

13 OCT. 1964

P.- 27.634

B. 1412.3



304693

MEMORIA DESCRIPTIVA
para solicitar
P A T E N T E D E I N V E N C I O N
e n
E S P A Ñ A
por VEINTE años

a nombre de COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, entidad francesa, establecida en 29, rue de la Fédération, París, Francia, por:

"DISPOSITIVO DE SOLENOIDE SIN HIERRO DE CAMPO ELEVADO Y DE GRAN HOMOGENEIDAD"

El invento tiene por objeto un solenoide sin hierro, de campo elevado.

El invento trata de realizar un solenoide de este tipo que presenta un pequeño volumen radial, con objeto de ser utilizable especialmente en un canal de poca sección (de 1 dm x 1 dm por ejemplo) tal como un canal horizontal que atraviesa un reactor de piscina para la realización de experimentos de resonancia paramagnética electrónica; este solenoide debe proporcionar, a este efecto, un campo de un valor de aproximadamente 0,4 tesla

5

10



(4.000 gauss), muy homogéneo.

Si la homogeneidad, en un punto en que el valor del campo es H , está definida por la relación

5

$$\left| \frac{\vec{H} - \vec{H}_0}{H_0} \right|$$

10

siendo H_0 el valor del campo en un punto de referencia, el valor máximo de esta relación, en el volumen susceptible de ser ocupado por la muestra estudiada, en la zona central del solenoide, no debe ser superior a 10^{-4} sobre 1 cm.

15

Este campo debe ser además estable, debiendo ser las variaciones inferiores a 10^{-5} . Las características eléctricas de este solenoide deben ser, pues, tales que sea posible asegurar electrónicamente una regulación de su corriente de alimentación.

Otra condición consiste en el mantenimiento de este solenoide a una temperatura constante.

20

Finalmente, el empleo previsto para este solenoide requiere que los materiales utilizados para su construcción resistan indefinidamente a una radiación intensa, y que se activen lo menos posible para intensidades que alcanzan:

25

en γ	$2 \cdot 10^8$ r/h
en neutrones rápidos	$6 \cdot 10^{12}$ n/cm ² s
en neutrones térmicos	$3 \cdot 10^{13}$ n/cm ² s

La estructura del solenoide está además condicionada por las consideraciones siguientes:

30

- el valor elevado del campo impone la solución



de un solenoide "grueso" que solo utiliza mejor el espacio disponible entre el límite de la zona útil y el límite de tamaño;

- la homogeneidad impondría un solenoide relativamente largo para limitar el efecto perturbador de los extremos;

- el solenoide más sencillo que satisface estas dos condiciones es un solenoide de sección longitudinal rectangular, y de densidad de corriente uniforme. La homogeneidad así obtenida es sin embargo mediocre a causa de los efectos de extremos.

Por razones de sencillez (y por lo tanto de precisión de realización), se ha adoptado una densidad de corriente uniforme y, según una de las características del invento, se compensan los efectos de extremos modificando ligeramente la geometría de la sección longitudinal. Esta compensación se realiza suprimiendo espiras.

El invento tiene, pues, por objeto, un solenoide sin hierro que satisface las condiciones indicadas, que comprende un bobinado principal cuya sección por un plano axial es de forma general rectangular, siendo la longitud del rectángulo paralela al eje del solenoide y siendo la densidad de corriente homogénea; según una primera característica del invento, este bobinado principal presenta interiormente un espacio sin espira de sección igualmente rectangular, de compensación en la zona útil de las heterogeneidades de campos magnéticos debidas a la longitud limitada del bobinado.

El conjunto de las espiras en que el solenoide rectangular se encuentra aligerado está designado a conti

3 4693



nuación con el término "solenoides de compensación", entendiéndose que este término designa un objeto virtual.

El cálculo de la compensación está basado en las consideraciones teóricas siguientes.

5 En los cálculos, se puede, según los casos, asimilar el solenoide;

- ya sea a una superposición de ; solenoides delgados de igual longitud, teniendo cada solenoide N espiras por unidad de longitud (figura 1)

10 - ya sea a un solenoide grueso homogéneo que tenga N_s espiras por unidad de superficie.

Se utilizarán a continuación las notaciones siguientes:

15 r_0 el radio del ámbito ocupado por una muestra a estudiar en el interior del solenoide (figura 2),

r y θ las coordenadas polares de un punto corriente P de este ámbito en un plano axial (figura 1),

V el potencial magnético en P.

Se denominará finalmente:

20 V_n el coeficiente de orden n del desarrollo del potencial debido a una espira

A_n el coeficiente de orden n del desarrollo del potencial debido a un solenoide delgado.

25 B_n el coeficiente de orden n del desarrollo del potencial debido a un solenoide grueso.

El potencial magnético V en el punto P está definido por la ecuación de Laplace; el valor del campo \vec{H} puede obtenerse luego por la ecuación:

30
$$\vec{H} = - \text{grad } V$$

304693



Siendo el solenoide según el invento un sistema de revolución, no presenta polo en el eje. En estas condiciones, la integral general de la ecuación de Laplace es de la forma:

5
$$V = \sum_{n=0}^{\infty} A_n P_n(\cos \theta) \cdot r^n$$

siendo los $P_n(\cos \theta)$ los polinomios de Legendre.

Sea r_0 el radio del ámbito útil. Se puede escribir:

10
$$V = V_0 + V_1 \frac{r}{r_0} \cos \theta + \sum_{n=2}^{\infty} V_n \left(\frac{r}{r_0}\right)^n P_n(\cos \theta)$$

Los dos primeros términos caracterizan un campo perfectamente homogéneo. Las inhomogeneidades son aportadas por los términos siguientes del desarrollo.

15 Debe tratarse de dar al solenoide una estructura tal que los coeficientes de desarrollo V_2, V_3 etc. ... sean nulos hasta un orden tan elevado como sea posible.

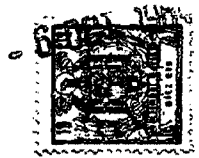
En el caso en que $\theta = 0$, se tiene entonces:

20
$$V = \sum_{n=0}^{\infty} V_n \left(\frac{r}{r_0}\right)^n \quad (1)$$

25 Los V_n no son otros, pues, que los coeficientes del desarrollo de V a lo largo del eje. Dicho de otro modo, basta realizar la homogeneidad a lo largo del eje de revolución para que sea realizada entonces igualmente en todo el espacio circundante.

30 En el caso de un solenoide grueso de sección rectangular, el potencial creado por este solenoide está dado -con las notaciones indicadas más arriba- por la fórmula

304693



$$V = \text{constante} + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \left(\frac{r}{r_0}\right)^n$$

Se obtiene (figura 2)

5
$$B_1 = -r_0^2 N_s I \left(\frac{r_0}{c}\right)^{-1} \log \left[\frac{1 + \text{sen } \beta}{\text{cos } \beta} \cdot \frac{\text{cos } \alpha}{1 - \text{sen } \alpha} \right] \quad (2)$$

$$B_2 = 0$$

$$B_3 = r_0^2 N_s I \frac{r_0}{c} \frac{1}{2 \times 3} (\text{sen}^3 \beta - \text{sen}^3 \alpha)$$

10
$$B_4 = 0$$

$$B_5 = r_0^2 N_s I \left(\frac{r_0}{c}\right)^3 \frac{1}{3 \times 4 \times 5} \left[\text{sen}^3 \beta \left(1 + \frac{3}{2} \text{cos}^2 \beta + \frac{15}{2} \text{cos}^4 \beta\right) - \text{sen}^3 \alpha \left(1 + \frac{3}{2} \text{cos}^2 \alpha + \frac{15}{2} \text{cos}^4 \alpha\right) \right]$$

15 En el caso igualmente de un solenoide rectangular grueso, el campo en el punto P (figura 2) está dado por

$$H = \sum_{n=0}^{\infty} H_n \left(\frac{r}{r_0}\right)^n \text{ con } H_n = - \frac{(n+1) E_{n+1}}{r_0}$$

20

El valor $H_0 = - \frac{B_1}{r_0}$

De donde, sustituyendo B_1 por su valor extraído de la relación (2)

25

$$H_0 = N_s I c \log. \frac{1 + \text{sen } \beta}{\text{cos } \beta} \cdot \frac{\text{cos } \alpha}{1 + \text{sen } \alpha}$$

Representando H_n el término de orden n del campo en el punto de abscisa r_0 , se calculará la falta de homogeneidad relativa de orden n del solenoide por



$$\left\{ \frac{AH}{H_n} = \frac{H_n}{H_0} = \frac{(n+1) B_{n+1}}{B_1} \right\}$$

5. Por ejemplo, con un solenoide de 10 capas de
120 espiras contiguas de alambre de aluminio de 1 mm ais-
lado por depósito anódico, estando definido el espacio en
tre capas por medio de varillas aislantes de alúmina de 1
10 líquido refrigerante circulante, y estando llevado el cam-
po a 4000 gauss, se comprueba que el término del segundo
orden del campo es incómodo, siendo la falta de homogenei-
dad superior a 10^{-3} , pero que el término del cuarto orden
es del orden de 10^{-5} y puede ser por consiguiente prácti-
camente despreciable.

15. El "solenoides de compensación" (conjunto de las
espiras retiradas del perfil rectangular), debe suprimir,
pues, el término del segundo orden del campo (tercer or-
den del potencial), sin aumentar el término del cuarto
orden del campo (5º orden del potencial) a falta de supri-
mirlo.

25. Según otra característica del invento, el sole-
noide de compensación, es decir, el conjunto de las espi-
ras suprimidas del solenoide de sección rectangular, se
consigue suprimiendo espiras centrales de la primera capa
y sustituyéndolas por una simple conexión eléctrica para-
lela al eje, siendo admisible el efecto perturbador de es-
ta unión.

30. En la práctica, se comprueba que además de las
faltas de homogeneidad de origen geométrico que son en

1302



gran parte corregidas por los medios indicados, el solenoide puede tener otras faltas de homogeneidad, que son debidas especialmente al hecho de que en el curso de la realización, cada espira puede ser ligeramente desplazada y deformada.

Esta deformación, en el caso general, destruye para cada espira la simetría de revolución e introduce en cada punto un campo perturbador que tiene una componente longitudinal y una componente radial. Si no se tiene interés más que en el módulo del campo magnético, la perturbación longitudinal es mucho más molesta que la perturbación que no interviene más que en el segundo orden.

Considerando, pues, solamente las deformaciones de revolución y admitiendo para el posicionamiento longitudinal de una espira y para el posicionamiento radial (es decir, sobre el radio) de ésta, tolerancias absolutas de 1/10 de mm, y considerando un solenoide grueso infinitamente largo considerado como la superposición de solenoides delgados, el cálculo muestra que las faltas de homogeneidad máximas del campo pueden presentar valores de

$17,5 \cdot 10^{-4}$ en el primer orden

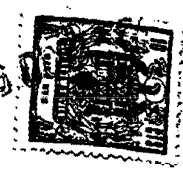
$5,2 \cdot 10^{-4}$ en el segundo orden

$1,2 \cdot 10^{-4}$ en el tercer orden

que concuerdan por lo demás con los resultados experimentales.

Es, pues, prudente, prever un medio de regulación de la homogeneidad.

Según una nueva característica, el solenoide tiene un sistema auxiliar de regulación constituido por dos bobinas recortadas por corrientes regulables (eventual



mente nulas), estando montada una de estas bobinas de manera que corrige los defectos del primer orden del campo, estando montada la otra bobina de manera que corrige los defectos del segundo orden del campo.

5 Las regulaciones respectivas de estas dos bobinas son independientes; estas bobinas están alojadas en la parte de bobinado denominada en adelante "solenoides de compensación", que no es utilizada por el "solenoides perfilado".

10 La primera bobina auxiliar destinada a la regulación del primer orden del campo está constituida por dos porciones de bobinas dispuestas en posición de Helmholtz (para conseguir la nulidad del término del segundo orden), y conectadas en oposición (para conseguir la nulidad del término constante).

15 La segunda bobina auxiliar, destinada a la regulación del segundo orden del campo, comprende una bobina dispuesta simétricamente o varias porciones dispuestas simétricamente y conectadas en serie, y que pueden ocupar la totalidad o parte del resto del espacio disponible.

Otras características del invento aparecerán en la descripción que sigue.

En el dibujo anejo, las figuras 1 y 2 son diagramas que tienen los significados precisados más arriba.

25 - La figura 3 es un esquema de un solenoide según el invento, en corte axial.

+ La figura 4 es una vista esquemática parcial en corte axial del solenoide según el invento;

30 - la figura 5 es una vista en corte según la línea 5-5 de la figura 4, y

304893



- la figura 6 es una vista desarrollada de la primera capa del bobinado de este solenoide.

5 La figura 3 representa esquemáticamente un bobinado según el invento en el cual el solenoide de compensación ha sido representado por una zona rayada. Este espacio sin espiras se encuentra en la parte central del bobinado al nivel de la capa interna. Tiene incluso de preferencia el grosor de esta capa sola.

10 En efecto, el experimento ha mostrado que era posible hacer desempeñar la misión de solenoide de compensación a un espacio sin espiras de radio medio del orden de a_0 (radio de la primera capa) y de grosor Σ (figura 3). Si "el efecto de extremo" a corregir es suficientemente débil, como se ha supuesto, Σ es pequeño y puede ser
15 del orden del grosor de una capa de espira.

Según el ejemplo de realización representado en las figuras 4, 5 y 6, el solenoide comprende una carcasa 1 metálica (figura 4) hecha aislante por depósito anódico de alúmina, que incluye una porción cilíndrica la y collig
20 rines 2, 3, que delimitan, con un tubo 4 de aluminio, un recinto anular 5 cerrado herméticamente por soldadura, y enfriado por un fluido líquido conducido por una canalización 6 situada en la parte baja del recinto y evacuado
25 por dos canalizaciones 7 situadas en la parte alta de ésta. Esta disposición impide la formación de burbujas gaseosas en el recinto y permite el vaciado del líquido por gravitación.

El líquido elegido es, por ejemplo, la fracción metilnaftaleno "Thermip"; el caudal adoptado del orden de
30 0,8 litros/segundo para una potencia a disipar de 18 kw.



Los bobinados 8 están realizados de un alambre de aluminio de 1 mm de diámetro, tal como 9 aislado por depósito anódico de una capa de alúmina.

5. El aislamiento con relación a la carcasa está realizado por pequeños aisladores 10 de alúmina. El aislamiento entre capas sucesivas del alambre bobinado se obtiene por medio de ocho varillas 11 de alúmina de 1 mm mantenidas por los aisladores 10. Estando dispuestos estos aisladores según dos estrellas regulares alrededor del cilindro 1a, las espiras no, son, pues, ya circulares, 10 sino octogonales (figura 5). Sobre cada capa, las espiras son contiguas, estando aisladas entre sí por el depósito de alúmina del alambre.

15 El bobinado comprende tres bobinas alimentadas separadamente, a saber (figura 6).

1- La bobina principal 12 o "solenoides calibrado" que incluye, en el ejemplo representado, 1158 espiras distribuidas en 10 capas, de las cuales 9 completas de 120 espiras, no teniendo la primera capa 12-1 más que 120 20 -42 = 78 espiras, constituyendo las 42 espiras que faltan de la primera capa el "solenoides de compensación". La primera capa comprende, pues, dos porciones 12-1-a y 12-1-b de 39 espiras cada una, estas dos capas unidas por una conexión rectilínea 12-1-c que está alojada en una garganta 25 de la carcasa. En el momento del bobinado, esta garganta es revestida de parafina para evitar todo deterioro del depósito anódico del alambre.

30 2- Una "primera" bobina auxiliar 13, de corrección del primer orden, formada de dos porciones 13,a, 13b de tres espiras cada una, bobinadas en sentidos contrarios

3 34693



y unidas por una conexión rectilínea 13c y cuyas dos conexiones de extremos 13d, 13e son accesibles a fin de poder ser unidas a un dispositivo de regulación de la corriente.

5 3- Una "segunda" bobina auxiliar 14, formada de tres porciones 14a, 14b, 14c de nueve espiras, 16 espiras y 9 espiras bobinadas todas en el mismo sentido, ocupan los espacios que han permanecido libres entre las porciones de las bobinas 12 y 13, unidas entre sí por conexiones rectilíneas 14d, 14e, y cuyas dos conexiones de extremos 10 14f, 14g son accesibles a fin de poder ser unidas a un dispositivo de regulación de la corriente de alimentación.

Las conexiones rectilíneas 13c, 14d, 14f, y las conexiones de extremos 13d, 13e, 14f, 14g están alojadas en gargantas de la carcasa, como la conexión 12-1-c.

15 Las conexiones de extremo atraviesan la pared del recinto de refrigeración por "pasos" estancos tales como 15 (figura 4) constituídos por un alma de cobre, un aislamiento de alúmina y una funda de acero inoxidable que desempeña la misión de una virola de autozunchado.

20 Un solenoide según el ejemplo descrito, para un radio interior de bobinado igual a 2,14 cm y un radio exterior igual a 3,85 cm presenta una resistencia en caliente de 11 ohmios, es alimentado a 440 V, es decir, a una intensidad de 40 A y una potencia de 17,6 KW. La homogeneidad obtenida es de $5,10^{-5}$ en una muestra de un cm.

25 Las características técnicas son las siguientes:

- Densidad de flujo en la superficie de los conductores 2,6 vatios/cm²
- Calentamiento medio del líquido 30 quido 1520



- Calentamiento medio del bobinado 85°C
- Caudal de líquido 0,75 litros/segundo
- Tiempo de renovación del líquido en el recinto 0,9 segundos
- 5 - Velocidad lineal del fluido con relación al bobinado 25 cm/segundo

Naturalmente, el invento no está limitado al modo de realización representado y descrito, ni a los valores numéricos indicados, no habiendo sido elegidos este modo de realización y estos valores numéricos más que a título de ejemplo.

La presente solicitud que corresponde a la presentada en Francia, el 7 de Octubre de 1.963, bajo el número P.V. 949.765, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

N O T A

20

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los siguientes:

25

1.- Dispositivo de solenoide sin hierro, de campo elevado y de gran homogeneidad, que comprende un bobinado principal cuya sección por un plano axial es rectangular, siendo la longitud del rectángulo paralela al eje del solenoide y siendo la densidad de corriente homogénea, caracterizado por que el bobinado principal presenta inte

30

304888



riormente un espacio sin espira, de sección rectangular, de compensación en la zona útil de las heterogeneidades de campo magnético debidas a la longitud limitada del bobinado.

5

2.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 1, caracterizado por que el espacio de compensación está atravesado por una simple conexión rectilínea paralela al eje que sustituye un cierto número de espiras centrales de la primera capa del bobinado.

10

3.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 1, caracterizado por que tiene un sistema auxiliar de regulación constituido por dos bobinas recorridas por corrientes regulables, una bobina de corrección de los defectos del primer orden del campo y una bobina de corrección de los defectos del segundo orden de dicho campo.

15

4.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 3, caracterizado por que las regulaciones de las dos bobinas auxiliares son independientes.

20

5.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 3, caracterizado por que las bobinas auxiliares están alojadas en la parte central del bobinado o espacio de compensación.

25

6.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 3, caracterizado por que la primera bobina auxiliar de regulación del primer orden del campo está constituida por dos porciones de bobina dispuestas en posición de Helmholtz, y conectadas en oposición.

30

7.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 3, caracterizado por que la segunda bobina auxi-

304093



liar, de regulación del segundo orden del campo, comprende una bobina dispuesta simétricamente o varias porciones dispuestas simétricamente y conectadas en serie, y que pueden ocupar la totalidad o parte del resto del espacio disponible.

5

8.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 1, caracterizado por que el bobinado está refrigerado por una corriente de líquido refrigerante.

10

9.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 1, caracterizado por que el bobinado está formado de capas de espiras contiguas de alambre conductor aislado, y las capas están separadas unas de otras por vástagos aislantes.

15

10.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 9, caracterizado por que los vástagos están soportados por aisladores dispuestos en estrella alrededor del eje del solenoide, en los dos extremos del bobinado.

20

11.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 10, caracterizado por que los aisladores-soportes son en número de ocho.

12.- Dispositivo de solenoide según la reivindicación 9, caracterizado por que el alambre de bobinado es alambre de aluminio aislado con alúmina.

25

13.- Dispositivo de solenoide sin hierro de campo elevado y de gran homogeneidad.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dos dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

304593



Esta Memoria consta de dieciséis hojas escritas
a máquina por una sola cara.

Madrid,

6 OCT. 1964

P. A.

Alfonso de Elizalde
Por Favor

304693

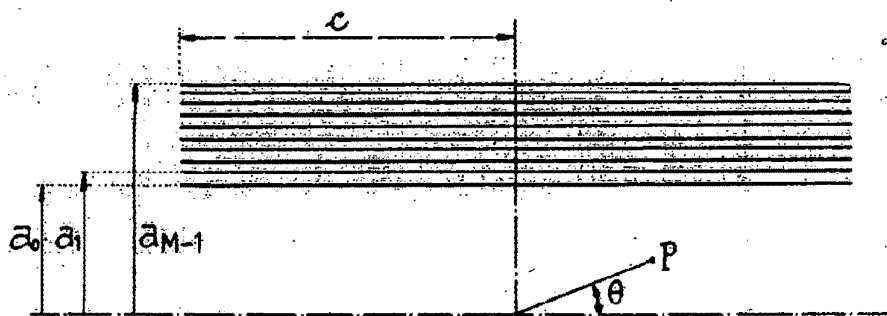
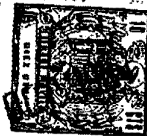


Fig. 1

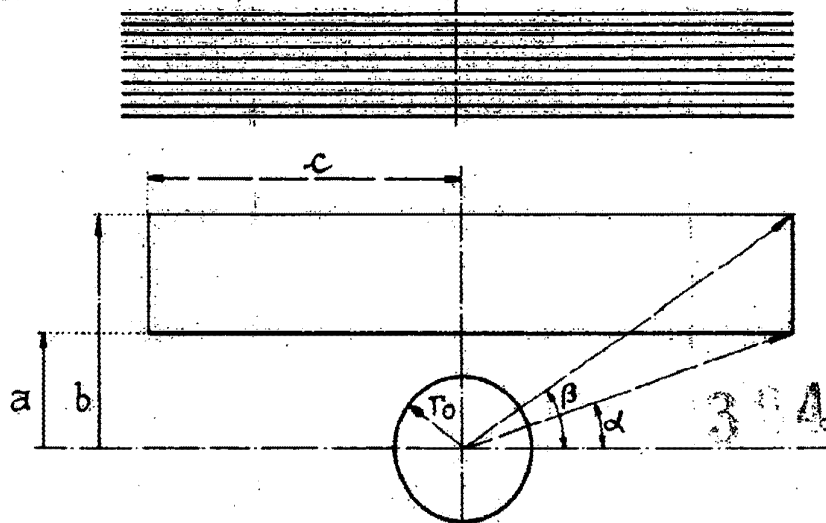


Fig. 2

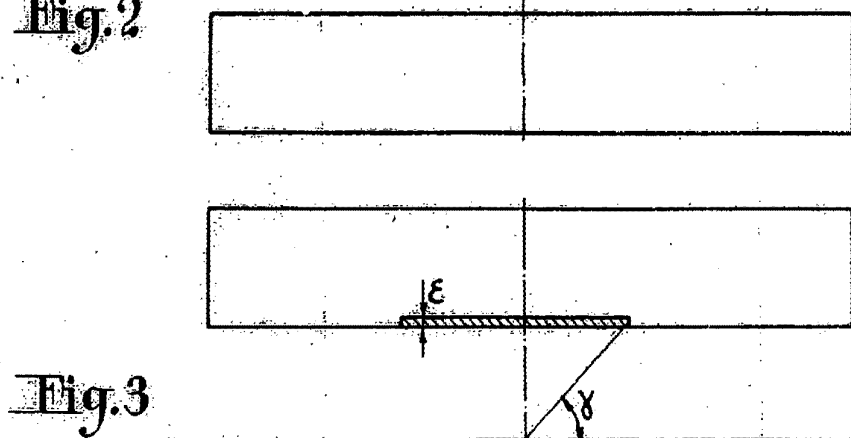


Fig. 3

Alberto de Elhauri
E. Podar

Fig. 5

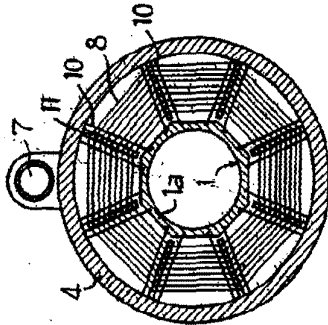


Fig. 4

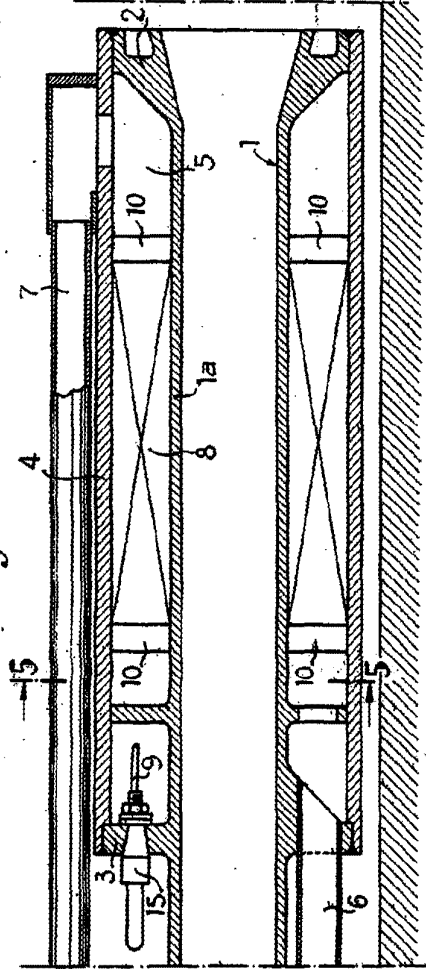
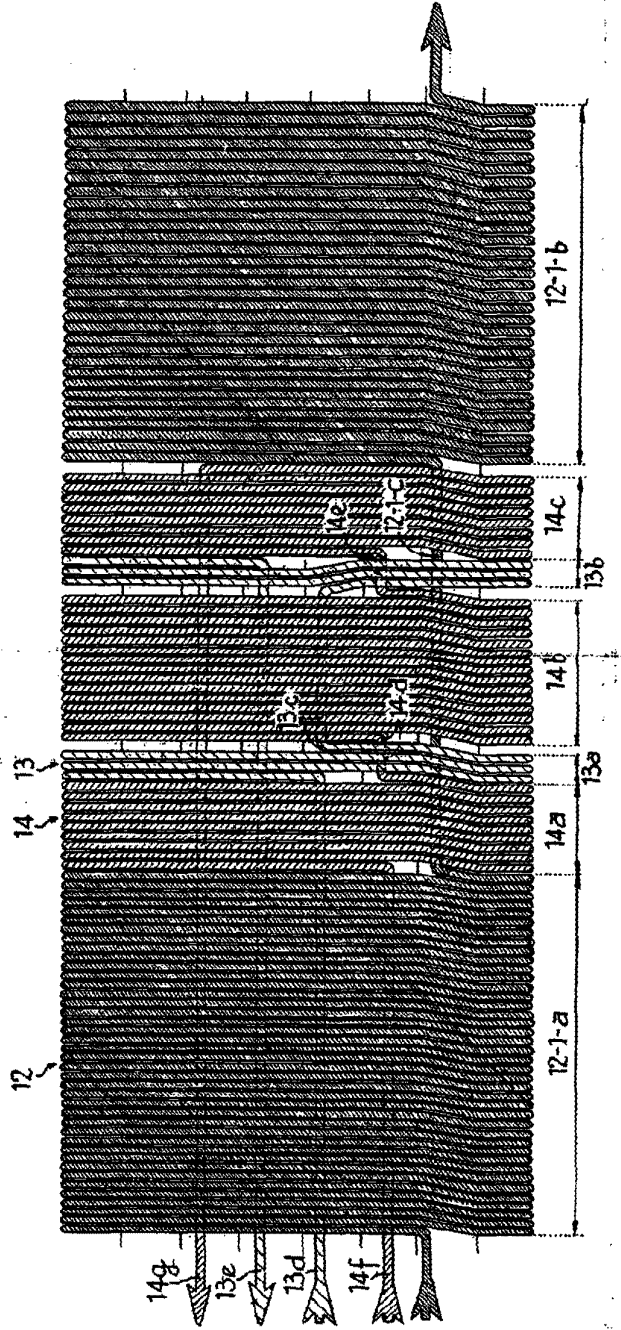


Fig. 6



304693

de
de
de