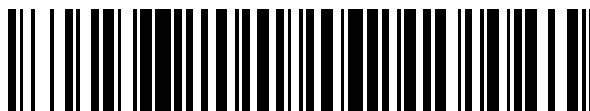


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 123**

51 Int. Cl.:

**H02K 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.09.2008 E 08803852 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.10.2014 EP 2193591**

54 Título: **Núcleo magnético y uso de núcleo magnético para máquinas eléctricas**

30 Prioridad:

**07.09.2007 DE 102007042619**

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

**04.02.2015**

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP ELECTRICAL STEEL GMBH  
(100.0%)**

**KURT-SCHUMACHER-STRASSE 95  
45881 GELSENKIRCHEN, DE**

72 Inventor/es:

**BRUDNY, JEAN, FRANÇOIS;  
CASSORET, BERTRAND;  
LEMAÎTRE, RÉGIS y  
VINCENT, JEAN-NOËL**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 528 123 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

Núcleo magnético y uso de núcleo magnético para máquinas eléctricas

- 5 La presente invención se refiere a un núcleo magnético que comprende una pila de chapas de acero eléctrico con una dirección preferente conocida de permeabilidad. Además, se divulga una técnica de construcción para un núcleo magnético que comprende chapas de grano orientado con el fin de aumentar la eficiencia energética de máquinas eléctricas de corriente alterna cuyo núcleo magnético está sometido a un campo magnético variable.
- 10 Una amplia diversidad de máquinas eléctricas a menudo comprenden unos núcleos magnéticos (que se mencionan como "MC" en lo sucesivo en el presente documento) fabricados sustancialmente de acero eléctrico. Naturalmente, las propiedades del acero eléctrico que constituye sustancialmente el núcleo magnético tienen influencia sobre diversas propiedades de la máquina eléctrica. En particular para núcleos magnéticos, puede usarse acero eléctrico de grano orientado.
- 15 La microestructura del acero eléctrico de grano orientado (que se menciona como "GO" en lo sucesivo en el presente documento) que se muestra en la figura 1 (a), señala que los granos están alineados con su dirección cristalográfica  $\langle 001 \rangle$  en paralelo con respecto a la dirección de laminado (que se menciona como "RD" en lo sucesivo en el presente documento) y que la dirección transversal es paralela con respecto a una dirección cristalográfica  $\langle 110 \rangle$  del grano.
- 20 Un ángulo  $\alpha_1$  puede definirse como la diferencia entre la RD y la orientación  $\langle 001 \rangle$  de cada grano de la chapa. Este ángulo se representa de forma esquemática en la figura 1 (b). Cuanto más cerca está este de cero, mejores serán los comportamientos magnéticos si el flujo fluye a lo largo de la RD.
- 25 La figura 2 representa el comportamiento magnético de cristales individuales de acero que contienen un 3 % de silicio. La densidad de flujo magnético  $J$  en Tesla (T) se representa gráficamente frente a la intensidad de campo magnético  $H$  en kiloamperios por metro para tres orientaciones del cristal que se representan por sus índices de Miller:  $\langle 001 \rangle$  el eje fácil,  $\langle 111 \rangle$  el eje más difícil y  $\langle 110 \rangle$  un eje intermedio tal como se muestra de forma similar en P. Brissonneau "*Magnétisme et matériaux magnétiques*".
- 30 Si las bandas y chapas de GO de fabricación industrial se comportan como cristales individuales, puede encontrarse el eje fácil cerca de la RD. Por lo tanto, el eje difícil que se corresponde con el eje cristalográfico  $\langle 111 \rangle$ , que forma un ángulo de  $54,74^\circ$  con el eje  $\langle 001 \rangle$  para cristales cúbicos (véase la figura 3), debería encontrarse cerca de un ángulo de  $54,74^\circ$  con respecto a la RD.
- 35 El grado de GO ya se ha usado para máquinas eléctricas rotatorias de alta potencia (diámetro de estátor, más de 1 m) mediante el uso de chapas cortadas en diferentes sectores. La figura 4 presenta una parte del MC de una máquina de este tipo que usa este diseño. Puede aprovecharse la oportunidad de hacer estos segmentos con GO de tal modo que la RD esté prácticamente alineada con el eje de los dientes. Puede observarse que el flujo en los dientes, que están sometidos a la densidad de flujo magnético lo más alta, trabaja con un ángulo  $\alpha_2$ , ángulo que se define como el ángulo entre la dirección de la densidad de flujo magnético y la RD que se corresponde con la dirección dada por el índice de Miller  $\langle 001 \rangle$  de los granos de los dientes, cerca de  $0^\circ$ . Esto es diferente en el segmento de núcleo en el que  $\alpha_2$  es principalmente igual a  $90^\circ$  y con otras áreas, con un  $\alpha_2$  variable que se corresponde con un cambio en la orientación del flujo.
- 40 Con el fin de presentar el problema de este conjunto, se considera un MC con forma de toroide hecho con GO. Este toroide, que se presenta en la figura 5, se excita mediante un conjunto de bobina tal como se muestra en esta figura. Este MC se somete a un campo magnético unidireccional cuya peculiaridad es que  $\alpha$  varía de forma continua.
- 50 Unidireccional se refiere, en este contexto, a un campo cuya orientación, queriendo indicar o bien en el sentido de las agujas del reloj o bien en el sentido contrario al de las agujas del reloj, no cambia en el MC.
- 55 En una primera aproximación es posible, teniendo en cuenta la RD, caracterizar el núcleo magnético en 6 áreas que pueden asociarse en pares de dos tal como se muestra en la figura 6. En las áreas  $z_2$ , el ángulo  $\alpha_2$ , que se define una vez más como el ángulo entre la dirección de la densidad de flujo magnético y la RD que se corresponde con la dirección dada por el índice de Miller  $\langle 001 \rangle$  de los granos, puede considerarse como cero. Puede considerarse que este es igual a  $60^\circ$  para las áreas  $z_1$  y  $z_3$  (de acuerdo con la periodicidad espacial  $\alpha_2 = 120^\circ$  es similar a  $\alpha_2 = 60^\circ$ ). Debido a que las diferentes áreas cubren el mismo ángulo, la degradación del comportamiento energético será significativa simplemente debido a  $\alpha_2$  que ha de adoptar la totalidad de los valores posibles a lo largo de la totalidad de la trayectoria de flujo.
- 60 Con una disipación de energía aumentada debido a pérdidas, se verá disminuida la eficiencia energética de la máquina como un todo.
- 65 Por lo tanto, puede observarse que en el caso de un campo unidireccional y con un MC de tipo toroidal surgen muchos problemas.

La tendencia es la misma para campos de magnetización rotatorios de máquinas eléctricas rotatorias de corriente alterna tal como se ha evocado previamente.

5 La solicitud de patente de Japón JP 08223831 A divulga un núcleo magnético de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, que comprende una pila de chapas de acero eléctrico en la que la alineación de chapas individuales, y / o grupos de chapas, sucesivos, difiere en un ángulo de desplazamiento previamente determinado. La pila de chapas de acero eléctrico del núcleo magnético se hace de acero bidireccional.

10 La solicitud de patente europea EP 1 503 486 A1 divulga un núcleo magnético que comprende una pila de chapas de acero eléctrico en la que la alineación de chapas individuales, y / o grupos de chapas, sucesivos, difiere en un ángulo de desplazamiento previamente determinado. En este caso, la pila de chapas de acero eléctrico del núcleo magnético se hace de acero no orientado.

15 El problema que ha de solucionarse es el diseño de un núcleo magnético con un comportamiento energético mejor. Además, se dará un uso ventajoso de un núcleo magnético de este tipo.

20 El problema se soluciona de acuerdo con la invención con un núcleo magnético descrito con las características de la reivindicación 1 y con un uso descrito de un núcleo magnético que comprende las características de la reivindicación 6.

25 De acuerdo con la invención, se divulga un núcleo magnético que comprende una pila de chapas de acero eléctrico con una dirección preferente conocida de permeabilidad. En la pila, la dirección preferente de permeabilidad de chapas individuales sucesivas difiere en un ángulo de desplazamiento previamente determinado. Además o como alternativa, la dirección preferente de permeabilidad de grupos de chapas sucesivos en la pila difiere en un ángulo de desplazamiento previamente determinado.

30 Además, de acuerdo con la invención se describe un núcleo magnético que comprende una pila de chapas de acero eléctrico con una dirección preferente conocida de permeabilidad como un estátor y adicionalmente o como alternativa como un rotor de una máquina rotatoria eléctrica, en el que en la pila, la dirección preferente de permeabilidad de chapas individuales sucesivas difiere en un ángulo de desplazamiento previamente determinado y además o como alternativa, la dirección preferente de permeabilidad de grupos de chapas sucesivos difiere en un ángulo de desplazamiento previamente determinado.

35 Además, se describe un método de montaje de un núcleo magnético para una máquina rotatoria eléctrica que comprende apilar chapas de acero eléctrico con una dirección preferente conocida de permeabilidad. La dirección preferente de permeabilidad de chapas individuales sucesivas en la pila difiere en un ángulo de desplazamiento previamente determinado. Además o como alternativa, la dirección preferente de permeabilidad de grupos de chapas sucesivos en la pila difiere en un ángulo de desplazamiento previamente determinado.

40 Las chapas de acero pueden apilarse en cualquier dirección. Las chapas de acero apiladas pueden estar solapadas, o puede que no lo estén. Una dirección preferente de permeabilidad puede ser la dirección en la que la permeabilidad presenta un máximo relativo. La dirección preferente de permeabilidad puede encontrarse con un ángulo espacial en relación con la dirección de laminado de la chapa de acero. Cada grupo de chapas puede comprender el mismo número de chapas individuales. Cada grupo de chapas también puede comprender un número variable de desplazamientos individuales.

50 La diferencia en la dirección preferente de permeabilidad en un ángulo de desplazamiento previamente determinado entre chapas individuales sucesivas y, además o como alternativa, entre grupos de chapas sucesivos, permite que el flujo "salte" de chapa a chapa de acuerdo con el principio de menor reluctancia magnética para conseguir una magnetización más alta a lo largo de la trayectoria de flujo.

55 De acuerdo con la invención, el ángulo de desplazamiento se encuentra entre 50° y 70°, en particular entre 55° y 65°, en especial cerca de 60°. Esto tiene el efecto técnico de tener un mínimo relativo de permeabilidad relativa de una chapa individual o de un grupo de chapas junto a un máximo relativo de permeabilidad relativa de una chapa individual sucesiva o grupo de chapas, permitiendo de este modo que el flujo fluya de forma continua a través de regiones con alta permeabilidad relativa.

En lo sucesivo se dan realizaciones ventajosas de este núcleo.

60 De acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención, la pila de chapas de acero eléctrico del núcleo magnético se hace de chapas de acero eléctrico de grano orientado. Esto tiene el efecto técnico de permitir fácilmente la fabricación de chapas de acero eléctrico que tienen una dirección preferente de permeabilidad.

65 En una realización a modo de ejemplo de la invención, el ángulo de desplazamiento es el mismo para cada par de chapas individuales sucesivas o grupo de chapas sucesivo. Hacer que el ángulo de desplazamiento sea el mismo para cada par de chapas individuales sucesivas o grupo de chapas sucesivo tiene el efecto técnico de proporcionar

una distribución simétrica de la magnetización y, por lo tanto, de eficiencia local a lo largo de la trayectoria del flujo magnético.

5 De acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención, la dirección preferente de permeabilidad en las chapas de acero eléctrico es esencialmente paralela con respecto a la dirección de laminado de la chapa de acero respectiva. Esto tiene el efecto técnico de permitir la determinación sencilla de la dirección preferente de permeabilidad sobre la base de los parámetros del proceso de fabricación.

10 De acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención, las chapas de acero individuales tienen un espesor en el intervalo de 500 micrómetros a 230 micrómetros. Esto tiene el efecto técnico de reducir la disipación de energía debido a corrientes parásitas.

15 En una realización a modo de ejemplo de la invención, las chapas individuales tienen una densidad de flujo magnético  $B_{800A/m}$  mayor que 1,85 Tesla cuando se exponen a una intensidad de campo magnético de 800 amperios por metro. Esto tiene el efecto técnico de asegurar una densidad de flujo de saturación alta y reducir de este modo las pérdidas por disipación en el núcleo magnético.

20 De acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención, se describe el uso de un núcleo magnético en el que el ángulo entre dos dientes sucesivos del estátor es un divisor entero del ángulo de desplazamiento. Esto tiene el efecto técnico de asegurar un flujo magnético óptimo para cada diente y, por lo tanto, una eficiencia energética mejorada del estátor como un todo.

25 En una realización a modo de ejemplo de la invención, se describe el uso de un núcleo magnético para la construcción de un transformador. Esto tiene el efecto técnico de mejorar la eficiencia del transformador.

30 De acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención, se describe un método de montaje de un núcleo magnético para una máquina rotatoria eléctrica que comprende marcar la dirección de laminado de las chapas de acero eléctrico, estampando o cortando con láser las chapas de acero eléctrico. El ángulo de desplazamiento previamente determinado entre la dirección preferente de permeabilidad de chapas individuales sucesivas o de grupos de chapas sucesivos se encuentra cerca del ángulo entre la dirección de laminado y la dirección que se corresponde con el índice de Miller  $\langle 111 \rangle$  del eje cristalográfico, cuyo ángulo presenta un ángulo de 54,74 grados con respecto al eje  $\langle 001 \rangle$  para cristales cúbicos. Esto tiene el efecto técnico de posibilitar una orientación más sencilla de las chapas de acero eléctrico durante el montaje del núcleo magnético.

35 La figura 1 es una ilustración de la microestructura de una chapa de acero eléctrico de GO a modo de ejemplo;

la figura 2 es una ilustración a modo de ejemplo de la variación de la densidad de flujo magnético frente a la intensidad de campo magnético de un cristal individual de acero que contiene un 3 % de silicio;

40 la figura 3 es una ilustración de la relación entre ángulos y ejes cristalográficos de un cristal cúbico a modo de ejemplo;

la figura 4 es una ilustración de una máquina eléctrica rotatoria a modo de ejemplo que usa chapas cortadas en diferentes sectores de acuerdo con la técnica anterior;

45 la figura 5 es una ilustración de un MC con forma de toroide con GO y excitado mediante una bobina de acuerdo con la técnica anterior;

50 la figura 6 es una ilustración de una sección transversal de un MC con GO y un flujo magnético de acuerdo con la técnica anterior;

la figura 7 es una ilustración de bandas de Epstein cortadas a partir de GO con diversos ángulos con respecto a la RD;

55 la figura 8 es una ilustración de la densidad de flujo magnético frente a la intensidad de campo magnético impuesto para las bandas de Epstein;

la figura 9 es una ilustración de la variación de la densidad de flujo magnético de saturación con el ángulo entre la dirección del campo magnético y la dirección de laminado;

60 la figura 10 es una ilustración de la variación de la permeabilidad relativa máxima con el ángulo entre la dirección del campo magnético y la dirección de laminado;

65 la figura 11 es una ilustración de la variación de las pérdidas por disipación de potencia en el hierro con la densidad de flujo magnético para diversos ángulos entre la dirección del campo magnético y la dirección de laminado;

- la figura 12 es una ilustración de una pila no desplazada a modo de ejemplo de chapas de GO que se corresponden con un conjunto de GO 00° de acuerdo con la técnica anterior;
- 5 la figura 13 es una ilustración de una pila de chapas de GO que están desplazadas con un ángulo de 60° entre dos chapas de GO sucesivas de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención;
- la figura 14 es una ilustración de la variación de las componentes de corriente de magnetización con la tensión aplicada para una pila no desplazada a modo de ejemplo de chapas de GO y una pila desplazada de chapas de GO de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención;
- 10 la figura 15 es una ilustración de la variación de la densidad de flujo magnético con la tensión aplicada para una pila no desplazada a modo de ejemplo de chapas de GO y una pila desplazada de chapas de GO de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención;
- 15 la figura 16 es una ilustración de la variación de las pérdidas por disipación de potencia en el hierro con la tensión aplicada para una pila no desplazada a modo de ejemplo de chapas de GO y una pila desplazada de chapas de GO de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención;
- 20 la figura 17 es una ilustración de la variación de las componentes de corriente de magnetización con la tensión aplicada para pilas a modo de ejemplo de chapas de NO, para una pila no desplazada a modo de ejemplo de chapas de GO y una pila desplazada de chapas de GO de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención;
- 25 la figura 18 es una ilustración de la variación de las pérdidas por disipación de potencia en el hierro con la tensión aplicada para pilas a modo de ejemplo de chapas de NO, para una pila no desplazada a modo de ejemplo de chapas de GO y una pila desplazada de chapas de GO de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención;
- 30 la figura 19 es una ilustración de las corrientes de magnetización para pilas a modo de ejemplo de chapas de NO, para una pila no desplazada a modo de ejemplo de chapas de GO y una pila desplazada de chapas de GO de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención;
- 35 la figura 20 es una ilustración de pérdidas por disipación de potencia en el hierro para pilas a modo de ejemplo de chapas de NO, para una pila no desplazada a modo de ejemplo de chapas de GO y una pila desplazada de chapas de GO de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención;
- 40 la figura 21 es una ilustración de los fasores temporales de la corriente de magnetización para una pila no desplazada a modo de ejemplo de chapas de GO y una pila desplazada de chapas de GO de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención.
- 45 Con el fin de verificar si las bandas y chapas de GO reales son representativas del comportamiento magnético de cristales individuales, se han realizado experimentos sobre bandas de Epstein cortadas con diversos ángulos  $\alpha_3$  con respecto a la RD tal como se muestra en la figura 7. El grado de material de GO que se usa es el Powercore C 140-35, este se ha sometido a prueba a 50 Hz en un cuadro de Epstein. El proceso operativo consiste en una desmagnetización del MC hecho con estas bandas seguido por una secuencia de ciclos producida por un intervalo de intensidad de campo magnético variable que se eleva hasta el campo máximo de 800 A / m. Permítase hacer notar que en las bandas de Epstein, el flujo fluye principalmente a lo largo de  $\alpha_3$ .
- 50 En la figura 8, el valor de densidad de flujo magnético B máximo en Tesla se representa gráficamente frente a la intensidad de campo magnético H máxima variable. Los valores de B y de H se deducen a partir de cada ciclo de B (H).
- 55 Los resultados para los ángulos  $\alpha_3$  entre la dirección del campo magnético y la dirección de laminado de 0°, 55° y 90° muestran unas formas similares a las que se presentan en la figura 2:
- $\alpha_3 = 0^\circ$  es similar a la dirección cristalográfica  $\langle 001 \rangle$ ,
  - $\alpha_3 = 90^\circ$  es similar a la dirección cristalográfica  $\langle 110 \rangle$ ,
  - $\alpha_3 = 55^\circ$  es similar a la dirección cristalográfica  $\langle 111 \rangle$ .
- 60 Por lo tanto, la anisotropía cristalina magnética del material de GO es similar a la del cristal individual de acero que contiene un 3 % de silicio.
- 65 Para  $\alpha_3 = 0^\circ$ , que se corresponde con que la dirección del campo magnético y la RD sean paralelas, estos comportamientos resultan de:
- un nivel de densidad de flujo magnético de saturación  $B_{\text{sat}}$  alto,

- una permeabilidad relativa máxima  $\mu_{r\text{máx}}$  muy alta.

La permeabilidad relativa  $\mu_r$  se deduce a partir de la representación gráfica de la densidad de flujo magnético máxima  $B_{\text{máx}}$  ( $H_{\text{máx}}$ ) y  $\mu_{r\text{máx}}$  es el valor más alto de la permeabilidad relativa  $\mu_r$  de la representación gráfica frente a la intensidad de campo magnético  $H_{\text{máx}}$  máxima.

La totalidad de estos comportamientos se degradan a medida que  $\alpha_3$  se desvía con respecto a cero, tal como puede verse en las figuras 9 a 11 que presentan:

- 10 - las variaciones de la densidad de flujo magnético de saturación  $B_{\text{sat}}$  (T) con  $\alpha_3$  (la figura 9)
  - las variaciones de la permeabilidad relativa máxima  $\mu_{r\text{máx}}$  con  $\alpha_3$  (la figura 10)
  - las variaciones de las pérdidas por disipación de potencia en el hierro (W / kg) con la densidad de flujo magnético B (T) para diversos  $\alpha_3$  (la figura 11).
- 15 Las pérdidas por disipación de potencia en el hierro reducidas que se obtienen para  $\alpha_3 = 0$  resultan de un ciclo de histéresis muy fino.

El caso más crítico se corresponde con  $\alpha_3 = 55^\circ$ . Este ángulo encaja bastante bien con  $54,74^\circ$  el ángulo entre el eje difícil  $\langle 111 \rangle$ , que se corresponde con la dirección de menor permeabilidad relativa, y el eje  $\langle 001 \rangle$  en un cristal individual, que se corresponde con la RD. Por lo tanto, estos comportamientos pueden usarse para construir un MC hecho de una pila de chapas de GO teniendo en cuenta la anisotropía cristalina magnética.

Un toroide está constituido de chapas circulares amontonadas para crear un MC dedicado a recibir una bobina hecha de  $n = 5$  espiras (sección de hilo igual a  $1,5 \text{ mm}^2$ ). Estas chapas, eléctricamente aisladas, son de un diámetro D de 10 cm y están perforadas en paralelo con respecto a su eje con un diámetro d de 1,6 cm.

El MC está fijado entre dos mordazas en cada extremo. Su longitud L es igual a 6,7 cm para cada conjunto sometido a prueba. Por lo tanto, puede suponerse que el esfuerzo que comprime el conjunto es el mismo para cada prototipo.

30 Se han sometido a prueba y comparado dos casos de montaje diferentes: una pila no desplazada de chapas de GO (Conjunto de GO  $00^\circ$ ) tal como se muestra en la figura 12, y una pila de chapas de GO (véase la figura 13) que están desplazadas con un ángulo igual a  $60^\circ$  entre dos chapas sucesivas (Conjunto de GO  $60^\circ$ ).

35 Se realizaron experimentos usando el prototipo que se presenta en la figura 5. Cada MC se construyó con 200 chapas de GO de un espesor de 0,35 mm estampadas en el grado de acero eléctrico Powercore C 140-35. El objetivo es comparar los comportamientos de los conjuntos de GO  $60^\circ$  y de GO  $00^\circ$ :

- Las curvas en la figura 14 dan las variaciones de las componentes  $I_\mu$  de corriente de magnetización  $I_{\mu a}$  activa e  $I_{\mu r}$  reactiva con la tensión aplicada V para ambas configuraciones descritas. Puede observarse que el conjunto de GO  $60^\circ$  necesita unas componentes de corriente más bajas, en especial en lo que respecta a  $I_{\mu r}$ , para una V dada y en consecuencia, de forma aproximada, para una densidad de flujo magnético B dada.

- Las variaciones deducidas de la densidad de flujo magnético B con V para ambas configuraciones, cuando V varía de 0 a 5 V, muestran que las características están prácticamente fusionadas y que estas evolucionan de forma lineal de 0 T para V = 0 V a 1,556 T para V = 5 V para el conjunto de GO  $00^\circ$  (1,572 T para el conjunto de GO  $60^\circ$ ). La figura 15 que presenta un zoom de la densidad de flujo magnético B (V) en la proximidades de V = 2 V, resalta que el conjunto de GO  $60^\circ$  exhibe, para una V dada, una densidad de flujo magnético B más alta a pesar de que la componente de corriente de magnetización reactiva es más baja (esta peculiaridad se debe principalmente a la caída de tensión resistiva de la bobina que es más baja para el conjunto de GO  $60^\circ$ ). El cálculo de la permeabilidad relativa  $\mu_r$  efectiva para V = 4,5 V da:  $\mu_r = 2680$  para el conjunto de GO  $00^\circ$ ,  $\mu_r = 18810$  para el conjunto de GO  $60^\circ$ , que es una diferencia interesante. Haciendo referencia otra vez a la figura 10, puede verse que 18810 se encuentra cerca del valor de permeabilidad relativa media 20000 que se obtiene a partir de  $\alpha_3 = 0^\circ$  y  $\alpha_3 = 55^\circ$ , respectivamente.

- La figura 16 presenta las variaciones de las pérdidas por disipación de potencia en el hierro  $P_\mu$  con  $V^2$ . Puede observarse que el conjunto de GO  $60^\circ$  conduce a unas pérdidas en el hierro más débiles. También puede verse que estas pérdidas evolucionan de una forma apreciablemente lineal como una función de  $V^2$  hasta  $V^2 = 20 \text{ VV}$  (V = 4,5 V). Este valor V = 4,5 V es consistente con las variaciones de  $I_{\mu a}$  que se presentan en la figura 14 (crecimiento más rápido de esta componente de corriente por encima de V = 4,5 V). Por lo tanto, puede concluirse que la saturación comienza a afectar notablemente al comportamiento de MC para V > 4,5 V (B > 1,42 T). Puede observarse que el nivel de saturación de la densidad de flujo magnético se corresponde aproximadamente con el valor medio de las cantidades que pueden deducirse a partir de las curvas B (H) que se presentan en la figura 8 respectivamente para  $\alpha_3 = 0^\circ$  y  $55^\circ$ .

65 Estas consideraciones elementales muestran bien que el flujo magnético atraviesa o salta, por así decirlo, de una chapa a la siguiente siguiendo la trayectoria de la menor reluctancia magnética. Esta peculiaridad conduce, para una

configuración de GO 60º en comparación con la configuración alineada (GO 00º), a menos pérdidas por disipación de potencia en el hierro y una corriente de magnetización más baja bajo la misma tensión de suministro, lo que conduce de forma indirecta a menos pérdidas en el cobre en la resistencia de la bobina.

5 En estas condiciones, también parece que la densidad de flujo magnético de pico, para una V dada, es más alta para las GO 60º que para las GO 00º. Desde un punto de vista económico, los costes de la mano de obra son más altos debido al cuidado que se necesita para montar las chapas desplazadas de GO 60º. No obstante, las ganancias sobre las pérdidas por disipación de potencia (hierro + cobre) para una B dada vuelven esta tecnología rentable al tener en cuenta el aumento de la eficiencia energética en dispositivos eléctricos. Habiendo mostrado los buenos  
10 comportamientos de la configuración de GO 60º en comparación con la configuración alineada GO 00º, se realizará una comparación usando chapas no orientadas (que se mencionan como "NO" en lo sucesivo en el presente documento).

Las GO son las que se citan del párrafo previo. En lo que respecta a las NO, existen 2 grados:

- 15
- TO 400-50AP (pérdida por disipación de potencia en el hierro de 4 W / kg a 50 Hz y 1,5 T, espesor: 0,5 mm)
  - TO H-M 600-50 (pérdida por disipación de potencia en el hierro de 6 W / kg a 50 Hz y 1,5 T, espesor: 0,5 mm)

Las NO se superpondrán sin precaución especial alguna (montaje suelto). Los dispositivos que se montan de esa  
20 forma se marcarán con las referencias NO 400-50 y NO 600-50.

Permítase señalar que, con el fin de tener el mismo volumen de hierro, el MC que usa NO se hará de 140 chapas.

Las curvas de la figura 17 dan las variaciones de la corriente  $i_\mu$  con V. Las de la figura 18 presentan las variaciones  
25 de las pérdidas por disipación de potencia en el hierro  $P_\mu$  con V. Estas pérdidas por disipación de potencia en el hierro incluyen pérdidas por corrientes parásitas y pérdidas por histéresis. Es bastante difícil extraer una conclusión a partir de estas curvas que muestran que las NO de 0,5 mm de espesor presentan más pérdidas que las GO de un espesor de 0,35 mm debido a que se sabe que las pérdidas por corrientes parásitas son una función del cuadrado del espesor de chapa. Por lo tanto, las pérdidas por corrientes parásitas son dos veces más bajas para las GO de un  
30 espesor de 0,35 mm que para las NO de 0,5 mm de espesor. Parece *a priori* lógico que las curvas en relación con un espesor de 0,35 mm sean más bajas que aquellas en relación con 0,5 mm.

Con el fin de realizar una comparación adecuada, es aconsejable cambiar de forma teórica de unas curvas de 0,5  
35 mm NO a las pérdidas por disipación de potencia en chapas de la misma constitución metalúrgica pero de un espesor de 0,35 mm manteniendo el mismo volumen de hierro. Para hacer este cambio, solo ha de consultarse la literatura en la que se menciona que para las NO, a 50 Hz, las pérdidas por corrientes parásitas representan solo 1 / 8 de las pérdidas en el hierro totales. Por lo tanto, es simple corregir las curvas que se obtienen a partir de NO con un espesor de 0,5 mm. Si se considera un caso menos favorable (unas pérdidas por corrientes parásitas iguales a 1 / 5 de las pérdidas totales) se obtienen unas curvas corregidas que dan las variaciones de las pérdidas por  
40 disipación de potencia  $P'_\mu$  con V identificadas NO 400-35 y NO 600-35 (véase la figura 18). Obsérvese que  $P'_\mu$  se obtiene a partir de  $P_\mu$  mediante el uso de la relación:

$$P'_\mu = P_\mu \left[ \frac{4}{5} + \frac{1}{5} \left( \frac{0,35}{0,50} \right)^2 \right]$$

45 Considerando la observación realizada acerca de la contribución de las pérdidas por corrientes parásitas, las curvas resultantes se encuentran muy cerca de las curvas originales.

Se observa que, para chapas del mismo espesor, las GO presentan unas pérdidas por disipación de potencia en el  
50 hierro mucho más bajas que las NO (relación cerca de 2 para las NO 400-35), cualquiera que sea la técnica de montaje.

Las pérdidas por disipación de potencia en el hierro para las GO 60º no son mucho más bajas que para las GO 00º en la escala de las pérdidas por disipación de potencia en el hierro de NO.

55 De hecho, la ventaja causada por el desplazamiento se muestra con mucha más claridad sobre las corrientes de magnetización (las curvas en la figura 17).

Los diagramas en las figuras 19 y 20 dados para V = 3 V (B aproximadamente 1 T, lo que comporta que algunas  
60 partes del MC están sometidas a unas densidades de flujo magnético mucho más altas, notablemente para las GO) ilustran esta propiedad (las corrientes  $I'_\mu$  para las configuraciones NO 400-35 y NO 600-35 se deducen a partir de los valores de  $I_\mu$  teniendo en cuenta las correcciones sobre las pérdidas por disipación de potencia en el hierro, los valores corregidos se encuentran muy cerca de los iniciales). Cuando el MC alcanza unos niveles de saturación

importantes, esta propiedad de las corrientes desaparece (consúltese la figura 17), manteniendo sin embargo unos comportamientos muy satisfactorios sobre las pérdidas por disipación de potencia en el hierro.

5 El diagrama en la figura 21 presenta, para  $V = 3\text{ V}$ , los fasores temporales  $I_{\mu}$  de las corrientes de magnetización para las configuraciones GO  $00^{\circ}$  y GO  $60^{\circ}$ . Se observa que para las GO  $60^{\circ}$ , esta corriente no solo disminuye, sino que también el factor de potencia  $\cos(\varphi_{\mu})$  se mejora por una reducción del ángulo  $\varphi_{\mu}$  entre  $I_{\mu}$  y su componente activa  $I_{\mu a}$ . Esto da como resultado adicionalmente una reducción de la caída de tensión en la red inducida por la corriente de magnetización.

10 En conclusión, es interesante usar GO para hacer el MC debido a que las pérdidas en el hierro y las corrientes de magnetización se disminuyen de forma significativa.

15 Un conjunto de GO  $60^{\circ}$  conduce a unas pérdidas por disipación de potencia en el hierro más bajas en comparación con el conjunto alineado GO  $00^{\circ}$  al reducir de forma significativa la corriente de magnetización. Esta reducción actúa principalmente sobre la componente  $I_{\mu r}$ , lo que puede traducirse como:  $\mu_r \text{ GO } 60^{\circ} \gg \mu_r \text{ GO } 00^{\circ}$ . Esta notable reducción de  $I_{\mu r}$  conduce a una mejora significativa del factor de potencia incluso en el caso de unas densidades de flujo magnético altas en el MC. El doble efecto de la reducción de corriente y el aumento del factor de potencia tiene un efecto muy beneficioso sobre las caídas de tensión de suministro de red, que representa una participación económica significativa. Es aconsejable advertir que el conjunto propuesto, que no precisa de cortes específicos, no requiere un coste adicional excesivo debido a la mano de obra; por lo tanto, este es perfectamente apropiado para la fabricación de máquinas eléctricas rotatorias de corriente alterna de baja potencia que cubren un dominio de aplicación muy grande.

20 Permitase hacer notar que debido a que este conjunto de GO  $60^{\circ}$  conduce a unos comportamientos interesantes para el dispositivo de tipo toroidal, otras alineaciones (todo tipo de ángulos de desplazamiento diferentes de cero) también son útiles para determinados dispositivos eléctricos, notablemente cuando la intención es responder a un efecto dado.

Abreviaturas:

30 GO: grano orientado  
RD: dirección de laminado  
MC: circuito magnético  
NO: no de grano orientado

35



**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Núcleo magnético que comprende una pila de chapas de acero eléctrico con una dirección preferente conocida de permeabilidad, en el que en la pila, la dirección preferente de permeabilidad de chapas individuales, y / o grupos de chapas, sucesivos, difiere en un ángulo de desplazamiento previamente determinado, en el que la pila de chapas de acero eléctrico del núcleo magnético se hace de chapas de acero eléctrico de grano orientado, **caracterizado por que** el ángulo de desplazamiento se encuentra entre 50° y 70°.
- 10 2. Núcleo magnético de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el ángulo de desplazamiento es el mismo para cada par de chapas individuales sucesivas o grupo de chapas sucesivo.
- 15 3. Núcleo magnético de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** la dirección preferente de permeabilidad de las chapas de acero eléctrico es esencialmente paralela con respecto a la dirección de laminado de la chapa de acero respectiva.
- 20 4. Núcleo magnético de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** las chapas de acero individuales tienen un espesor en el intervalo de 500 µm a 230 µm.
- 25 5. Núcleo magnético de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** las chapas individuales tienen una densidad de flujo magnético  $B_{800A/m}$  mayor de 1,85 Tesla cuando se exponen a una intensidad de campo magnético H de 800 amperios por metro.
6. Uso de un núcleo magnético de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 como estátor y / o rotor de una máquina rotatoria eléctrica.
7. Uso de un núcleo magnético de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** el ángulo entre dos dientes sucesivos del estátor es un divisor entero del ángulo de desplazamiento.

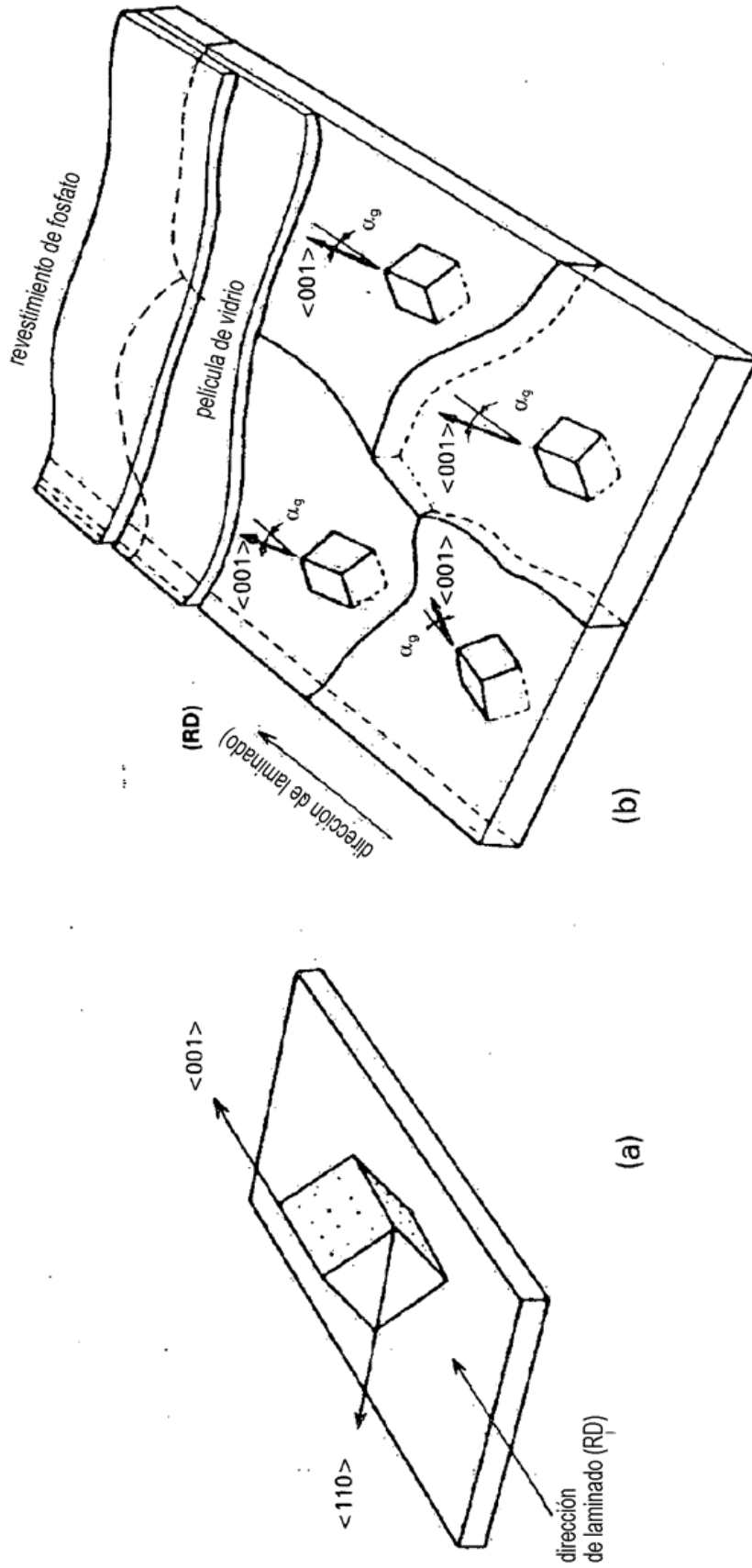


Fig. 1

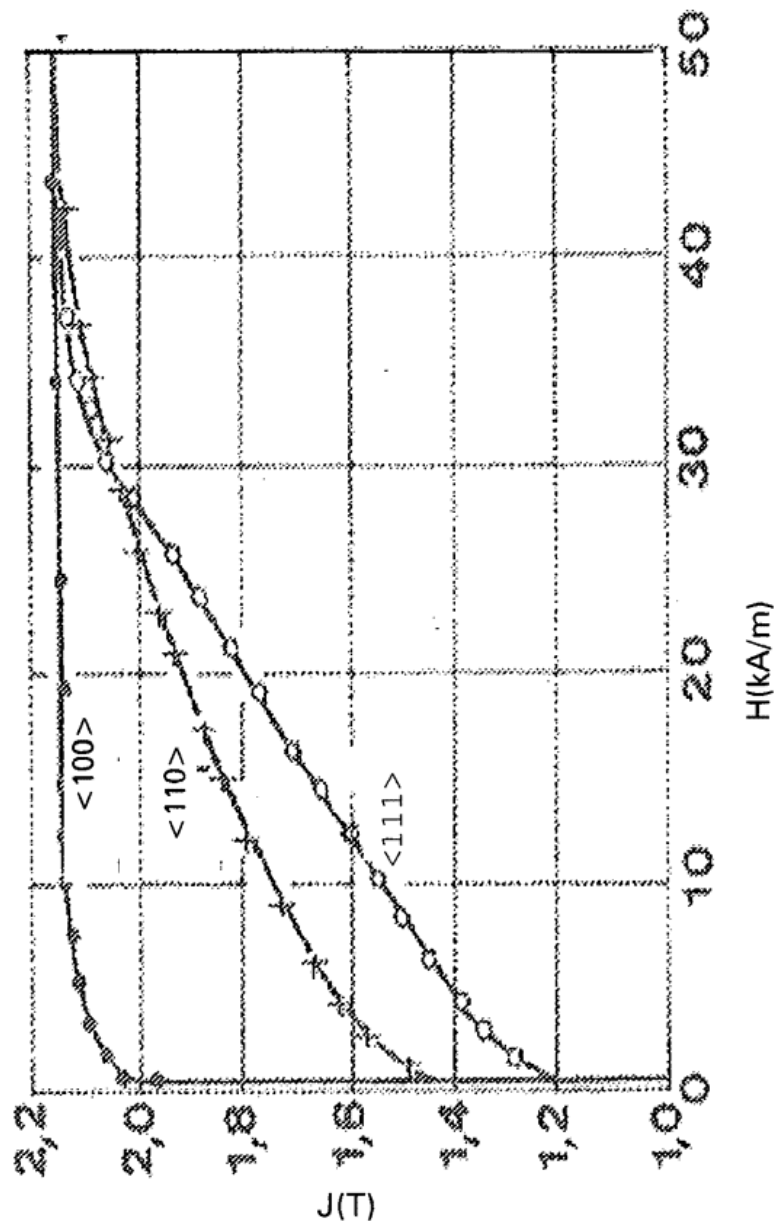


Fig. 2

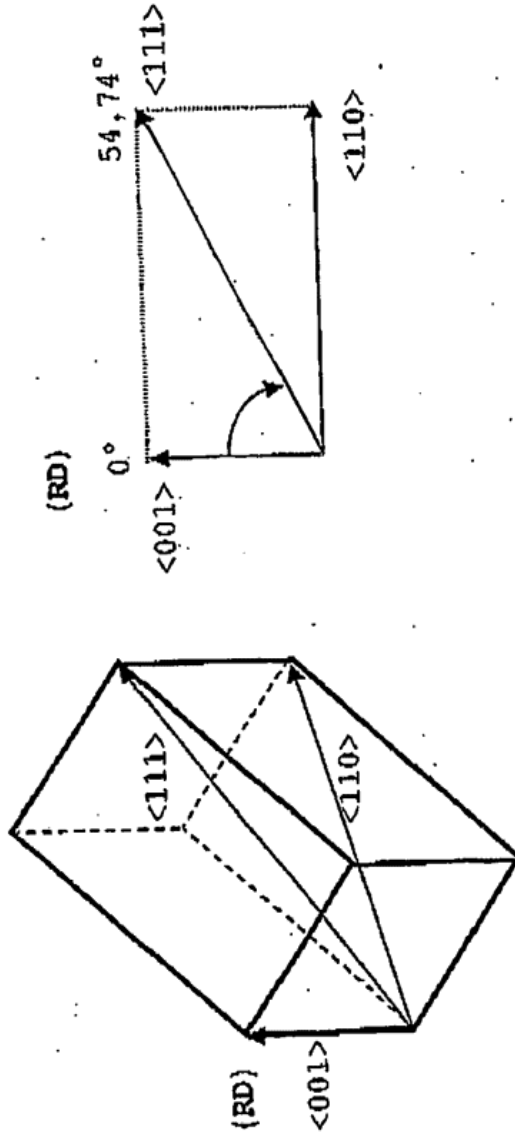


Fig. 3

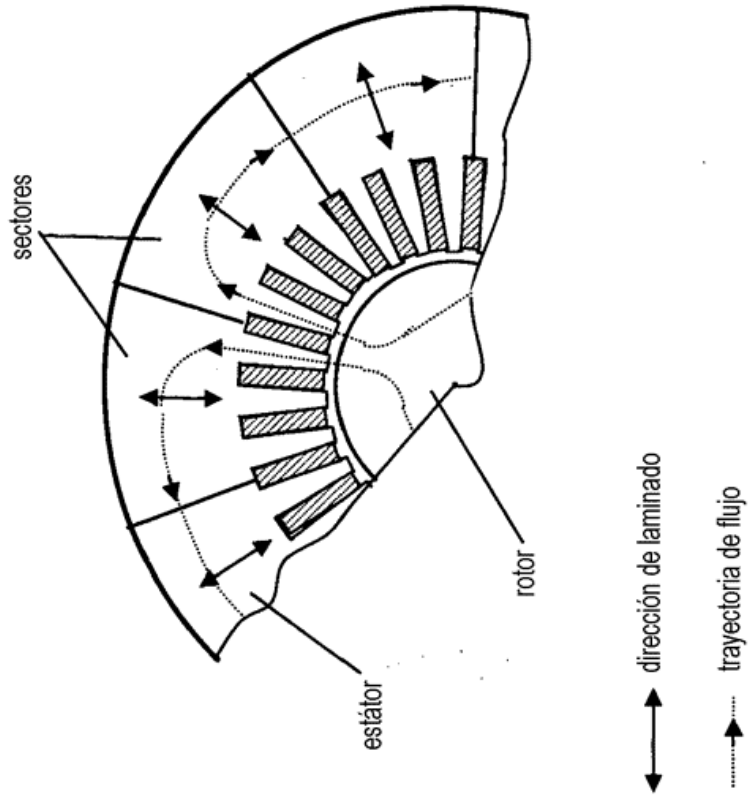


Fig. 4

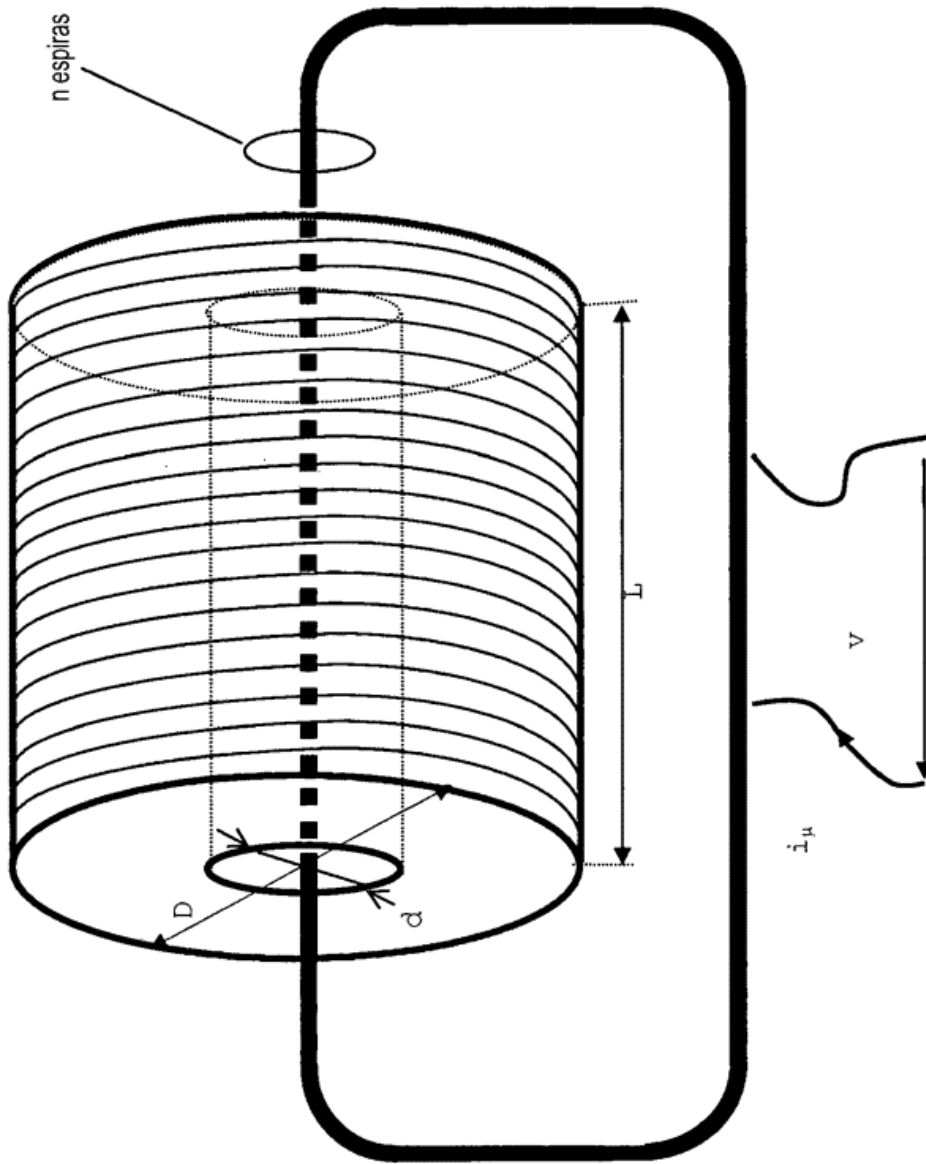


Fig. 5

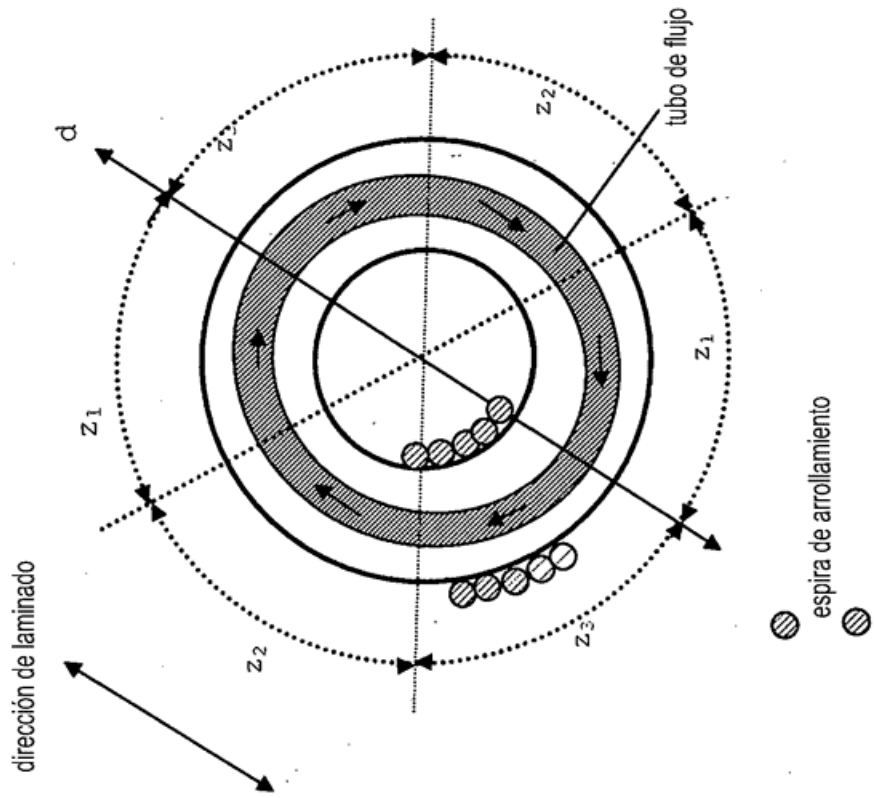


Fig. 6

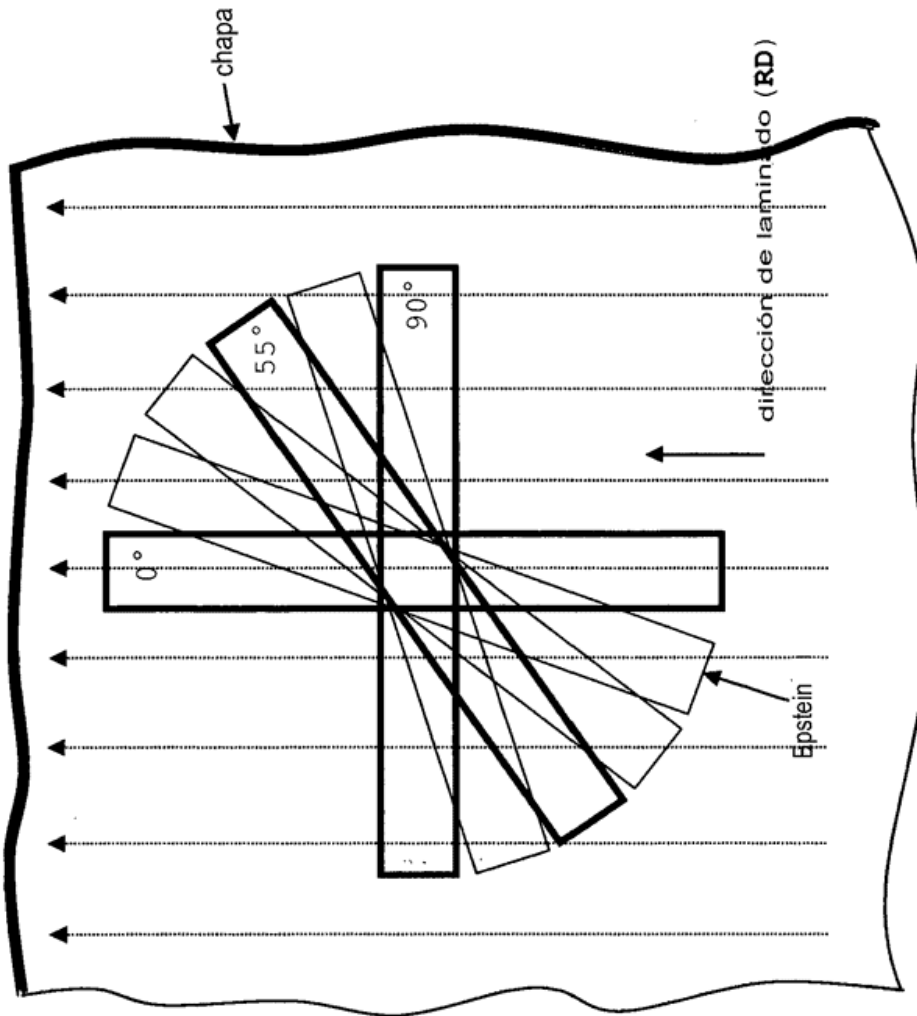


Fig. 7



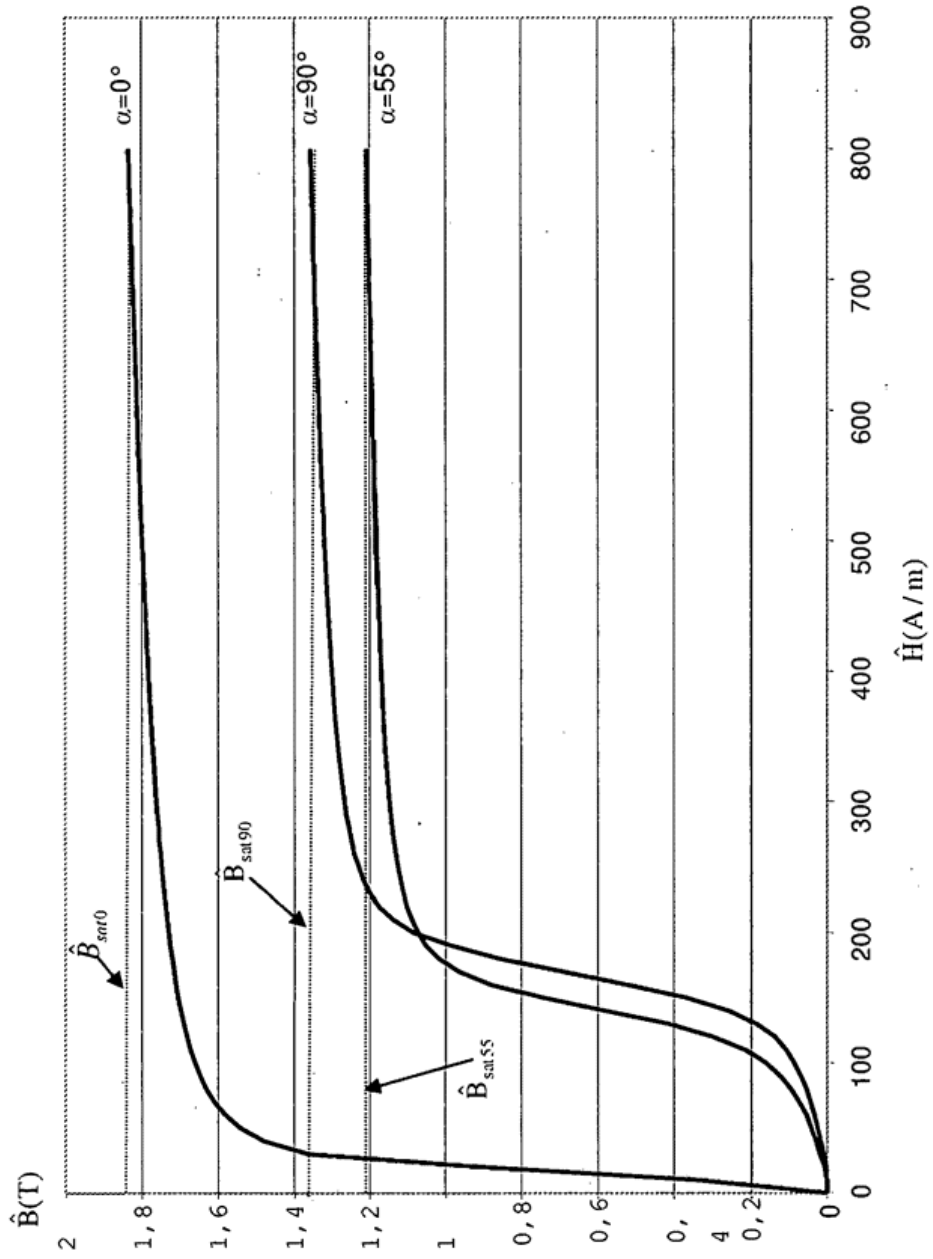


Fig. 8

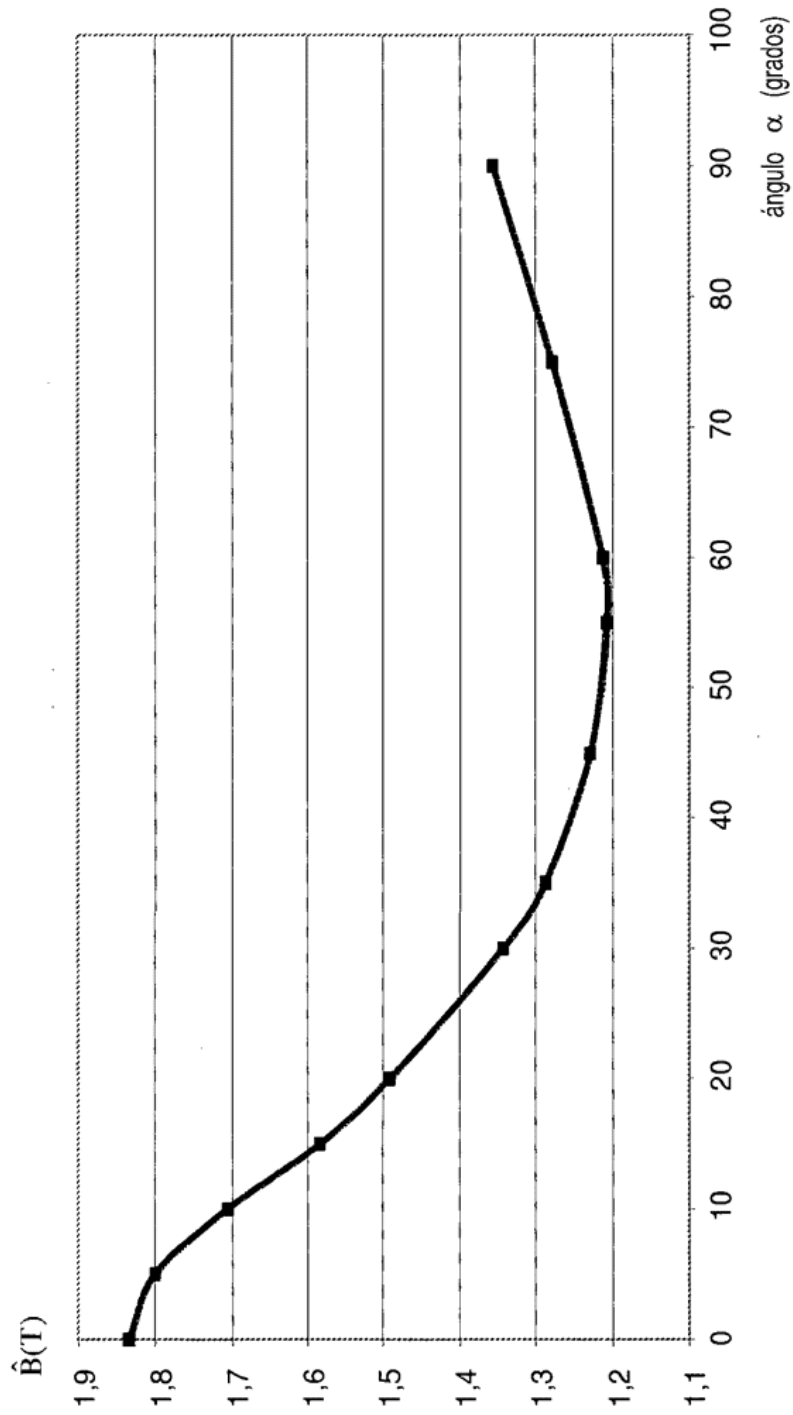


Fig. 9

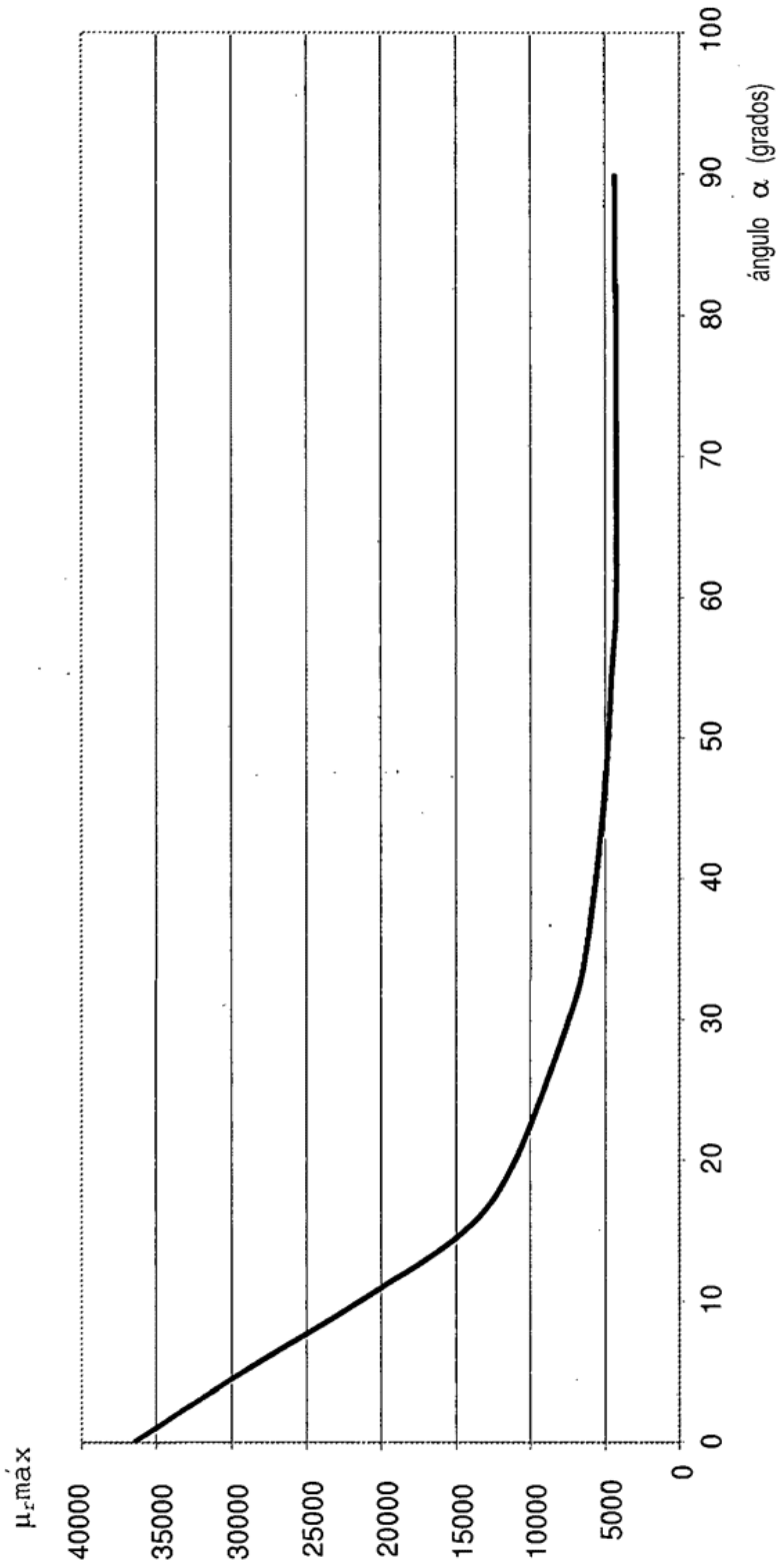


Fig. 10

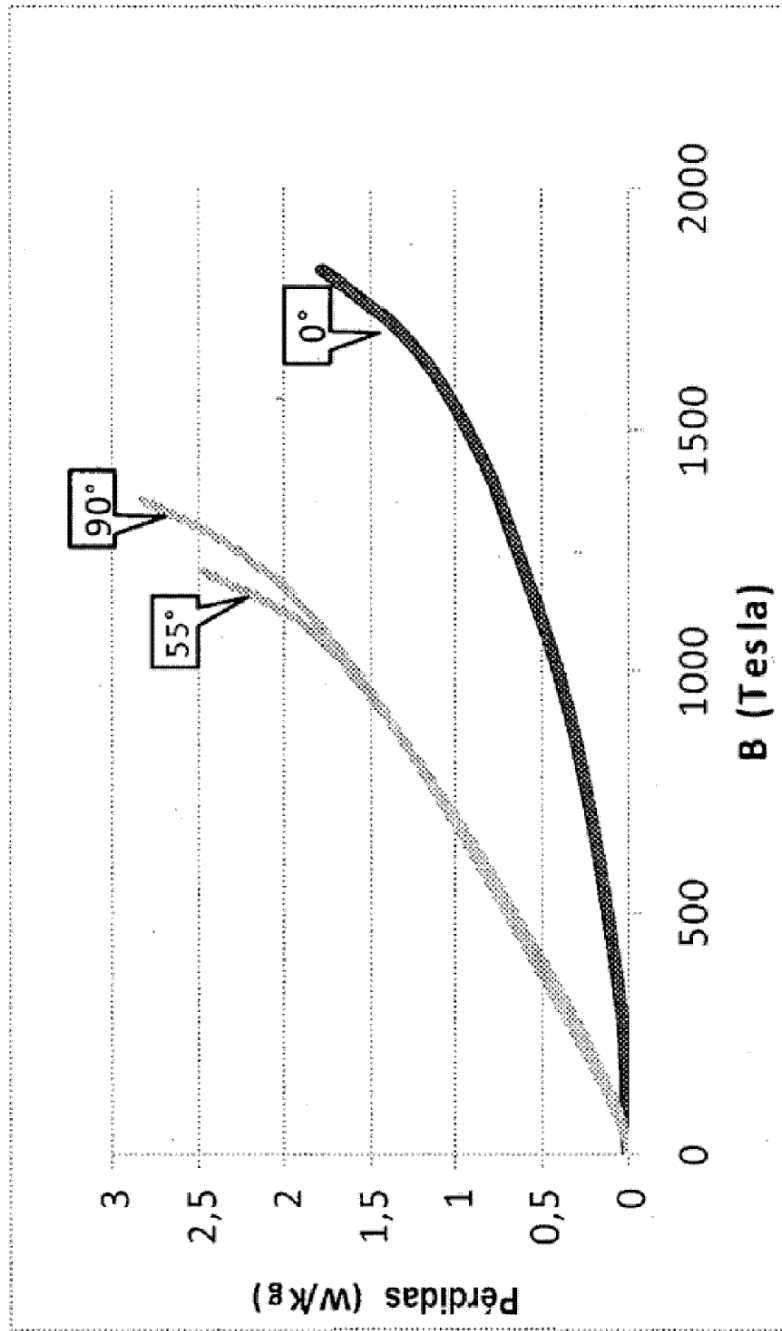


Fig. 11

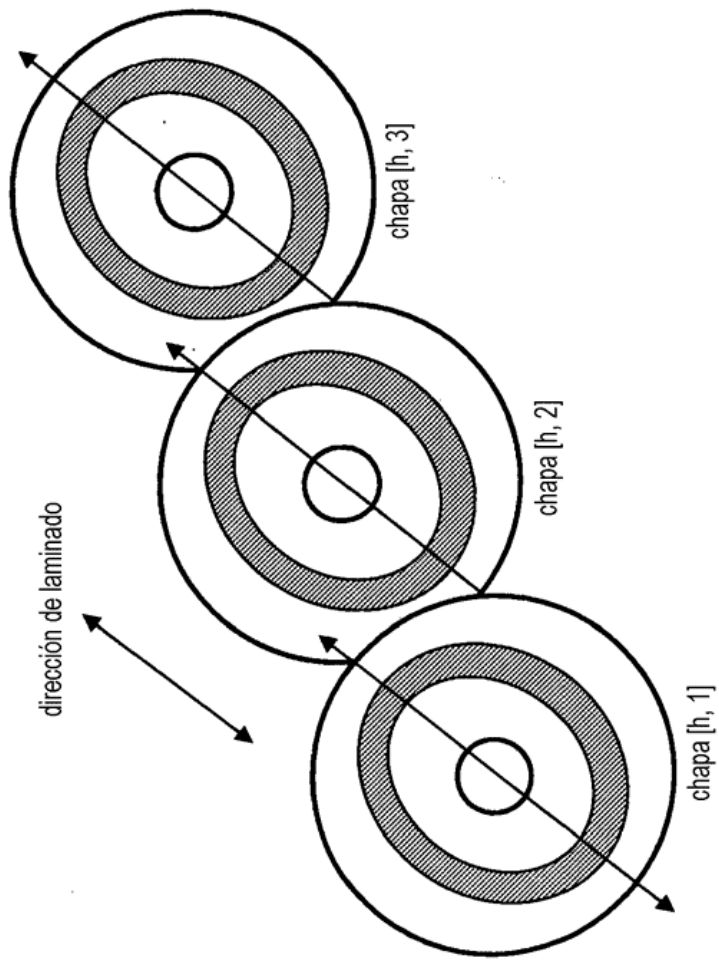


Fig. 12

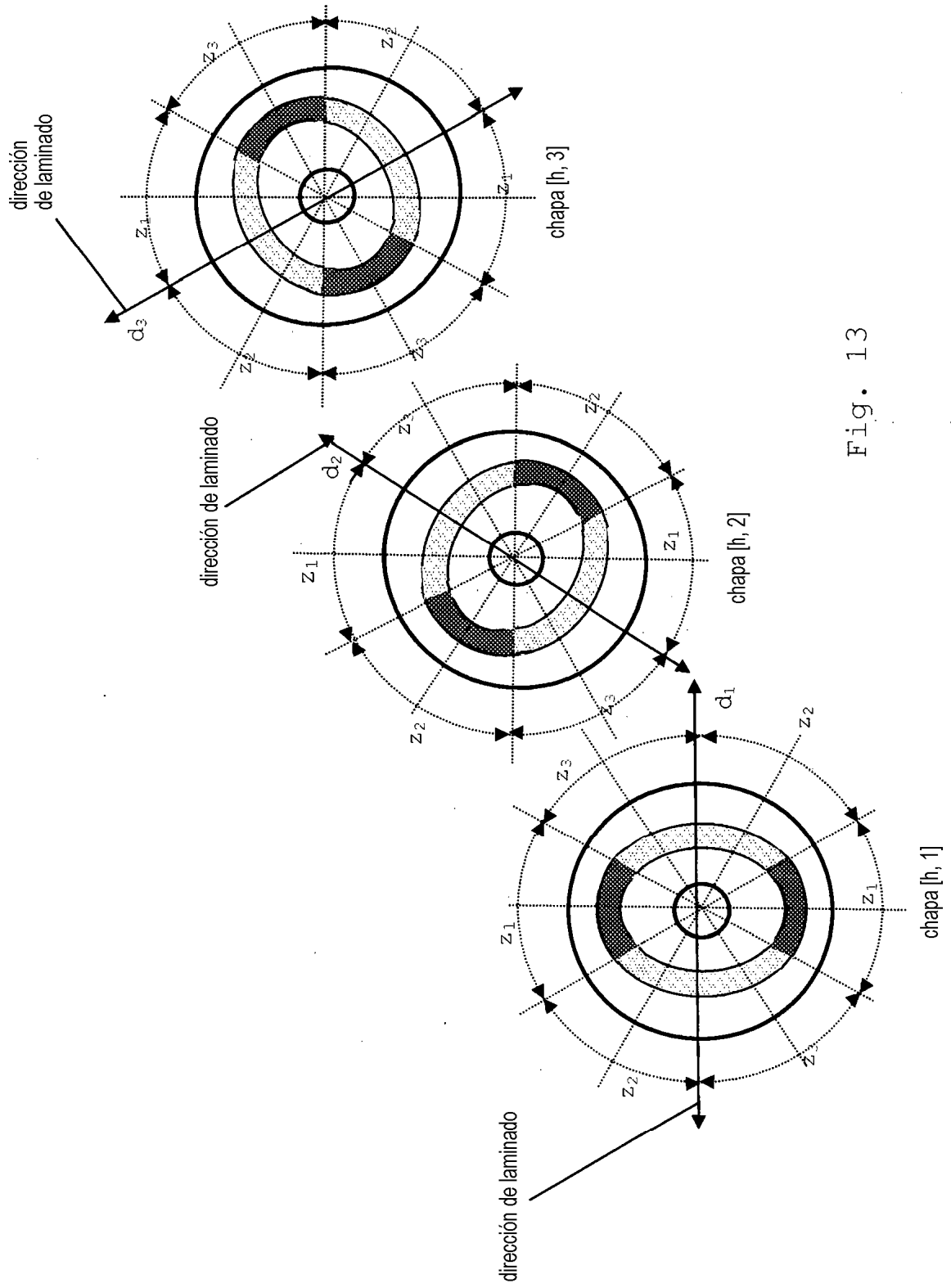


Fig. 13

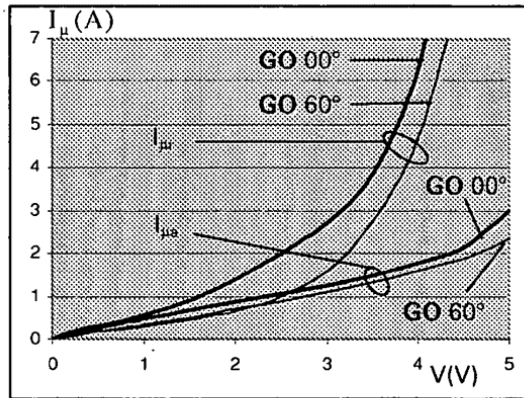


Fig. 14

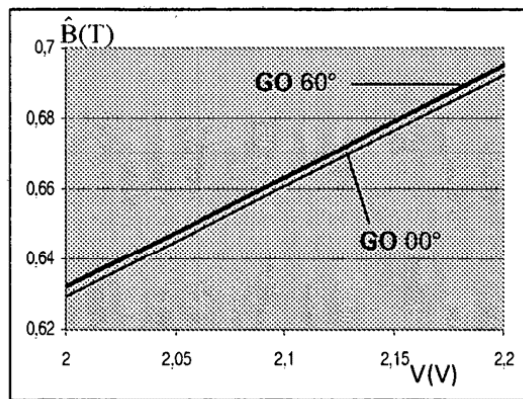


Fig. 15

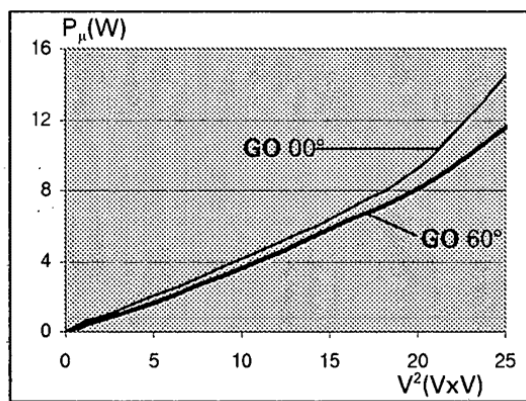


Fig. 16

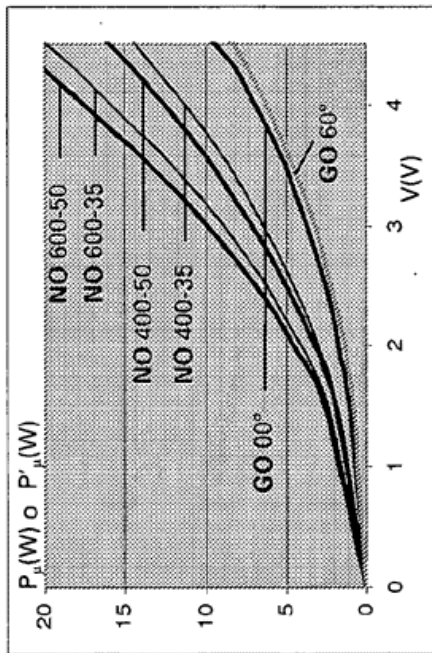


Fig. 18

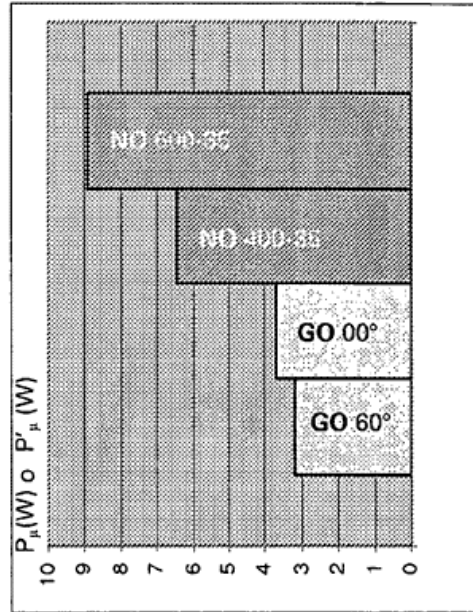


Fig. 20

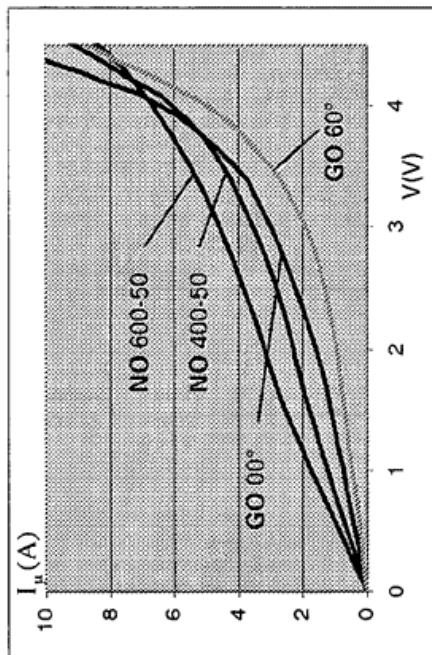


Fig. 17

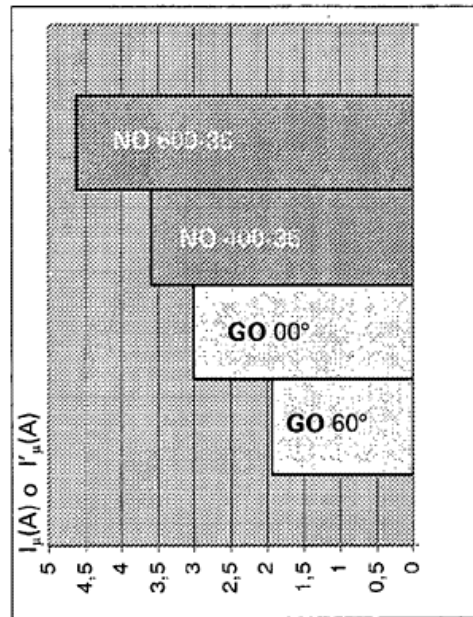


Fig. 19



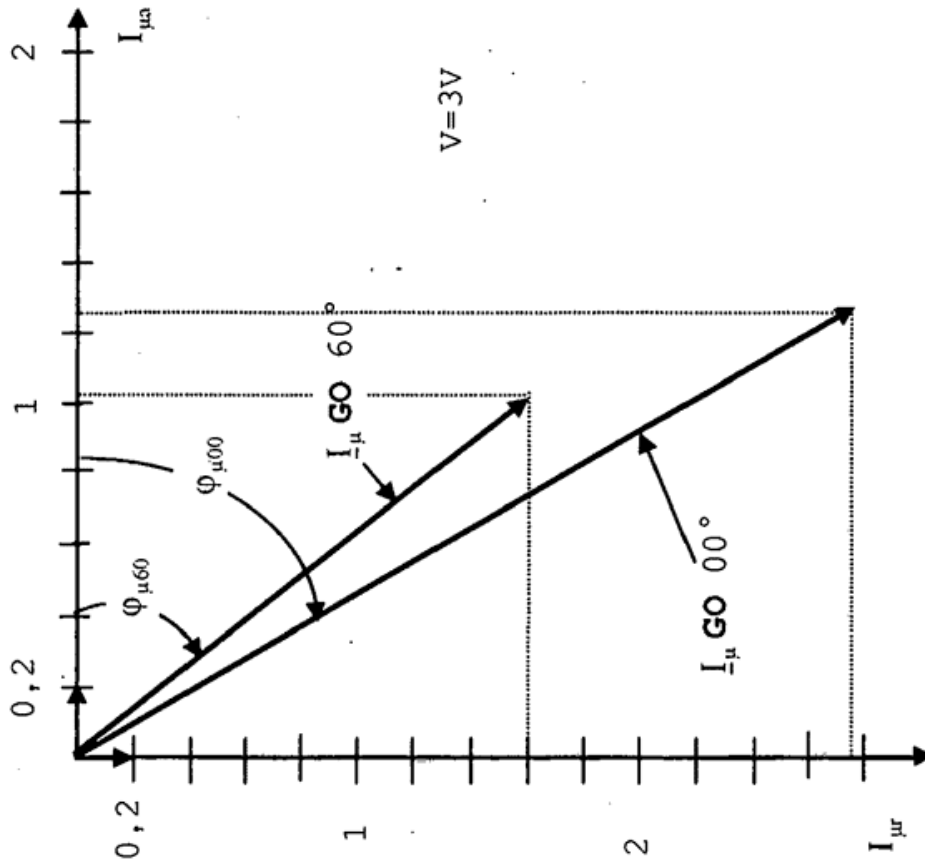


Figura 21:  $\bar{I}_{\mu}$  para los 2 conjuntos de GO