

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 907 238**

51 Int. Cl.:

G01R 33/022 (2006.01)

G01R 33/02 (2006.01)

G21B 1/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.06.2017 PCT/US2017/039766**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.01.2018 WO18005653**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2017 E 17821155 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.12.2021 EP 3452842**

54 Título: **Bucle de flujo y cable de punto b combinados con aislamiento mineral**

30 Prioridad:

29.06.2016 US 201662356344 P

13.07.2016 US 201662361980 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.04.2022

73 Titular/es:

TAE TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)

19631 Pauling

Foothill Ranch, CA 92610, US

72 Inventor/es:

THOMPSON, MATTHEW;

ROCHE, THOMAS;

TRASK, ERIK y

KNAPP, KURT

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 907 238 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

Bucle de flujo y cable de punto b combinados con aislamiento mineral

Campo

5 El objeto descrito en la presente memoria se refiere generalmente al diagnóstico de plasma y, más particularmente, a una sonda de diagnóstico magnético que facilita la medición de los campos magnéticos cambiantes generados por un plasma y bobinas magnéticas.

Antecedentes

10 Los diagnósticos magnéticos inductivos se usan para medir los campos magnéticos cambiantes generados por plasmas y bobinas magnéticas. Muchos parámetros del plasma, tales como, por ejemplo, un plasma de configuración de campo invertido (FRC), se pueden deducir de las mediciones magnéticas, que incluyen: tamaño, forma, ubicación, modos de inestabilidad global, y fluctuaciones de alta frecuencia. Las mediciones de calidad de estos diversos parámetros requieren matrices especializadas de sensores magnéticos individuales colocados a lo largo de la pared interna del recipiente de vacío o confinamiento. Cada sensor magnético individual es típicamente un bucle de cable conectado a un integrador analógico y electrónica de adquisición de datos. Este tipo de sensor generalmente se denomina sonda magnética o punto B (B-dot) si tiene un área de sección transversal pequeña o un bucle de flujo si es grande. Mientras estos sensores magnéticos son conceptualmente muy simples, el diseño de sistemas prácticos de diagnóstico magnético se complica por una variedad de factores, que incluyen: ancho de banda de detección, captación de ruido, compatibilidad de vacío, compatibilidad con el entorno de radiación, durabilidad general, capacidad de alineación, y desviación de la señal. Equilibrar las compensaciones inherentes a la interacción entre todos estos factores es la clave para diseñar un sistema de diagnóstico magnético exitoso.

Las sondas magnéticas y los bucles de flujo son tipos tradicionales de diagnóstico de plasma que son tanto robustos como efectivos. Estos dispositivos emplean la ley de inducción de Faraday para medir el campo magnético y el flujo.

Los cambios en el flujo magnético $\Phi = \int \vec{B} \cdot \vec{n} da$ que pasan a través de bobinas de alambre producen un voltaje V_c que es proporcional a la derivada temporal de la componente del campo magnético B paralelo al eje de la bobina,

25
$$V_c = -\frac{d\Phi}{dt} = -n_c a_c \frac{dB}{dt} \quad (1)$$

donde n_c es el número de vueltas, y a_c es el área de cada vuelta. Las mediciones de V_c por lo tanto, puede integrarse, ya sea electrónicamente o a través de la informática, para producir valores para ya sea Φ o B dependiendo de la configuración de la bobina. Las bobinas de una única vuelta que abarcan grandes áreas se usan para medir Φ y se denominan bucles de flujo. Las bobinas de múltiples vueltas que son lo suficientemente pequeñas como para suponer que el campo magnético dentro de ellas es uniforme se denominan sondas magnéticas o sondas de punto B y se usan para medir B .

35 La forma, el tamaño, y la posición longitudinal de un plasma FRC se pueden deducir del flujo magnético excluido por el plasma FRC. Un campo magnético uniforme típico llena la cámara de confinamiento de un sistema de confinamiento de plasma FRC antes de la iniciación del plasma. Este campo está representado por B_0 en la figura 1. Las propiedades diamagnéticas del toroide de plasma, combinadas con las propiedades de conservación del flujo del recipiente de vacío, dan como resultado la compresión del campo magnético de la cámara de confinamiento inicial entre la FRC y la pared cuando el plasma entra a la región de confinamiento desde la sección de formación. El aumento de campo resultante en el área externa a la FRC, B_e en la figura 1, se mide con sondas magnéticas colocadas justo dentro de la

40 pared de la cámara. En el caso ideal, el radio de flujo excluido $r_{\Delta\phi}$ está simplemente dado por $r_{\Delta\phi} = r_w \sqrt{1 - B_0/B_e}$ donde r_w es el radio de la pared. El radio del flujo excluido $r_{\Delta\phi}$ es aproximadamente igual al radio de la separatriz r_s en la mayoría de las condiciones. La separatriz es la superficie de demarcación entre las líneas de campo abierto y cerrado que define la FRC.

45 La monitorización del campo magnético generado por las bobinas magnéticas es una importante función secundaria del diagnóstico magnético. Pueden ocurrir errores cuando se conectan bobinas magnéticas o en la programación de sus fuentes de alimentación. Por lo tanto, es deseable tener un medio independiente para verificar que el campo magnético real en el dispositivo sea el mismo que se solicitó. Los diagnósticos magnéticos, la mayoría de los cuales están absolutamente calibrados para campos magnéticos conocidos antes de la instalación, proporcionan esta capacidad.

50 En lugar de usar sondas discretas y suposiciones sobre la conservación del flujo, hay casos donde es necesario medir directamente las cantidades de interés usando bucles de flujo y sondas anulares de puntos B. Sin embargo, el espacio y el número práctico de penetraciones en un recipiente de vacío siempre son limitados, lo que dificulta proporcionar el número óptimo de bucles de flujo individuales y sondas de punto B.

Por lo tanto, es deseable proporcionar bucles de flujo mejorados y sondas de punto B.

El documento DE19618989 describe un único cable que comprende cuatro conductores dispuestos en relación espaciada en una dirección paralela a las superficies de los lados planos alargados opuestos de la cubierta exterior del cable.

Breve descripción de las figuras

- 5 Los detalles de las realizaciones de ejemplo, que incluyen la estructura y el funcionamiento, pueden obtenerse en parte por el estudio de las figuras adjuntas, en las que los números de referencia similares se refieren a partes similares. Los componentes en las figuras no están necesariamente a escala, sino que se hace hincapié en ilustrar los principios de la invención. Además, todas las ilustraciones pretenden transmitir conceptos, donde los tamaños relativos, las formas y otros atributos detallados pueden ilustrarse esquemáticamente en lugar de literalmente o con precisión.
- 10 La figura 1 es una ilustración de la exclusión del flujo magnético preexistente (izquierda) por la llegada de un plasma FRC (derecha).
La figura 2 es una ilustración de la sección transversal de una vista final de un sistema de confinamiento FRC con un bucle de flujo y una sonda de punto B combinados colocados en él.
- 15 La figura 3 es una ilustración de una configuración de tres (3) cables de un bucle de flujo y una sonda de punto B combinados de las presentes realizaciones.
La figura 4 es una ilustración de la sección transversal del bucle de flujo y la sonda de punto B combinados tomada a lo largo de la línea 4-4 en la figura 3.
- Las figuras 5, 6 y 7 son ilustraciones de secciones transversales de realizaciones alternativas del bucle de flujo y la sonda de punto B combinados.
- 20 Cabe señalar que los elementos de estructuras o funciones similares generalmente se representan por números de referencia similares con fines ilustrativos en todas las figuras. También cabe señalar que las figuras solo pretenden facilitar la descripción de las realizaciones preferidas.

Descripción

25 Cada una de las características y enseñanzas adicionales descritas a continuación se puede utilizar por separado o junto con otras características y enseñanzas para proporcionar un bucle de flujo y una sonda de punto B combinados. Los ejemplos representativos de las realizaciones descritas en la presente memoria, cuyos ejemplos utilizan muchas de estas características y enseñanzas adicionales tanto por separado como en combinación, se describirán ahora con mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos. Esta descripción detallada pretende simplemente enseñar a un experto en la técnica detalles adicionales para poner en la práctica los aspectos preferidos de las presentes enseñanzas y no pretende limitar el alcance de la invención. Por lo tanto, las combinaciones de características y etapas descritas en la siguiente descripción detallada pueden no ser necesarios para poner en práctica la invención en el sentido más amplio y, en su lugar, se enseñan simplemente para describir particularmente ejemplos representativos de las presentes enseñanzas.

35 Además, las diversas características de los ejemplos representativos y las reivindicaciones dependientes se pueden combinar de maneras que no se enumeran específica y explícitamente para proporcionar realizaciones útiles adicionales de las presentes enseñanzas. Además, se señala expresamente que todas las características descritas en la descripción y/o las reivindicaciones pretenden describirse por separado e independientemente entre sí a los fines de la descripción original, así como a los fines de restringir el objeto reivindicado independientemente de las composiciones de las características en las realizaciones y/o las reivindicaciones. También se señala expresamente que todos los intervalos de valores o indicaciones de grupos de entidades describen todos los posibles valores intermedios o entidades intermedias a los fines de la descripción original, así como a los fines de restringir el objeto reivindicado.

40 Las realizaciones proporcionadas en la presente memoria están dirigidas a un bucle de flujo y una sonda de punto B combinados que facilitan el montaje dentro de un recipiente de confinamiento a lo largo de la curvatura de la pared interna del recipiente. Volviendo a la figura 2, se muestra un sistema 10 de confinamiento de plasma FRC que comprende una cámara o recipiente 12 de confinamiento, un plasma 14 FRC confinado dentro del recipiente 12, y una bobina 16 magnética de solenoide colocada alrededor del recipiente 12. Una combinación de bucle de flujo y la sonda 20 de punto B se coloca alrededor de la pared interior del recipiente 12.

45 Las sondas de punto B y los bucles de flujo son tipos tradicionales de diagnósticos de plasma que son tanto robustos como efectivos. Los entornos de plasma caliente donde los sensores de diagnóstico están sujetos a radiación de plasma y/o flujo de neutrones, tales como, por ejemplo, el interior del recipiente 12 de confinamiento del sistema 10 de confinamiento de plasma FRC, o cámaras toroidales con bobinas magnéticas (tokamaks) y similares, requieren sensores que no se sobrecalienten debido al calentamiento por radiación del plasma y requieren materiales sensores que puedan sobrevivir al flujo de neutrones. Los cables con aislamiento mineral, que incluyen un material aislante no orgánico que comprende, por ejemplo, MgO o similar, se usan típicamente en entornos de plasma caliente donde el flujo de neutrones es alta. Véase, por ejemplo, Hodapp et. al, "Magnetic diagnostics for future tokamaks," Actas del

16º Simposio Internacional sobre Ingeniería de Fusión, Champaign, IL, 1995, págs. 918-921, vol. 2.

Como se muestra en las figuras 3 y 4, la sonda 12 combinada comprende preferiblemente un único cable con aislamiento mineral que tiene una cubierta 26 exterior que comprende, por ejemplo, acero inoxidable, Inconel, u otra aleación metálica de alta temperatura, y tres (3) conductores 22 y 24 colocados dentro de la cubierta 26 e integrados en un aislante 28 mineral que comprende un aislante mineral no orgánico tal como, por ejemplo, MgO, SiO₂, u otro polvo mineral aislante que se puede compactar. Uno de los conductores 22 forma un bucle 22 de flujo que viaja alrededor de todo el recipiente 12 una vez, se retuerce sobre sí mismo y sale del recipiente 12. El segundo y el tercer conductor forman una sonda 24 de punto B, que es muy sensible a una variación en el área. La sonda 24 de punto B comprende un único cable que se enrolla alrededor del recipiente 12 dos (2) veces. El cable 24 se cortocircuita en un extremo, se retuerce sobre sí mismo y sale del recipiente 12.

Para que el bucle 22 de flujo y las sondas 24 de punto B funcionen correctamente mientras están dentro de un único cable con aislamiento mineral, los tres (3) conductores 22 y 24 de la sonda 20 combinada están preferiblemente alineados perpendicularmente a la pared del recipiente 12. Si ocurriera una torsión a lo largo de un codo curvo cuando la sonda 20 combinada adopta una forma curva, se reduciría el área de la sección transversal entre los conductores, lo que tiende a ser problemático para el punto B 24, que, como se señaló anteriormente, tiende a ser muy sensible a una variación en el área.

Volviendo a la figura 5, una realización de la sonda 120 combinada incluye un cable que comprende tres (3) cables cinta 122 y 124, que están formados, por ejemplo, de cobre o similar, y tienen una sección transversal de forma rectangular generalmente plana. Los cables 122 y 124 cinta están apilados a lo ancho en relación espaciada. Esta configuración de cables cinta apilados tiende a evitar la torsión ya que la sonda 120 combinada adopta una forma curva. De las tres cintas, una cinta 122 se usa para un bucle de flujo y las otras dos cintas 124 comprenden preferiblemente una única cinta que forma sondas de punto B.

En la figura 6 se muestra otra realización de la sonda 220 combinada. Como se representa, la cubierta 226 exterior comprende preferentemente lados planos alargados opuestos que forman una sección transversal de forma generalmente ovalada, rectangular, o similar. Como se representa, la cubierta 226 incluye lados 225 y 227 planos opuestos que se extienden entre los extremos 221 y 223 arqueados. Como se representa además, los tres (3) cables 122 y 124 cinta están apilados en relación espaciada a lo largo de los lados 225 y 227 planos y anchos del cubierta 226. La configuración de sección transversal de forma ovalada de la cubierta 226, junto con la configuración de sección transversal rectangular de los cables 122 y 124 cinta tiende a evitar además que los cables 122 y 124 cinta se retuerzan a medida que la sonda 220 combinada se adopta una forma curva.

En otra realización más de la sonda 320 combinada como se muestra en la figura 7, incluye la cubierta 226 exterior que comprende preferiblemente lados planos alargados opuestos que forman una sección transversal de forma generalmente ovalada, rectangular, o similar. Como se representa, la cubierta 226 incluye los lados 225 y 227 planos opuestos que se extienden entre los extremos 221 y 223 arqueados. Sin embargo, en lugar de cables cinta planos apilados, los tres (3) conductores 322 y 324 pueden tener cualquier forma de sección transversal que incluya, por ejemplo, circular, cuadrada, octogonal y similares. Los lados 225 y 227 anchos y planos de la cubierta 226 exterior tienden a evitar que los tres (3) conductores 322 y 124 se retuerzan a medida que la sonda 320 combinada adopta una forma curva.

Aunque las realizaciones presentadas en la presente memoria se analizaron con respecto a un entorno de plasma FRC solo con fines de ejemplo, las realizaciones presentadas en la presente memoria pueden usarse en una variedad de entornos calientes sujetos a radiación de plasma y/o flujo de neutrones, tales como, por ejemplo, tokamaks y el similares.

Las realizaciones de ejemplo proporcionadas en la presente memoria, sin embargo, pretenden ser simplemente ejemplos ilustrativos y no limitativos de ninguna manera.

Todas las características, elementos, componentes, funciones, y etapas descritas con respecto a cualquier realización proporcionada en la presente memoria pretenden ser libremente combinables y sustituibles con los de cualquier otra realización. Si una determinada característica, elemento, componente, función, o etapa se describe con respecto a una sola realización, entonces debe entenderse que esa característica, elemento, componente, función, o etapa puede usarse con cualquier otra realización descrita en la presente memoria a menos que se indique lo contrario. Por lo tanto, este párrafo sirve como base antecedente y soporte escrito para la introducción de las reivindicaciones, en cualquier momento, que combinen características, elementos, componentes, funciones, y etapas de diferentes realizaciones, o que sustituyan características, elementos, componentes, funciones, y etapas de una realización con las de otra, incluso si la siguiente descripción no indica explícitamente, en un caso particular, que tales combinaciones o sustituciones son posibles. La enumeración expresa de todas las combinaciones y sustituciones posibles es demasiado laboriosa, especialmente dado que la permisibilidad de todas y cada una de tales combinaciones y sustituciones será fácilmente reconocida por los expertos en la técnica al leer esta descripción.

En muchos casos, las entidades se describen en la presente memoria como acopladas a otras entidades. Debe entenderse que los términos "acoplado" y "conectado" (o cualquiera de sus formas) se usan indistintamente en la presente memoria y, en ambos casos, son genéricos para el acoplamiento directo de dos entidades (sin ninguna

entidad intermedia no despreciable (por ejemplo, parasitaria) y el acoplamiento indirecto de dos entidades (con una o más entidades intermedias no despreciables). Donde las entidades se muestren directamente acopladas entre sí, o se describan acopladas entre sí sin descripción de ninguna entidad intermedia, debe entenderse que esas entidades también pueden estar indirectamente acopladas entre sí, a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

- 5 Mientras las realizaciones son susceptibles de diversas modificaciones y formas alternativas, en los dibujos se han mostrado ejemplos específicos de las mismas y se describen en la presente memoria en detalle. Debe entenderse, sin embargo, que estas realizaciones no deben limitarse a la forma particular descrita, sino que por el contrario, estas realizaciones deben cubrir todas las modificaciones, y alternativas que caen dentro del alcance de la invención tal como se define en la redacción de la reivindicaciones.

10

REIVINDICACIONES

1. Una sonda (220, 320) de detección magnética que comprende una combinación de uno o más de un bucle de flujo y una sonda de punto B, la sonda de detección magnética que comprende:
 - 5 un único cable que comprende tres conductores (122, 124) colocados dentro de una cubierta (226) exterior, en donde la cubierta exterior tiene lados (225, 227) planos alargados opuestos y los conductores están apilados en relación espaciada en una dirección ortogonal a las superficies de los lados planos alargados para evitar que se retuerza a medida que la sonda de detección magnética adopta una forma curva.
 2. La sonda de la reivindicación 1, en donde el único cable es un cable con aislamiento mineral.
 3. La sonda de la reivindicación 1, en donde los conductores están integrados en un aislante (28) mineral.
 - 10 4. La sonda de la reivindicación 3, en donde la cubierta (226) exterior está formada por un metal o una aleación metálica de alta temperatura.
 5. La sonda de la reivindicación 4, en donde la aleación de metal de alta temperatura es Inconel o acero inoxidable.
 6. La sonda de la reivindicación 3, en donde el aislante (26) mineral comprende un polvo mineral aislante que se puede compactar.
 - 15 7. La sonda de la reivindicación 6, en donde el polvo mineral aislante que se puede compactar incluye uno de MgO o SiO₂.
 8. La sonda de la reivindicación 1, en donde uno (122, 322) de los tres conductores forma un bucle de flujo que comprende un único cable que tiene un único bucle.
 - 20 9. La sonda de la reivindicación 8, en donde los otros dos (124; 324) de los tres conductores forman una sonda de punto B que comprende un único cable que tiene un bucle doble.
 10. La sonda de cualquier reivindicación anterior, en donde los conductores (124, 122) son cables cinta que tienen una sección transversal de forma rectangular generalmente plana.
 11. La sonda de la reivindicación 1, en donde la cubierta (226) exterior tiene una sección transversal de forma ovalada o una sección transversal de forma rectangular.
 - 25 12. La sonda de la reivindicación 1, en donde los lados (225, 227) planos opuestos se extienden entre los extremos (221, 223) arqueados.
 13. Un sistema (10) de confinamiento de plasma que comprende
una cámara o recipiente (12) de confinamiento,
una bobina (16) magnética colocada alrededor del recipiente,
 - 30 una sonda (220, 320) según cualquier reivindicación anterior colocada alrededor de la pared interior del recipiente.
 14. El sistema de confinamiento de plasma de la reivindicación 13, en donde los conductores (122, 124, 322, 324) de la sonda combinada están apilados en alineación vertical en una dirección ortogonal a la pared del recipiente.

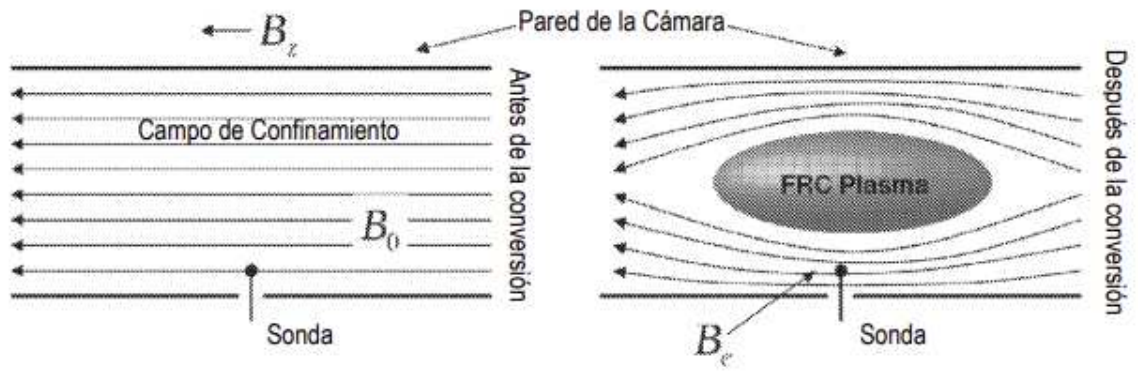


FIGURA 1

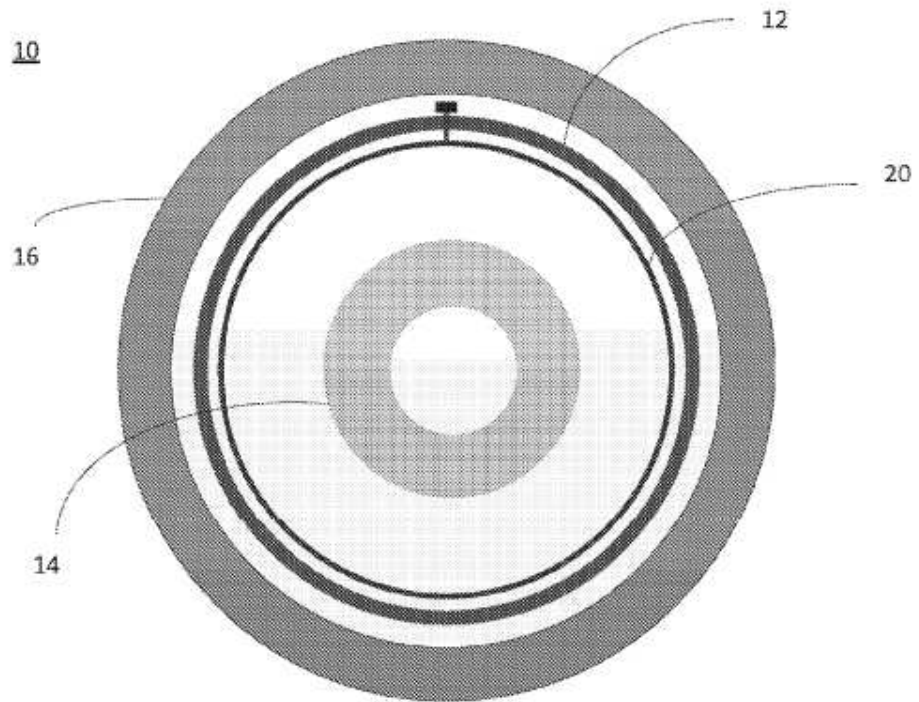


FIGURA 2

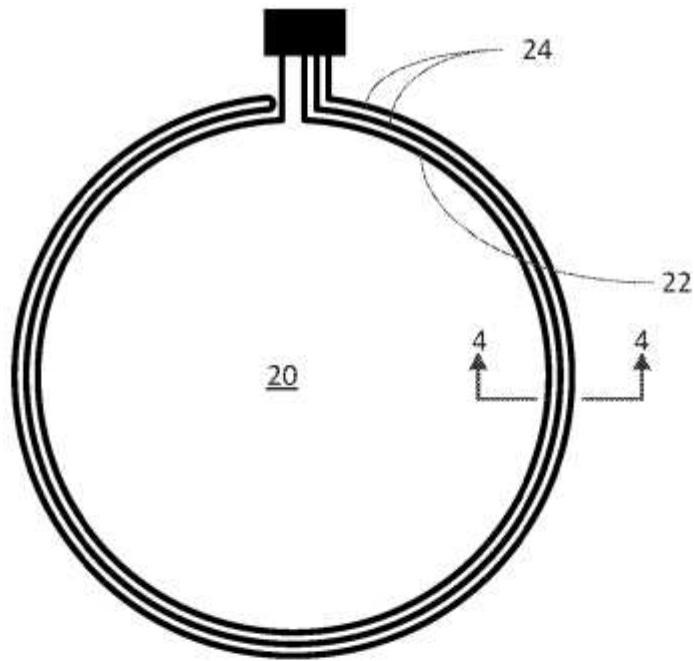


FIGURA 3

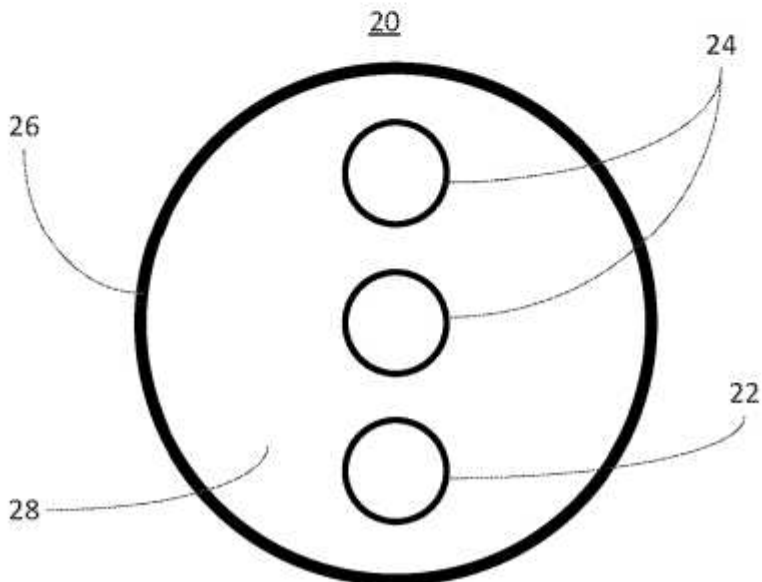


FIGURA 4

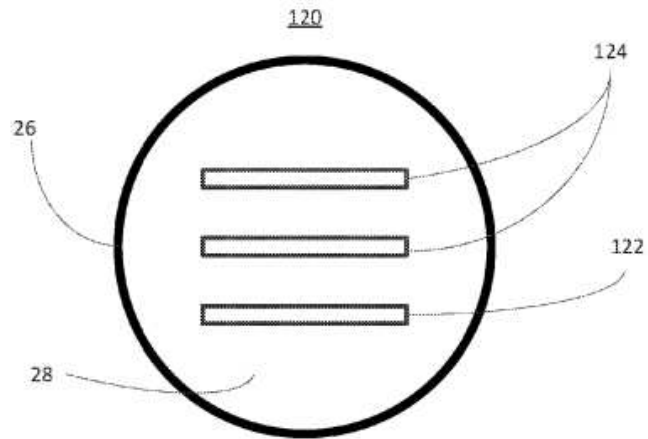


FIGURA 5

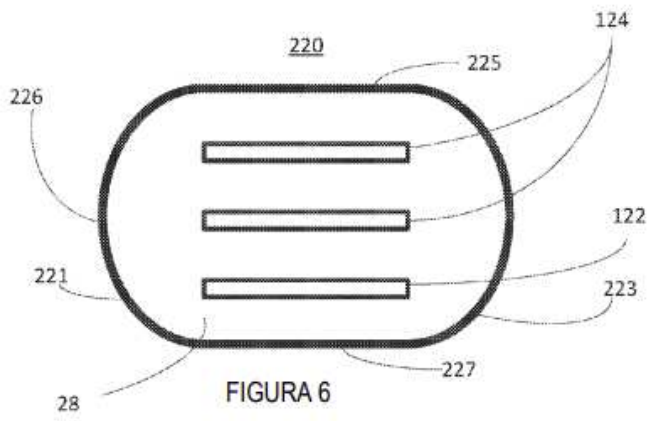


FIGURA 6

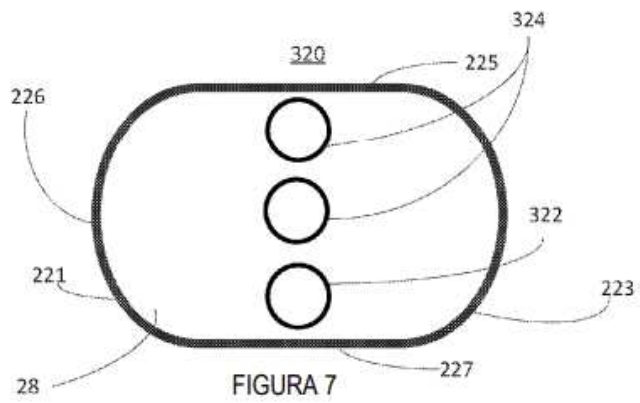


FIGURA 7