mientras se imanta durante el paso de tratamiento de recocido. Como se representa en la figura 6, se proporcionan aquí un primer núcleo interior 80 enlazado en la junta 88 y un segundo núcleo interior 90 enlazado en la junta 98. Ambos son abarcados por el núcleo exterior 74 que está enlazado en la junta 78. Está representada también una fuente de corriente CC 81 con un cable en bucles continuo 83 sujeto a los polos positivo y negativo de la fuente de corriente CC 81. Las porciones del cable en bucles forman vueltas alrededor de algunas porciones de los núcleos interior y exterior del núcleo 70 como se ilustra en la figura 6. Como puede verse, este cable forma un primer grupo de espiras 85 simultáneamente alrededor de una porción del primer núcleo interior 80 y el núcleo exterior y un segundo grupo de espiras 87 simultáneamente alrededor del segundo núcleo interior 90 y el núcleo exterior 72. Según realizaciones preferidas de la invención, la pluralidad de espiras puede ser diferente de las representadas en la figura 6, pero, en circunstancias preferidas, el número del primer grupo de espiras 85 y el del segundo grupo de espiras 87 son iguales en valor absoluto. Esta cualidad asegura que se aplique un campo magnético uniforme a los núcleos interior y exterior de los transformadores durante la operación de recocido. Asimismo, se comprende que cualquier suministro de potencia o fuente de corriente CC apropiados pueden utilizarse en lugar de la fuente de corriente CC 81 ilustrada en la figura 6.

En las condiciones mostradas, los presentes inventores han encontrado sorprendentemente que se generan campos magnéticos apropiados dentro de los núcleos 72, 80, 90 mientras se excitan apropiadamente las espiras 85, 87. Las direcciones de los campos que resultan se ilustran en la figura, en la que las flechas "a" representan la dirección del campo magnético en el núcleo exterior 72 y las flechas "b" representan la dirección de campo magnético en el primer núcleo interior 80, mientras que las flechas "c" representan la dirección del campo magnético en el segundo núcleo interior 90. Como puede entenderse por la figura 6, la dirección de estos campos magnéticos son del tipo isocorriente en todo el núcleo de transformador 70 durante la operación de recocido. Se observa que sólo las direcciones en la tercera columna interior definida por 84, 94 son del tipo de contracorriente. No obstante, se ha observado por los inventores que estos campos magnéticos a contracorriente no son excesivamente deletéreos para las características de funcionamiento finales totales de los núcleos de metal amorfo.

Este resultado significativo y sorprendente proporciona ahora la posibilidad de la fabricación de los núcleos de metal amorfo que se preensamblan, seguidamente se recuecen y a continuación se desenlazan a fin de admitir bobinas de transformador apropiadamente dimensionadas. Esto proporciona un número reducido de pasos de manipulación y, en ciertas realizaciones preferidas, también un número reducido de las juntas que se requieren para producir tales núcleos de transformador. De acuerdo con una realización preferida particular como se representa en la figura 6, puede verse que sólo se requiere una junta en cada uno de los núcleos de transformador. Esto contrasta con muchas de las construcciones de transformador de metal amorfo conocidas en la técnica y, en realidad, puede contrastarse con las representadas en el documento US7057489B. Como puede verse por la descripción y los dibujos en el documento US7057489B, se requieren un mínimo de dos juntas en cada núcleo de transformador. Aunque las construcciones de núcleo de transformador con un ensamblaje tal como el representado en el

documento US7057489B pueden beneficiarse también de los principios de la presente invención, ya que cada una de las secciones individuales pueden ensamblarse en un estado no recocido produciendo la forma de un núcleo de transformador y a continuación, seguidamente, pueden ser imantadas y recocidas en un paso, y entonces, posteriormente, pueden ser desensambladas a fin de incluir las bobinas de transformador y a continuación pueden ser reensambladas formando un transformador completado, la realización, tal como se representa en la figura 6, proporciona una mejora aún mayor de las mismas.

La figura 7 ilustra el núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas de la figura 6 en una condición desenlazada. Como puede verse por la figura 7, las porciones correspondientes del núcleo exterior 74 que forman la junta 78, así como las porciones correspondientes 88, 98 de dichos núcleos interiores primero 80 y segundo 90 se representan en una configuración adaptada para permitir la inserción de tres bobinas magnéticas apropiadamente dimensionadas (no mostradas en la figura 7) sobre las tres columnas, a saber, una primera columna exterior definida por 76, 82 y una segunda columna exterior definida por 74, 92 y la tercera columna interior definida por 84, 94. A continuación, las juntas 78, 88, 98 se enlazan respectivamente a fin de cerrar cada uno de los respectivos núcleos 74, 80, 90.

Como puede contemplarse por la descripción anterior, puede apreciarse fácilmente que, durante la fabricación de esta realización preferida del núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas, cada uno de los núcleos de transformador necesita desenlazarse y reenlazarse sólo una vez. Como se apreciará, esto minimiza la cantidad de tiempo de manipulación y ensamblaje requerido, lo que es particularmente pertinente desde un punto de vista de mano de obra y de manipulación. Tal vez es incluso más pertinente la probabilidad reducida de rotura o escamado del metal amorfo recocido fragilizado, lo que, en consecuencia, reduce la probabilidad de pérdidas en el núcleo, así como conduce a pérdidas reducidas de metal amorfo dentro de una junta. En contraste con muchos métodos de la técnica anterior en los que se requieren pasos adicionales de manipulación debido al recocido de porciones individuales o núcleos individuales de transformadores de metal amorfo que necesitan ensamblarse a continuación antes del desenlace final a fin de permitir la inserción de bobinas de transformador apropiadas y el reenlace final posterior, muchos de estos pasos de ensamblaje adicionales se reducen o se eliminan por la presente invención.

Volviendo ahora a la figura 8, se representa en ella el núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas de la figura 6 en una condición enlazada, así como se representa adicionalmente la ubicación de las bobinas de transformador 100, 102, 104 (representadas por líneas de trazos). Como puede verse por la figura 8, cada una de las bobinas de transformador 100, 102, 104 están apropiadamente dimensionadas, siendo la primera bobina de transformador 100 atravesada por una primera columna exterior y siendo una bobina de transformador adicional 104 atravesada por una segunda columna exterior, mientras que una tercera bobina de transformador 102 es atravesada por la columna interior del núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas.

Como se ha discutido previamente, debe entenderse que, aunque se describe esencialmente una realización preferida particular de la invención de acuerdo con las figuras 6, 7 y 8, los principios de la presente invención pueden utilizarse en la fabricación de otros núcleos de transformador de metal amorfo y en la fabricación de transformadores que pueden incluir tales núcleos. Se contempla que las técnicas descritas aquí puedan utilizarse también en otras configuraciones de núcleo de transformador de metal amorfo multinúcleo.

La figura 9 ilustra en una vista en perspectiva separada un ejemplo adicional de un núcleo de transformador de metal amorfo 120 de tres columnas que consta de secciones discretas. Estas secciones discretas incluyen una primera sección en C 110, una segunda sección en C 112, una sección interior en I 114, una primera sección recta 116 y una segunda sección recta 118. Como se representa en la figura 9, cada una de estas secciones incluye una pluralidad de juntas que se dimensionan apropiada y correspondientemente para complementar así una junta conjugada o al menos una porción de la misma con una sección en C, una sección en I o una sección recta diferentes.

Con respecto ahora a la figura 10, se ilustra en ella, en vista en perspectiva, el núcleo de transformador de metal amorfo 120 de tres columnas ensamblado de la figura 9. Como puede verse por la inspección de la figura 10, el núcleo de transformador ensamblado 120 incluye un núcleo exterior que consta de secciones constituidas por la primera sección en C 110, la segunda sección en C 112, la primera sección recta 116 y la segunda sección recta 118, en donde cada una de estas secciones anteriormente mencionadas se unen por medio de correspondientes juntas conjugadas 130, 132, 134, 136. El núcleo de transformador de metal amorfo 120 de tres columnas incluye también una sección de núcleo interior compuesta de una porción de la primera sección en C 110 y una porción de la sección en I 114, así como una segunda sección de núcleo interior compuesta de una porción de la segunda sección en C 112 y una porción adicional de la sección en I 114. Cada una de estas secciones antes mencionadas se conjuga también en juntas correspondientes 140, 142, 144, 146 entre las correspondientes secciones. Según el ejemplo representado en las figuras 9 y 10, se contempla que el núcleo de transformador de metal amorfo 120 de tres columnas se ensamble primero y se someta seguidamente a dos campos magnéticos en condiciones de tiempo y temperatura apropiadas, en donde se materialice un recocido del núcleo de transformador de metal amorfo ensamblado 120. De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, una o más de las juntas 130, 132, 134, 136, 140, 142, 144, 146 puede desenlazarse a fin de permitir la inserción de bobinas de transformador apropiadamente

dimensionadas alrededor de una o más de las columnas del núcleo de transformador de metal amorfo 120 de tres columnas y reenlazarse seguidamente a fin de reconstituir los núcleos exterior e interior. Ventajosamente, sólo se desenlaza un número mínimo de juntas dentro de cada núcleo respectivo para permitir la inserción de las bobinas de transformador y se le reenlaza a continuación para reconstituir cada núcleo respectivo. Por ejemplo, según un método, se desenlazarían las juntas 132 y 116, así como las juntas 142 y 140 para permitir la inserción de las bobinas de transformador. Alternativamente, sólo se desenlazaría una junta 140, 142 de cada uno de los núcleos interiores, mientras que se desenlazarían dos juntas de tope 130, 132 del núcleo exterior a fin de permitir la inserción de las bobinas de transformador. Por supuesto, debe entenderse que estas juntas pueden ser de cualquier configuración apropiada, incluyendo juntas de tope de peldaños de escalera o una unión de solape decalado, como se discute previamente. Sin embargo, en cualquier caso, debe entenderse que, en contraste con las técnicas descritas en el documento US7057489B, se pone en práctica el proceso de imantación y recocido en un solo paso del núcleo de transformador preensamblado, lo que se contrapone a la imantación y recocido de las secciones discretas que se utilizan finalmente para ensamblar un núcleo de transformador como se describe en el documento US7057489B.

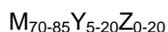
La figura 11 representa una vista en sección transversal de una porción de un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas según la invención. Como puede verse por la figura 11, los núcleos de transformador de metal amorfo de tres columnas según la invención pueden basarse en una variedad de configuraciones geométricas tanto del núcleo como de las secciones de bobina. Como se muestra en la figura 11, el núcleo 160 es generalmente rectangular y casi cuadrado en sección transversal, mientras que la bobina de transformador apropiadamente dimensionada tiene una sección transversal que tiene un espacio interior 164 que se dimensiona apropiadamente para recibir el núcleo de transformador 160. Según la figura 11, este espacio interior es también generalmente rectangular en sección transversal y se espera que esté adecuadamente dimensionado para minimizar la holgura o el entrehierro entre el núcleo y la bobina, proporcionando así un transformador más eficientemente empaquetado.

La figura 12 representa una vista en sección transversal de otra realización de una porción de un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas según la invención. En la realización alternativa, se representa un núcleo de transformador 170 que tiene una sección transversal cruciforme. La sección transversal cruciforme se ensambla a partir de paquetes o pilas discretos de láminas de metal amorfo que tienen anchuras variables, todas las cuales están contenidas dentro del interior 172 de una bobina de transformador apropiadamente dimensionada y generalmente circular. Como puede observarse por esta vista en sección transversal, la bobina está ciertamente hueca en su interior y tiene un diámetro interior que está adecuadamente dimensionado para acomodar el núcleo de transformador de metal amorfo cruciforme.

Volviendo ahora a la figura 13, se muestra en ella en una vista en perspectiva un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas según la figura 12. En esta vista en perspectiva pueden verse las relaciones correspondientes entre el núcleo de metal amorfo cruciforme 170 y la bobina de transformador generalmente circular 174. De nuevo, se pretende que, en circunstancias ideales, se minimice el entrehierro 172 entre el núcleo 170 y la bobina 174 para mejorar la eficiencia de empaquetado del transformador del que forman parte los núcleos y las bobinas.

En cuanto a metales amorfos útiles, generalmente indicados, los metales amorfos adecuados para uso en la fabricación de núcleos de transformador de metal amorfo devanados pueden ser de cualquier aleación de metal amorfo que sea vítrea en al menos un 90%, preferiblemente vítrea en al menos un 95%, pero siendo muy preferiblemente vítrea en al menos un 98%.

Aunque puede utilizarse un amplio rango de aleaciones de metal amorfo en la presente invención, las aleaciones preferidas para uso en núcleos de transformador de metal amorfo de la presente invención se definen por la fórmula:



en donde los subíndices están en porcentaje en átomos, "M" es al menos uno de Fe, Ni y Co, "Y" es al menos uno de B, C y P, y "Z" es al menos uno de Si, Al y Ge; con la condición de que (i) hasta el 10 por ciento en átomos del componente "M" pueda sustituirse por al menos una de las especies metálicas Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ta y W, y (ii) hasta el 10 por ciento en átomos de los componentes (Y+Z) pueda sustituirse por al menos una de las especies no metálicas In, Sn, Sb y Pb. Tales núcleos de transformador de metal amorfo son adecuados para uso en aplicaciones de conversión de voltaje y de almacenamiento de energía para frecuencias de distribución de alrededor del 50 y 60 Hz, así como frecuencias que van hasta el rango de los gigahertzios.

A modo de ejemplo no limitativo, dispositivos para los cuales son especialmente adecuados los núcleos de transformador de la presente invención incluyen transformadores de voltaje, corriente e impulso; inductores para suministros de potencia lineales; suministros de potencia en modo de conmutación; aceleradores lineales; dispositivos de corrección de factor de potencia; bobinas de encendido de automoción; reactancias de lámparas; filtros para aplicaciones EMI y RFI; amplificadores magnéticos para suministros de potencia en modo de conmutación; dispositivos de compresión de impulsos magnéticos y similares. Los núcleos de transformador de la

presente invención pueden utilizarse en dispositivos que tienen rangos de potencia que parten de alrededor de 5 kVA a alrededor de 50 MVA, preferiblemente de 200 kVA a 10 MVA. Según ciertas realizaciones preferidas, los núcleos de transformador encuentran uso en transformadores de gran tamaño, tales como transformadores de potencia, transformadores llenos de líquido, transformadores de tipo seco y similares, que tienen rangos de funcionamiento muy preferiblemente en el intervalo de 200 kVA a 10 MVA. Según ciertas realizaciones preferidas adicionales, los núcleos de transformador según la invención son núcleos de transformador de metal amorfo devanados que tienen masas de al menos 200 kg, preferiblemente masas de al menos 300 kg, todavía más preferiblemente masas de al menos 1000 kg, aún más preferiblemente masas de al menos 2000 kg y muy preferiblemente masas en el rango de alrededor de 2000 kg a alrededor de 25000 kg.

La aplicación de la invención, en la que los núcleos de transformador se producen de aleaciones de metal amorfo, obtiene un gran beneficio de la presente invención. Como tales, las aleaciones de metal amorfo están típicamente disponibles sólo en tiras delgadas, cintas o chapas ("placas") que tienen un espesor que no excede generalmente de 635 μm (veinticinco milésimas de pulgada). Estas dimensiones delgadas necesitan un número mayor de capas laminares individuales en un núcleo de metal amorfo y complican sustancialmente el proceso de ensamblaje, particularmente cuando se compara con núcleos de transformador fabricados de acero al silicio, que son de forma típica aproximadamente diez veces más gruesa en una aplicación similar. Adicionalmente, como se apreciará por los profesionales expertos en la materia, después del recocido, los metales amorfos llegan a ser sustancialmente más frágiles que en su estado no recocido e imitan su naturaleza vítrea cuando se les somete a esfuerzos o se les flexiona, fracturándose fácilmente. Debido a la falta de un orden cristalino de largo alcance en metales amorfos recocidos, la dirección de rotura es también altamente impredecible y, a diferencia de metales más cristalinos que puede esperarse que se rompa a lo largo de una línea o punto de fatiga, un metal amorfo recocido se rompe frecuentemente en una multiplicidad de partes, incluyendo escamas problemáticas, que son muy deletéreas como se discute aquí.

Algunos de los pasos de montaje mecánicos requeridos para fabricar los núcleos de transformador, así como para producir transformadores utilizando los núcleos de transformador según la presente invención incluyen técnicas convencionales que pueden conocerse en la materia o que pueden ser como se describe en el documento US7057489B. Generalmente, a fin de fabricar un núcleo de transformador de cinta o tira continua de un metal amorfo, el corte y el apilado del grupo laminado 20 y los paquetes 40 se consiguen con una máquina de corte a medida y un equipo de apilamiento capaz de posicionar y disponer los grupos a la manera de juntas de solapa en escalón. El incremento de longitud de corte está determinado por el espesor del agrupamiento de chapas, el número de grupos en cada paquete y el espaciamiento de solapa en escalón requerido. A continuación, los núcleos (o los segmentos de núcleos tal como se representa en las figuras 9 y 10) pueden conformarse según técnicas conocidas, tal como doblando los grupos laminados 20 o los paquetes 40 alrededor de una horma tal como un mandril adecuadamente dimensionado. Alternativamente, los núcleos pueden producirse también utilizando una máquina de anidamiento en correa semiautomática que alimenta y envuelve grupos y paquetes individuales sobre un husillo rotativo, o bien por prensado y transformación manuales de la chapa del núcleo pasando de una forma anular a la forma de núcleo rectangular.

Deseablemente, a fin de facilitar la estabilidad y la manipulación mecánicas de los núcleos o segmentos de núcleo se revisten o impregnan los bordes de los núcleos o segmentos de núcleo con un material adhesivo, especialmente resinas de epoxi que ayudan a mantener juntos los grupos laminados 20 o los paquetes 40. Típicamente, la aplicación de tal material adhesivo ocurre después del recocido del núcleo o de los segmentos de núcleo de transformador. Frecuentemente, el uso de placas de pegado, tales como las visibles por las figuras 9 y 10, puede aplicarse también a los bordes de los grupos laminados 20 o los paquetes 40 a fin de proporcionar una rigidificación adicional. Otras técnicas y otros medios, tales como el uso de envolturas o tiras, pueden utilizarse también para rigidificar los núcleos o los segmentos de núcleo y retener su configuración antes y durante el paso de recocido del proceso, aunque se prefiere el uso de resinas de epoxi después del reconocido, con o sin placas de pegado, debido a su fácil aplicación y sus buenas características de rendimiento físico.

Para ciertos transformadores particularmente grandes, la construcción de los núcleos de metal amorfo de acuerdo con las configuraciones y las técnicas de ensamblaje materializadas en las figuras 9 y 10 es frecuentemente ventajosa. Sin embargo, debe entenderse que los principios inventivos enseñados aquí se contemplan como útiles con otros diseños de núcleo de transformador, incluyendo los que no se representan necesariamente en las figuras que se acompañan.

Los núcleos de transformador ensamblados de la invención se recuecen a temperaturas adecuadas durante un tiempo suficiente a fin de recurrir los esfuerzos internos del metal amorfo del núcleo de transformador. Como se apreciará por los profesionales expertos en la materia, la temperatura y el tiempo de recocido pueden variar y, en parte, dependen de diversos factores, tales como el horno de recocido, el rango de temperatura de funcionamiento del horno, la temperatura de recocido seleccionada, etc. Hablando en general, se requiere sólo que las condiciones de tiempo y temperatura se seleccionen para reducir así apreciablemente y de preferencia de manera sustancial los esfuerzos internos del núcleo de transformador durante el proceso de recocido. Tal reducción en los esfuerzos internos mejora las características de rendimiento del núcleo de transformador y las condiciones ideales pueden

determinarse por una experimentación rutinaria para un núcleo de transformador particular y por las condiciones de recocido disponibles. Análogamente, se sabe también que tales esfuerzos internos se reducen cuando el núcleo de transformador se somete a al menos un campo magnético durante el proceso de recocido. De nuevo, la intensidad del campo específico y las condiciones específicas pueden determinarse por una experimentación rutinaria, así como a partir de las condiciones de recocido de la técnica anterior corrientemente conocidas, tal como en una o más de las patentes discutidas anteriormente. Condiciones específicas y preferidas pueden deducirse de los ejemplos expuestos más adelante. Ventajosamente, a modo de ejemplo no limitativo, los núcleos de transformador ensamblados de la invención se recuecen a temperaturas de entre 330°-380°C, pero preferiblemente a una temperatura de aproximadamente 350°C, mientras se someten a dos campos magnéticos. Como es bien conocido por los expertos en la materia, el paso de recocido funciona para aliviar esfuerzo en el material de metal amorfo, incluyendo esfuerzos impartidos durante los pasos de fundición, devanado, corte, laminación, disposición, formación y conformación.

Ejemplos

Las series de pruebas de núcleos de transformador se realizaron tanto según las metodologías de la técnica anterior como según los procesos de la presente invención. Cada uno de estos núcleos se produjo a partir de una tira de aleación de metal amorfo no recocida (tiras de METGLAS 2605 SA1 de 142 mm o 170 mm de ancho).

Ejemplo comparativo 1

Se produjo un transformador de cinco columnas de acuerdo con la figura 5. Este transformador se produjo fabricando primero cuatro núcleos individuales, teniendo cada uno una junta de una tira de aleación de metal amorfo no recocida (METGLAS 2605 SA1 de 142 mm de ancho) según metodologías de la técnica anterior. Brevemente, estos núcleos individuales se fabricaron produciendo primero una serie de tiras cortadas, ensamblándolas en paquetes apropiados y, a continuación, devanándolas finalmente alrededor de un mandril de dimensiones adecuadas. El mandril se retiró luego, dejando una ventana de núcleo. Seguidamente, cada uno de los cuatro núcleos individuales se recoció a una temperatura de entre 340°-355°C. Durante el proceso de recocido, se pasó una vuelta de un cable a través de cada una de las ventanas de núcleo y alrededor de una porción de cada uno de los núcleos. Se proporcionó una corriente de 700 amperios a aproximadamente 4 voltios CC a fin de inducir un campo dentro de cada uno de los núcleos individuales durante el proceso de recocido. Después de alcanzar una temperatura de entre 340°-355°C, los núcleos se retuvieron en el horno durante 30 minutos adicionales, asegurando un calentamiento y un recocido a fondo de cada uno de los núcleos de transformador individuales. Posteriormente, se retiraron los núcleos, se dejó que se enfriaran y, a continuación, se les ensambló formando un transformador de cinco columnas de acuerdo con la figura 5.

Los núcleos enfriados y ensamblados se colocaron en una superficie no eléctricamente conductora y no magnéticamente conductora y se retiraron los dispositivos de ensamblaje de todo tipo, tales como abrazaderas en C y flejes de acero. A continuación, se determinaron las pérdidas para el núcleo de transformador recocido ensamblado. Esta evaluación se hizo en general de acuerdo con los protocolos esbozados en el Estándar de Ensayo de Transformadores ASA C57-12.93 – Medición de Pérdida Sin Carga. Se enrollaron treinta vueltas de un cable de ensayo por pata de núcleo y el voltaje de ensayo fue de 91 VAC, lo que proporcionó una inducción de funcionamiento de 1,3 Tesla. Según el ensayo ASA C57-12.93, se encontró que el transformador de cinco columnas presentaba una pérdida de 0,87 vatios por kilogramo sobre la base de la masa total del núcleo de transformador de cinco columnas, que era de 156 kilogramos.

Ejemplo comparativo 2

Se produjo un segundo transformador de cinco columnas de los mismos materiales y de acuerdo con la técnica descrita anteriormente con referencia al Ejemplo Comparativo 1. Se ensambló finalmente un transformador de cinco columnas a partir de núcleos de transformador individualmente recocidos que se expusieron a las mismas condiciones térmicas y magnéticas descritas anteriormente durante el proceso de recocido. De nuevo, después del recocido y el enfriamiento, se evaluaron las pérdidas en el núcleo de acuerdo con la técnica discutida con referencia al Ejemplo Comparativo 1. Se encontró que el núcleo de transformador de cinco columnas ensamblado presentaba una pérdida en el núcleo de 0,35 vatios por kilogramo y que el transformador de cinco columnas tenía una masa total de 156 kilogramos.

Ejemplo comparativo 3

Se produjo un núcleo de transformador de tres columnas según la figura 6 fabricando tres núcleos individuales, dos núcleos interiores y un núcleo exterior, teniendo cada uno una junta. Estos núcleos se produjeron a partir de una tira de aleación de metal amorfo no recocida (METGLAS 2605 SA1 de 142 mm de ancho) según metodologías de la técnica conocidas. Estos tres núcleos se recoció a continuación calentándolos a una temperatura de 340°-355°C y, una vez que se alcanzó esta temperatura, se dejó que permanecieran a esa temperatura durante 30 minutos para asegurar un calentamiento a fondo de cada uno de los núcleos de transformador. Durante este proceso de recocido, se envolvió un cable a través de las ventanas de núcleo y alrededor de cada uno de estos núcleos individuales, a

través del cual se pasó una corriente de 700 amperios a aproximadamente 4 voltios CC. Esto aseguró que se excitara el mismo campo magnético en cada uno de los núcleos. Posteriormente, se retiraron los núcleos individuales del horno y se dejó que se enfriaran. Los dos núcleos interiores se ensamblaron a continuación en el interior el núcleo exterior para formar un núcleo de transformador de tres columnas con una masa total de 156 kilogramos.

De acuerdo con el método descrito anteriormente con referencia al Ejemplo Comparativo 1, se determinó la pérdida en este núcleo de transformador de tres columnas ensamblado según ASA C57-12.93, con 30 espiras del cable de ensayo alrededor de cada pata de núcleo y siendo la entrada de potencia la misma descrita con referencia al Ejemplo Comparativo 1. Según este ensayo, se determinó que la pérdida en el núcleo era de 0,258 vatios por kilogramo. Posteriormente, se abrieron las juntas en cada uno de los tres núcleos y, a continuación, se reenlazaron éstas para reconstituir estos núcleos individuales. De nuevo, se evaluaron las pérdidas en el núcleo según el mismo método y se encontró que la pérdida en el núcleo era ahora de 0,284 vatios por kilogramo, demostrándose una pérdida en el núcleo incrementada del orden del 10% atribuible al proceso de recocido y ensamblaje y a la apertura y el cierre de las juntas.

Ejemplo comparativo 4

Se produjo un segundo núcleo de transformador de tres columnas según la figura 6 de acuerdo con el método y a partir del mismo material descritos con referencia al Ejemplo Comparativo 3. Se produjeron los núcleos individuales y se recoció estos por separado en condiciones de campo magnético y condiciones de calentamiento similares, excepto que diferían sólo en que se permitió a los núcleos individuales residir a su temperatura de 340-355°C durante 60 minutos, en vez de 30 minutos como se ha descrito con referencia a los núcleos del Ejemplo Comparativo 3.

Análogamente, después del enfriamiento y ensamblaje formando un núcleo de transformador de tres columnas que tenía también una masa de 156 kilogramos, se determinó que las pérdidas magnéticas eran de 0,87 vatios por kilogramo. Posteriormente, como se ha descrito antes, se abrieron las juntas en los núcleos y, a continuación, se reenlazaron estas juntas a fin de reconstituir el núcleo de transformador de tres columnas. De nuevo, como se ha descrito con referencia al Ejemplo Comparativo 3, se evaluaron las pérdidas magnéticas y se determinó que eran de 0,315 vatios por kilogramo, lo que demostró una pérdida en el núcleo incrementada del orden del 9,7%, que es atribuible al proceso de recocido y ensamblaje y a la apertura y el cierre de las juntas.

Ejemplo 1

Se produjo un núcleo de transformador de metal amorfo elaborado según las técnicas de la presente invención.

Se produjo un núcleo de transformador del mismo tamaño y configuración que el producido en los Ejemplos Comparativos 3 y 4. Se fabricaron dos núcleos interiores del mismo tamaño a partir de una tira de aleación de metal amorfo no recocida (METGLAS 2605 SA1 de 142 mm de ancho) según metodologías de la técnica conocidas. Estos se insertaron en un núcleo exterior fabricado. Después de su ensamblaje en su condición no recocida, este núcleo de transformador de tres columnas se calentó a una temperatura de 340°-355°C en presencia de un campo magnético inducido por dos vueltas de un alambre pasado a través de cada una de las dos ventanas de núcleo, como se ilustra en la figura 6. Después de calentarse a la temperatura descrita anteriormente, el tiempo de residencia posterior en el horno fue de 30 minutos a fin de asegurar un calentamiento y recocido a fondo de este núcleo de transformador ensamblado. Durante este proceso de recocido, se envolvió un alambre a través de las dos ventanas de núcleo del transformador de tres columnas ensamblado, a través del cual se pasó una corriente de 700 amperios a aproximadamente 4 voltios CC. Esto proporcionó núcleos de una intensidad de campo comparable con la proporcionada en los núcleos según el Ejemplo Comparativo 3 y el Ejemplo Comparativo 4. A continuación, se retiró entonces del horno el transformador de tres columnas ensamblado y se dejó que se enfriara; la masa total del núcleo recocido era de 156 kilogramos.

De acuerdo con el protocolo descrito anteriormente con referencia a los métodos descritos en los Ejemplos Comparativos 3 y 4, se evaluó a continuación este núcleo recocido en materia de pérdidas en el núcleo, determinándose que éstas eran de 0,25 vatios por kilogramo. Seguidamente, se abrió la junta en cada uno de estos tres núcleos y, a continuación, se reenlazaron las juntas a fin de reconstituir el transformador de tres columnas. A continuación, se evaluaron de nuevo las pérdidas en el núcleo magnético de este núcleo de transformador de tres columnas recocido según la misma técnica y se encontró que eran de 0,264 vatios por kilogramo, un incremento en la pérdida en el núcleo de sólo 2,33%.

Ejemplo 2

Se produjo un segundo núcleo de transformador de tres columnas a partir de los mismos materiales y de acuerdo con el método descrito con referencia al Ejemplo 1 anterior. Este núcleo de transformador de tres columnas, que tiene una configuración como la representada en la figura 6, se fabricó de acuerdo con el procedimiento discutido en el Ejemplo 1 anterior. Sin embargo, después de alcanzar una temperatura de 340-355°C, se mantuvo el núcleo

calentado dentro de estas temperaturas durante 60 minutos, 30 minutos más que con el núcleo de transformador de tres columnas según el Ejemplo 1. Durante el proceso de recocido, se envolvió un alambre a través de las dos ventanas de núcleo del transformador de tres columnas ensamblado, a través del cual se pasó una corriente de 700 amperios a aproximadamente 4 voltios CC. Al igual que con los otros núcleos según los Ejemplos y los Ejemplos Comparativos, después del recocido en presencia de un campo magnético, se retiró el núcleo recocido y se dejó que se enfriara a temperatura ambiente (aproximadamente, 20°C). Análogamente, utilizando el protocolo discutido con referencia al Ejemplo 1, se determinó que la pérdida en el núcleo era de 0,285 vatios por kilogramo, siendo la masa total del núcleo recocido de 156 kg. A continuación, se abrió la junta en cada uno de estos tres núcleos y, seguidamente, se reenlazaron estas juntas a fin de reconstituir el núcleo de transformador de tres columnas recocido. Se encontró que las pérdidas en el núcleo eran de 0,274 vatios por kilogramo. Aunque fue inusual que las pérdidas parecieran reducirse después de reenlazar las juntas, la magnitud de las diferencias entre estos dos valores de pérdida en el núcleo reportados es todavía una diferencia de sólo el 4,0%.

Ejemplo Comparativo 5

Se produjo un núcleo de transformador de tres columnas adicional, aunque más pesado, según metodologías de la técnica anterior. Este transformador se produjo a partir de núcleos individuales que tenían al menos dos o más juntas. La construcción y los elementos de estos tres núcleos de transformador de tres columnas estaban de acuerdo con las representaciones de las figuras 9 y 10. Este núcleo de transformador se produjo a partir de una tira de aleación de metal amorfo no recocida (METGLAS 2605 SA1 de 170 mm de ancho) según metodologías de la técnica anterior.

Según el presente Ejemplo Comparativo, se ensamblaron tres núcleos, a saber, dos núcleos interiores análogamente dimensionados y un tercer núcleo exterior de secciones en "C", en "I" y "rectas" aproximadamente dimensionadas y preensambladas.

A continuación, estos tres núcleos se introdujeron en un horno, y se calentaron a una temperatura de 340°-355°C en presencia de un campo magnético inducido por dos vueltas de cable enrolladas a través de cada una de las tres ventanas de núcleo independientes. La corriente pasada a través del cable era de 2100 amperios a aproximadamente 5 voltios CC. Esto aseguró que se indujera un campo magnético consistente en cada uno de los tres núcleos que se recocían. Una vez que se alcanzó la temperatura, se dejó que estos tres núcleos permanecieran en el horno durante 60 minutos para asegurar un recocido a fondo de cada uno de los núcleos individuales. Seguidamente, se retiraron estos tres núcleos del horno y se ensamblaron a continuación para formar un núcleo de transformador de tres columnas según la figura 10, que tenía una masa total de 1010 kilogramos.

Seguidamente, como se describe con anterioridad con referencia al Ejemplo Comparativo 1, se evaluaron las pérdidas para este núcleo de transformador de tres columnas ensamblado, salvo que se suministraran 203 voltios (CA) para proporcionar una inducción de funcionamiento de 1,3 Tesla; se sujetaron los extremos de los bucles del cable de ensayo y se observó la medición de pérdida en el núcleo en el medidor de potencia. Se determinó que este núcleo de transformador de tres columnas presentaba una pérdida en el núcleo de 0,341 vatios por kilogramo. A continuación, se abrieron las dos juntas en el núcleo exterior y una junta en cada uno de los núcleos interiores. Esto simuló los requisitos de manipulación necesarios para permitir la inserción de bobinas de transformador apropiadamente dimensionadas alrededor de las patas de este núcleo de transformador de tres columnas. Seguidamente, estos núcleos se reenlazaron a fin de reconstituir el núcleo de transformador de tres columnas. De nuevo, se evaluó la pérdida en el núcleo en las mismas condiciones. Se encontró que el núcleo de transformador presentaba ahora una pérdida en el núcleo de 0,375 vatios por kilogramo, demostrando una pérdida en el núcleo incrementada del orden de 9,98%, que es atribuible al proceso de recocido y ensamblaje y a la apertura y el cierre de las juntas.

Ejemplo comparativo 6

Se produjo un núcleo de transformador de tres columnas de los mismos materiales y con la misma configuración que en el producido en el Ejemplo Comparativo 5.

Análogamente, se fabricó el transformador de tres columnas produciendo tres núcleos adecuadamente dimensionados independientes, a saber, se ensamblaron dos núcleos interiores y un núcleo exterior a partir de secciones en "C", en "I" y "rectas" apropiadamente dimensionadas y preensambladas. Estos tres núcleos individuales se recocieron calentando a 340-355°C y permitiendo a continuación un tiempo de residencia adicional de 60 minutos a esta temperatura para asegurar un calentamiento a fondo de cada uno de estos núcleos de transformador independientes. Al mismo tiempo, se impartió un campo magnético en las tres bobinas independientes por medio de un alambre arrollado en bucles a través de las ventanas de núcleo de las bobinas, a través del cual se pasó una corriente de 2800 amperios a aproximadamente 6 voltios CC. Seguidamente, se retiraron estos tres núcleos del horno y se ensamblaron a continuación para formar un núcleo de transformador de tres columnas según la figura 10, que tenía una masa total de 1025 kilogramos.

Se evaluaron las pérdidas magnéticas de este núcleo de transformador de tres columnas recocido y se determinó,

de acuerdo con el protocolo señalado con referencia al Ejemplo Comparativo 5, que eran de 0,294 vatios por kilogramo. A continuación, se abrieron las dos juntas en el núcleo exterior y una junta en cada uno de los núcleos interiores. Esto simuló los requisitos de manipulación necesarios para permitir la inserción de bobinas de transformador apropiadamente dimensionadas alrededor de las patas de este núcleo de transformador de tres columnas. Seguidamente, se reenlazaron estos núcleos a fin de reconstituir el núcleo de transformador de tres columnas. De nuevo, se reevaluó la pérdida en el núcleo. Se encontró que el núcleo de transformador presentaba ahora una pérdida en el núcleo de 0,323 vatios por kilogramo, demostrando una pérdida en el núcleo incrementada del orden de 9,8%, que es atribuible al proceso de recocido y ensamblaje, así como a la apertura y el cierre de las juntas.

10 **Ejemplo 3**

Se produjo un núcleo de transformador de tres columnas según el proceso de acuerdo con la presente invención. Se produjo este núcleo de transformador a partir de núcleos individuales que tenían al menos dos o más juntas. La construcción y los elementos de estos núcleos de transformador de tres columnas estaban de acuerdo con las representaciones de las figuras 9 y 10. Se produjo este núcleo de transformador a partir de una tira de aleación de metal amorfo recocida (METGLAS 2605 SA1 de 170 mm de ancho).

Según el presente ejemplo, tres núcleos, a saber, dos núcleos interiores análogamente dimensionadas y un tercer núcleo exterior, se ensamblaron a partir de secciones en "C", en "I" y "rectas" apropiadamente dimensionadas y preensambladas y, antes del recocido, se ensamblaron produciendo una configuración representada en la figura 10.

A continuación, se introdujo este núcleo de transformador de tres columnas ensamblado en un horno adecuado y se le calentó a una temperatura de 340°-355°C. Al mismo tiempo, se tendió un cable en bucles a través de cada una de las dos ventanas de núcleo, a través del cual se pasó una corriente de 2100 amperios a aproximadamente 5 voltios CC. Esto asegura que se excite un campo magnético consistente en el núcleo de transformador. Después de alcanzar una temperatura de 340-355°C, se permitió que este núcleo de transformador de tres columnas ensamblado residiera en el horno durante 60 minutos para asegurar un recocido a fondo del metal amorfo.

Seguidamente, el núcleo de transformador de tres columnas se retiró del horno y, de acuerdo con las técnicas descritas anteriormente con referencia a los Ejemplos Comparativos 5 y 6, se determinó que la pérdida en el núcleo era de 0,346 vatios por kilogramo, sobre la base de la masa total de 1002 kilogramos. A continuación, se abrieron dos juntas de núcleo en el núcleo exterior y una junta de núcleo en cada uno de los dos núcleos interiores y se reenlazaron éstas seguidamente, simulando los pasos de manipulación que se requerirían para permitir la inserción de bobinas de transformador apropiadamente dimensionadas alrededor de cada una de las patas. Después del reenlace de cada una de estas juntas y la reconstitución del núcleo de transformador de tres columnas, se volvieron a ensayar los núcleos por la misma técnica y se encontró que las pérdidas en el núcleo eran ahora de 0,353 vatios por kilogramo, demostrando un incremento en la pérdida de sólo un 2,0% atribuible al proceso de ensamblaje y de recocido y a la apertura y el cierre de las juntas.

35 **Ejemplo 4**

Se produjo un núcleo de transformador de tres columnas similar al descrito en el Ejemplo 3 utilizando los mismos materiales y según el procedimiento de la presente invención. Se ensambló primero un núcleo de transformador de tres columnas que tenía dos núcleos interiores y un núcleo exterior, totalizando una masa de 1024 kilogramos, y se introdujo dicho núcleo a continuación en un horno. Se enrolló un cable a través de cada una de las ventanas de núcleo y se hizo pasar una corriente de 2800 amperios, a aproximadamente 6 voltios CC, a través del cable a fin de excitar un campo en el núcleo ensamblado, mientras se estaba recociendo. El núcleo de transformador de tres columnas se calentó a una temperatura de 340°-355°C y, habiendo alcanzado estas temperaturas, se dejó que el núcleo de transformador residiera en el horno durante 60 minutos para asegurar un recocido a fondo del metal amorfo.

Seguidamente, se retiró el núcleo de transformador de tres columnas del horno y, de acuerdo con las técnicas descritas con referencia al Ejemplo 4, se determinó que la pérdida en el núcleo era de 0,284 vatios por kilogramo. A continuación, se abrieron dos juntas de núcleo en el núcleo exterior y una junta de núcleo en cada uno de los dos núcleos interiores y se reenlazaron éstas a continuación. Después de reenlazar cada una de estas juntas y de reconstituir el núcleo de transformador de tres columnas, se determinó que las pérdidas en el núcleo eran ahora de 0,305 vatios por kilogramo, demostrando un incremento en la pérdida en el núcleo de sólo un 7,3% atribuible al proceso de ensamblaje y recocido y a la apertura y el cierre de las juntas.

Los beneficios de la práctica del procedimiento inventivo y de los núcleos de transformador producidos según el procedimiento son evidentes cuando se contrastan con las pérdidas en el núcleo magnético resultantes de núcleos de transformador análogamente dimensionados. Por ejemplo, los núcleos producidos según el Ejemplo Comparativo 3 y el Ejemplo 1 son virtualmente idénticos en tamaño y, no obstante, los núcleos producidos según la presente invención tienen una mejor pérdida en el núcleo magnético de aproximadamente un 7,6%. Análogamente, los resultados mejorados son también evidentes a partir de la Tabla 1, que reporta también los beneficios entre núcleos

de transformador análogamente dimensionados.

Tabla 1					
Núcleo:	Comp. 1	Comp. 3	Ej. 1	Comp. 5	Ej. 3
Masa de núcleo	156 kg	156 kg	156 kg	1010 kg	1002 kg
Tiempo de homogeneización en recocido	30 min	30 min	30 min	60 min	60 min
Total de amp. de campo CC	700	700	700	2100	2100
Voltios de campo CC (aproximadamente)	4	4	4	5	5
Pérdida en el núcleo previa a apertura de junta (vatios/kg)	0,287	0,258	0,258	0,341	0,346
Pérdida en el núcleo posreensamblaje (vatios/kg)	---	0,284	0,264	0,375	0,353
Mejora relativa en el núcleo (%)			+ 7,95%		+6,23%
Núcleo:	Comp. 2	Comp. 4	Ej. 2	Comp. 6	Ej. 4
Peso de núcleo	156 kg	156 kg	156 kg	1025 kg	1024 kg
Tiempo de homogeneización en recocido	60 min	60 min	60 min	60 min	60 min
Total de amp. de campo CC	700	700	700	2800	2800
Voltios de campo CC (aproximadamente)	4	4	4	6	6
Pérdida en el núcleo previa a apertura de junta (vatios/kg)	0,335	0,287	0,285	0,294	0,284
Pérdida en el núcleo posreensamblaje (vatios/kg)	----	0,315	0,274	0,323	0,305
Mejora relativa de pérdida en el núcleo (%)			+14,96%		+5,90%

5 El procedimiento inventivo, los núcleos de transformador y los transformadores que utilizan dichos núcleos de transformador proporcionan un avance valioso en la técnica relevante. Con respecto a la fabricación de núcleos de transformador y transformadores, se elimina el tiempo requerido para la apertura y el cierre innecesarios de la junta del núcleo devanado convencional. Se reducen los requisitos de manipulación y, en consecuencia, se reducen notablemente las pérdidas en el núcleo provocadas por la rotura del metal amorfo recocido fragilizado utilizado en los núcleos devanados de la invención. Adicionalmente, los requisitos de manipulación reducidos proporcionan también un tiempo de ensamblaje de núcleo y bobina más rápido y una calidad de núcleo mejorada, y si el núcleo de transformador se produce a partir de segmentos de núcleo de transformador intercambiables, dichos segmentos pueden mezclarse y conjugarse a fin de optimizar las prestaciones del transformador acabado.

10 Además, los núcleos de transformador inventivos, así como los procedimientos utilizados para producir transformadores que incorporan los núcleos de transformador devanados de metal amorfo aquí descritos se caracterizan por eficiencias de funcionamiento mejoradas debido a una reducción de las partículas de metal amorfo escamado y/o roto después del ensamblaje de un transformador. Esto es debido al hecho de que los núcleos de transformador según la invención pueden incorporar tan poco como una junta única dentro de cada núcleo de transformador, lo que proporciona consecuentemente una probabilidad reducida de rotura y/o escamado de la junta de transformador cuando se la enlaza. Esto disminuye consecuentemente la cantidad de escamado y/o rotura (en comparación con dos, tres o incluso más juntas dentro de cada núcleo) y la liberación de escamas y el

- 5 cortocircuitado eléctrico concomitante dentro del propio núcleo de transformador. Como se ha observado previamente, las escamas dentro de la junta de solape pueden provocar pérdidas interlaminares dentro de la junta y reducir la eficacia de funcionamiento total del transformador. Asimismo, se sabe también que las escamas sueltas dentro del aceite de un transformador de filtro de aceite reducen la rigidez dieléctrica del aceite de inmersión y reducen también así la eficiencia de funcionamiento total de tales transformadores de filtro de aceite. Se abordan estos y otros inconvenientes y se superan con éxito por medio del núcleo de transformador y los métodos de fabricación descritos en esta memoria.

REIVINDICACIONES

5 1. Núcleo de transformador de metal amorfo (70) de tres columnas que consta de una sección de núcleo exterior (72) que encierra dos secciones de núcleo interiores (80, 90) dentro de su interior, comprendiendo cada una de dichas secciones de núcleo una única junta enlazable (78, 88, 98) y una pluralidad de paquetes (40) de grupos (20), estando compuesto cada grupo de una pluralidad de segmentos de tira cortada (12) de metal amorfo estratificados en coincidencia unos con otros, y

en donde la única junta enlazable (78) de la sección de núcleo exterior (72) tiene una configuración de juntas de solapamiento y subsolapamiento que comprenden un racor macho contorneado para ajustarse a un racor hembra correspondiente, y

10 en donde la única junta enlazable (88; 98) de cada una de las dos secciones de núcleo interiores (80, 90) es una junta similar a una escalera.

2. Núcleo de transformador de metal amorfo (70) de tres columnas según la reivindicación 1, en el que cada sección de núcleo (72; 80; 90) se produce a partir de un metal amorfo que es vítreo en al menos un 90% y tiene una composición nominal de acuerdo con la fórmula:

15 $M_{70}Y_{5-20}Z_{0-20}$

en donde los subíndices son porcentaje en átomos, "M" es al menos uno de Fe, Ni y Co, "Y" es al menos uno de B, C y P, y "Z" es al menos uno de Si, Al y Ge; con la condición de que (i) hasta el 10 por ciento en átomos del componente "M" pueda sustituirse por al menos una de las especies metálicas Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ta y W, y (ii) hasta el 10 por ciento en átomos de los componentes (Y+Z) pueda sustituirse por al menos una de las especies no metálicas In, Sn, Sb y Pb.

3. Procedimiento para la fabricación de un núcleo de transformador de metal amorfo multinúcleo (70), cuyo procedimiento comprende los pasos de:

producir una serie de tiras cortadas (12) a partir de un metal amorfo no recocido (10);

25 ensamblar las tiras cortadas no recocidas en grupos (20), comprendiendo cada grupo una pluralidad de tiras cortadas no recocidas estratificadas en coincidencia unas con otras;

ensamblar los grupos formando una pluralidad de paquetes (40);

conformar los paquetes alrededor de un mandril para formar secciones (72, 80, 90) de núcleo de transformador no recocidas que tienen ventanas de núcleo;

30 ensamblar las secciones de núcleo de transformador no recocidas, incluyendo una sección de núcleo exterior (72) y dos secciones de núcleo interiores (80, 90), para obtener una configuración adecuada para uso dentro de un transformador ensamblado;

35 recocer las secciones de núcleo de transformador no recocidas ensambladas, en donde cada sección de núcleo tiene una única junta enlazable (78; 88; 98), en donde la única junta enlazable (88; 98) de cada una de las dos secciones de núcleo interiores (80, 90) es una junta similar a una escalera y la única junta enlazable (78) de la sección de núcleo exterior (72) tiene una configuración de juntas de solapamiento y subsolapamiento que comprenden un racor macho contorneado conforme a un racor hembra correspondiente; y

desenlazar a continuación cada una de las secciones de núcleo de transformador y seguidamente reenlazar las secciones de núcleo de transformador.

40 4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el núcleo (70) de transformador de metal amorfo multinúcleo es un núcleo de transformador de metal amorfo de tres columnas que comprende la sección de núcleo exterior encerrando las dos secciones de núcleo interiores dentro de su interior.

5. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el metal amorfo no recocido del núcleo (70) de transformador de metal amorfo multinúcleo se produce a partir de un metal amorfo que es vítreo en al menos un 90% y tiene una composición nominal según la fórmula:

45 $M_{70}Y_{5-20}Z_{0-20}$

en donde los subíndices son porcentajes en átomos, "M" es al menos uno de Fe, Ni y Co, "Y" es al menos uno de B, C y P, y "Z" es al menos uno de Si, Al y Ge; con la condición de que (i) hasta el 10 por ciento en átomos del componente "M" pueda sustituirse por al menos una de las especies metálicas Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ta y W, y (ii) hasta el 10 por ciento en átomos de los componentes (Y+Z) pueda sustituirse por al menos una de las especies

no metálicas In, Sn, Sb y Pb.

6. Procedimiento según la reivindicación 3, cuyo procedimiento comprende además los pasos de:

insertar una o más bobinas de transformador sobre una o más de dichas secciones (72, 80, 90) de núcleo de transformador después de dicho paso de desenlazar y antes de dicho paso de reenlazar.

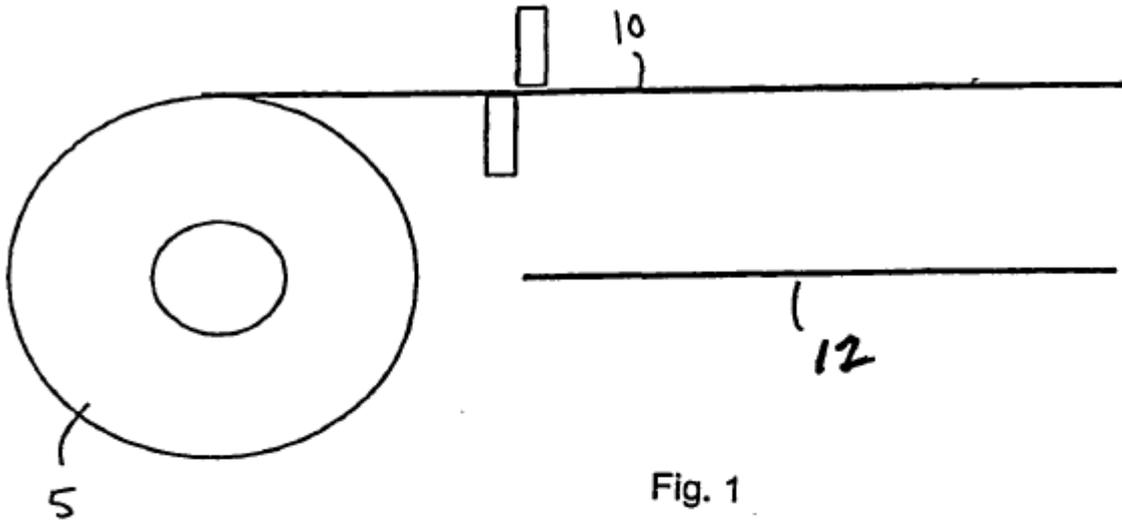
5 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que el transformador ensamblado es un transformador de potencia trifásico de tres columnas.

8. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que el metal amorfo no recocido del núcleo (70) de transformador de metal amorfo multinúcleo se produce a partir de un metal amorfo que es vítreo en al menos un 90% y tiene una composición nominal según la fórmula:

10 $M_{70}Y_{5-20}Z_{0-20}$

en donde los subíndices son porcentajes en átomos, "M" es al menos uno de Fe, Ni y Co, "Y" es al menos uno de B, C y P, y "Z" es al menos uno de Si, Al y Ge; con la condición de que (i) hasta el 10 por ciento en átomos del componente "M" pueda sustituirse por al menos una de las especies metálicas Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ta y W, y (ii) hasta el 10 por ciento en átomos de los componentes (Y+Z) pueda sustituirse por al menos una de las especies

15 no metálicas In, Sn, Sb y Pb.



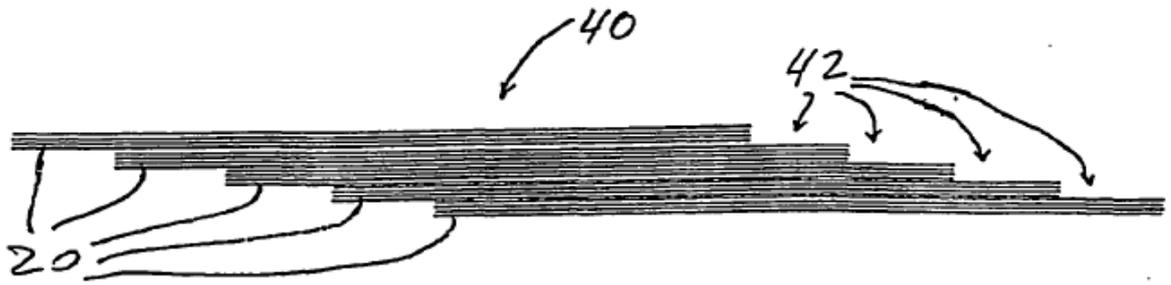


Fig. 3

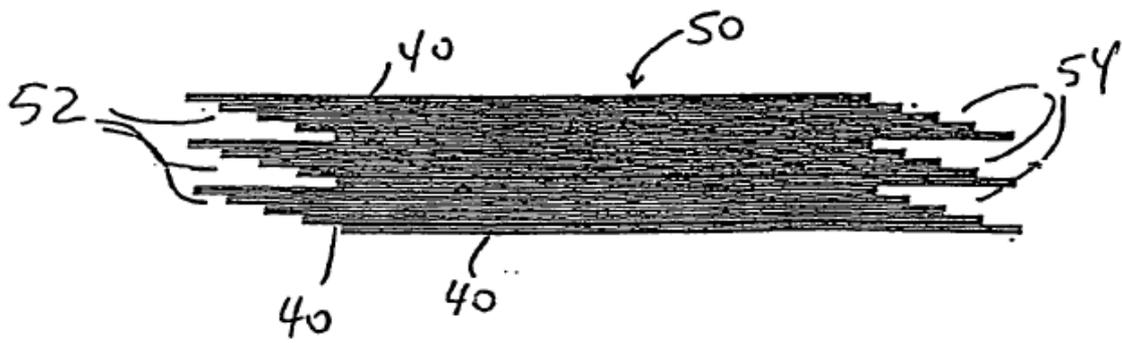


Fig. 4

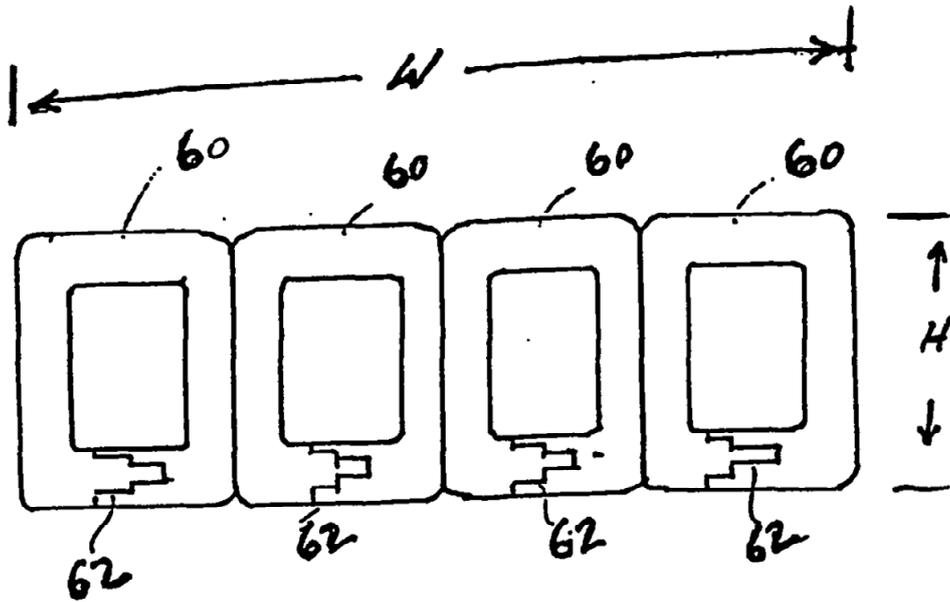


Fig. 5 - Técnica Anterior

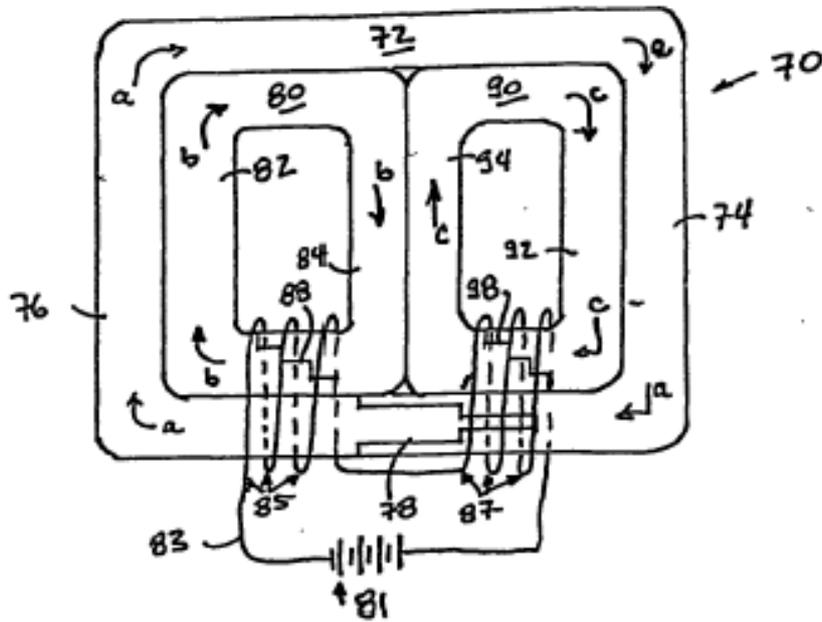


Fig. 6

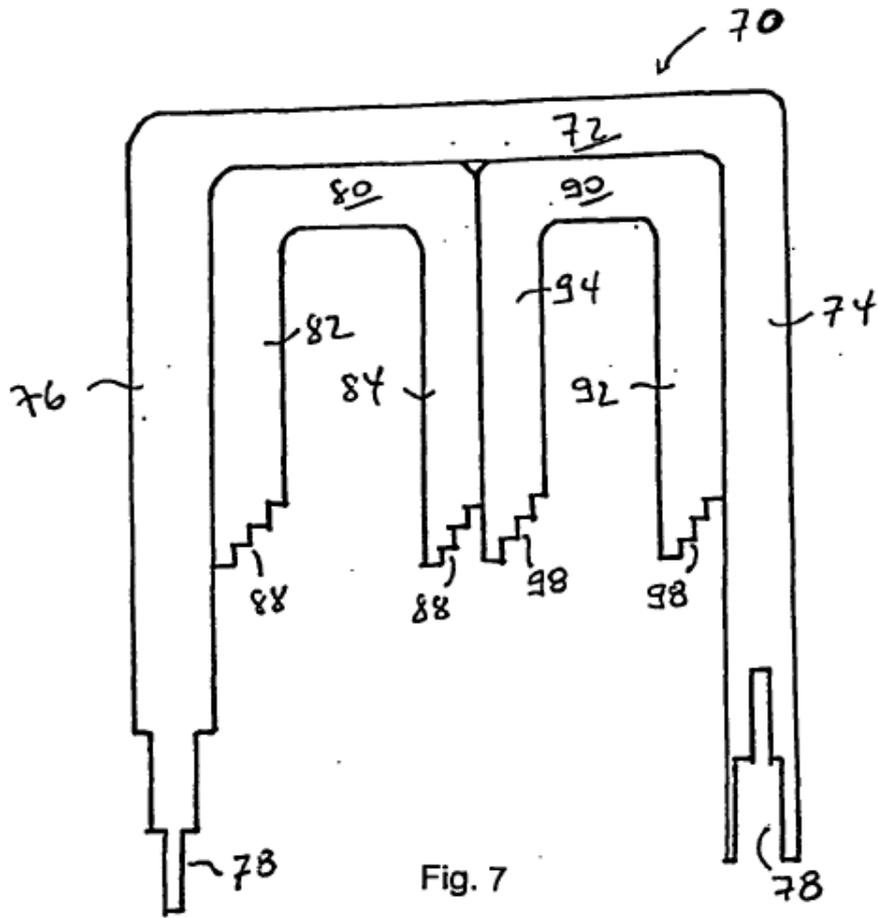


Fig. 7

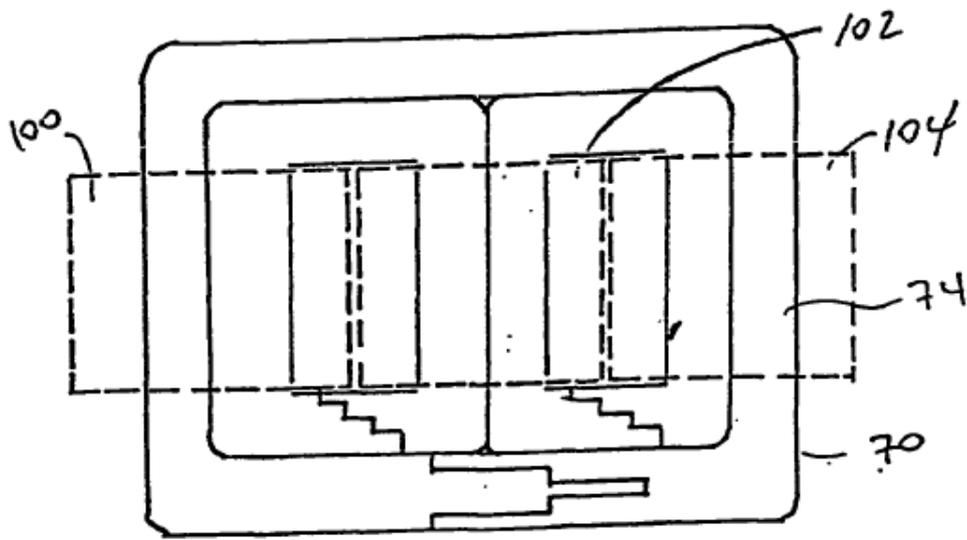


Fig. 8

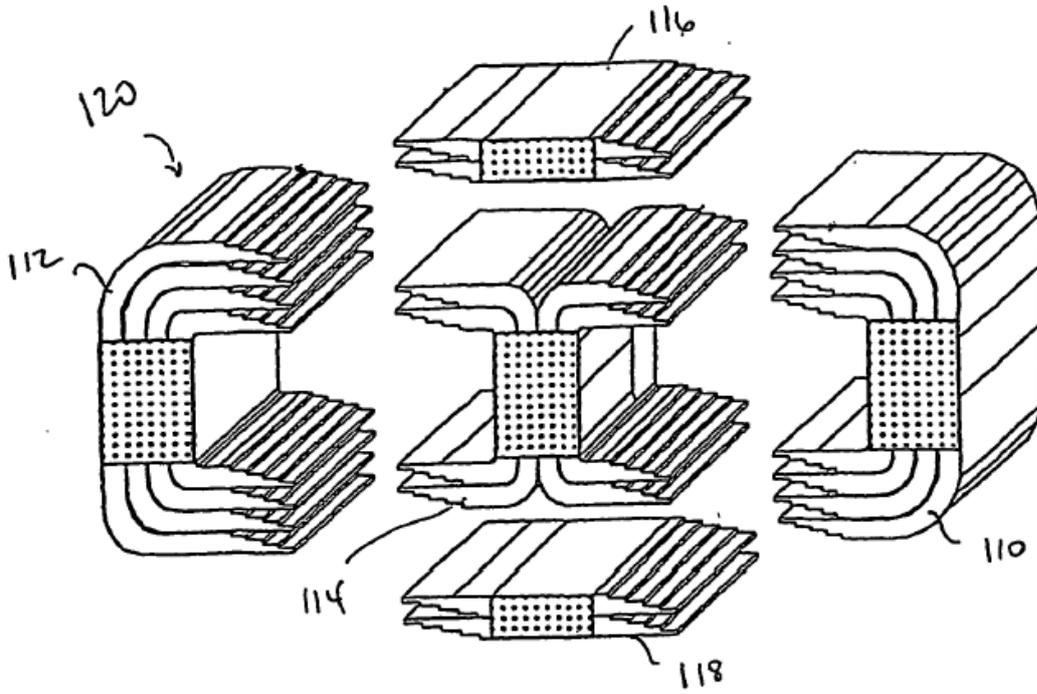


Fig. 9

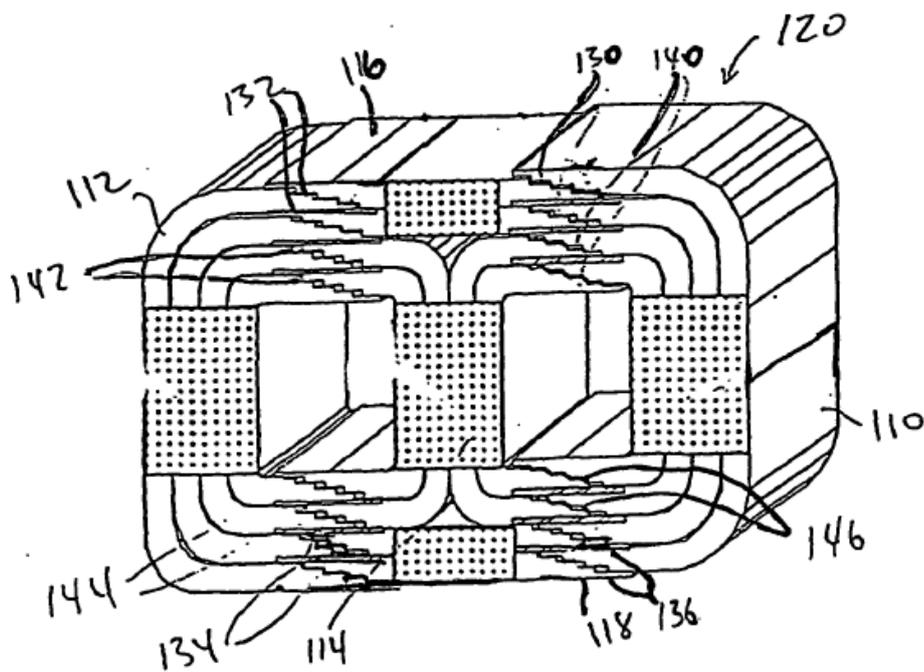


Fig. 10

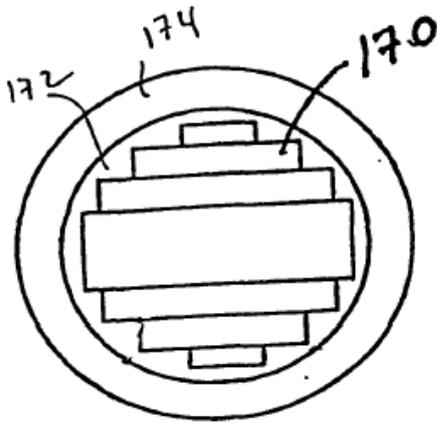


Fig. 12

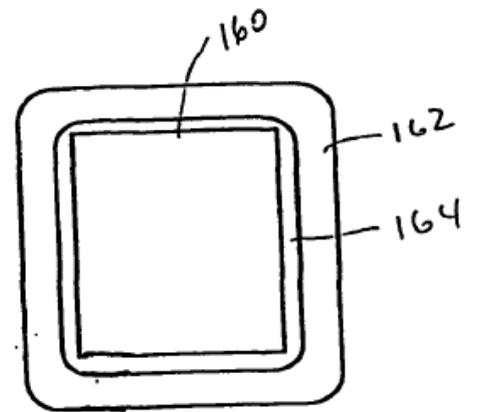


Fig. 11

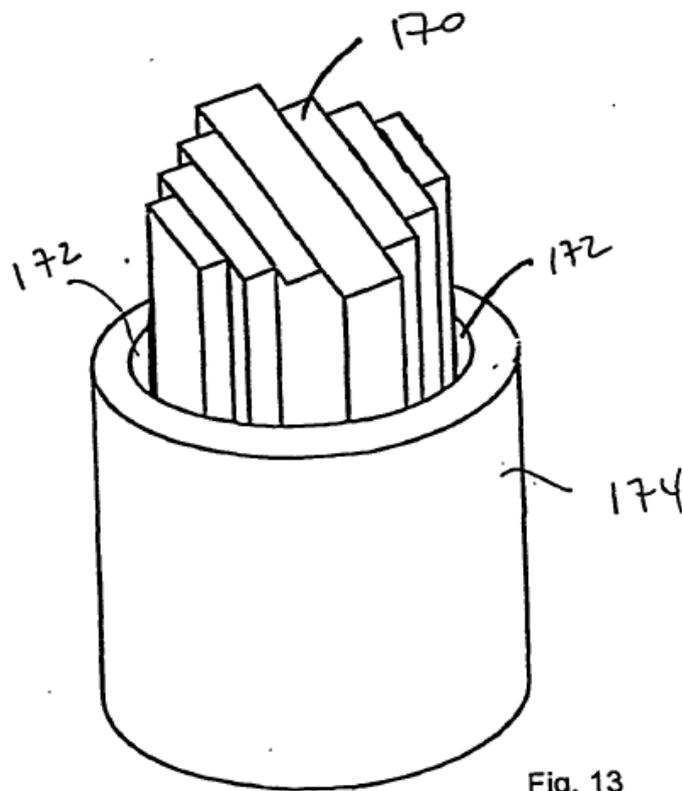


Fig. 13