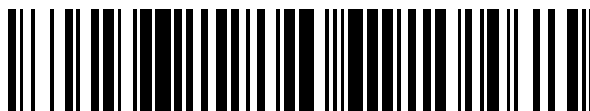


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 750 628**

51 Int. Cl.:

G01N 29/24 (2006.01)

B06B 1/08 (2006.01)

B06B 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.10.2015 PCT/GB2015/053161**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.05.2016 WO16066997**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.10.2015 E 15790191 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 3213063**

54 Título: **Transductor electromagnético acústico**

30 Prioridad:

29.10.2014 GB 201419219
30.04.2015 GB 201507388

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.03.2020

73 Titular/es:

PERMASENSE LIMITED (100.0%)
Accurist House, 44 Baker Street, Marylebone
London W1U 7AL, GB

72 Inventor/es:

CEGLA, FREDERIC BERT y
GARCIA, JULIO AGUSTIN ISLA

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 750 628 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

Transductor electromagnético acústico

Esta exposición se refiere al campo de los transductores electromagnéticos acústicos.

5 Los ensayos por ultrasonidos convencionales requieren la utilización de un fluido de acoplamiento entre el transductor y la estructura de ensayo. Los transductores electromagnéticos acústicos (EMAT) son atractivos ya que no requieren fluidos de acoplamiento, o incluso contacto directo, entre el transductor y el objeto de ensayo. Dichas características son ventajosas cuando, por ejemplo, se requiere monitorizar la corrosión cuando se detecta a través de capas protectoras contra la corrosión (tal como en pintura). No obstante, estas ventajas de los EMAT están acompañadas de la desventaja de que los EMAT tienen habitualmente una sensibilidad baja. Para abordar esta sensibilidad baja, un planteamiento es utilizar señales de excitación de alta potencia y tensiones de excitación altas dentro de los EMAT. No obstante, este planteamiento puede no ser posible por razones de seguridad en algunas instalaciones.

EMATEST-PL “equipamiento para el ensayo ultrasónico automático de placas” de Nordinkraft, describe el principio de la Transformación Electromagnética y Acústica.

El documento DE 4011686 C1 describe un transductor electrodinámico de ultrasonido.

15 El documento US 5.148.414 describe un transductor electromagnético ultrasónico.

El documento US 2007/0074572 A1 describe transductores electromagnéticos acústicos para utilizar en sistemas de inspección por ultrasonidos.

El documento JP 62056857 describe un transductor electromagnético de ondas ultrasónicas para ondas transversales que utiliza un núcleo magnético de alta frecuencia.

20 Cuando se observa desde un punto de vista, la presente exposición proporciona un transductor electromagnético acústico según la reivindicación 1.

La presente exposición reconoce que se puede mejorar la sensibilidad del transductor electromagnético acústico si se aumenta la densidad de flujo en la cara de ensayo, en algunas realizaciones, la densidad de flujo en la cara de ensayo puede ser mayor que el doble de la densidad de flujo con el o los imanes. Los imanes permanentes convencionales tienen limitada la densidad de flujo que pueden generar de manera individual. La presente exposición reconoce que la utilización de una guía de flujo moldeada adecuadamente, de modo que reciba el campo magnético desde el o los imanes, puede dar como resultado una amplificación de la densidad de flujo en la cara de ensayo debido a la repulsión entre las líneas del campo magnético que dirigen el campo magnético hacia la cara de ensayo.

30 La excitación de las ondas acústicas por parte del transductor se logra utilizando una bobina eléctrica, donde al menos parte de esta bobina eléctrica está dispuesta sobre la cara de ensayo. Dentro de la parte activa de la bobina entre la cara de ensayo y el objeto de ensayo, los conductores de la bobina eléctrica son sustancialmente paralelos, rectos y transportan la corriente en una misma dirección. Esto puede producir ondas ultrasónicas de una sola polaridad (p. ej., ondas transversales polarizadas en una dirección). Esto mejora la pureza del modo. Una pureza del modo mejorada (p. ej., un único modo excitado) puede hacer que el procesamiento y la interpretación de las señales devueltas sea más sencillo (p. ej., se evita la ambigüedad y una reducción de la resolución debido a señales recibidas superpuestas que se corresponden con modos diferentes (p. ej., modos de ondas longitudinales y transversales) recibidos al mismo tiempo).

40 Se ha descubierto que realizaciones ejemplares que proporcionan un buen comportamiento (p. ej., sensibilidad) son aquellas en las que la bobina eléctrica es una bobina de mariposa que comprende dos bobinas espirales adyacentes arrolladas en direcciones opuestas. Dicha bobina de mariposa se puede ubicar convenientemente entre la guía de flujo y el objeto de ensayo, de modo que una parte intermedia de la bobina de mariposa entre las bobinas espirales adyacentes esté dispuesta directamente entre la cara de ensayo y el objeto de ensayo. Esto puede permitir la generación de ondas ultrasónicas con una pureza del modo alta.

45 Las dimensiones de la guía de flujo con relación al o a los imanes son importantes para proporcionar un campo magnético intenso con un transductor compacto. La cara de ensayo tiene unas dimensiones tales que un radio mínimo de un círculo, que contiene completamente una proyección de la cara de ensayo en un plano normal a una dirección media de las líneas de flujo magnético que pasan a través de la cara de ensayo, sea R_a . El o los imanes tienen unas dimensiones tales que un radio mínimo de un círculo que contiene completamente una proyección del o de los imanes en el plano sea R_b y R_a/R_b esté en el rango entre 0.2 y 0.8, o en algunas realizaciones esté en el rango entre 0.45 y 0.55.

50 El valor de R_a puede estar convenientemente en el rango entre 2.5 mm y 25 mm, o en las mismas realizaciones entre 5 mm y 10 mm.

La altura H de la guía de flujo normal al plano puede estar en el rango entre 0.2 y $10R_a$. Se puede lograr un buen comportamiento con un tamaño compacto cuando H está en el rango entre R_a y $4R_a$ o en el rango entre 5 mm y 50 mm.

5 Hay una amplia variedad de posibles geometrías diferentes para el o los imanes y la guía de flujo. Se puede lograr un grado deseable de amplificación de la densidad de flujo magnético en la cara de ensayo en algunas realizaciones ejemplares en las que el o los imanes tienen una o más caras de los imanes próximas a la guía de flujo y el campo magnético pasa entre la o las caras de los imanes y la guía de flujo en unas direcciones respectivas que no son normales a la cara de ensayo. Dicha disposición facilita la concentración del campo magnético alrededor de la cara de ensayo.

10 En algunas realizaciones ejemplares, las direcciones de la normal a las caras de los imanes pueden estar dentro de un rango entre 90 grados y 15 grados con respecto a una normal a la cara de ensayo. Dicho rango de ángulos proporciona una geometría que produce una amplificación útil de la densidad de flujo magnético. En otras realizaciones ejemplares en las que la amplificación es mayor, las direcciones en las cuales el campo magnético pasa desde los imanes hasta la guía de flujo pueden estar en un rango entre 90 grados y 30 grados con respecto a una normal a la cara de ensayo. Realizaciones ejemplares adicionales en las que se compensa de manera particularmente marcada una amplificación ventajosa de la densidad de flujo frente a una forma compacta, son aquellas en las que las direcciones de entrada de las líneas del campo magnético en la guía de flujo son sustancialmente perpendiculares a una normal a la cara de ensayo.

15 Se apreciará que la guía de flujo puede tener varias formas diferentes. Sería posible que la guía de flujo tuviera la forma de un cilindro, siendo el imán un imán individual formado como un anillo que rodea este cilindro. En otras realizaciones, la guía de flujo tiene una forma de un prisma o tronco de pirámide y la cara de ensayo es una cara de base poligonal de este prisma o tronco de pirámide. La guía de flujo no está limitada a la forma de un prisma recto, también puede tener forma de prismas, pirámides y troncos de pirámides oblicuos; los ejemplos varían desde prismas triangulares rectos y oblicuos, pasando por pirámides poligonales o cuadradas hasta troncos de pirámide poligonal que en el límite se aproximan a un cono truncado. La cara base de la guía de flujo puede tener, en alguna realización, N aristas, donde N está en el rango entre 4 y 8.

20 Con dicha disposición, el o los imanes se pueden proporcionar convenientemente como una pluralidad de imanes con las caras de los polos respectivos y el prisma o tronco de pirámide provisto de una pluralidad de caras laterales que conectan la cara de ensayo con al menos algunas de las caras de los polos de los imanes que están en contacto con, al menos, algunas de las caras laterales del prisma o tronco de pirámide. El polo de igual polaridad de los imanes puede estar en contacto con todas las caras laterales del prisma o tronco de pirámide.

25 Se puede lograr una mayor densidad de flujo en la cara de ensayo, cuando cada una de la pluralidad de caras laterales está en contacto con una de las caras de los polos. Se pueden mejorar la geometría y el formado del transductor de modo que dé un campo regular, cuando el prisma es un prisma recto.

30 Aunque se apreciará que la cara poligonal podría tener la forma de una amplia variedad de polígonos regulares o irregulares diferentes, algunas realizaciones ejemplares que proporcionan un buen equilibrio entre comportamiento y complejidad son aquellas en las que la cara de ensayo es un cuadrilátero y el prisma es un prisma rectangular. La simetría y la regularidad se pueden mejorar cuando la cara de ensayo es un cuadrado.

35 Se puede lograr un montaje conveniente de todo el transductor que facilite una instalación y fijación simplificados del transductor en realizaciones ejemplares en las que un área total ocupada por la bobina eléctrica está contenida dentro de un área de una sección transversal total ocupada por el transductor electromagnético acústico proyectada en dirección normal sobre el objeto de ensayo. De esta manera, la bobina no se proyecta más allá del transductor y se puede proteger y mantener dentro del propio cuerpo del transductor.

40 La robustez frente al ruido y/o el comportamiento del transductor se pueden mejorar en algunas realizaciones ejemplares proporcionando un escudo capacitivo dispuesto entre la bobina eléctrica y el objeto de ensayo. Dicho escudo capacitivo puede servir, al menos parcialmente, para bloquear un campo eléctrico y dejar pasar sustancialmente todo un campo magnético dinámico desde la bobina de transmisión y desde las corrientes de eddy tras la recepción. De esta manera, el campo magnético deseado puede pasar y utilizarse para excitar las vibraciones ultrasónicas deseadas y las tensiones deseadas en la bobina, al tiempo que se atenúa un campo eléctrico que puede introducir ruido en el sistema.

45 El escudo capacitivo puede estar formado como una placa conductora que tiene uno o más cortes en ella, donde esos cortes están situados de modo que se reduzca la inducción de corrientes de eddy en la placa conductora por parte de la bobina eléctrica. La forma de la bobina eléctrica controlará la dirección de cualesquiera corrientes de eddy inducidas, y los cortes se pueden situar con relación a la bobina eléctrica de modo que inhiban la generación de corrientes de eddy en la placa conductora.

50 El escudo capacitivo también puede servir, en algunas realizaciones ejemplares como una placa contra el desgaste, que sirve para proteger la bobina eléctrica en lo que puede ser un entorno de instalación hostil.

55 El transductor electromagnético acústico de al menos algunas de las realizaciones ejemplares se puede mantener en el objeto de ensayo mediante una o más de atracción magnética entre la guía de flujo/imán(es) y el objeto de ensayo, una estructura de fijación elástica que acomoda la sujeción a un objeto de ensayo no plano y una abrazadera que rodea un objeto de ensayo que es una tubería. En la práctica, la intensa atracción magnética entre un transductor electromagnético acústico, de acuerdo con las técnicas de la presente, y un objeto de ensayo adecuado, simplifica significativamente la

fijación del transductor al objeto de ensayo y ayuda a resistir el despegue, mediante lo cual se puede resistir el desplazamiento del transductor, de modo que la cara de ensayo ya no esté en contacto directo con el objeto de ensayo.

Una carcasa que rodea la guía de flujo y el o los imanes puede ser "transparente" frente al flujo magnético, p. ej., puede tener una permeabilidad magnética menor de $2\mu_0$, donde μ_0 es la permeabilidad del vacío.

- 5 Cuando se observa desde un punto de vista adicional, la presente exposición proporciona un método según la reivindicación 14.

Ahora se describirán unas realizaciones ejemplares de la presente exposición, únicamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos anexos, en los que:

- 10 la figura 1 ilustra de manera esquemática un transductor electromagnético acústico fijo a un objeto de ensayo en forma de una tubería, dentro de un sistema para llevar a cabo una monitorización remota de esa tubería (p. ej., monitorización de la corrosión y/o detección de defectos);

la figura 2 es un diagrama que ilustra de manera esquemática una vista en perspectiva parcialmente transparente de un transductor electromagnético acústico;

- 15 la figura 3 es un diagrama que ilustra de manera esquemática una vista con un corte a través del transductor de la figura 2;

la figura 4 ilustra de manera esquemática una pluralidad de imanes, una guía de flujo y una bobina para su utilización en un transductor;

la figura 5 ilustra de manera esquemática las líneas del campo magnético dentro del transductor de la figura 2;

- 20 la figura 6A ilustra de manera esquemática diferentes ángulos, con relación a la normal a la cara de ensayo, con los que las líneas del campo magnético pueden entrar en la guía de flujo;

la figura 6B ilustra de manera esquemática la limitación de la distancia entre la cara de ensayo de la guía de flujo y la cara de contacto entre el o los imanes y la guía de flujo;

la figura 7 ilustra de manera esquemática diversos ejemplos de secciones transversales en forma de prisma o de tronco de pirámide de la guía de flujo;

- 25 las figuras 8A, 8B y 8C ilustran esquemáticamente una bobina de mariposa, una bobina con forma de D y una bobina de circuito respectivamente;

la figura 9 ilustra de manera esquemática un escudo capacitivo para su utilización entre un objeto de ensayo y la bobina de mariposa de la figura 8;

- 30 las figuras 10 a 18 ilustran esquemáticamente la trayectoria de las líneas del campo magnético y la densidad de flujo magnético en la cara de ensayo para guías de flujo de diversas alturas y con el campo magnético que pasa entre el imán permanente y la guía de flujo formando diferentes ángulos con respecto a la normal a la cara de ensayo; y

las figuras 19, 20 y 21 ilustran de manera esquemática un comportamiento diferente cuando se excitan señales en modo puro y modo no puro con diferentes formas de bobinas.

- 35 La figura 1 ilustra de manera esquemática un objeto de ensayo 2 ejemplar, en forma de una tubería de acero, la cual se somete a monitorización de la corrosión interna, detección de defectos y similares utilizando un transductor electromagnético acústico 4 mantenido en la superficie de la tubería 2 mediante uno o más de atracción magnética, una fijación elástica a la superficie curva de la tubería 2 y/o una abrazadera que la rodea que pasa alrededor de la tubería 2. El transductor 4 está alimentado por baterías (también se pueden utilizar la red principal o la captación de energía) y está en comunicación inalámbrica con un sistema de monitorización remota 6, que recibe e interpreta los resultados de los ensayos por ultrasonidos que el transductor 4 lleva a cabo periódicamente sobre la tubería 2. La tubería 2 puede tener un recubrimiento no conductor de la electricidad de modo que inhiba la corrosión externa. Por ejemplo, la tubería 2 se puede pintar con dicho recubrimiento. El transductor electromagnético acústico 4 puede excitar y detectar señales ultrasónicas dentro de la tubería 2 a pesar de este recubrimiento no conductor.
- 40

- 45 Se sobreentenderá que el transductor electromagnético acústico 4 no está limitado en su utilización a la monitorización remota, p. ej., también se podría utilizar con fines de inspección estándar o para otros usos.

- 50 La figura 2 es una vista en perspectiva parcialmente transparente del transductor 4. El transductor 4 incluye una guía de flujo 8 rodeada por una pluralidad de imanes permanentes 10 potentes. Se dispone una bobina de mariposa 12 entre una cara de ensayo en la base de la guía de flujo 8 y el objeto de ensayo 2. Se dispone un escudo capacitivo 14 (que consta de una placa conductora con cortes) entre la bobina de mariposa 12 y el objeto de ensayo. El escudo capacitivo 14 sirve para dejar pasar los campos magnéticos y atenuar los campos eléctricos. El escudo capacitivo 14 también sirve como una placa contra el desgaste de modo que soporte el daño a la bobina de mariposa 12. El transductor está contenido

ES 2 750 628 T3

dentro de una carcasa 9 que tiene una permeabilidad magnética μ , donde μ es menor que $2\mu_0$ y μ_0 es la permeabilidad del vacío. Por tanto, la carcasa 9 tiene poco impacto sobre el campo magnético.

5 Se observará a partir de la figura 2, que la bobina de mariposa 12 ocupa un área que está contenida dentro de un área de una sección transversal total ocupada por el transductor 4 proyectado en dirección normal sobre el objeto de ensayo 2. Por tanto, la bobina eléctrica 12 puede estar contenida completamente dentro del transductor 4 y protegida por el cuerpo del transductor. En otras realizaciones también es posible que la bobina eléctrica 12 se pueda extender fuera de la disposición de imanes y del cuerpo del transductor.

10 En esta realización ejemplar, los imanes permanentes 10 y la guía de flujo 8 tienen una altura de 40 mm y una anchura de 20 mm. Se apreciará que se pueden utilizar otras dimensiones y habitualmente la altura de las guías de flujo y de los imanes será mayor de o igual a 0.001 metro y menor de o igual a 0.1 metro.

15 La figura 3 es un diagrama con un corte parcial del transductor 4 de la figura 2. Tal como se observará en la figura 3, la guía de flujo 8 comprende un prisma recto con una cara poligonal cuadrada que forma la cara de ensayo 11, la cual se coloca contra el objeto de ensayo 2 (aunque puede haber estructuras intervinientes, tales como la bobina 12 y el escudo capacitivo 14). En algunas realizaciones, la cara de ensayo 11 puede ser la proyección de la sección transversal de la guía de flujo sobre el objeto de ensayo. Los imanes permanentes 10 tienen caras de los imanes que están en contacto con las caras laterales de la guía de flujo 8, de modo que el campo magnético en esta realización ejemplar pase desde los imanes permanentes 10 hasta la guía de flujo 8 a través de una cara con una normal que es sustancialmente perpendicular a la normal a la cara de ensayo 11. La mayoría de las líneas del campo magnético dejan la guía de flujo 8 a través de la cara de ensayo 11 y a continuación entran en el objeto de ensayo 2.

20 La guía de flujo 8 tiene unas dimensiones tales que un radio mínimo de un círculo, que contiene completamente una proyección de la cara de ensayo 11 en un lugar normal a la dirección media de las líneas del campo magnético que pasan a través de la cara de ensayo, sea R_a (tal como se muestra). R_a puede estar en el rango entre 2.5 mm y 25 mm, o en algunas realizaciones entre 5 mm y 10 mm. Los imanes 10 tienen unas dimensiones tales que un radio mínimo de un círculo, que contiene completamente una proyección de los imanes 10, sea R_b y R_a/R_b esté en el rango entre 0.2 y 0.8, o en algunas realizaciones esté en el rango entre 0.45 y 0.55.

25 La guía de flujo 8 se puede fabricar con un material magnético blando, tal como hierro o hierro laminado, de modo que se reduzcan las corrientes de eddy en su superficie debido a la bobina. Los imanes permanentes 10 pueden ser imanes potentes con densidades del campo magnético por encima de 1 Tesla. Tal como se observará, en esta realización ejemplar, todos los imanes permanentes se disponen de modo que sus polos sur contacten con la guía de flujo 10. El campo magnético que entra en la guía de flujo 8 desde cada uno de los imanes permanentes 10 será repelido correspondientemente desde el o los campos magnéticos que entran desde el resto de los imanes 10. Esto tiene el efecto de dirigir los campos magnéticos hacia la cara de ensayo 11 (o al menos parte de los campos magnéticos) de manera que dé como resultado un aumento de la densidad de flujo en la cara de ensayo 11 por encima de aquella dentro de los imanes permanentes 10 individuales. En la práctica, se puede lograr una amplificación de la densidad de flujo del orden de aproximadamente $\times 3$. Esto mejora la sensibilidad del transductor electromagnético acústico 4 cuya sensibilidad puede ser aproximadamente proporcional al cuadrado de la densidad de flujo en la cara de ensayo.

30 Se apreciará que el transductor 4 contendrá habitualmente muchos componentes electrónicos para excitar la bobina 12 así como también para recibir señales en la bobina 12. Estos componentes electrónicos se han omitido de las presentes figuras para una mayor claridad, aunque pueden adoptar una forma sustancialmente convencional tal como les será familiar a aquellos expertos en el campo de los transductores electromagnéticos acústicos.

35 La cara de ensayo en esta realización ejemplar comprende la cara poligonal cuadrada en la base de la guía de flujo 8. Una diagonal a través de esta cara de ensayo cuadrada representa la dimensión más grande de la cara de ensayo. Las presentes técnicas se pueden utilizar con transductores de una variedad de escalas diferentes y habitualmente la cara de ensayo tendrá una dimensión máxima (p. ej., la diagonal) que estará comprendida en el rango entre mayor de o igual a 0.001 metro y menor de o igual a 0.1 metro. En algunas realizaciones, esta dimensión ($2R_a$) puede estar en el rango entre 5 mm y 50 mm o en el rango entre 10 mm y 20 mm.

40 La figura 4 ilustra de manera esquemática una vista en perspectiva de los imanes permanentes 10, la guía de flujo 8 y la bobina 12 que forman parte del transductor 4. Tal como se muestra en este ejemplo, cada una de las caras laterales de la guía de flujo 10 están en contacto con un polo sur de un imán permanente 10. La repulsión entre las líneas del campo magnético que entran en la guía de flujo 8 desde los imanes permanentes 10 sirven para dirigir, al menos, una parte de estas líneas del campo magnético hacia abajo, en dirección a la cara de ensayo en el extremo de la guía de flujo 10 que está en contacto con el objeto de ensayo 2. Se dispone una bobina de mariposa 12 entre esta cara de ensayo y el objeto de ensayo 2. La altura H de la guía de flujo 8 puede estar en el rango entre $0.2R_a$ y $10R_a$ y, en algunas realizaciones, en el rango entre R_a y $4R_a$ o en el rango entre 5 mm y 50 mm.

45 La figura 5 ilustra de manera esquemática una sección transversal, a través del transductor 4 y del objeto de ensayo 2, que ilustra la trayectoria de las líneas del campo magnético que entran en la guía de flujo 8 desde dos imanes permanentes 10 dispuestos sobre lados opuestos de la guía de flujo 8. Tal como se observará, las caras de los imanes son sustancialmente perpendiculares a la normal desde la cara de ensayo en la base de la guía de flujo 8. Las líneas del

campo magnético que entran desde lados opuestos de la guía de flujo 8 se repelen entre sí y están dirigidas hacia la cara de ensayo de modo que entren en el objeto de ensayo 2. El objeto de ensayo 2 proporciona una trayectoria de retorno para las guías del campo magnético a sus imanes 10 respectivos. La trayectoria de retorno a través del objeto de ensayo 2 puede proporcionar una trayectoria de retorno preferencial que depende de las propiedades magnéticas del material a partir del cual está formado el objeto de ensayo 2 y de la geometría del objeto de ensayo 2 (p. ej., una tubería de acero que constituya el objeto de ensayo 2 puede proporcionar una trayectoria de retorno fácil para las líneas del campo magnético). La geometría del transductor 4 es tal que se proporciona una resistencia relativamente alta al despegue del transductor 4 (imanes) desde la superficie del objeto de ensayo 2. Por tanto, una alteración menor del transductor 4 desde un contacto ideal con el objeto de ensayo 2 no tiene un efecto excesivamente negativo sobre el comportamiento del transductor 4, p. ej., sobre su sensibilidad. Esto hace el comportamiento del transductor 4 menos sensible a su utilización en objetos de ensayo curvos, p. ej., tuberías con diámetros pequeños/diferentes. Esto se ilustra en la figura 6B tal como se analiza a continuación.

La figura 6A ilustra de manera esquemática una sección transversal a través de la guía de flujo 8 y un imán 10, a un lado de un eje central 16 de la guía de flujo 8. Este ejemplo ilustra cómo la cara lateral 18 de la guía de flujo 8, contra la que se coloca la cara del imán del imán 10, puede tener una normal con un ángulo con la normal a la cara de ensayo 20 que se encuentre dentro de un rango de ángulos. Tal como se ilustra, se puede lograr un comportamiento aceptable cuando el ángulo se encuentra en el rango entre mayor de o igual a 15 grados y menor de o igual a 90 grados. Se logra un mejor comportamiento cuando este ángulo es mayor de o igual a 30 grados y menor de o igual a 90 grados. Un ángulo de sustancialmente 90 grados es conveniente para fabricación y embalaje, y está de acuerdo con la realización ejemplar ilustrada en las figuras 2, 3, 4 y 5.

La figura 6B ilustra de manera esquemática una sección transversal a través de la guía de flujo 8 y el o los imanes 10. Con el fin de reducir la susceptibilidad al "despegue" del transductor 4 desde el objeto de ensayo 2, lo que empeora el comportamiento (densidad de flujo en la cara de ensayo 20), la distancia entre la cara de ensayo 20 y el contacto entre el o los imanes 10 y la guía de flujo 8 puede estar limitado de modo que sea menor de o igual a 6 mm.

Se apreciará que la guía de flujo 8 tiene la forma de un prisma o de tronco de pirámide. Esta puede ser, por ejemplo, un prisma recto. La cara poligonal en un extremo de este prisma recto o tronco de pirámide puede tener diversas formas, tal como se ilustra en la figura 7. Estas formas incluyen, por ejemplo, un triángulo equilátero, un cuadrado, un hexágono regular, un rectángulo y un triángulo isósceles. Un caso límite, al aumentar el número de lados del polígono que forman la cara final del prisma recto, es que la cara final del prisma se convertirá en un círculo y el prisma se convertirá en un cilindro (o en el caso de un tronco de pirámide en un tronco de cono). En dichas realizaciones, el imán puede adoptar la forma de un imán anular en el que la cara interior que contacta con la cara lateral del cilindro comprende un polo del imán, comprendiendo la cara opuesta del anillo el otro polo del imán. Dicho imán anular se puede formar, por ejemplo, fijando entre sí una pluralidad de segmentos del anillo formados y polarizados individualmente con el fin de formar el anillo completo. En algunas realizaciones, la cara de ensayo TF (por sus siglas en inglés) de la guía de flujo 8 es un polígono con un número de lados N en el rango entre 4 y 8.

La figura 8A ilustra de manera esquemática una bobina eléctrica en forma de una bobina de mariposa 12. Esta bobina de mariposa 12 comprende dos bobinas espirales arrolladas en sentidos opuestos, es decir, una en sentido horario y una en sentido antihorario, cuando se observan tanto desde arriba como desde abajo. La parte intermedia de la bobina de mariposa 12, donde las periferias de las dos bobinas espirales son contiguas, es tal que la corriente a través de los cables que forman las espirales pasa toda en la misma dirección en la parte intermedia (que contiene la parte activa dispuesta entre la cara de ensayo y el objeto de ensayo). Los cables (conductores) en la parte intermedia son sustancialmente rectos, paralelos y hacen pasar la corriente en una misma dirección. Esto puede generar ondas de una única polarización de modo que se mejore la pureza del modo en las vibraciones generadas/recibidas (esto se analiza adicionalmente a continuación). Esto induce una corriente de eddy intensa en el objeto de ensayo que está por debajo de la parte intermedia y en consecuencia, cuando esta interactúa con el campo magnético, se puede utilizar para generar vibraciones ultrasónicas. Tal como se ilustra en la figura 8A, la bobina de mariposa 12 está contenida enteramente dentro de una proyección normal del transductor 4 sobre la superficie del objeto de ensayo 2. Se sobreentenderá que también se pueden utilizar otras formas de bobinas eléctricas, tales como bobinas con forma de oblea. En algunas realizaciones, la bobina de mariposa 12 se puede extender fuera de la proyección normal del transductor 4. La bobina de mariposa 12 también se puede fabricar teniendo un comienzo en el centro de una bobina y un extremo en el centro de la otra bobina, ya que esto evita el cruce de las líneas en la región central.

La figura 8B ilustra otro ejemplo de bobina en forma de una bobina con forma de D 13. Esta bobina con forma de D 13 tiene de nuevo una parte activa dispuesta de modo que cubra la cara de ensayo de la guía de flujo 8. Los conductores (cables) dentro de la parte activa son sustancialmente rectos, paralelos y transportan la corriente en la misma dirección.

La figura 8C ilustra otro ejemplo de bobina en forma de una bobina con forma de circuito 15. Esta bobina con forma de circuito 15 tiene de nuevo una parte activa dispuesta de modo que cubra la cara de ensayo de la guía de flujo 8. Los conductores (cables) en la parte activa son sustancialmente rectos, paralelos y transportan la corriente en la misma dirección. Se pueden tener pequeñas desviaciones desde una disposición recta y paralela de las diversas bobinas 12, 13 y 15 al tiempo que aún se garantiza que las ondas excitadas están sustancialmente dentro de un único modo.

La figura 9 ilustra de manera esquemática el escudo capacitivo 14. Este adopta la forma de una placa conductora en la que se han realizados unos cortes 24, de modo que se reduzcan las corrientes de eddy inducidas dentro de las placas capacitivas por la proximidad a la bobina de mariposa 12. En el dibujo solamente se muestran dos cortes, aunque se pueden realizar más cortes y esto puede mejorar el comportamiento. El efecto del escudo capacitivo es que este sirve para atenuar (bloquear) los campos eléctricos que pasan entre la bobina de mariposa 12 y el objeto de ensayo 2, mientras que permite que pasen los campos magnéticos entre el objeto de ensayo 2 y la bobina de mariposa 12. El escudo capacitivo 14 también sirve como una placa contra el desgaste para proteger la bobina de mariposa 12 del daño físico.

Las figuras 10 a 18 ilustran de manera esquemática las líneas de flujo y las densidades de flujo axial y radial dentro del objeto de ensayo 2, que se pueden lograr utilizando guías de flujo 8 de diferentes alturas normales a la superficie del objeto de ensayo 2 y con las caras laterales, a través de las cuales entra en la guía de flujo 8 el campo magnético, formando ángulos diferentes con relación a una normal al objeto de ensayo 2. En la práctica, el imán permanente 10 ilustrado se dispondrá opuesto a otro imán permanente 10 en el otro lado de la guía de flujo 8, aunque este no se ilustra en las figuras 10 a 18. Los ejemplos de las figuras 10 a 18 pertenecen a sistemas con simetría cilíndrica.

El efecto de los dos imanes permanentes 10 con dicha proximidad, es que las líneas del campo magnético dentro de la guía de flujo 8 se repelen entre sí y están dirigidas hacia la cara de ensayo de la guía de flujo 8, desde la cual entran en el objeto de ensayo 2. El objeto de ensayo 2 puede proporcionar una trayectoria de retorno relativamente fácil para estas líneas del campo magnético al imán permanente 10, p. ej., si el objeto de ensayo 2 se fabrica de un material ferromagnético. En el ejemplo ilustrado, el imán permanente 10 puede tener una densidad de flujo magnético dentro de su cuerpo de menos de 1 Tesla, si bien se observará que las densidades de flujo magnético logradas dentro del objeto de ensayo 2 pueden ser de más del doble de esta magnitud. Incluso si el objeto de ensayo 2 no es ferromagnético, se puede lograr un aumento de la densidad de flujo donde el campo magnético pasa entre la guía de flujo 8 y el objeto de ensayo 2.

Las figuras 10 a 18 ilustran las trayectorias de las líneas del campo magnético y las densidades de flujo magnético logradas para diversas alturas diferentes de la guía de flujo 8 junto con diversos ángulos diferentes a los cuales los imanes permanentes 10 están en contacto con la guía de flujo 8. Se puede lograr una amplificación aceptable de la densidad de flujo magnético que entra en el objeto de ensayo 10 cuando los ángulos se encuentran en el rango entre 15 grados y 90 grados. Se logra una mejor amplificación cuando los ángulos están en el rango entre 30 grados y 90 grados. Tal como se ilustra se pueden emplear diversas alturas de la guía de flujo 8.

Se apreciará que las figuras 10 a 18 demuestran que la guía de flujo 8 puede tener diversas formas y perfiles diferentes, mientras logra el efecto de utilizar la repulsión entre el campo magnético dentro de la guía de flujo 8 para dirigir ese campo magnético hacia la cara de ensayo y el objeto de ensayo, de modo que la densidad de flujo magnético en la cara de ensayo sea mayor que la lograda dentro del imán permanente 10 individual.

La figura 19 ilustra de manera esquemática una abertura de radio R_a que se corresponde con una parte activa de una bobina entre una cara de ensayo y un objeto de ensayo. Dentro de la parte activa, se excitan las ondas elásticas (ondas ultrasónicas) debido al mecanismo de la fuerza de Lorentz, el cual es un resultado de la interacción de las corrientes de eddy inducidas en el objeto de ensayo (conductor de la electricidad) y el campo magnético polarizado. Cuando los conductores son sustancialmente paralelos a través de la abertura, tal como se muestra en la parte izquierda de la figura 19, las fuerzas actúan paralelamente en una única dirección, lo que da como resultado una excitación de una onda transversal de modo puro. Por el contrario, si la bobina forma un bucle en la parte activa, tal como se muestra en la parte derecha de la figura 19, en ese caso esto da como resultado unas fuerzas superficiales que estiran radialmente y comprimen radialmente la superficie, lo que da como resultado una pureza más pobre del modo, es decir, la excitación de la onda longitudinal hacia una parte central del bucle.

La figura 20 ilustra de manera esquemática la excitación de señales de modo puro a 2 MHz en una cara (cara de excitación) de placas de acero de grosores respectivos y las señales reflejadas recibidas (de diferentes órdenes de reflexión) de la cara opuesta (cara de reflexión). La figura 21 ilustra de manera esquemática la excitación de señales de modo no puro a 2 MHz en una cara (cara de excitación) de placas de acero de grosores respectivos y las señales reflejadas recibidas (de diferentes órdenes de reflexión) de la cara opuesta (cara de reflexión). Al comparar las señales recibidas en la figura 20 con aquellas de la figura 21, se observará que las ondas excitadas de modo puro dan como resultado unas señales recibidas más claramente separadas y más fácilmente discriminadas (ondas reflejadas).

Aunque las realizaciones ilustrativas de la invención se han descrito con detalle en la presente haciendo referencia a los dibujos anexos, se debe sobreentender que la invención no está limitada a esas realizaciones específicas, y que alguien experto en la técnica puede efectuar diversos cambios, adiciones y modificaciones en esta sin alejarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, se podrían realizar diversas combinaciones de las características de las reivindicaciones dependientes con las características de las reivindicaciones independientes sin alejarse del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un transductor electromagnético acústico (4) para excitar vibraciones ultrasónicas dentro de un objeto de ensayo, donde dicho transductor electromagnético acústico comprende:
- al menos un imán (10) configurado de modo que genere un campo magnético;
- 5 una guía de flujo (8) que tiene una cara de ensayo para colocarla contra dicho objeto de ensayo, donde dicha guía de flujo se moldea de modo que reciba dicho campo magnético desde el o los imanes mencionados y de modo que dirija dicho campo magnético, tal que la repulsión entre las líneas del campo magnético dentro de dicha guía de flujo dirija al menos parte de dicho campo magnético hacia dicha cara de ensayo; y
- una bobina eléctrica (12) que comprende al menos:
- 10 una parte activa de dicha bobina eléctrica dispuesta de modo que cubra dicha cara de ensayo, donde dentro de dicha parte activa, los conductores de dicha bobina eléctrica son sustancialmente paralelos, rectos y transportan la corriente en una misma dirección, y
- una parte adicional de dicha bobina no dispuesta sobre dicha cara de ensayo, donde en la parte adicional los conductores de dicha bobina eléctrica transportan la corriente en una dirección diferente a la de los conductores en la parte activa;
- 15 donde dicha guía de flujo tiene una forma de prisma o de tronco de pirámide y dicha cara de ensayo es una cara base poligonal de dicho prisma o tronco de pirámide; y
- una cara del o de los imanes mencionados contacta, al menos parcialmente, con una cara lateral de la guía de flujo.
2. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en la reivindicación 1, donde dicha bobina eléctrica es una bobina de mariposa que comprende dos bobinas espirales adyacentes arrolladas en sentidos opuestos.
- 20 3. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en la reivindicación 2, donde una parte intermedia de dicha bobina de mariposa entre dichas bobinas espirales adyacentes es dicha parte activa y se dispone entre dicha cara de ensayo y dicho objeto de ensayo.
4. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha cara de ensayo tiene unas dimensiones tales que un radio mínimo de un círculo, que contiene completamente una proyección de dicha cara de ensayo en un plano normal a una dirección media de las líneas del campo magnético que pasan a través de dicha cara de ensayo, sea R_a .
- 25 5. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en la reivindicación 4, donde el o los imanes mencionados tienen unas dimensiones tales que un radio mínimo de un círculo, que contiene completamente una proyección del o de los imanes mencionados en dicho plano, sea R_b ; y
- 30 R_a/R_b está en el rango entre 0.2 y 0.8.
6. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 4 y 5, donde R_a está en el rango entre 2.5 mm y 25 mm.
7. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, donde dicha guía de flujo tiene una altura normal a dicho plano de H, y H está en el rango de uno de: $0.2R_a$ y $10R_a$; y R_a y $4R_a$.
- 35 8. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en la reivindicación 7, donde H está en el rango entre 5 mm y 50 mm.
9. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el o los imanes mencionados tienen una o más caras de los imanes próximas a dicha guía de flujo y dicho campo magnético pasa entre la o las caras de los imanes mencionadas y dicha guía de flujo en unas direcciones respectivas que no son normales a dicha cara de ensayo.
- 40 10. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha repulsión de dichas líneas del campo magnético aumenta la densidad de flujo dentro de dicha guía de flujo y dicha cara de ensayo por encima de aquella dentro del o de los imanes mencionados.
11. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en la reivindicación 10, donde la densidad de flujo dentro de dicha guía de flujo y dicha cara de ensayo es más del doble de la densidad de flujo dentro del o de los imanes mencionados.
- 45 12. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en la reivindicación 12, donde dicha cara base poligonal es un polígono de N lados, donde N está en el rango entre 4 y 8.

13. Un transductor electromagnético acústico tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una carcasa que rodea el o los imanes mencionados y dicha guía de flujo, teniendo dicha carcasa una permeabilidad magnética μ , donde μ es menor de $2\mu_0$ y μ_0 es la permeabilidad en el vacío.

5 14. Un método de excitación de vibraciones ultrasónicas dentro de un objeto de ensayo utilizando un transductor electromagnético acústico, donde dicho método comprende los pasos de:

colocar una guía de flujo con una cara de ensayo contra dicho objeto de ensayo;

generar un campo magnético con al menos un imán;

recibir en dicha guía de flujo dicho campo magnético desde el o los imanes mencionados; y

10 dirigir dicho campo magnético dentro de dicha guía de flujo, de modo que la repulsión entre las líneas del campo magnético dirija al menos parte de dicho campo magnético hacia dicha cara de ensayo;

15 proporcionar al menos una parte activa de una bobina eléctrica dispuesta de modo que cubra dicha cara de ensayo y una parte adicional de dicha bobina eléctrica no dispuesta sobre dicha cara de ensayo, donde dentro de dicha parte activa los conductores de dicha bobina eléctrica son sustancialmente paralelos, rectos y transportan la corriente en una misma dirección y en la parte adicional los conductores de dicha bobina eléctrica transportan la corriente en una dirección diferente a la de los conductores en la parte activa; y

conducir una corriente eléctrica a través de dicha bobina para excitar sustancialmente una onda transversal de modo puro y polarizada de manera unidireccional en dicho objeto de ensayo;

donde dicha guía de flujo tiene una forma de un prisma o de tronco de pirámide y dicha cara de ensayo es una cara base poligonal de dicho prisma o tronco de pirámide; y

20 una cara del o de los imanes mencionados contacta, al menos parcialmente, con una cara lateral de la guía de flujo.

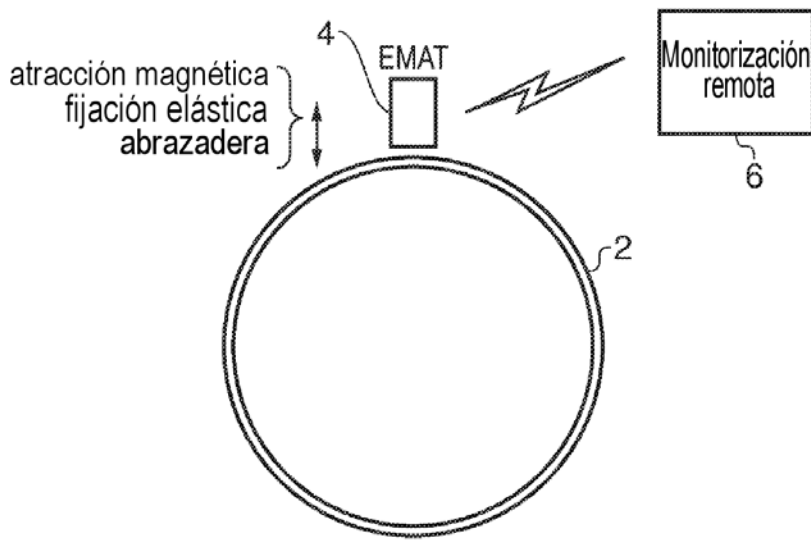


FIG. 1

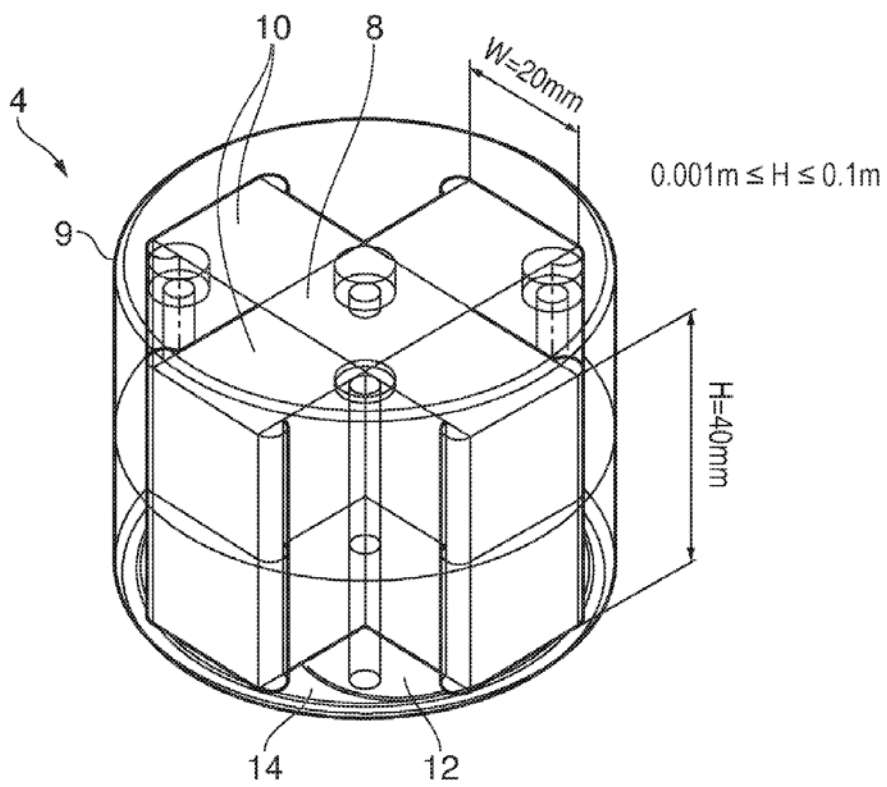
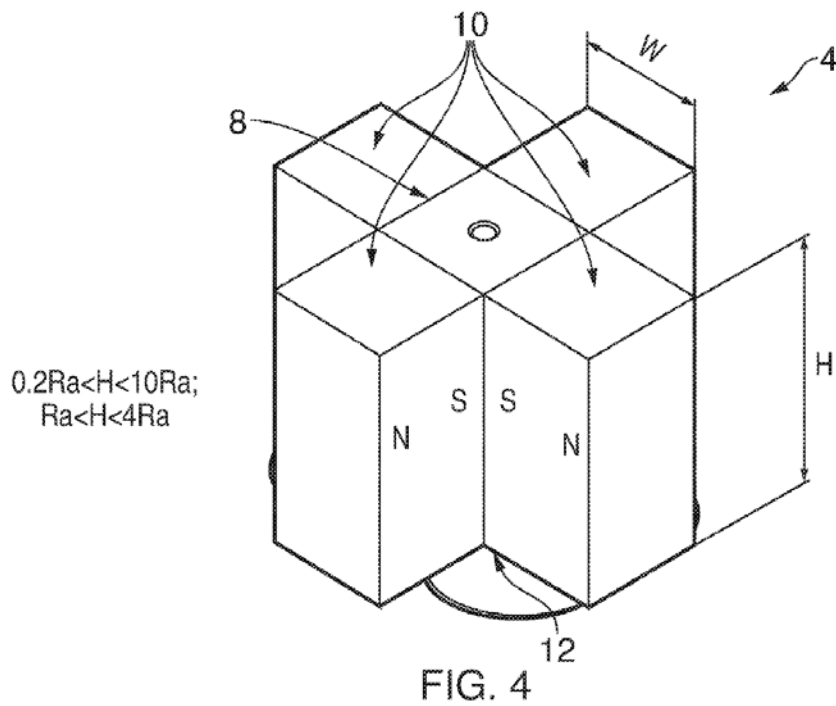
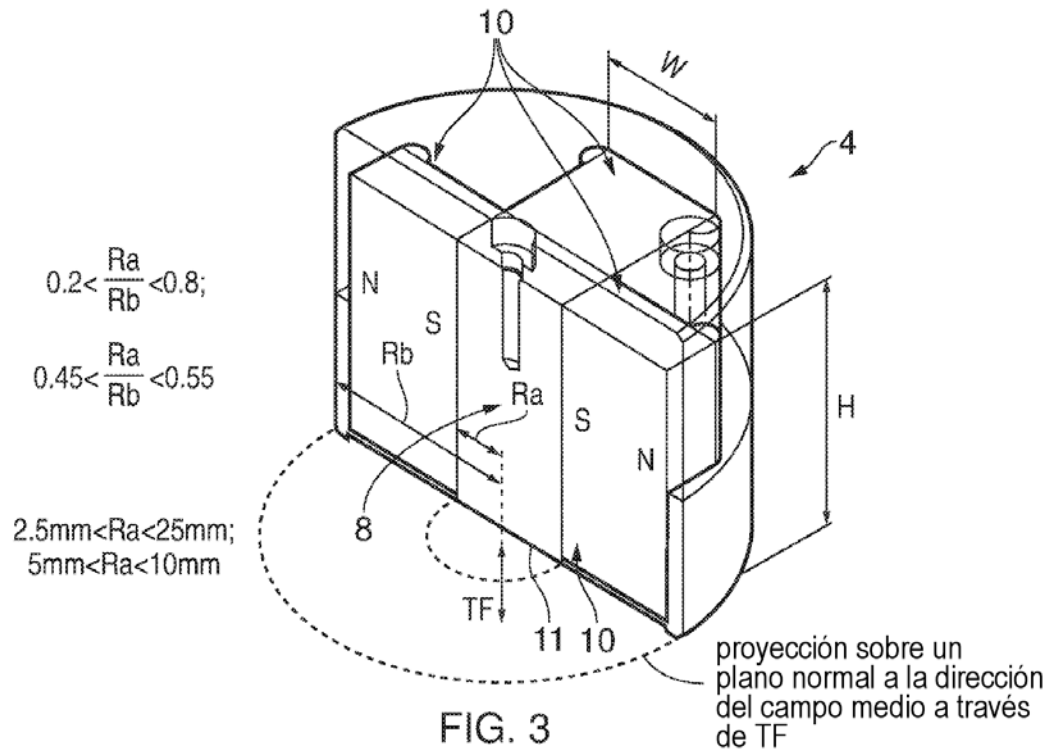


FIG. 2



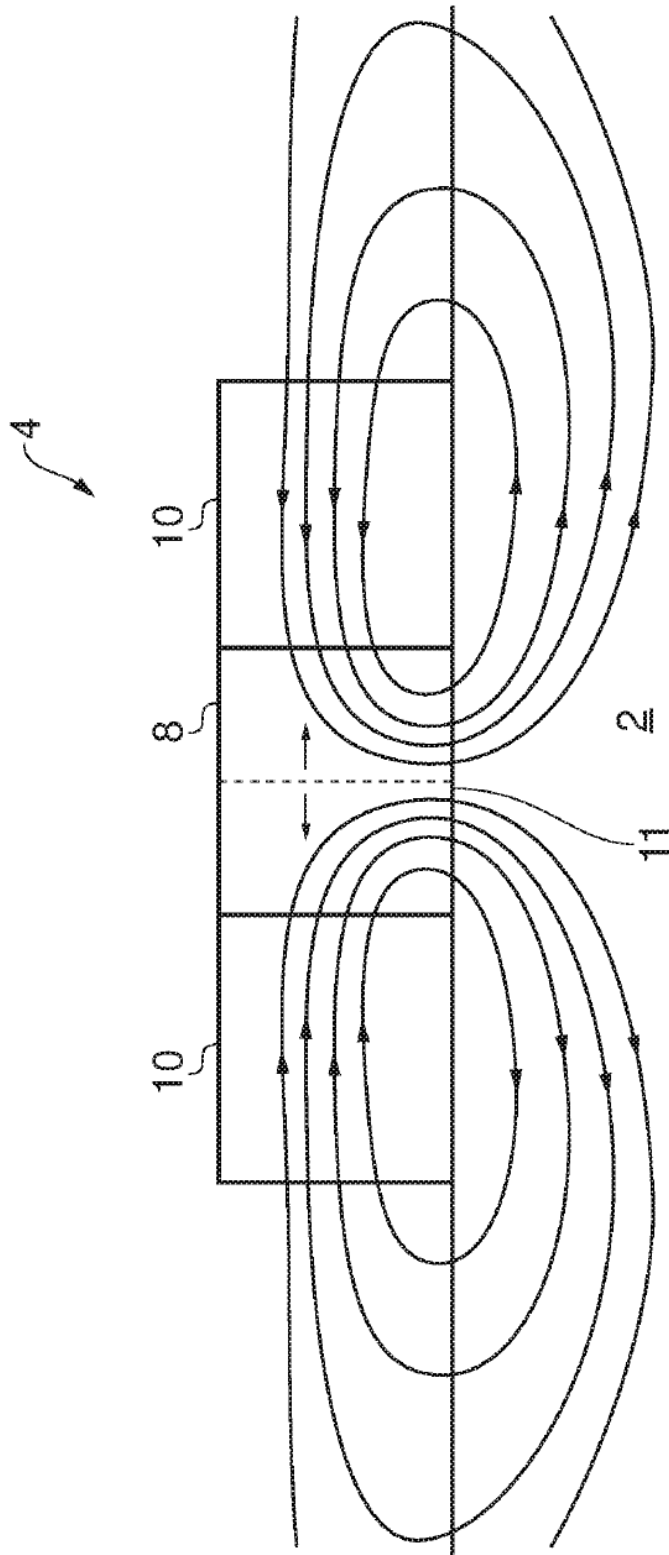


FIG. 5

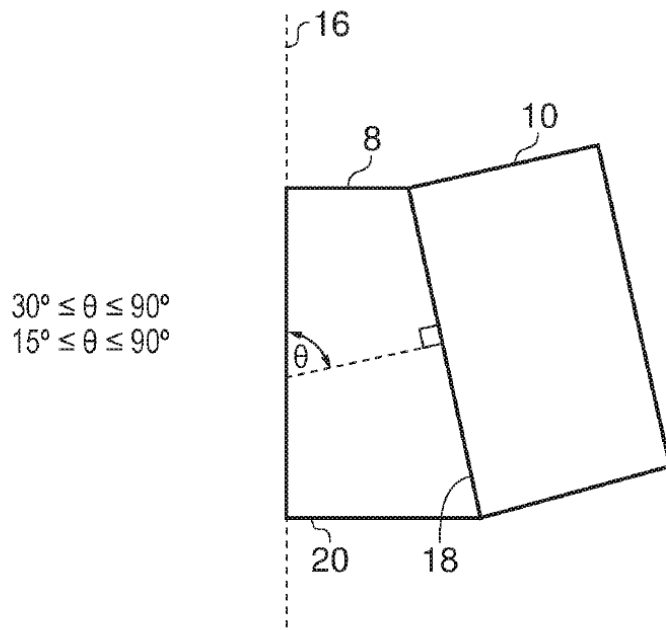
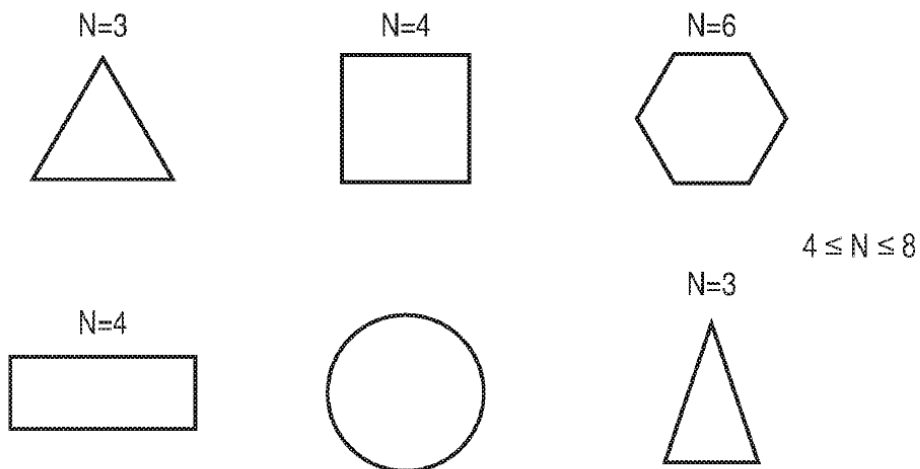


FIG. 6A



Secciones transversales de la guía de flujo

FIG. 7

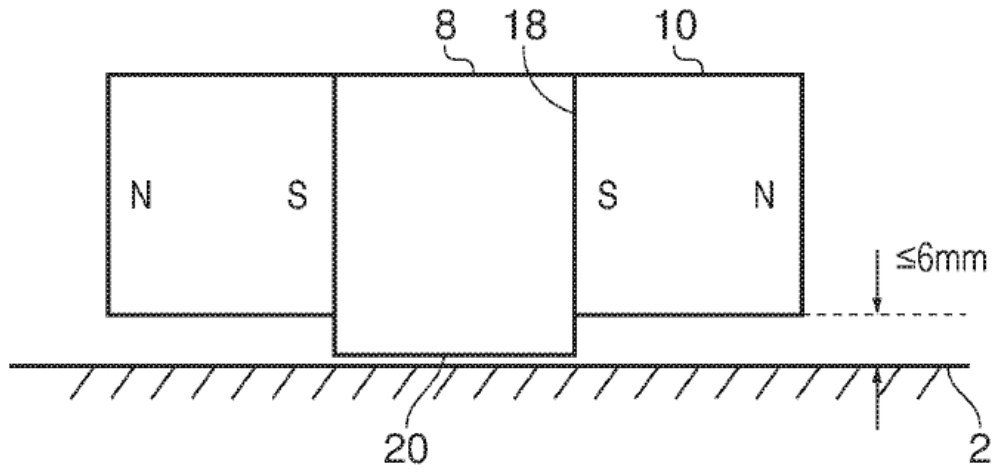


FIG. 6B

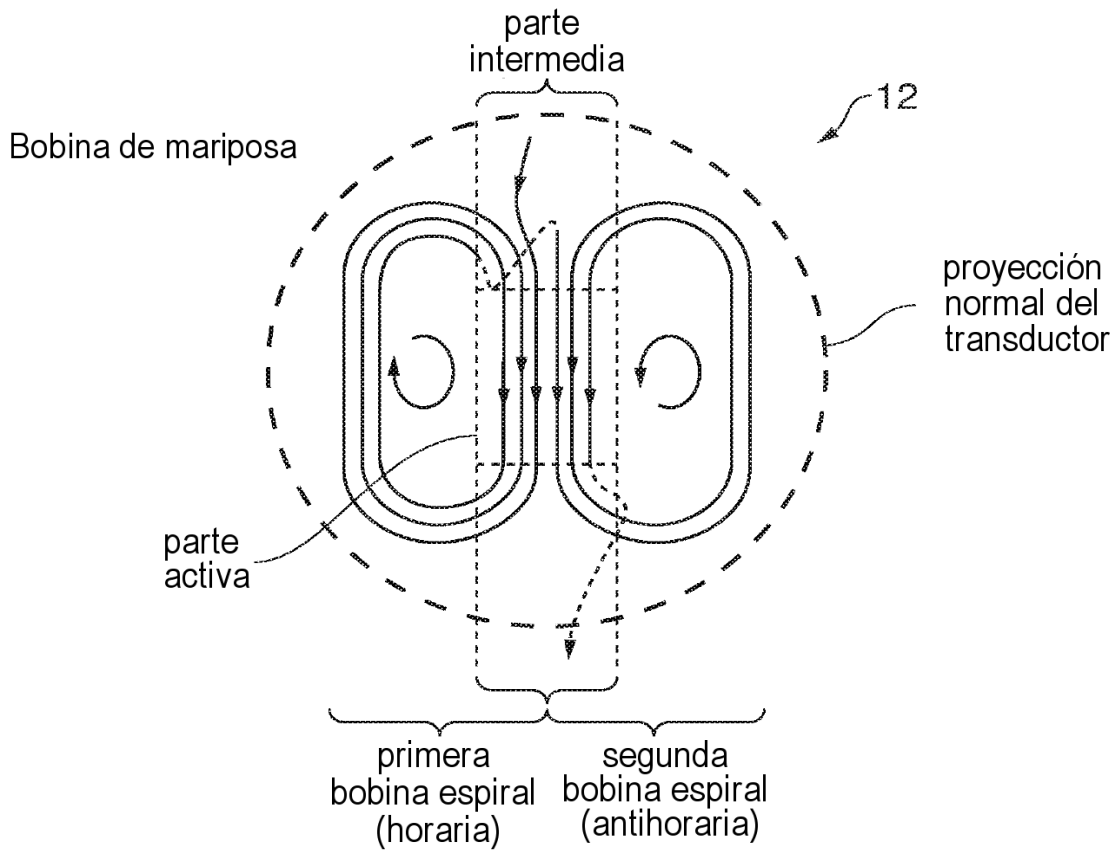


FIG. 8A

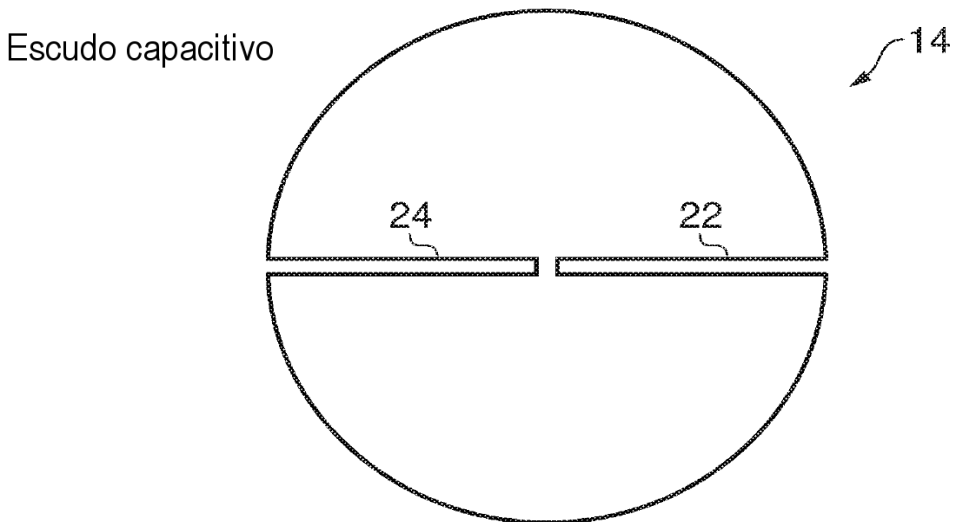


FIG. 9

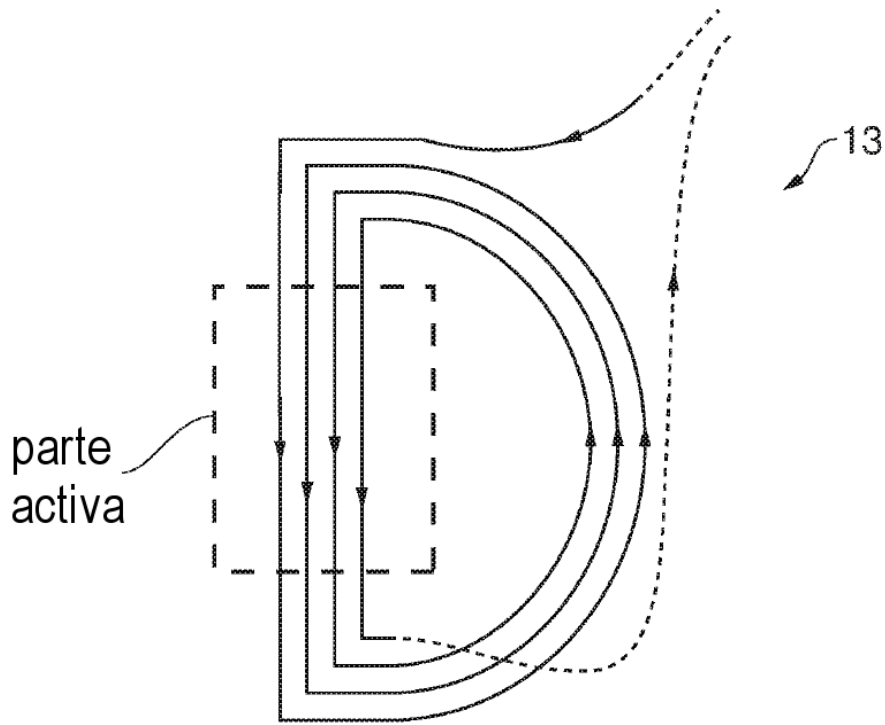


FIG. 8B

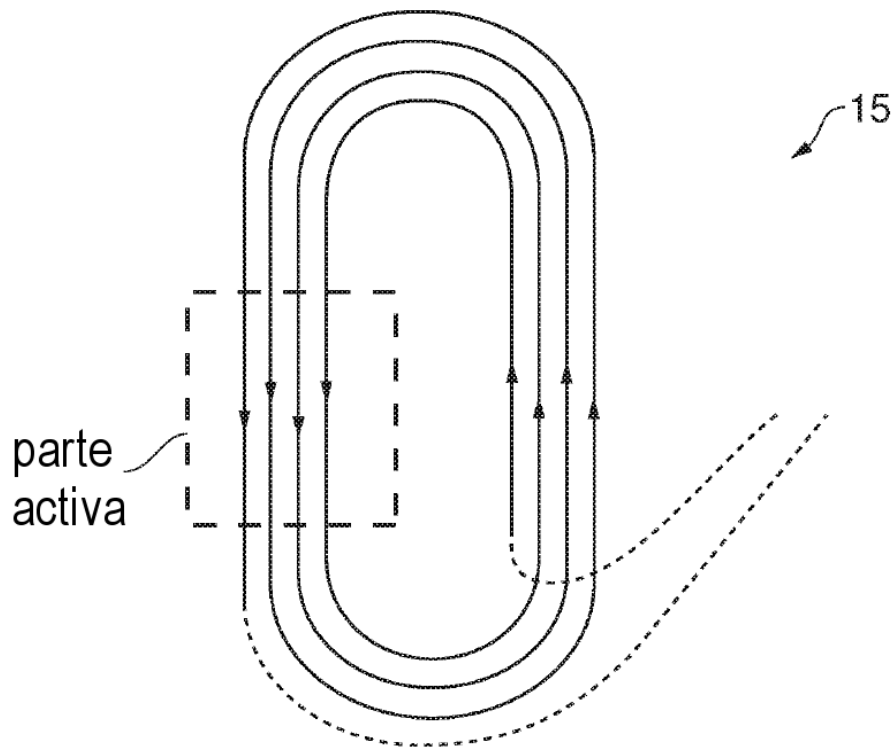


FIG. 8C

Altura = 20mm, Ángulo = 60°

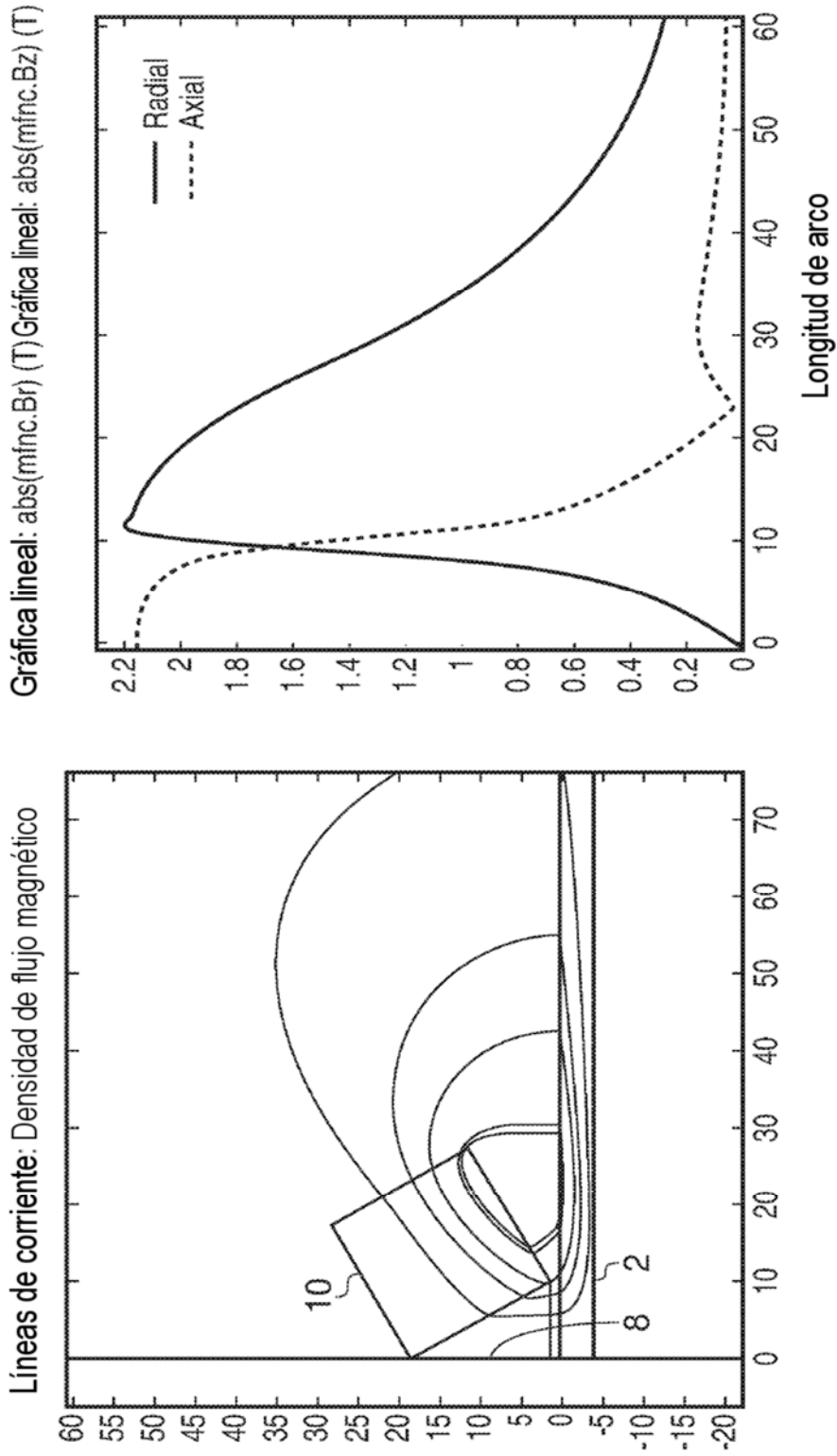


FIG. 10

Altura = 20mm, Ángulo = 75°

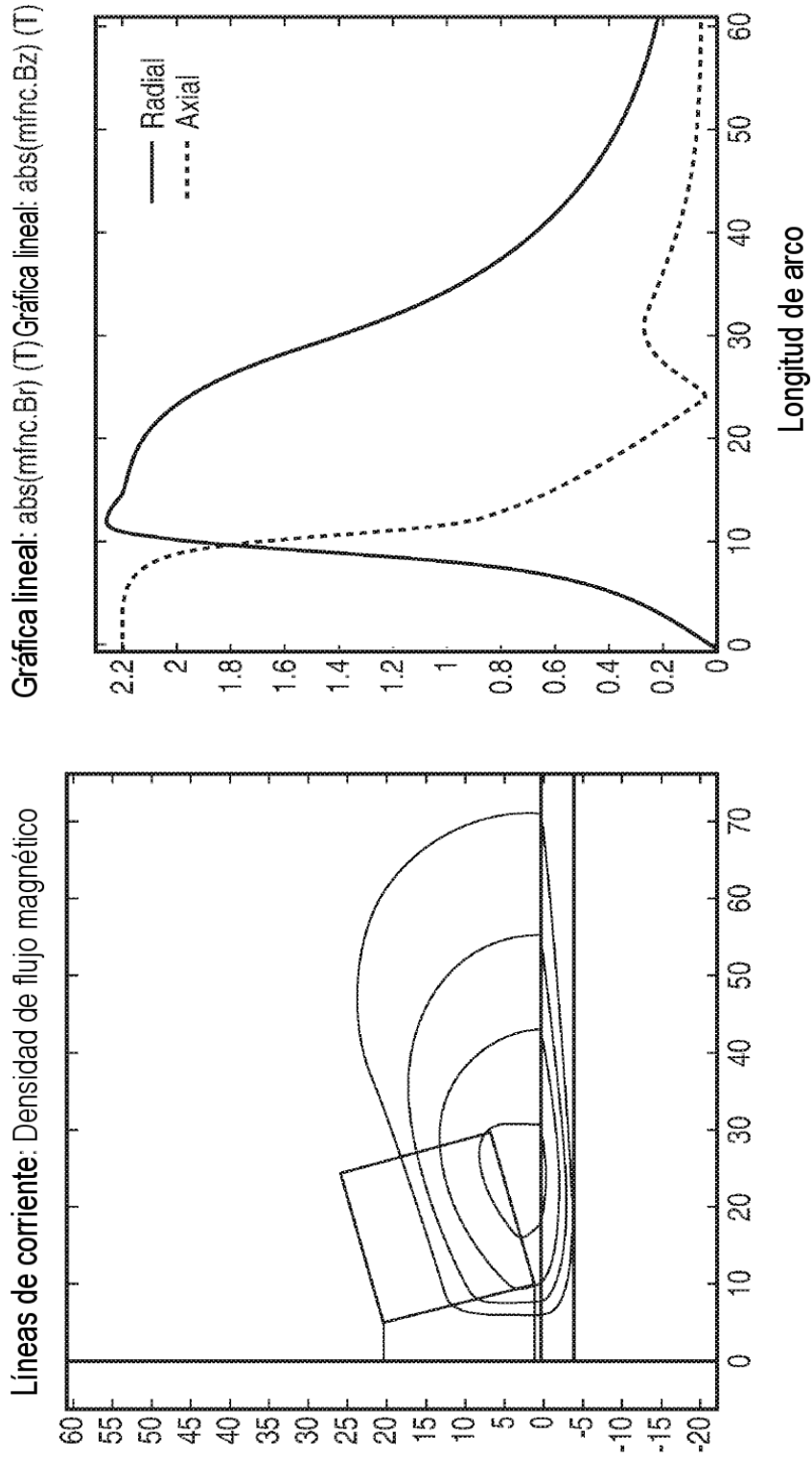


FIG. 11

Altura = 20mm, Ángulo = 90°

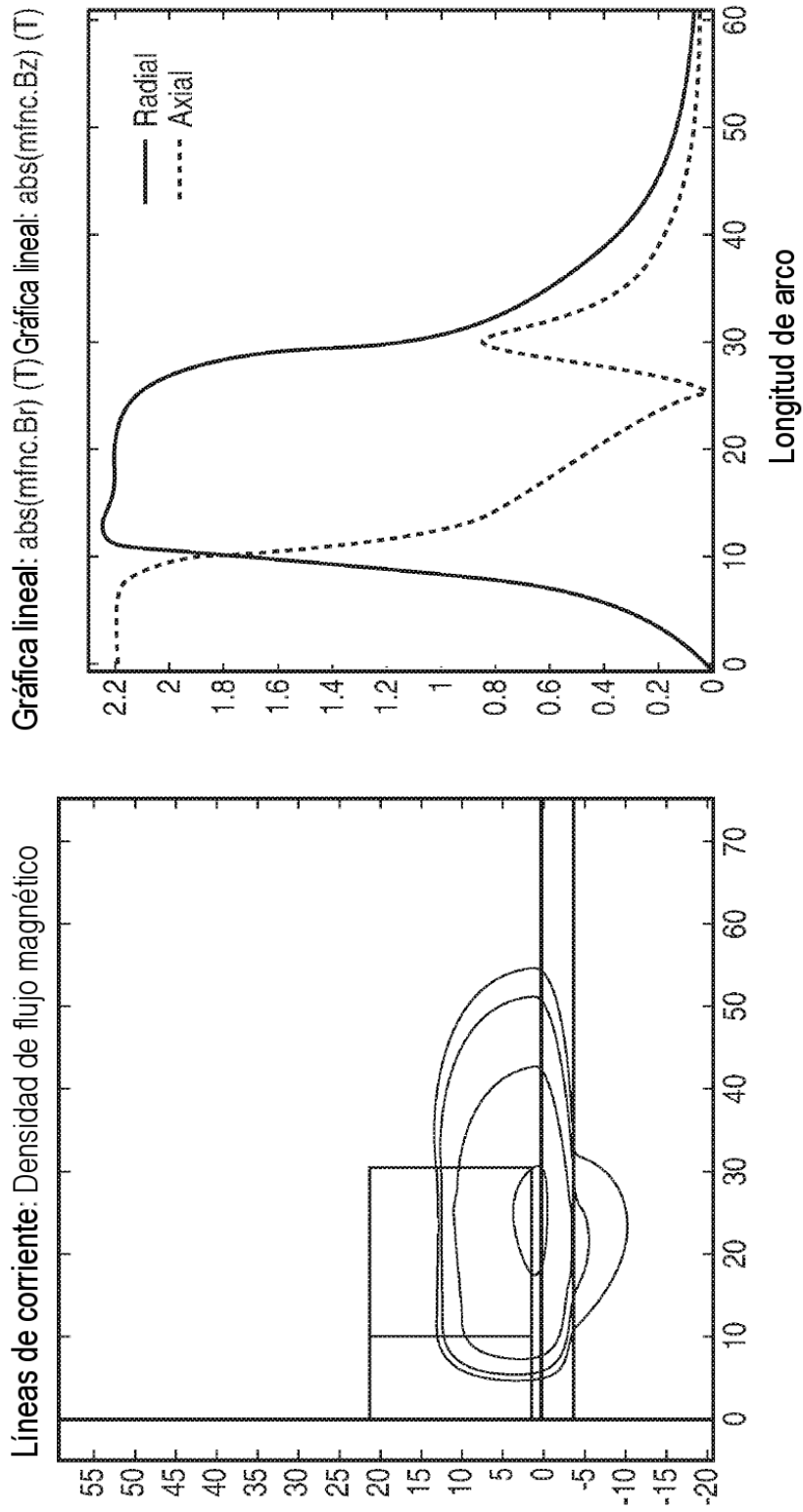


FIG. 12

Altura = 10mm, Ángulo = 90°

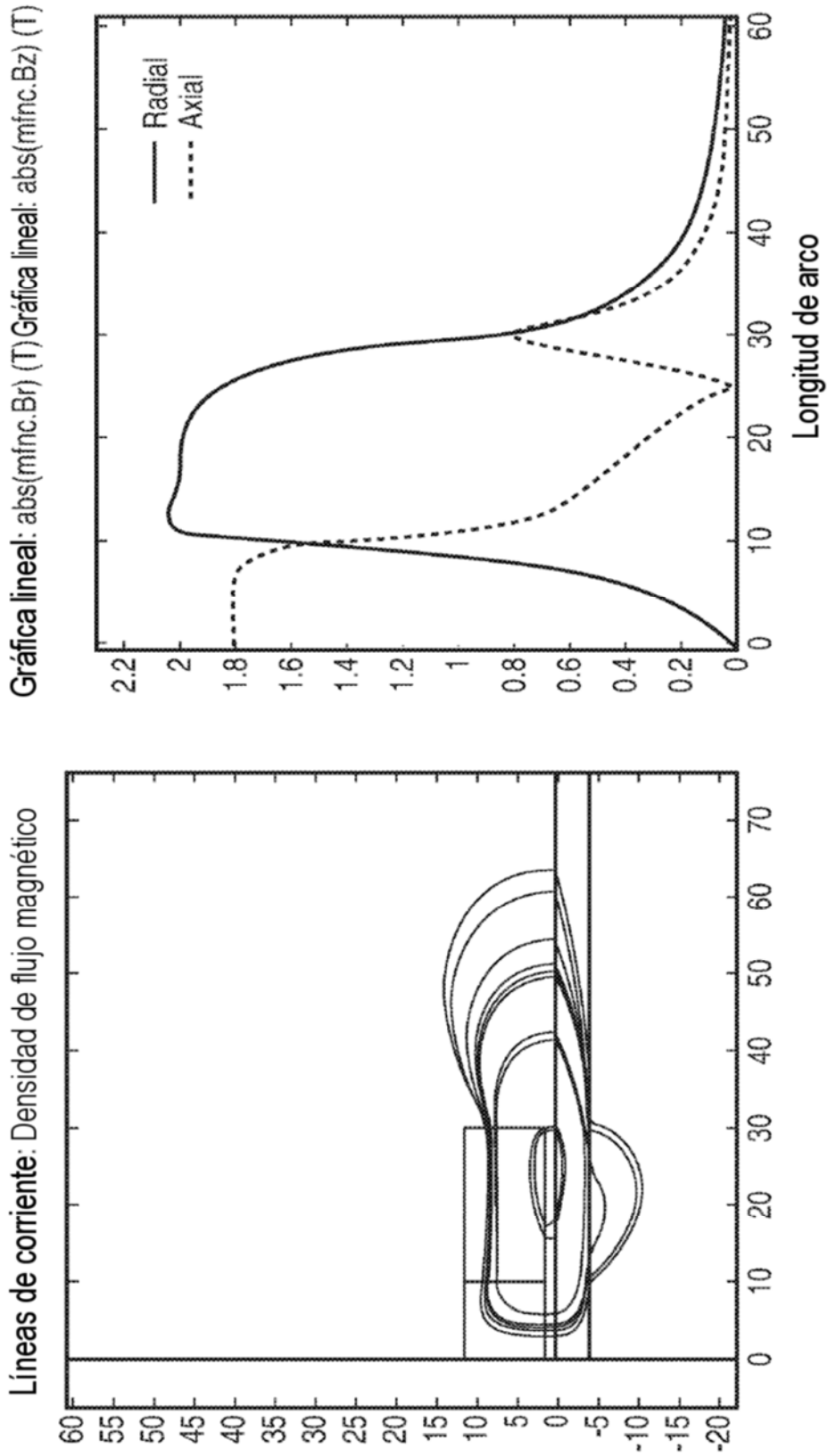


FIG. 13

Altura = 10mm, Ángulo = 75°

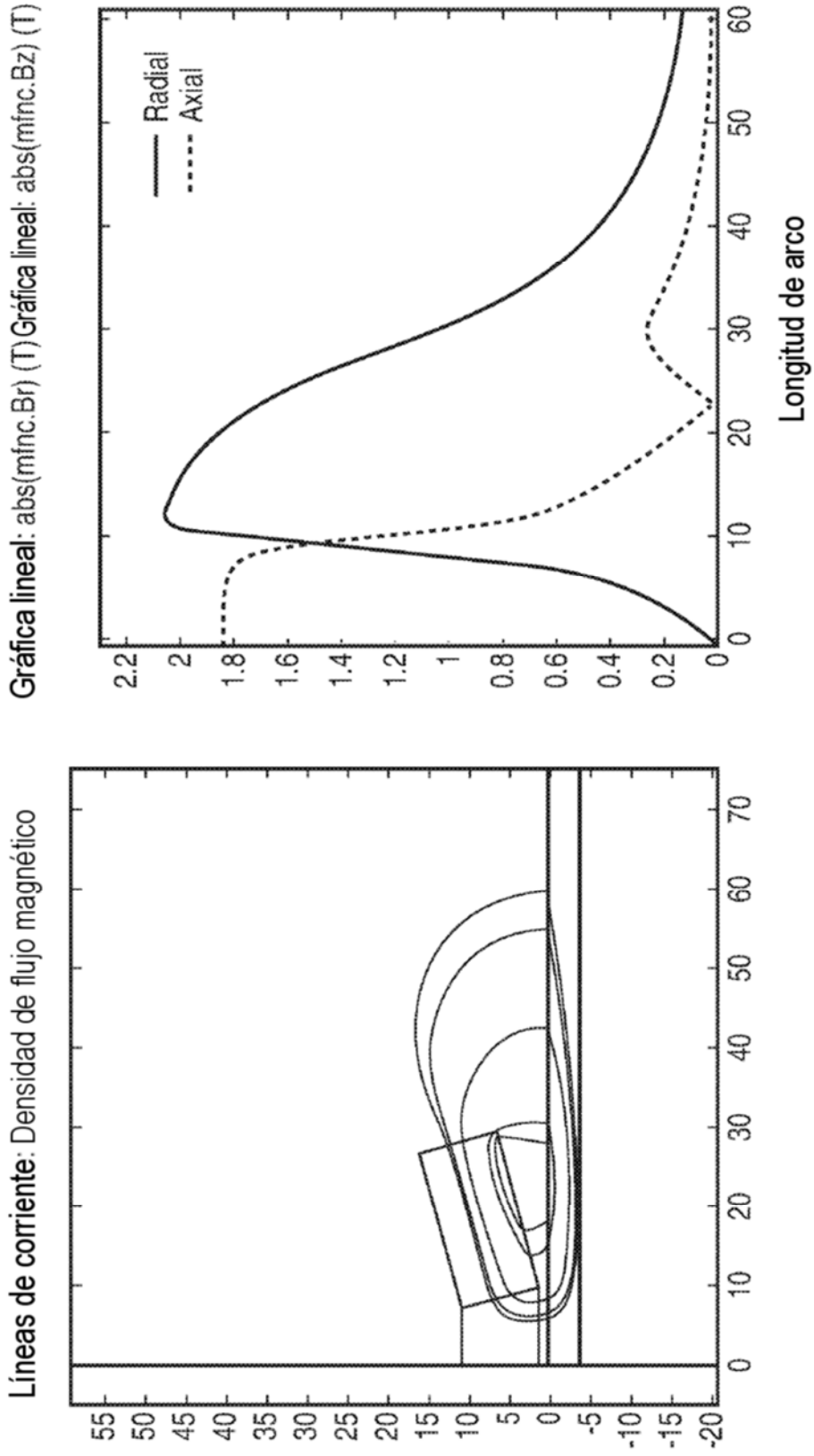


FIG. 14

Altura = 10mm, Ángulo = 60°

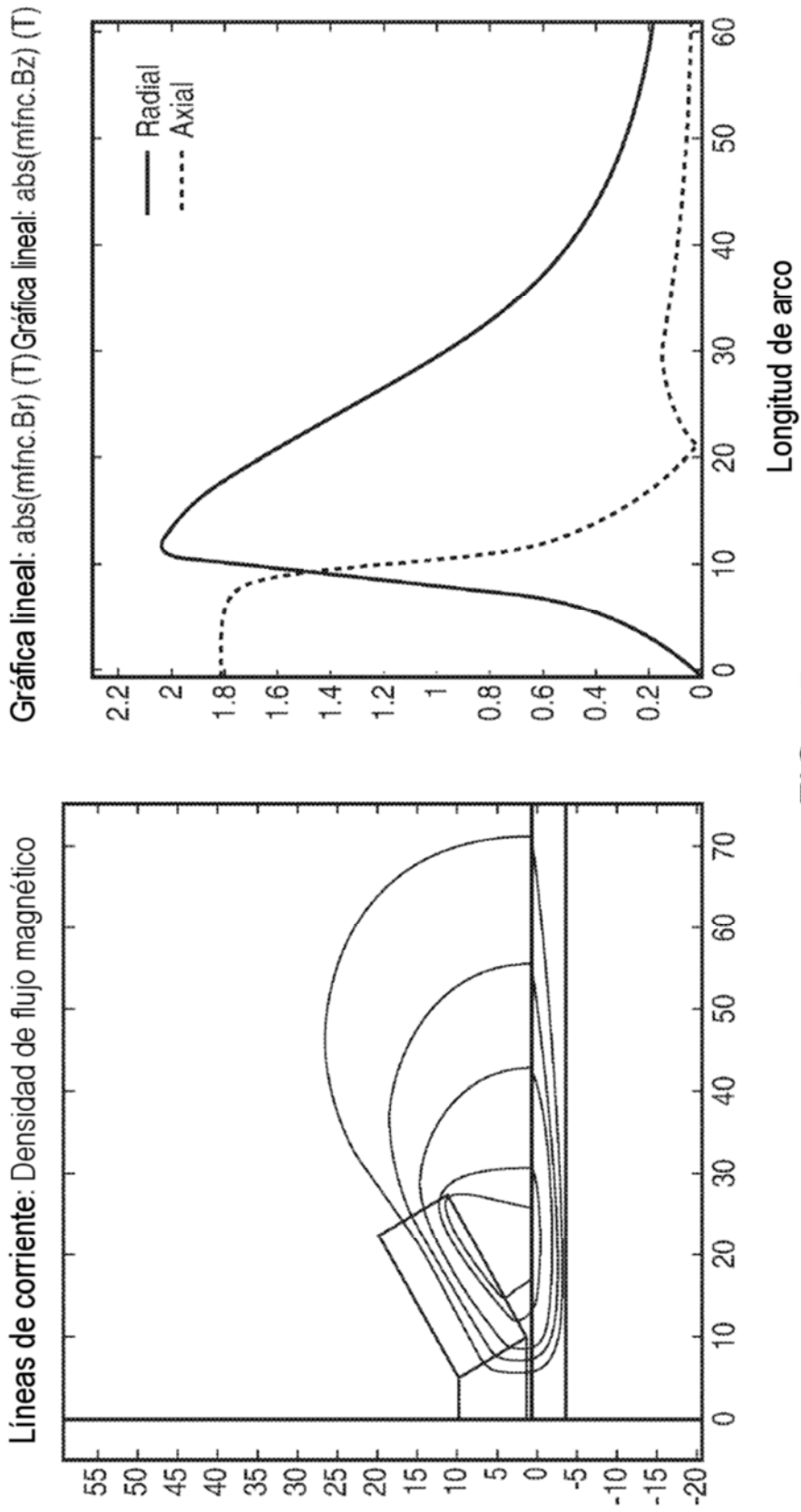


FIG. 15

Altura = 10mm, Ángulo = 45°

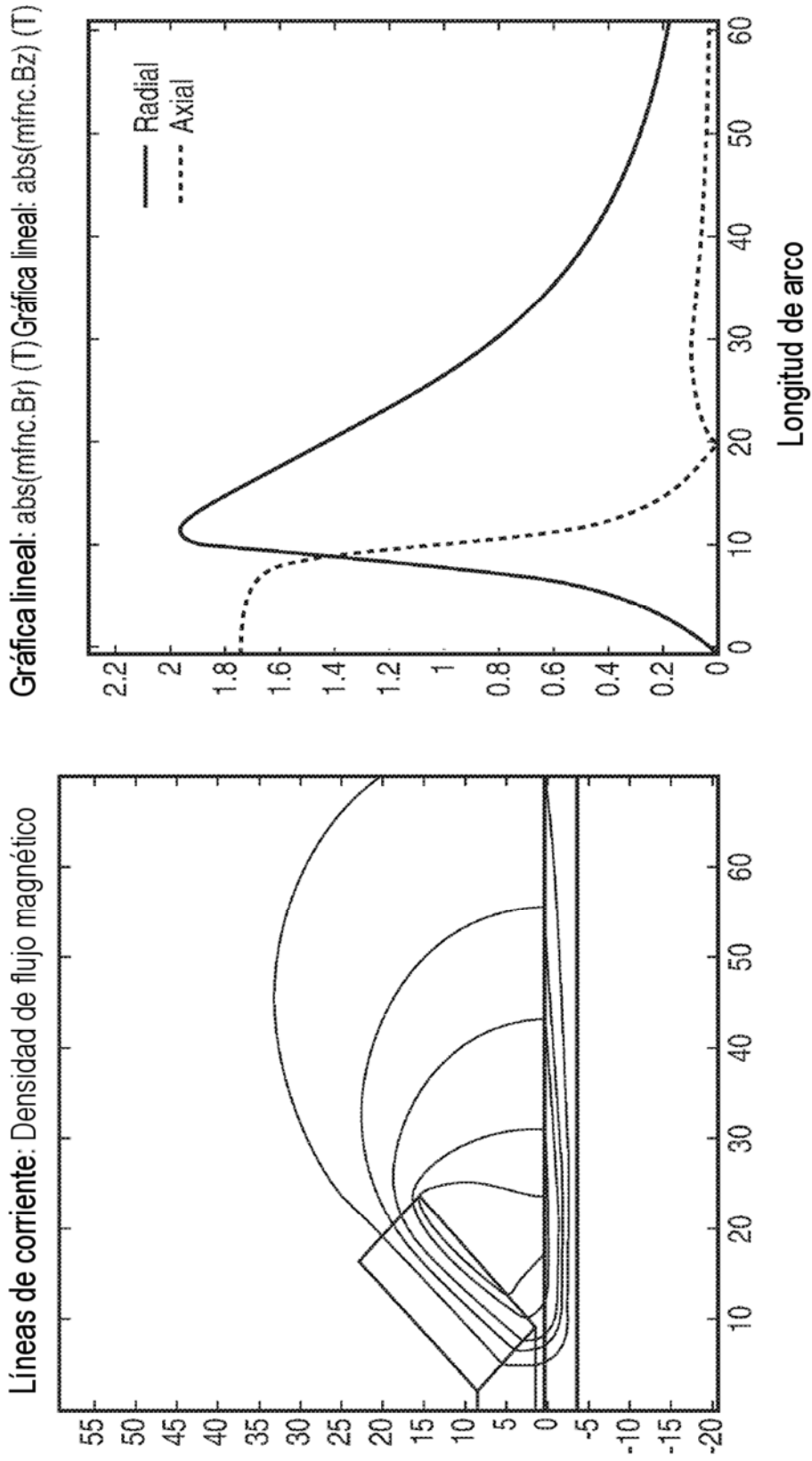


FIG. 16

Altura = 10mm, Ángulo = 30°

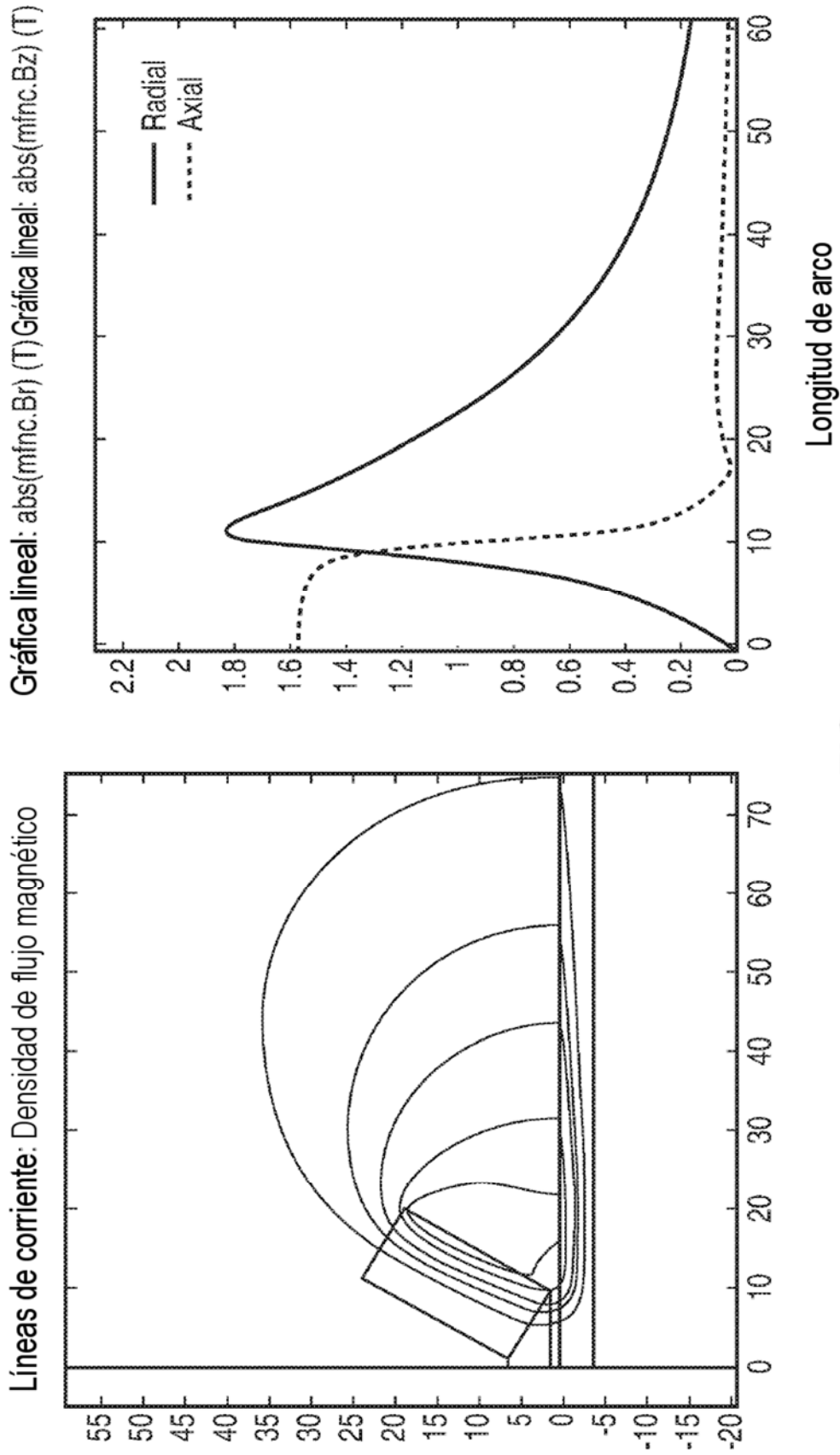


FIG. 17

Altura = 10mm, Ángulo = 15°

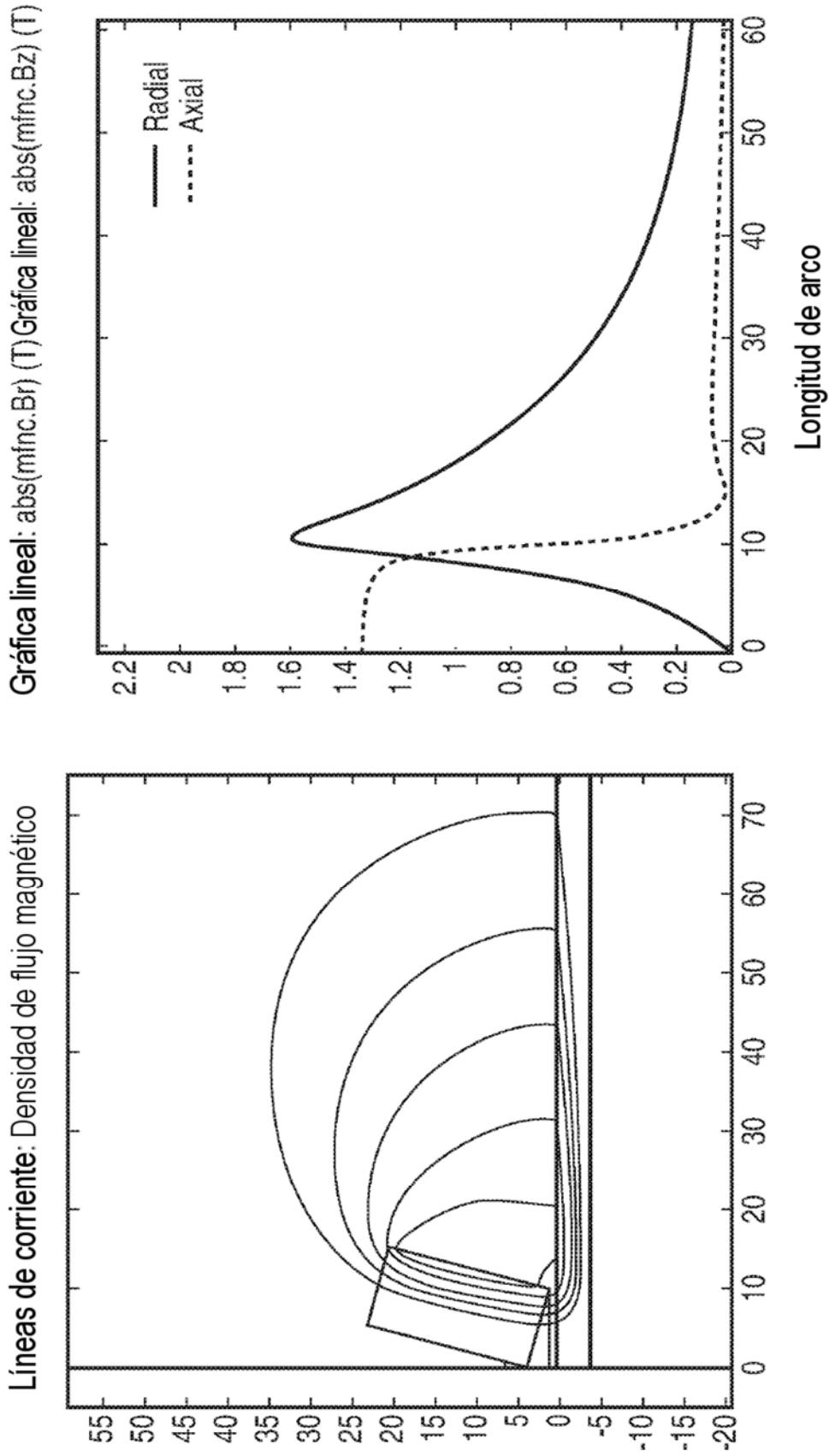


FIG. 18

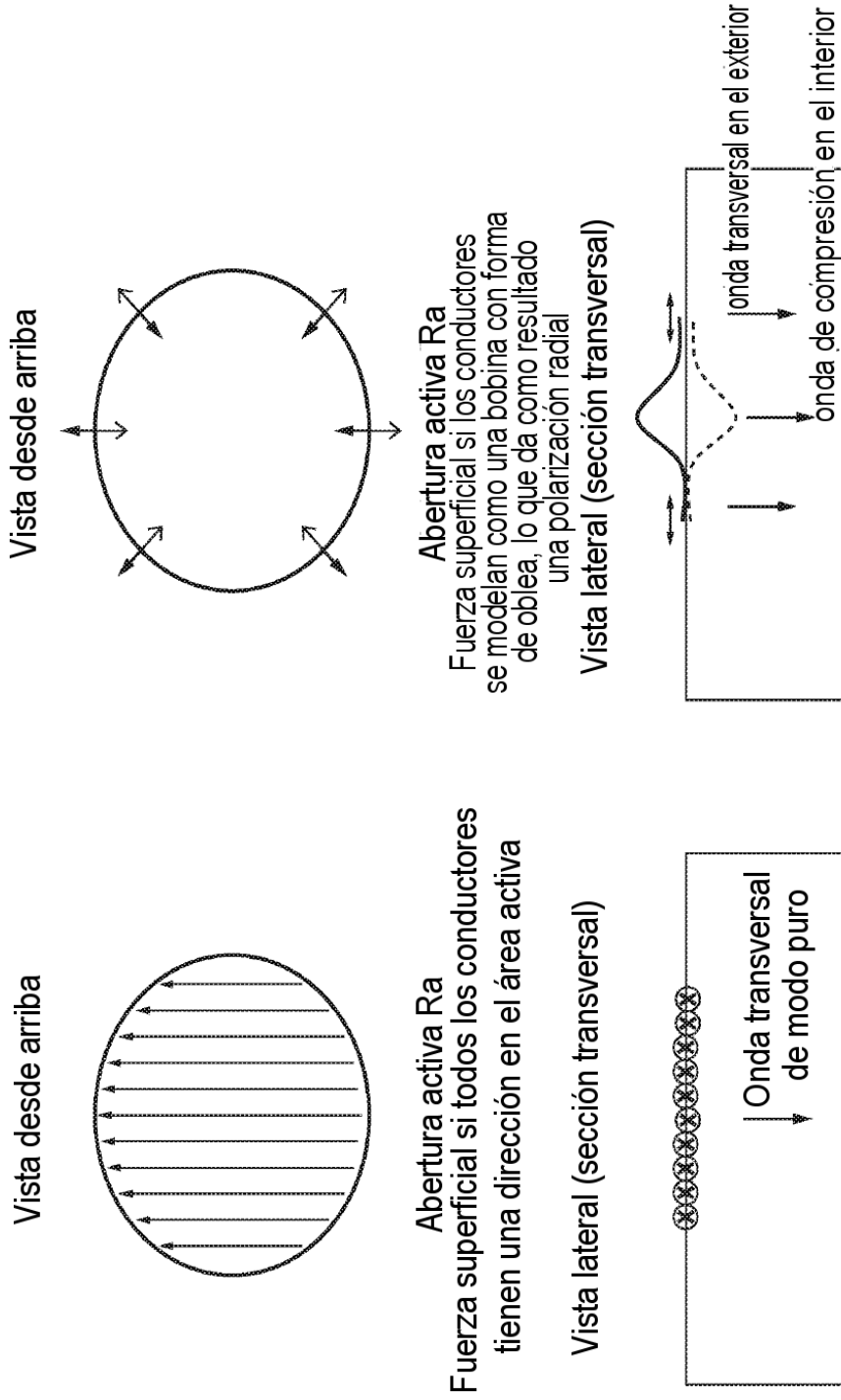


FIG. 19

Señales de modo puro a 2 MHz en placas de acero de diferentes grosores excitadas por conductores paralelos sobre el área activa (fuerza superficial)

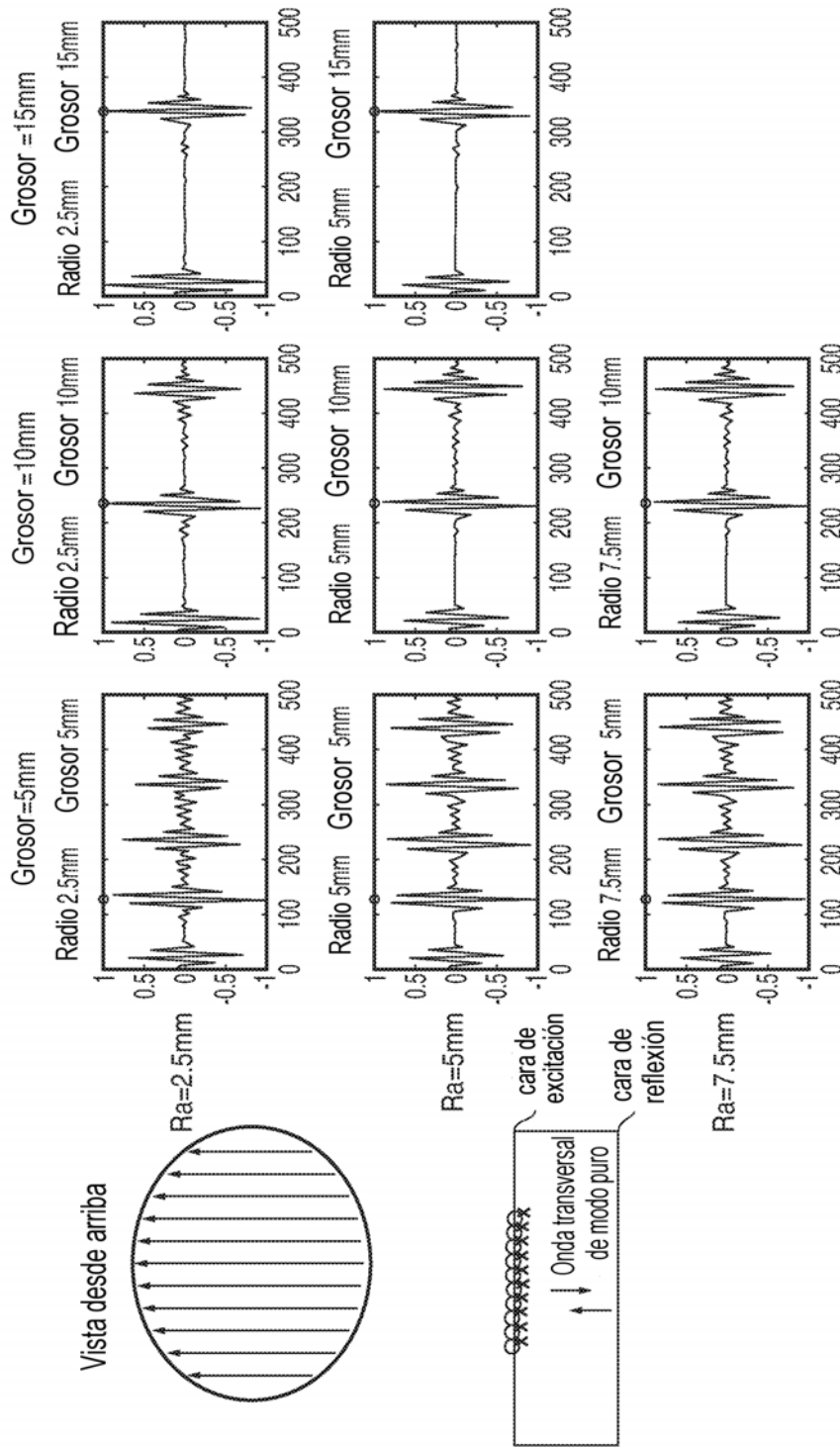


FIG. 20

Señales de modo no puro a 2 MHz en placas de acero de diferentes grosores excitadas por una fuerza superficial polarizada de manera radial sobre el área activa

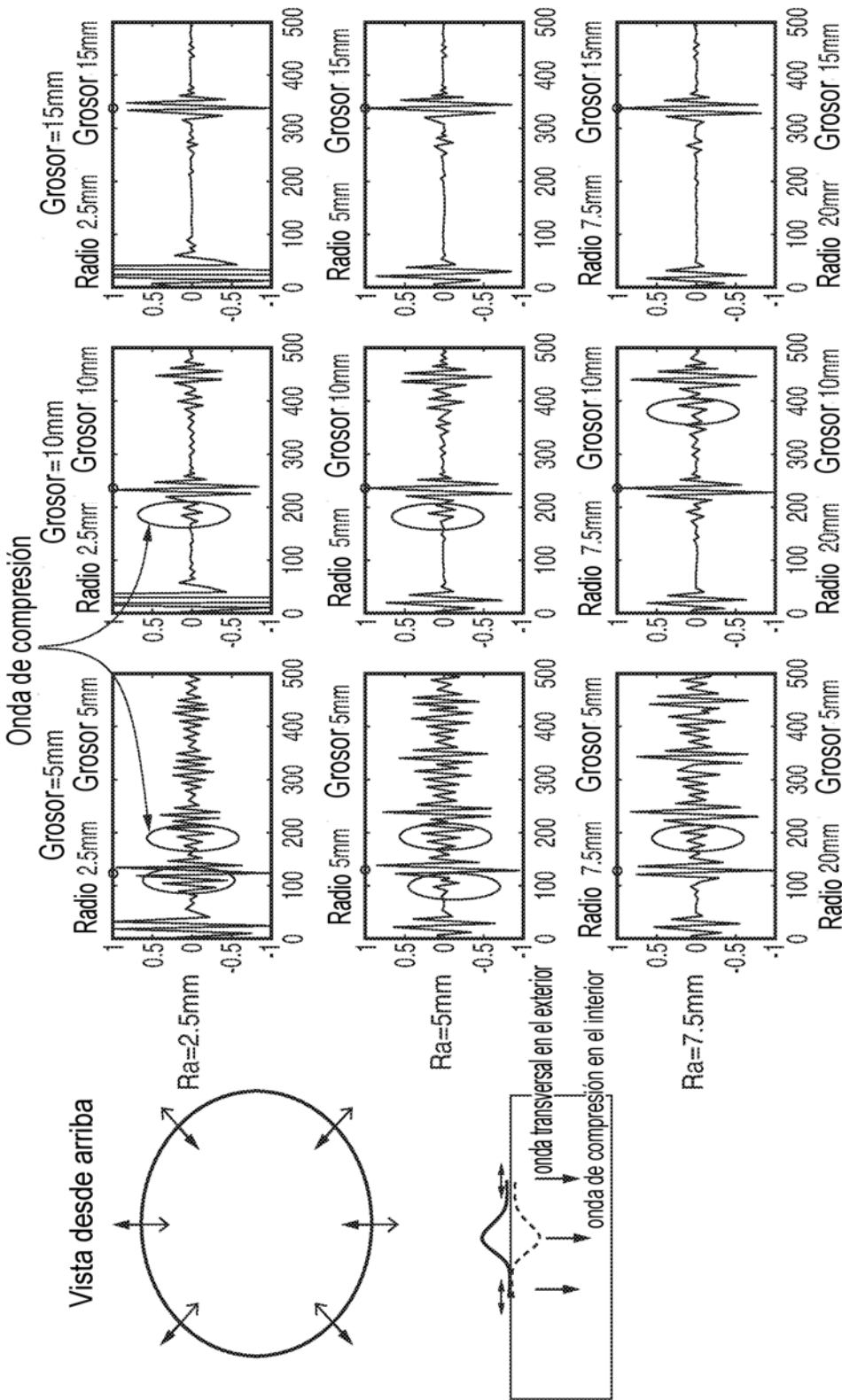


FIG. 21