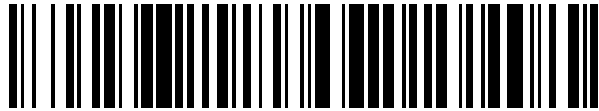


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 437 929**

51 Int. Cl.:

G01N 27/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.08.2011** **E 11176935 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2013** **EP 2423681**

54 Título: **Procedimiento de ensayo de corrientes de Foucault**

30 Prioridad:

28.08.2010 US 870804

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

15.01.2014

73 Titular/es:

GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US

72 Inventor/es:

MAY, ANDRZEJ MICHAL;
FAIDI, WASEEM IBRAHIM;
WANG, CHANGTING;
TRALSHAWALA, NILESH;
SHEILA-VADDE, APARNA CHAKRAPANI;
GODBOLE, MANDAR DIWAKAR;
LIVINGSTON, JAMIE THOMAS;
OLSON, STEVEN HAINES y
DRIVER, HOWARD DANIEL

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 437 929 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

Procedimiento de ensayo de corrientes de Foucault

La materia divulgada en el presente documento se refiere, en general, a procedimientos para el ensayo no destructivo in-situ de sistemas compuestos.

- 5 En muchas, si no en todas, las industrias manufactureras, los productos manufacturados y los procedimientos de fabricación de los mismos a menudo se ven afectados por los costos asociados a las piezas y el envío de los mismos. Por ejemplo, en muchas industrias, puede ser deseable producir piezas a la mayor escala posible, por ejemplo, tuberías para aplicaciones de perforación, o palas para aerogeneradores, pero aún haciéndolo de este modo seguirían presentando quizá desafíos de envío o costes insalvables. Por otra parte, la fabricación de piezas para tales aplicaciones a menor escala presenta a continuación el desafío de tener que montarlas sobre el terreno, con las consiguientes dificultades, incluyendo al menos la posibilidad de fallo de cualquiera de las uniones formadas en el conjunto del producto acabado.

- 10 Muchos procedimientos físicos de unión pueden ser preferibles para la formación de tales uniones desde el punto de vista de la fuerza, integridad y longevidad, pero también pueden presentarse un coste no deseado para las propias piezas, así como para sus costes de envío. Y los procedimientos de unión física no son infalibles.

- 15 Procedimientos de unión química pueden resultar ventajosos en aquellas aplicaciones donde los procedimientos de unión física resultan ser subóptimas. Sin embargo, las uniones químicas pueden, en general, ser menos fiables, y por lo tanto pueden requerir evaluaciones exhaustivas no destructivas antes de la utilización de los artículos que incorporen las uniones. En las aplicaciones en las que el montaje y la unión química se producen sobre el terreno, la evaluación no destructiva de la resistencia y/o integridad de la unión puede ser muy difícil. Por otra parte, los procedimientos convencionales para hacerlo llevan mucho tiempo, o son por el contrario costosos, requiriendo a menudo la utilización de expertos altamente cualificados en ensayos no destructivos (END). En ciertas aplicaciones, los materiales que están unidos pueden interferir con procedimientos convencionales de END. Además, debido a que muchos procedimientos convencionales de END no son adecuados para ensayos in situ, la corrección en tiempo real de cualesquiera anomalías detectadas no es una posibilidad, y por lo tanto el uso de END no es factible durante el desarrollo de proceso, la fabricación y el montaje de juntas.

- 20 El documento US. 2010/0134098 proporciona sistemas de unión química capaces de ser interrogados de manera eficaz por medios útiles en una situación de campo, por lo que su integridad se puede evaluar in-situ. La capacidad de realizar la evaluación in-situ (por ejemplo, durante la aplicación o el endurecimiento de la resina) ofrece la oportunidad de poner en práctica estrategias de corrección en tiempo real o de evaluar la integridad de unión durante el uso. Tales sistemas proporcionan ventajas adicionales respecto de los sistemas convencionales si no se requiere la puesta en práctica por expertos, y/o son adecuados para su uso con una gran variedad de materiales típicamente contraindicados para los procedimientos de END.

- 25 Se proporciona por la presente invención Un procedimiento para la realización de ensayos no destructivos de un sistema compuesto. Más específicamente, el procedimiento comprende proporcionar un sistema compuesto que comprende una resina curable que comprende, además, al menos una pluralidad de partículas detectables, así como un artículo. También se proporciona al menos una sonda de medición y comprende una bobina excitadora que tiene una densidad de corriente que aumenta de manera monótona desde el centro de la bobina a un borde exterior de la bobina y un sensor. La sonda de medición es capaz de detectar la pluralidad de partículas detectables dentro del sistema compuesto. El sistema compuesto está dispuesto operativamente en relación con el artículo y el sensor utilizado para detectar las partículas detectables dentro del sistema compuesto.

- 30 Varias características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos en los que los caracteres similares representan partes similares a lo largo de todos los dibujos, en los que:

- 35 La figura 1 es una vista en sección transversal de un sistema compuesto que incorpora un artículo de acuerdo con la técnica anterior;
 La figura 2 es una es una vista en sección transversal de un sistema compuesto que incorpora un artículo de acuerdo con la técnica anterior;
 40 La figura 3A es una vista esquemática de una excitación anti-paralela, de acuerdo con la técnica anterior;
 La figura 3B es un gráfico que representa la densidad de corriente típica a diferentes profundidades para la excitación anti-paralela mostrada en la figura 3A;
 La figura 3C es una vista esquemática de una excitación paralela, de acuerdo con la técnica anterior;
 45 La figura 3D es un gráfico que representa la densidad de corriente típica a diferentes profundidades para la excitación paralela mostrada en la figura 3D;
 Figura 4A es una vista superior esquemática de una sonda de matriz de corrientes de Foucault de acuerdo con la técnica anterior, que comprende dos capas desviadas;
 La figura 4B es una vista superior esquemática de una sola capa de la sonda de matriz de corrientes de Foucault de dos capas mostrada en la figura 4A;

La figura 5 es un gráfico que muestra la respuesta de los elementos individuales de detección, así como una respuesta combinada de tres bobinas de detección, de la matriz mostrada en la figura 4;

La figura 6 es una vista esquemática de una sonda de matriz de corrientes de Foucault de acuerdo con la técnica anterior;

5 La figura 7A es una vista esquemática de una sonda de matriz de corrientes de Foucault de la técnica anterior en la que la vía de retorno es ortogonal a una bobina excitadora, de manera que un flujo magnético es paralelo a uno producido por la excitación;

La figura 7B es una vista esquemática de una sonda de matriz de corrientes de Foucault de la técnica actual en la que la vía de retorno está en el plano de la bobina excitadora.

10 La figura 8 es una vista esquemática de un artículo adicional de la técnica anterior;

La figura 9 es un gráfico que representa los resultados obtenidos a partir de la medición de la señal de corrientes de Foucault obtenido a partir de un artículo similar al mostrado en la figura 8 usando una sonda convencional circular, una excitación paralela con la sonda convencional como la sonda de detección, y una excitación anti-paralela con la sonda convencional como la sonda de detección;

15 La figura 10 es una vista esquemática de un artículo adicional de la técnica anterior;

La figura 11A es la imagen de la exploración de corrientes de Foucault para el artículo mostrado en la figura 10, cuando el sistema compuesto comprende una relación de 9:1 de la resina curable respecto del componente detectable, en peso;

20 La figura 11B es la imagen de la exploración de corrientes de Foucault para el artículo mostrado en la figura 10, cuando el sistema compuesto comprende una relación de 9:02 de la resina curable respecto del componente detectable, en peso;

La figura 12A muestra un artículo adicional de la técnica anterior, que comprende sólo una primera parte, constituida, además, por material eléctricamente conductor;

25 La figura 12B muestra un artículo adicional de la técnica anterior, que comprende sólo una primera parte, constituida, además, por material eléctricamente conductor, con un entrehierro dispuesto entre la primera parte y el sistema compuesto;

La figura 13A es la imagen de la exploración de corrientes de Foucault para el artículo mostrado en la figura 12A;

30 La figura 13B es la imagen de la exploración de corrientes de Foucault para el artículo mostrado en la figura 12B; y

La figura 14 es una representación esquemática de una sonda de medición que comprende una bobina excitadora espiral y un plano de detección, tal como se utiliza en la presente invención.

En un aspecto, la invención está dirigida a un procedimiento de ensayo de un sistema compuesto que comprende una resina curable que comprende, además, al menos una pluralidad de partículas detectables. Ejemplos de resinas curables incluyen aquellos que se pueden incorporar en o con otros objetos o artículos, incluyendo, por ejemplo, adhesivos, sellantes, masillas, materiales de relleno de huecos, recubrimientos, envolturas conformación y similares.

De este modo, resinas curables adecuadas incluyen composiciones poliméricas termoplásticas que incluyen poliestireno, tereftalato de polietileno, polimetilmetacrilato, polietileno, polipropileno, acetato de polivinilo, poliamida, cloruro de polivinilo, poliácridonitrilo, poliésteres, cloruro de polivinilo, naftalato de polietileno, poliéter cetona, polisulfona, policarbonato, y copolímeros de los mismos. Otros termoplásticos útiles incluyen termoplásticos de ingeniería y elastómeros termoplásticos. Si una composición polimérica termoplástica se utiliza de forma deseable como la resina curable, la resina termoplástica se puede combinar con la pluralidad de partículas detectables calentando la resina termoplástica por encima de su punto de fusión o temperatura de transición vítrea hasta que se alcanza una viscosidad adecuada, añadiendo la pluralidad de partículas detectables, mezclando, y dejando luego que el sistema compuesto se enfríe.

Un ejemplo de una clase de resinas curables utilizada ventajosamente en los presentes sistemas compuestos comprende composiciones adhesivas y pre-adhesivas. Los sistemas compuestos que emplean estas resinas curables pueden ser dispensados ventajosamente, y las partículas en los mismos ser interrogadas/detectadas durante la dispensación, la polimerización o reticulación, o después durante el uso.

50 Las composiciones adhesivas particularmente bien adaptadas para su uso en la presente invención incluyen sistemas termoestables reticulados tales como poliésteres, epoxis de vinilo-ésteres (incluyendo epoxis curados ácidos, bases y de adición), poliuretanos, resinas de silicona, polímeros de acrilato, polisiloxanos, poliorganosiloxanos, y compuestos fenólicos, así como mezclas o híbridos de cualquiera de los mismos.

Adhesivos de fusión en caliente útiles incluyen poliolefinas diversas poliolefinas, poliésteres, poliamidas, policarbonatos, poliuretanos, acetatos de polivinilo, ceras de mayor peso molecular, y copolímeros y mezclas relacionadas. Adhesivos adecuados adicionales incluyen los formados en películas o cintas, incluyendo aquellos que son sensibles a la presión en cualquier punto en uso.

60 Los adhesivos estructurales, incluyendo las resinas epoxi, pueden ser particularmente útiles en los presentes sistemas compuestos. Los adhesivos estructurales se utilizan en una variedad de situaciones de fabricación en aplicaciones de unión para reducir la necesidad de soldadura, reducir la severidad de las vibraciones de ruido, o para aumentar la rigidez global del artículo.

- Los adhesivos estructurales se preparan típicamente mediante la reacción de dos o más reactivos prepoliméricos entre sí para formar un intermedio de resina, o resina de etapa B, que posteriormente se cura adicionalmente para formar el producto final. En estas realizaciones, la propiedad detectable de las partículas se puede controlar para proporcionar una indicación de si los componentes se mezclaron en la proporción adecuada. En tales realizaciones, cada componente del adhesivo puede comprender una pluralidad de partículas detectables y la propiedad detectable correspondiente de cada una controlada para proporcionar una indicación similar, y siendo utilizada dicha medición, por ejemplo, para ajustar la cantidad de cada componente aplicado, si fuese necesario. Los adhesivos estructurales preferidos para su uso en los presentes sistemas compuestos incluyen poliésteres, metacrilatos de metilo, y similares.
- La resina curable puede contener diversos aditivos destinados a mejorar las propiedades de la resina antes o después del curado, incluyendo diluyentes reactivos y no reactivos, plastificantes, agentes de endurecimiento y agentes de acoplamiento. Otros materiales, que se pueden añadir a la composición, incluyen agentes tixotrópicos para proporcionar pigmentos de control de flujo (por ejemplo, sílice de pirolisis), cargas (por ejemplo, talco, carbonato de calcio, sílice, magnesio, sulfato de calcio, etc.), arcillas, vidrio, y partículas de cerámica (por ejemplo, perlas, burbujas y fibras) y materiales de refuerzo (por ejemplo, fibras orgánicas e inorgánicas y partículas granulares o esféricas).
- La resina curable comprende, además, al menos la pluralidad de partículas detectables. Deseablemente, las partículas comprenden una o más propiedades materiales distinguibles de la(s) misma(s) propiedad(es) material(es) del sistema de resina, es decir, la propiedad material de las partículas puede ser diferente de la del sistema de resina, ya sea en un estado latente o en un estado energizado, o la propiedad no puede ser exhibida por el sistema de resina para que la propiedad de las partículas se pueda distinguir en ausencia de la propiedad del sistema de resina. Ejemplos de propiedades materiales que se espera que difieran entre un sistema de resina y el de las partículas detectables variarían en función de la composición de las partículas, pero probablemente incluirían al menos permeabilidad magnética, constante dieléctrica, conductividad eléctrica, conductividad térmica, densidad, o transmisión óptica.
- Preferiblemente, las partículas utilizadas tendrán una propiedad distinguible de la del sistema de resina cuando se controla in situ, es decir, cuando se aplica el sistema de resina, a medida que se cura, o durante el uso de un artículo en el que se incorpora el sistema compuesto.
- Las partículas pueden estar compuestas por cualquier material o combinación de materiales, que tiene al menos una propiedad detectable en el sistema compuesto. Deseablemente, las partículas serán en la práctica químicamente inertes en la resina curable elegida en las condiciones pertinentes y serán estables con respecto a la degradación y la lixiviación. Los materiales de partícula adecuados dependerán de la resina curable seleccionada para su uso en el sistema compuesto, y la propiedad deseablemente medida. Ejemplos de materiales adecuadamente detectados por mediciones dieléctricas constantes incluyen, pero no se limitan a, epoxis, vidrio y cerámica. Ejemplos de materiales adecuadamente detectados por mediciones de conductividad eléctrica incluyen, pero no se limitan a, metales (tales como cobre, aluminio y plata), aleaciones de metales y compuestos metálicos, tales como carburos, óxidos, nitruros, siliciuros, y sales de amonio cuaternario. Ejemplos de materiales adecuadamente detectados por mediciones de conductividad térmica incluyen, pero no se limitan a, metales (tales como cobre, aluminio, acero, plata), vidrio, carbono, y cerámica. Ejemplos de materiales adecuadamente detectados por mediciones de densidad incluyen, pero no se limitan a, vidrio, cerámica, metales, óxidos de plomo, y sílices. Ejemplos de materiales adecuadamente detectados por mediciones de resonancia cuadrupolar nuclear incluyen, pero no se limitan a, ciertos compuestos a base de cobre, titanio, nitrógeno, cloro, etc. Ejemplos de materiales adecuadamente detectados por mediciones de conductividad piezoeléctrica incluyen, pero no se limitan a, cerámica piezoeléctrica, tal como titanato de plomo circonio (PZT), cuarzo, y fluoruro de polivinilideno (PVDF). Ejemplos de materiales adecuadamente detectados por procedimientos ópticos incluyen, pero no se limitan a, metales, carbono, óxido de titanio, y cerámica. Las partículas pueden, por supuesto, comprender un material que tiene más de una propiedad distinguible de la resina curable, y un ejemplo de un material que tiene al menos dos propiedades que puedan ser distinguible de la mayoría de las resinas curables es el acero, que es a la vez eléctricamente conductor y ferromagnético.
- Debido a su generalmente bajo coste y fácil disponibilidad, los materiales magnéticos, incluyendo materiales ferromagnéticos y ferrimagnéticos, se pueden utilizar ventajosamente en ciertas realizaciones de la invención. Por ejemplo, las partículas adecuadamente detectadas a través de procedimientos de permeabilidad magnética pueden comprender típicamente materiales ferromagnéticos, o de ferrita, así como óxidos minerales de magnetita, magemita, jacobsita, Trevorita, y magnesioferrita, sulfuros de pirrotita y greigita, y los metales / aleaciones de hierro, níquel, cobalto, awaruita, y wairakita. De éstos, los materiales ferromagnéticos o de ferrita son más fácilmente disponibles y económicamente atractivo y por lo tanto se utilizan en muchas realizaciones de la invención.
- Las partículas pueden comprender combinaciones de dos o más materiales, es decir, las partículas pueden comprender materiales recubiertos, o por el contrario de superficie tratada o pueden comprender materiales compuestos. El único criterio es que, sea cual sea el(los) material(es) seleccionado(s), y sea cual sea el formato seleccionado, las partículas tienen al menos una propiedad distinguible de la de la resina curable.
- Las partículas pueden ser seleccionadas, diseñadas, y/o tratadas de tal manera que se obtienen propiedades

mecánicas o químicas mejoradas de la resina curable. Ejemplos de partículas que se espera que sean así de capaces incluyen, pero no se limitan a, nanopartículas magnéticas con geometrías diseñadas, propiedades magnéticas y / o mecánicas. Si se desea, las partículas pueden, además, ser tratadas con, por ejemplo, silano u otro agente de acoplamiento, para mejorar la unión de las partículas a la resina curable.

- 5 Si se recubren deseablemente, ya sea el recubrimiento, las partículas o ambos, pueden comprender la propiedad detectable. Si está presente, el recubrimiento puede tener un espesor medio de entre aproximadamente 0,1 nanómetros (nm) a aproximadamente 500 nm, o aproximadamente 0,5 nm a aproximadamente 250 nm o de aproximadamente 1 nm a aproximadamente 100 nm, y todos los subintervalos entre los mismos. Además, el recubrimiento puede, pero no es necesario, cubrir toda la superficie de uno o sustancialmente la totalidad de la
- 10 partícula(s), y se pueden proporcionar múltiples revestimientos en capas superpuestas, o en forma de islas sustancialmente discretas en la(s) superficie(s) de la(s) partícula(s).

Si la propiedad detectable se proporciona deseablemente en un recubrimiento, las propias partículas pueden ser relativamente inertes, y típicamente pueden estar compuestas por materiales típicamente usados como pigmentos, agentes de refuerzo, modificadores de reología, agentes de control de densidad u otros aditivos en resinas curables.

15 Ejemplos de partículas que comprenden materiales inertes incluyen, pero no se limitan a, burbujas de vidrio, perlas de vidrio, fibras de vidrio, partículas de sílice de pirolisis, partículas de sílice fundida, escamas de mica, partículas poliméricas individuales y de varios componentes y combinaciones de los mismos.

- El uso del término "partícula" no está destinado a indicar una forma o conformación requerida particular, y las partículas pueden tener cualquier forma adecuada que se pueda incorporar al sistema compuesto elegido.
- 20 Deseablemente, las partículas elegidas, y el formato de las mismas no afectarán negativamente a las propiedades materiales de la resina. En términos generales, las partículas pueden tener cualquiera de una variedad de formas, incluyendo formas sustancialmente esféricas, alargadas, o formas planas, y la forma se puede seleccionar para proporcionar propiedades de flujo deseadas al sistema compuesto correspondiente dada una concentración seleccionada de partículas detectables dentro del sistema compuesto.

- 25 Es de esperar que las partículas adecuadas tengan una dimensión media más grande de aproximadamente 0,1 nm a aproximadamente 500 nm, o de aproximadamente 1 nm a aproximadamente 100 nm, o incluso de aproximadamente 10 nm a aproximadamente 50 nm y todos los subintervalos entre los mismos. En ciertas realizaciones, las partículas deseablemente serán trituradas, y en estas realizaciones se espera que tengan una dimensión media más grande de al menos aproximadamente 5 micrómetros (5000 nm). Las mezclas de dimensiones
- 30 de partículas también se pueden utilizar, y pueden ayudar en la detección de la propiedad o la uniformidad de su expresión dentro del sistema de resina, y/o permiten la dispersión optimizada de las partículas dentro de la resina curable o curada.

- Además, las partículas detectables se pueden proporcionar en cualquier concentración, siempre que, cualquiera que sea la concentración utilizada, no interfiera sustancialmente con la eficiencia de la resina curable. En esas
- 35 realizaciones en las que la resina curable comprende grupos funcionales detectables, no son necesarios que partículas detectables estén incluidas, y los sistemas compuestos con el 0 % de partículas detectables se consideran dentro del alcance de la invención.

- La carga de la partícula o la densidad de la partícula apropiadas dependerán de las partículas utilizadas, y la propiedad distinguibles que se ha de medir. En términos generales, la densidad de partículas dentro de la resina no debería ser tal que las propiedades de la resina se vean sustancialmente afectadas negativamente, y hablando en
- 40 términos prácticos, no necesita ser superior a la necesaria para proporcionar la propiedad de ser detectada a un nivel detectable. Es de esperar que las fracciones de volumen de partículas detectables adecuadas para variar de aproximadamente el 0,001 % a aproximadamente el 80 % en peso (% en peso), o de aproximadamente el 0,01 % en peso a aproximadamente el 50 % en peso, o incluso de aproximadamente el 0,1 % en peso a aproximadamente el
- 45 10 % en peso, y todos los subintervalos entre los mismos, basándose en el peso total del sistema compuesto. En aquellas realizaciones de la invención en la que las partículas detectables son magnéticas, fracciones de volumen de partículas de menos del 1 % pueden ser suficientes para producir una respuesta detectable. Y aunque se pueden utilizar combinaciones de la pluralidad de partículas detectables y grupos funcionales dentro de la resina curable como el componente detectable, ciertos grupos funcionales pueden proporcionar una respuesta detectable por su
- 50 cuenta, y en tales realizaciones, el sistema compuesto no necesita incluir ninguna partícula detectable.

- Utilizar una densidad de partícula que se aproxima a la del material de resina líquida puede ayudar a conseguir la flotabilidad apropiada de modo que no se produzca la separación de las partículas, o, se puede utilizar una mezcla de dimensiones de partículas caracterizadas, incluyendo pero sin limitarse a partículas de escala nanométrica, para permitir la optimización de la suspensión de flotación de partículas en la resina y para una vida útil óptima del
- 55 sistema compuesto. Las partículas también se pueden tratar con un modificador de densidad para asegurar una dispersión óptima. Por ejemplo, se puede añadir un recubrimiento de cera a una partícula magnética para conseguir una densidad global de la misma como, por ejemplo, una resina epoxi, para conseguir una suspensión uniforme y sin separación de las partículas magnéticas en el sistema compuesto.

El sistema compuesto se incorpora a un artículo. Cualquier artículo que tiene deseablemente una propiedad

detectable puede beneficiarse de la incorporación del sistema compuesto. Además, los artículos deseablemente ensamblados sobre el terreno pueden deseablemente ser ensamblados para incorporar el presente sistema compuesto y probados por el presente procedimiento, ya que ambos proporcionan la ventaja de control en tiempo real y ser susceptible a pruebas por personas no expertas en END.

5 Ejemplos de artículos que tienen deseablemente los sistemas compuestos incorporados ventajosamente en los mismos pueden incluir artículos que comprenden una pluralidad de fibras, o artículos que incorporan una o más partes que tiene deseablemente un componente detectable operativamente dispuesto con relación a las mismas. Es decir, el sistema compuesto se incorpora a un artículo compuesto, es decir, un artículo que comprende fibras dispuestas dentro de una matriz del sistema compuesto curado. Tal artículo se muestra en la figura 1. Más particularmente, la figura 1 muestra el artículo 100, con una matriz 101 que comprende el sistema compuesto con fibras 102 dispuestas en su interior. Aunque las fibras 102 se muestran orientadas de manera similar, y dispersadas de manera relativamente uniforme, esto no es necesariamente el caso, y cualquier disposición de fibras 102 dentro de la matriz 101 es posible.

15 Alternativamente, el sistema puede utilizarse para proporcionar un artículo que comprende dos partes unidas entre sí, o múltiples partes deseablemente proporcionadas como un laminado. En la figura 2 se muestra un artículo, en la que el artículo 200, comprende una primera parte 203, y una segunda parte 204 con el sistema compuesto 201 dispuesto operativamente entre las mismas.

20 Cualquiera que sea el artículo, las fibras (por ejemplo, fibras 102 como se muestra en la figura 1) o las partes (por ejemplo, partes 203 y 204 como se muestra en la figura 2) de las mismas comprenden material conductor, tal como carbono o compuestos de carbono. Aunque los artículos que comprenden tales materiales pueden ser difíciles de probar cuando se une con adhesivos convencionales y/o se prueban con procedimientos convencionales, se incorporan fácilmente en los artículos, y de hecho, pueden utilizarse para mejorar la señal medida proporcionada por las partículas detectables.

25 Más específicamente, y solo como ejemplo, en los casos en los que las partículas detectables comprenden polvo de ferrita y la resina curable comprende un adhesivo, el artículo puede comprender uno o más materiales electroconductores que pueden mejorar la señal medida de corriente de Foucault generada debido a la presencia de polvo de ferrita. Como los expertos en la técnica son conscientes, la conductividad de los artículos, la permeabilidad magnética del sistema compuesto que ha de ser inspeccionado, las condiciones del sensor de corrientes de Foucault, como a la dimensión y la frecuencia de funcionamiento, se pueden utilizar y se ajustar todos para mejorar la sensibilidad de medición.

30 El sistema compuesto se prueba en un procedimiento de ensayo no destructivo, y tal procedimiento se proporciona en el presente documento. Este tipo de pruebas puede utilizarse para determinar una variedad de propiedades del sistema compuesto una vez incorporadas en relación con un artículo, incluyendo espesor, integridad, orientación, y continuidad. Del mismo modo, se puede obtener un mapa que indica la ubicación del sistema compuesto.

35 Solo como un ejemplo particular, en el caso en el que la resina curable comprende un adhesivo estructural que forma una unión para unirse a las partes de un artículo, se pueden examinar las propiedades de la línea de unión. La interrogación de las partículas detectables dentro de la resina curable, y de este modo, el sistema compuesto, puede utilizarse para cuantificar la cantidad de partículas detectables dentro de un sistema compuesto, que a su vez, se puede utilizar para determinar, por ejemplo, si se ha combinado las cantidades adecuadas de cada parte de un adhesivo de dos partes Si el sistema compuesto que comprende las partículas detectables se está desplazando, la información obtenida de las partículas detectables también puede ser utilizada para determinar el flujo y la velocidad de deposición del sistema compuesto. Si el sistema compuesto es fijo, la interrogación de las partículas detectables puede proporcionar información sobre la distribución del sistema compuesto a lo largo de todo el artículo, dentro del espacio de bonos, etc.

45 En algunas realizaciones de la invención, las mediciones de las partículas detectables se pueden usar como un indicador de tensión en la resina curable o sistema compuesto. El nivel de tensión, a su vez, se puede utilizar, por ejemplo, para determinar el grado de curado de un adhesivo, u otra resina curable termoendurecible o reticulable, el nivel de las fuerzas externas aplicadas a un sistema compuesto o artículo que tiene el sistema compuesto incorporado en el mismo, la cantidad o la calidad de la adhesión de sistema compuesto adhesivo en un artículo, el historial térmico del sistema compuesto, etc.

55 Para llevar a cabo el procedimiento de ensayo no destructivo de la presente invención, la resina curable seleccionada y la pluralidad de partículas detectables se combinan para proporcionar un sistema compuesto. El sistema compuesto se aplicaría al artículo deseado, típicamente de una manera tal que se unen dos partes del artículo, y los sensores y/o matrices de sensores dispuestos operativamente con respecto al mismo. Las mediciones pueden ser tomadas por las matrices de sensores/sensores, mientras que el sistema compuesto que se aplica, se está curando, después del curado, o durante el uso del artículo al que se aplica el sistema compuesto. Las mediciones se transmiten convenientemente a componentes de procesamiento de datos y/o de visualización de imágenes que permiten la detección en tiempo real de defectos, por ejemplo, huecos, porosidad, grietas, etc., en el sistema compuesto. Los resultados pueden ventajosamente presentarse de tal manera que son fácilmente

interpretados por no-expertos en END. Esta interpretación, a su vez, puede ser usada para modificar las propiedades del sistema compuesto, la aplicación del sistema compuesto, las condiciones en las que se está aplicando el sistema compuesto, o cualesquiera otros parámetros capaces de influir en la integridad del sistema compuesto curado.

- 5 Uno de los procedimientos de ensayos no destructivo de la técnica anterior se puede entender mejor con referencia a la figura 2. Como se discutió anteriormente, la fig. 2 muestra el artículo 200 que comprende una primera parte 203 y una segunda parte 204 que tiene un sistema compuesto 201 intercaladas entre las mismas. El sensor 205 está dispuesto operativamente con respecto al sistema compuesto 201, y puede recibir señales desde el componente detectable en el mismo mientras el sistema compuesto 201 se aplica o mientras se cura, o durante el uso del artículo
- 10 200 indicativo del nivel de tensión dentro del sistema compuesto 201, la relación de las partes dentro del sistema compuesto 201 en aquellas realizaciones en las que el sistema compuesto 201 comprende un adhesivo de múltiples partes, etc. En la figura 2, se representa el hueco 206, el cual sería detectado por el sensor 205. Las señales recibidas por el sensor 205 serían deseablemente retransmitidas a los componentes de procesamiento de datos y/o visualización de imágenes que permiten la detección en tiempo real de defectos, por ejemplo, huecos (como el
- 15 hueco 206), porosidad, grietas, etc., en el sistema compuesto 204.

Aunque se espera que el sistema compuesto y procedimiento de la presente invención encuentren utilidad en una gran variedad de aplicaciones, se espera que sean particularmente aplicados ventajosamente en zonas en las que el ensamblado de piezas se lleva a cabo deseablemente in-situ, de manera que se pueda evitar por completo el envío de artículos ensamblados. Ejemplos de industrias en las que esta capacidad puede ser ventajosa incluyen la

20 industria energética, en la que grandes segmentos de, por ejemplo, tubería u otro aparato de planta, son enviados de manera deseable en lugar de la longitud real o parte completa que se ha de usar. Otro ejemplo en la industria energética sería en la industria de la energía eólica, en el que las palas eólicas, u otras partes del aparato de energía eólica, pueden ser enviadas de manera deseable en partes. Las uniones en bisel de cordón de larguero de pala eólica pueden ensamblarse/completarse de manera deseable sobre el terreno, y la capacidad para confirmar la

25 integridad ventajosa de las mismas. El procedimiento de la presente invención proporcionaría esta capacidad, así como la capacidad para llevar a cabo la inspección en servicio del borde de ataque de las palas eólicas, borde de salida, y las juntas de alma cortante, así como regiones compuestas críticas de la pala eólica, tales como sección de base, cordón de larguero, y punta. El procedimiento de la presente invención también permitiría el control de salud estructural de las palas eólicas, a través del montaje permanente de los sensores o matrices de sensores en la pala eólica durante el montaje sobre el terreno.

30

La presente invención proporciona de manera deseable control in situ del sistema compuesto, ya sea mientras se aplica, durante el curado, después del curado, y/o durante el uso del artículo al que se aplica el sistema compuesto. Con los materiales detectables que comprenden un material conductor o ferromagnético, el control in situ del sistema compuesto lleva a cabo por medición de conductividad o permeabilidad magnética, que se realiza usando sensores

35 de corrientes de Foucault.

Más en particular, los sensores de corrientes de Foucault se utilizan para detectar campos magnéticos a partir de corrientes de Foucault inducidas en el sistema compuesto. En la presencia de un defecto, las corrientes de Foucault y los campos magnéticos correspondientes se verían perturbados, lo que da como resultado un cambio en la respuesta del sensor que indica el defecto. Cuando se están uniendo grandes artículos, bobinas excitadoras

40 antiparalelas (también conocido como sinuosidad) pueden utilizarse ya que éstas son capaces de producir un campo de excitación y la correspondiente corriente de Foucault en una gran zona. Sin embargo, ya que la corriente fluye en direcciones opuestas en líneas adyacentes, las corrientes de excitación/Foucault no pueden penetrar profundamente en el sistema compuesto/de artículo y la detección se puede limitar a defectos sustancialmente en, o cerca de, la superficie.

45 Se ha sabido que los sensores de corrientes de Foucault utilizados para detectar el componente detectable pueden tener las líneas de excitación dispuestas en paralelo (como se muestra en la figura 3C), lo que da como resultado mucho campos mucho más altos y una penetración mucho más profunda en comparación con las líneas de excitación anti-paralela (mostrada en la figura 3A). La figura 3 muestra la densidad de corriente a diferentes profundidades de penetración para excitaciones anti-paralela (Figura 3B) y paralela (Figura 3D), para la misma

50 corriente que fluye a través de cada una de las líneas paralelas, así como en la línea de excitación antiparalela para un simple caso de cuatro líneas. Se puede observar que no sólo la densidad de corriente de pico es más alta con las líneas paralelas, la caída es mucho más lenta con las excitaciones paralelas. Además, a mayores profundidades, la densidad de corriente se vuelve más uniforme con la excitación paralela.

Una configuración básica para la sonda de matriz sería de un conjunto de líneas de excitación paralela y una serie de bobinadas de detección (o recepción) entre las líneas de excitación. Sin embargo, la respuesta de la bobina de detección a un defecto depende de donde se encuentra el defecto con respecto a la excitación y la bobina de detección. Si, por ejemplo, hay una matriz 1-D de bobinas de detección entre dos líneas de excitación adyacentes, y si se produce un defecto a ser centrada aproximadamente por debajo de la bobina de detección, tendrá una

55 respuesta muy baja, ya que la tensión inducida en la bobina de detección tiende a cancelarse. Estas zonas se denominan zonas ciegas ya que un defecto puede potencialmente ser pasado por alto en esta región. Existirán zonas ciegas, incluso si la bobina de detección se coloca en la parte superior de las líneas de excitación en lugar de

60

entre las líneas de excitación.

Con el fin de asegurar que los defectos en cualquier ubicación son detectados con niveles de señal razonables, una sonda de matriz de la técnica anterior incluye una segunda capa de líneas de excitación y bobinas de detección, idéntica a la primera capa, pero desviada desde la primera capa, para permitir una respuesta nula desde una bobina de detección para ser compensada por una respuesta alta desde dos bobinas de detección en la capa adyacente. Las sondas de matriz también pueden tener más de dos capas, en cuyo caso las capas van a ser desviadas en consecuencia. La figura 4 muestra tal matriz 400. Alternativamente, si el espacio no es una limitación y la matriz se explora, en lugar de múltiples capas, puede haber dos o más filas de elementos de excitación y detección, desviados entre sí.

- 10 Como se ha mencionado anteriormente, la respuesta del mismo defecto a una profundidad constante puede ser muy diferente basándose en la ubicación del defecto con respecto a las líneas de excitación y la bobina de detección. Deseablemente, esta respuesta sería plana, es decir, una respuesta constante sería proporcionada independientemente de la ubicación del defecto. En el diseño mostrado en la figura 4A, la respuesta de las bobinas de detección en las dos capas 410 y 412, se puede combinar para dar una respuesta compensada que es razonablemente plana, es decir, la respuesta compensada ya no será dependiente de la ubicación del defecto. Para fines de claridad de la ilustración, la figura 4B muestra una sola capa, 412.

- La figura 5 muestra la respuesta de los elementos de detección individuales de matriz 400, así como la respuesta compensada (combinada) de las tres bobinas de detección más cercanas. Esta respuesta compensada es la Suma del valor absoluto (Sum_Abs) de las tres bobinas de detección en cada ubicación. La tabla muestra la desviación estándar de la respuesta a un defecto para cada bobina de detección, así como para la respuesta compensada. Se puede ver que la sigma de la respuesta compensada es significativamente menor que la de las bobinas individuales. La compensación puede conseguirse también por medios alternativos de la combinación de las señales.

- Un sistema de matrices de corrientes de Foucault (CF) se puede utilizar para detectar las partículas detectables, donde la matriz se compone de una unidad en forma de uno o varios bucles de corriente y una matriz unidimensional (1-D) de una o más bobinas de detección entre líneas de excitación adyacentes. La unidad estaría conectada directamente al instrumento de corrientes de Foucault, mientras que la matriz de bobinas estaría conectada a un circuito multiplexor que las conecta al instrumento de corrientes de Foucault. La matriz de CF entonces se colocaría en la superficie exterior de las estructuras ensambladas deseablemente unidas con el sistema compuesto. Por ejemplo, en la pala eólica, esto podría ser una junta biselada del cordón de larguero, el enlazador doble de alma cortante, o la unión a tope de la piel. La matriz también estaría conectada a un codificador para registrar a medida que se explora la superficie. La exploración se puede realizar manualmente, o se puede motorizar. El sistema compuesto deseado se prepararía, por ejemplo, comprendiendo un adhesivo como la resina curable y partículas de ferrita. La dimensión de partícula, el tratamiento de superficie, y la fracción de volumen se pueden seleccionar ventajosamente para ser suficientes para producir una señal detectable, así como para mantener las propiedades químicas y físicas del adhesivo, por ejemplo, viscosidad, tasa de curado, post-curado módulo de Young, resistencia al cizallamiento final, resistencia a la fatiga, vida útil, etc., o combinaciones de las mismas. La exploración se puede realizar a medida que el sistema compuesto se inyecta, después de ser inyectado, durante el curado, después del curado, después de la reanudación, o en servicio. Los datos recogidos a partir de la matriz de bobinas y del codificador se procesan para formar imágenes 2-D de la distribución del sistema compuesto dentro del espacio de unión.

- Alternativamente, el conjunto de corrientes de Foucault puede consistir en una unidad en forma de bucles de corrientes simples o múltiples y una matriz bidimensional (2-D) de bobinas de detección entre dos líneas de excitación adyacentes. La matriz se utilizaría para explorar y generar imágenes para el sistema compuesto a medida que se inyecta, después de inyectarse, durante el curado, después del curado, después de la reanudación, o en servicio como se ha descrito anteriormente.

Además, la matriz de corrientes de Foucault, ya sea con la matriz 1-D o 2-D o las bobinas de detección entre las líneas de excitación adyacentes, se puede proporcionar con la dimensión completa de la zona de inspección de tal manera que genera imágenes sin la necesidad de exploración manual o motorizada. Las líneas de excitación pueden ser multiespiras para aumentar la densidad de corriente de Foucault y el nivel de señal.

- 50 La figura 6 ilustra una sonda de matriz de acuerdo con la técnica anterior, que tiene una configuración de excitación anti-paralela en la que la línea de excitación está configurada en un formato de espira y de múltiples capas que permite la alternancia de direcciones de flujo magnético entre dos conjuntos adyacentes de líneas de excitación. Esta configuración hace producir menor flujo neto que el caso paralelo, pero sigue permitiendo una considerable mejora en la profundidad de penetración respecto de las bobinas excitadoras circulares usados en sondas EC convencionales.

Si se ha de usar una excitación paralela en la sonda de matriz de corriente, la vía de retorno para completar el bucle debe ser en un plano que es ortogonal al plano de la bobina de excitación (como se muestra en la figura 7A y 7B), de lo contrario toda la estructura actúa como un bucle circular (a menos que el bucle se vuelva a continuación muy grande en comparación con el área de la región de excitación paralela). Por otra parte, bucles anti paralelos se

prestan muy bien ser usados en situaciones en las que el espacio es reducido, como puede ser el caso con las juntas dentro de una pala eólica, por ejemplo, la junta de alma cortante. Las sondas de matriz con líneas de excitación anti-paralela también pueden tener múltiples capas/filas con excitación y el desvío de detección para evitar cualesquiera zonas ciegas y para obtener una respuesta plana compensada.

- 5 En la presente invención, se utiliza una bobina excitadora para generar un campo uniforme y/o para aumentar la posible penetración de profundidad con la excitación. La bobina excitadora comprende una densidad de corriente que aumenta de manera monótona desde el centro de la bobina a un borde exterior de la bobina. La densidad de corriente se incrementa aumentando la densidad de espiras. La bobina puede, en algunas realizaciones, comprender de aproximadamente 5 a aproximadamente 100 espiras. En algunas realizaciones, la bobina excitadora
10 puede comprender ventajosamente una bobina excitadora espiral. En algunas realizaciones de tal bobina excitadora espiral, la bobina puede tener una densidad de corriente dada por la ecuación $\ln(1 + k \cdot n)$, en la que r es la distancia desde el centro de la bobina, n es el número de espiras, y k está entre aproximadamente 0,05 y 3, o de aproximadamente 0,1 y 2.

- 15 La bobina excitadora se proporciona en combinación con un sensor, o una pluralidad de sensores, para proporcionar una sonda de medición. La sonda puede generar imágenes 2D sin los problemas que pueden estar asociados a una sonda de medición digital de un solo punto o trama. Por ejemplo, para crear información 2D a partir de un sistema de medición de un solo punto, se deben tomar y ensamblar múltiples mediciones para crear la imagen 2D, y con mediciones exploradas de trama, se deben combinar exploraciones individuales de izquierda a derecha típicamente con el fin de llevarlo a cabo.

- 20 El sensor o pluralidad de sensores pueden deseablemente ser proporcionados en relación con una superficie, separados de una superficie que comprende al menos una porción de la bobina excitadora por una distancia de aproximadamente 0 mm a aproximadamente 25 mm. En algunas realizaciones, la bobina excitadora es deseablemente plana, de modo que sustancialmente la totalidad de las mismas se encuentran dentro de la misma superficie de bobina excitadora. En otras realizaciones, la bobina excitadora puede ser curvada. En tales
25 realizaciones, la distancia entre el plano de detección y el plano de bobina excitadora se mide deseablemente en o cerca de un eje horizontal que discurre a través tanto del plano de detección como del plano de bobina excitadora. En esas realizaciones en las que la sonda de medición comprende una pluralidad de sensores, los sensores pueden disponerse en cualquier configuración dentro de la superficie de detección. En algunas realizaciones, los sensores están dispuestos en forma de matriz.

- 30 Una realización de una sonda de medición utilizada en el procedimiento de la presente invención, que comprende una bobina excitadora espiral 1410 se muestra en la figura 14. Como se muestra en la figura 14, la bobina excitadora 1410 es sustancialmente plana y sustancialmente la totalidad de la bobina excitadora 1410 se encuentra dentro de una superficie de bobina excitadora (no mostrada). Como se ha discutido anteriormente, esto no es necesariamente el caso, y la bobina excitadora 1410 puede ser curva, si se desea. La bobina excitadora 1410 comprende una
35 densidad de corriente que aumenta de manera monótona desde el centro de la bobina excitadora 1410 a un borde exterior de la bobina excitadora 1410. En la realización mostrada en la figura 14, el aumento de la densidad de corriente se proporciona por la densidad de espiras de una bobina excitadora de 1410.

- Se proporciona la superficie de detección 1420 y se dispone a una distancia de aproximadamente 0 mm a aproximadamente 25 mm a partir de la bobina excitadora de 1420 y es sustancialmente paralela a la misma. La
40 superficie de detección 1420 comprende al menos un sensor, una pluralidad de sensores, que en algunas realizaciones, pueden estar dispuestos en una matriz.

- En la figura 8 se muestra un artículo de acuerdo con la técnica anterior. Como se muestra, el artículo 800 comprende una primera parte 803 y una segunda parte 804, con un sistema compuesto 801 intercalado entre las mismas. La primera parte 803, la segunda parte 804, o ambas pueden comprender un compuesto de carbono. El sistema
45 compuesto 801 puede comprender deseablemente un adhesivo como la resina curable, y polvo de ferrita como las partículas detectables. Un sensor 805, una matriz, está dispuesto operativamente con respecto al sistema compuesto 801, y puede recibir señales de las partículas detectables en el mismo mientras el sistema compuesto 801 se aplica o se cura, o durante el uso del artículo 800. Las señales recibidas por la matriz de sensores 805 deseablemente se transmiten a los componentes de procesamiento de datos y/o visualización de imágenes, que
50 permiten la detección en tiempo real de defectos a través de una interfaz de instrumento 807.

- Cualquiera de las matrices mencionadas anteriormente pueden, si se desea, estar dispuesta operativamente en las superficies internas (es decir, superficies de unión) de las partes del artículo que se ha de unir, de manera que la matriz esté más cerca del sistema compuesto. Las matrices se pueden fabricar de manera deseable sobre un sustrato delgado y estar compuestas de un material que se unirá suficientemente a la superficie interior de la
55 estructura, así como al sistema compuesto de manera que un defecto extraño no se introduzca en el sistema compuesto.

Además, cualquiera de las matrices mencionadas anteriormente puede estar dispuesta dentro de cualquiera de las capas del artículo que se ha de unir. Por ejemplo, los artículos que se han de unir pueden ser de materiales compuestos fibra de vidrio o de fibra de carbono. La matriz puede ser entonces un circuito impreso de una película

delgada de poliimida que se dispone entre las capas de materiales compuestos durante la colocación o en las superficies interiores (es decir, las superficies de unión) de las estructuras y luego se cubren con una capa adicional del mismo material de la estructura, o con un material diferente que puede mejorar la unión entre la matriz y el adhesivo.

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento de realización de ensayos no destructivos de un sistema compuesto que comprende:

5 proporcionar un sistema de material compuesto que comprende una resina curable que comprende, además, al menos una pluralidad de partículas detectables;
proporcionar un artículo (100);
proporcionar al menos una sonda de medición que comprende:

10 una bobina excitadora (1410), y
al menos un sensor (1420);

15 disponer operativamente el sistema compuesto en relación con el artículo (100); y
utilizar el sensor (1420) para detectar las partículas detectables dentro del sistema compuesto;
caracterizado porque
la bobina excitadora (1410) tiene una densidad de espiras tal que la densidad de corriente aumenta de forma monótona desde el centro de la bobina a un borde exterior de la bobina.

2.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el al menos un sensor (1420) está situado en una superficie de detección separada de una superficie que comprende al menos una porción de la bobina excitadora (1410).

20 3.- El procedimiento de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que sustancialmente toda la bobina excitadora (1410) se encuentra dentro de la superficie de bobina excitadora.

4.- El procedimiento de cualquier reivindicación anterior, en el que la densidad de corriente en la bobina excitadora es dada por la ecuación $\ln(1 + k*n)$, en la que n es el número de espiras, y k es un número entre 0,05 y 3.

25

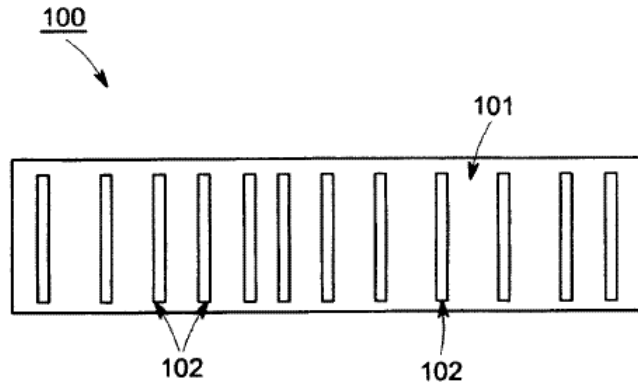


FIG. 1

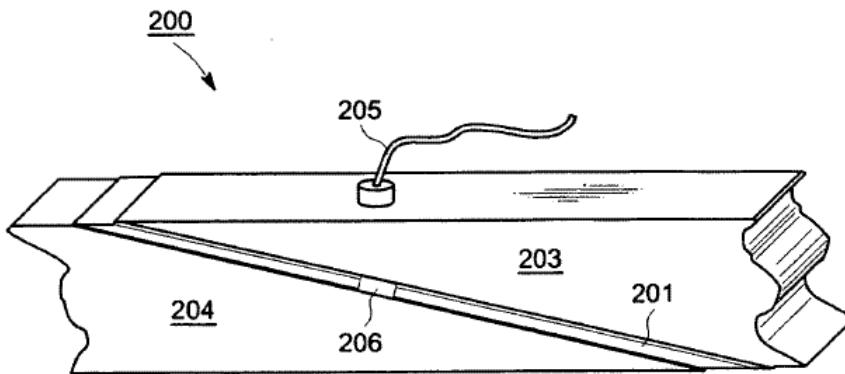


FIG. 2

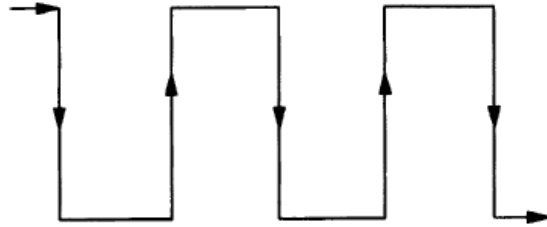


FIG. 3A

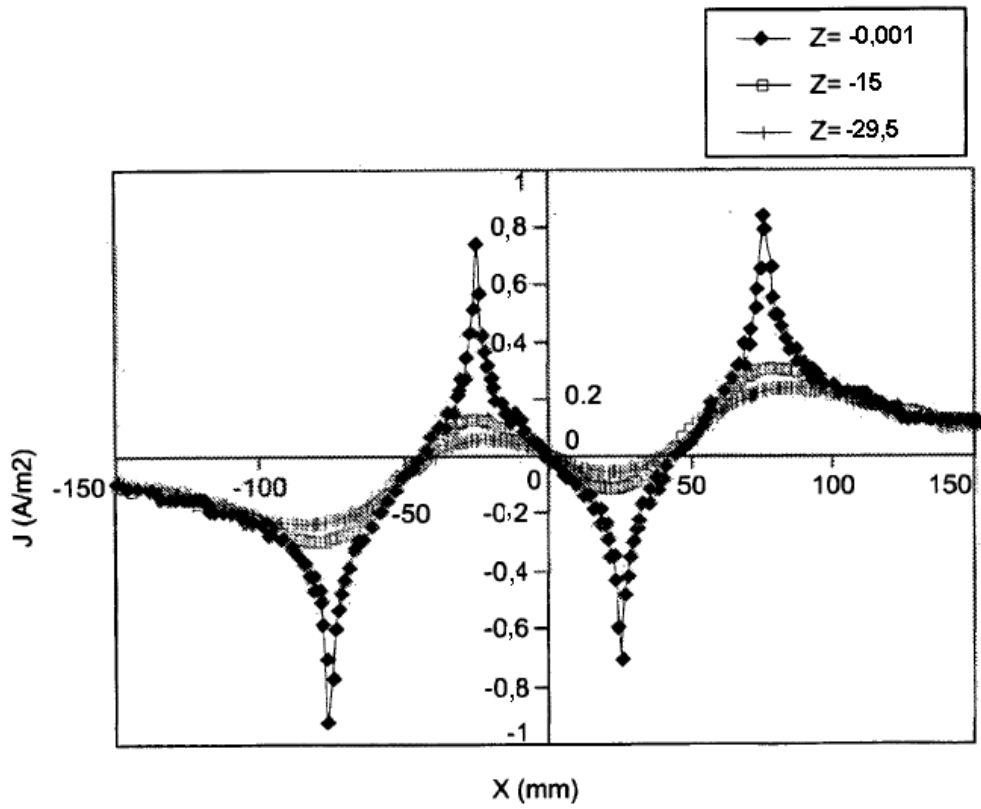


FIG. 3B

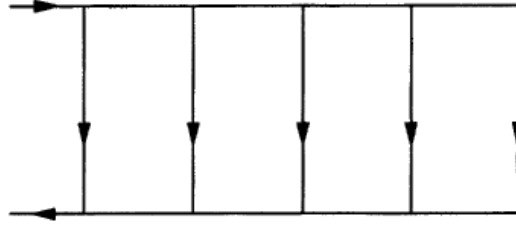


FIG. 3C

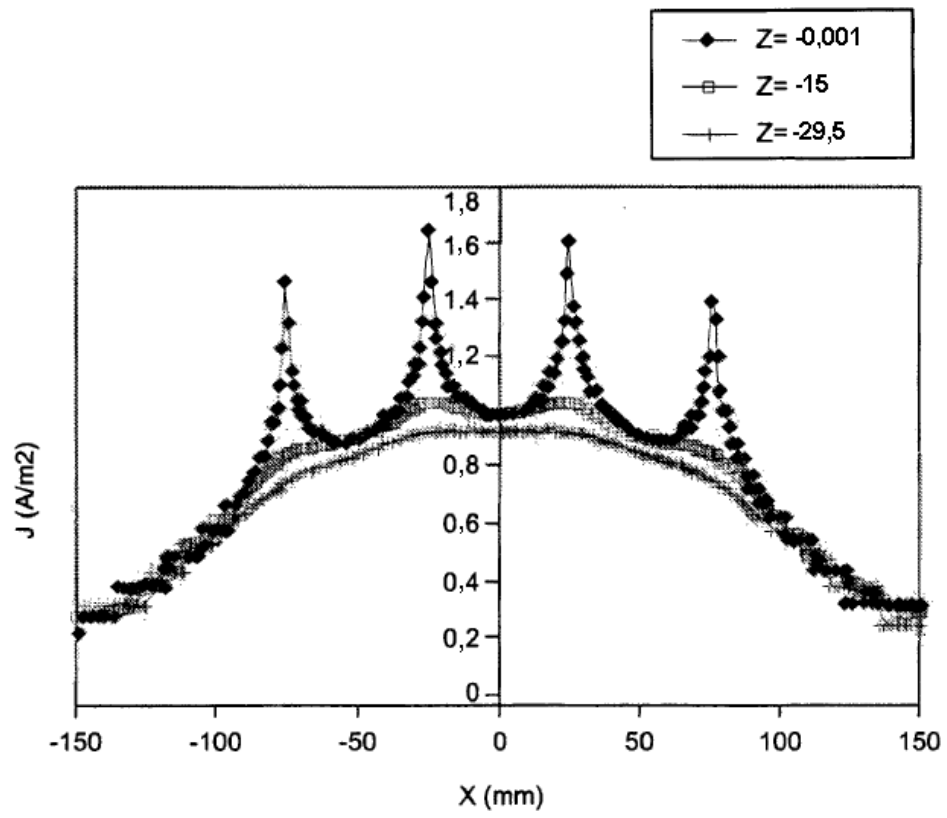


FIG. 3D

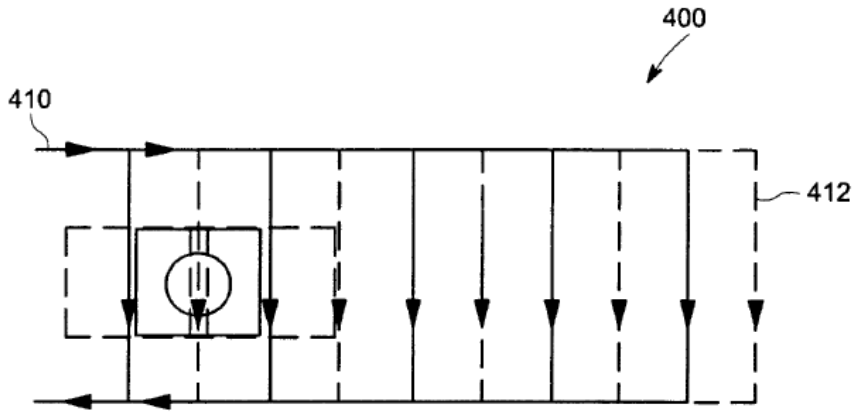


FIG. 4A

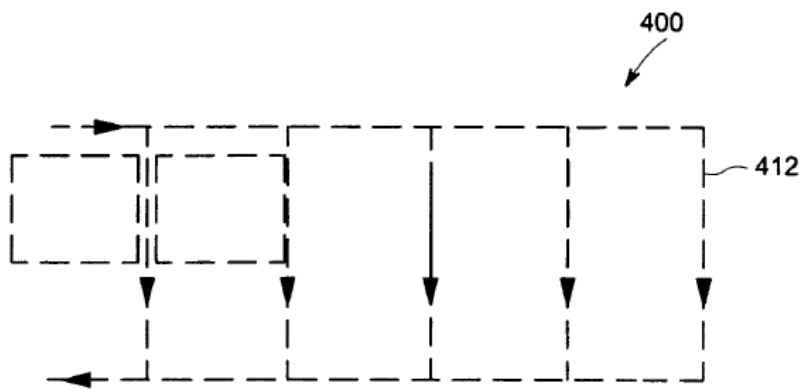
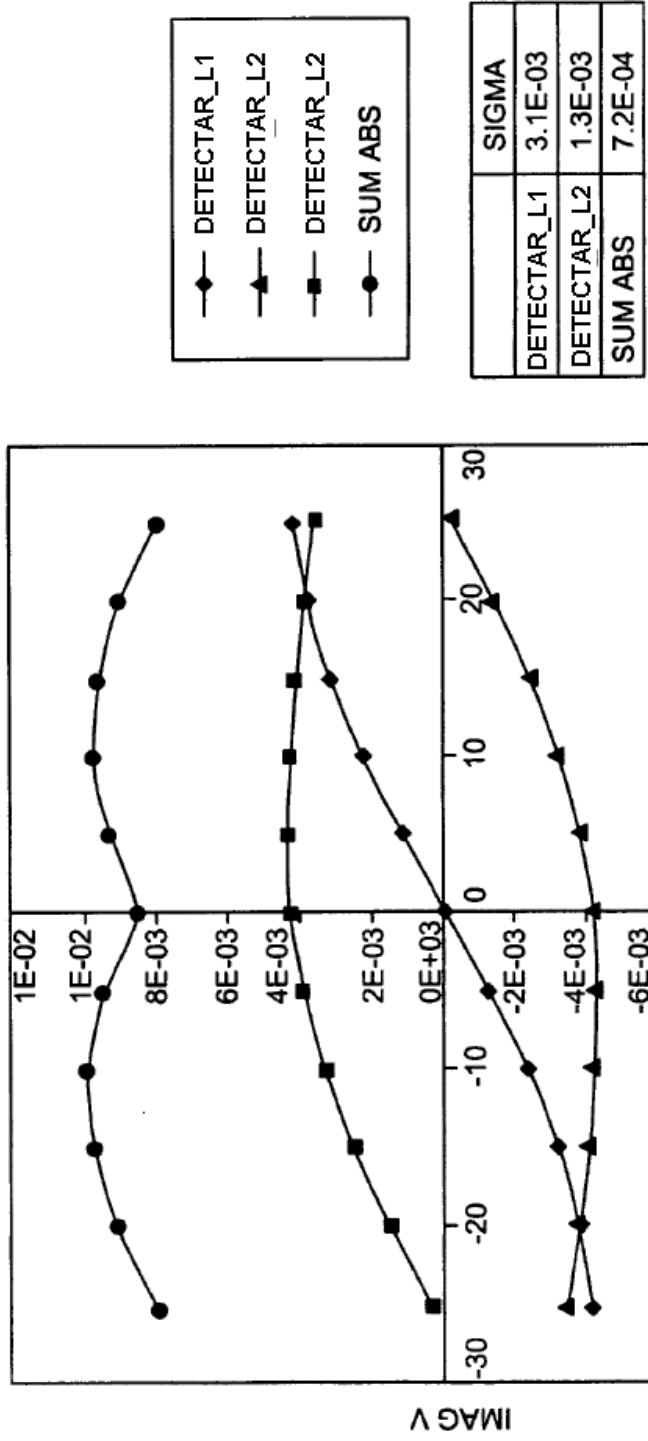


FIG. 4B



X (Desplazamiento de excitación en tiempo real de defecto) mm

FIG. 5

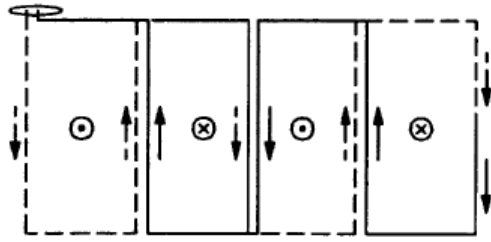


FIG. 6

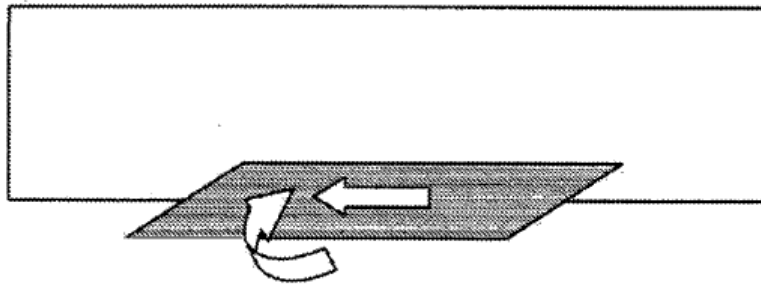


FIG. 7A

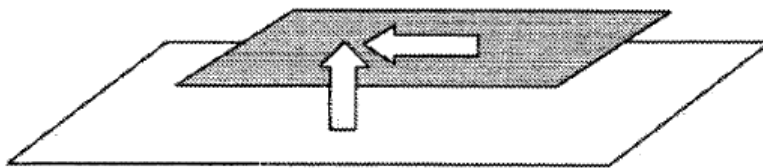


FIG. 7B

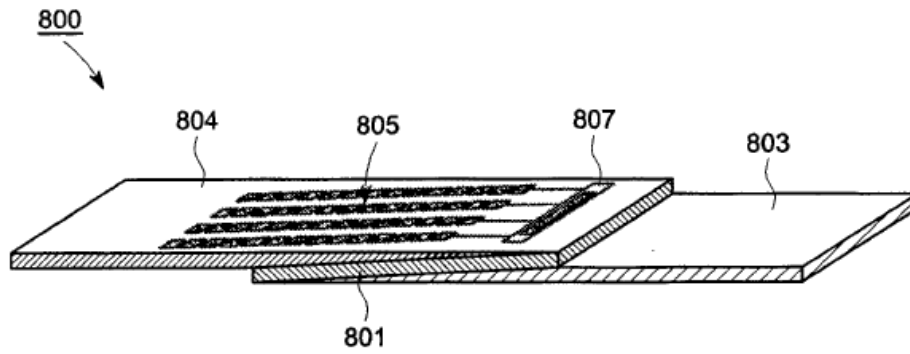


FIG. 8

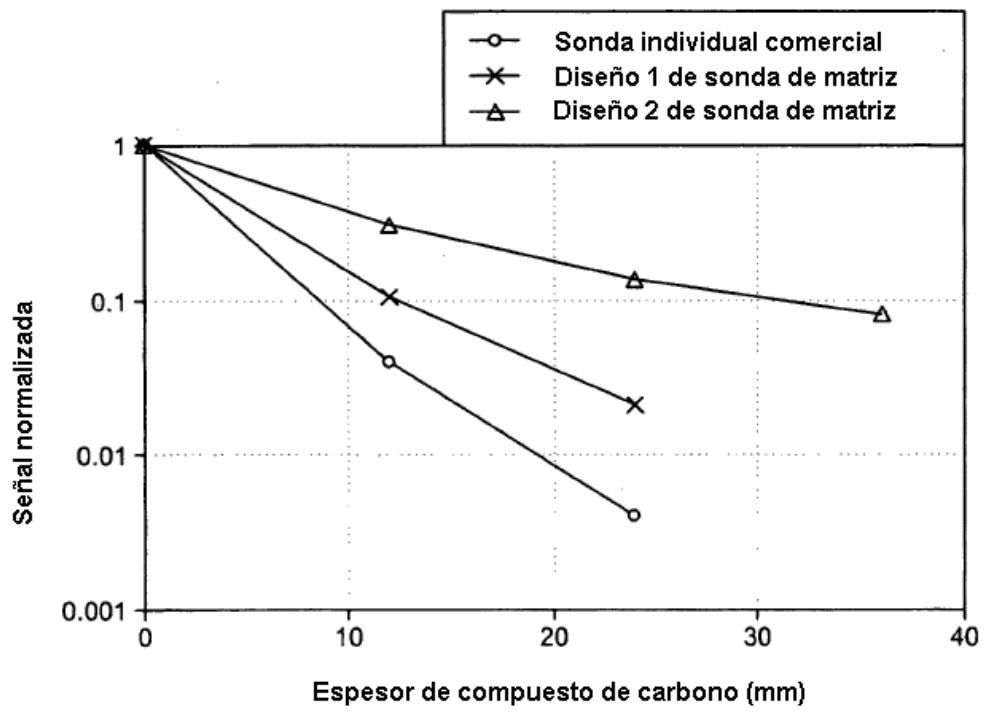


FIG. 9

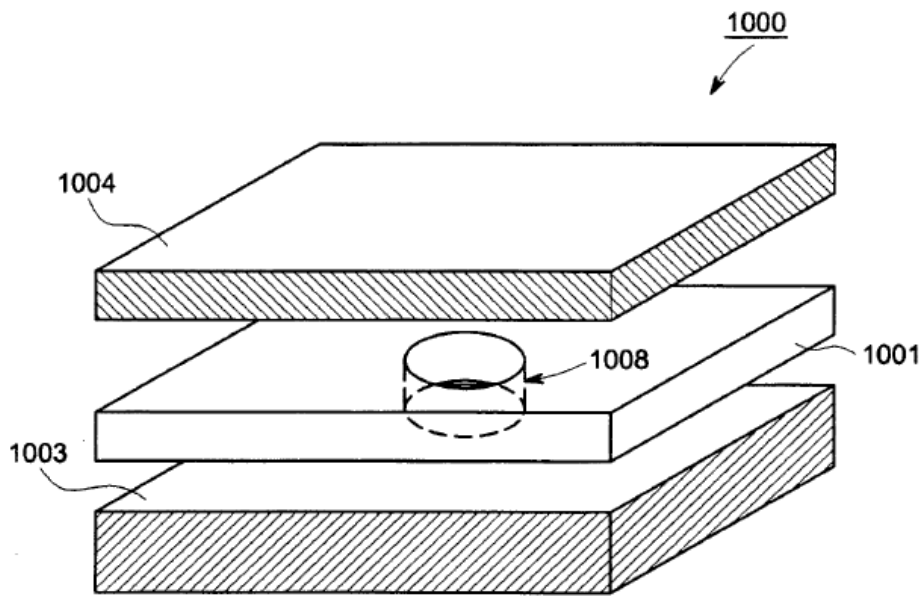


FIG. 10

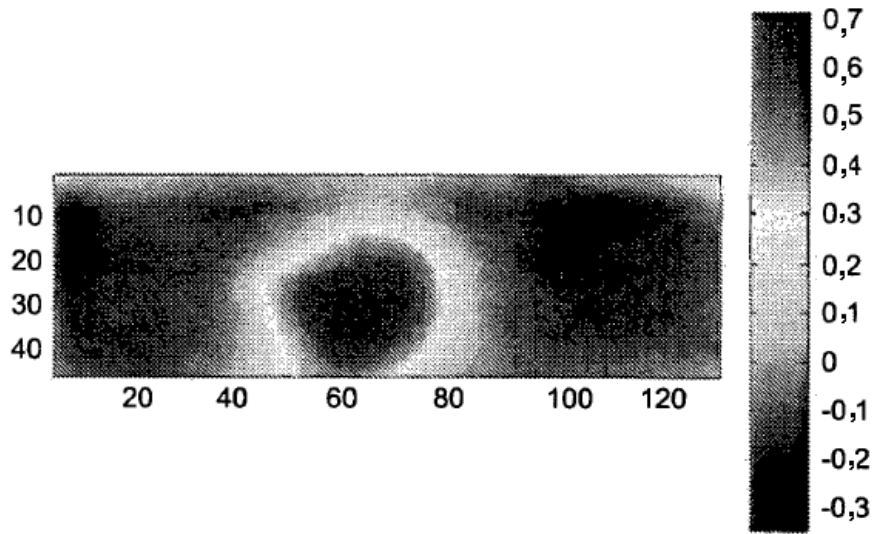


FIG. 11A

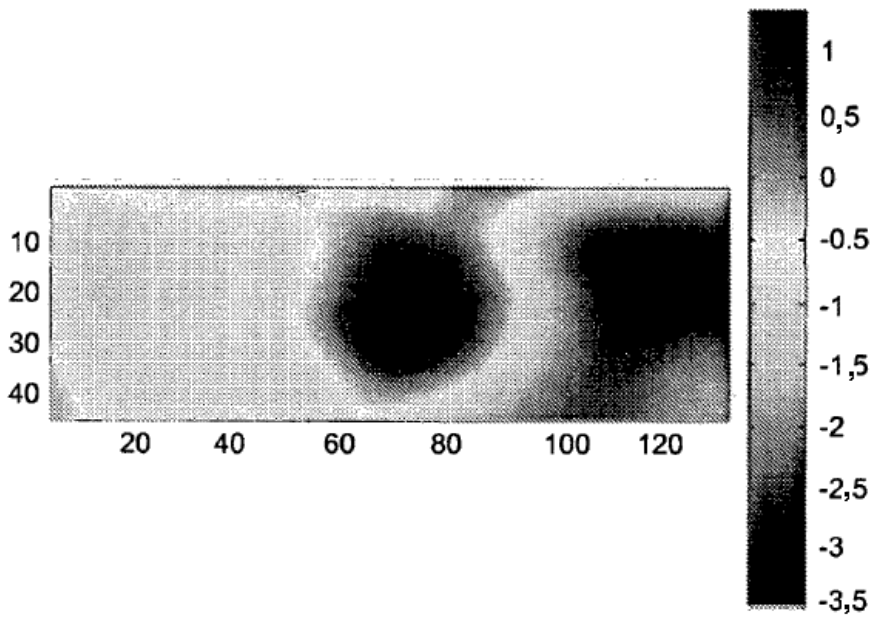


FIG. 11B

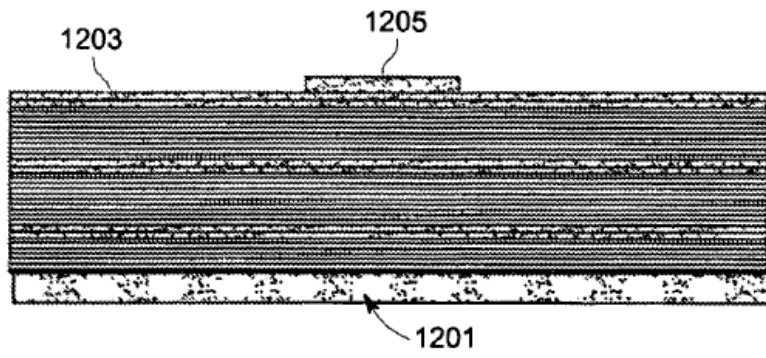


FIG. 12A

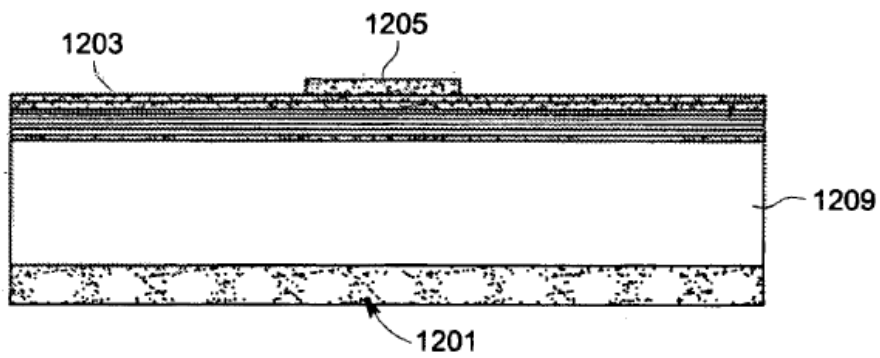


FIG. 12B

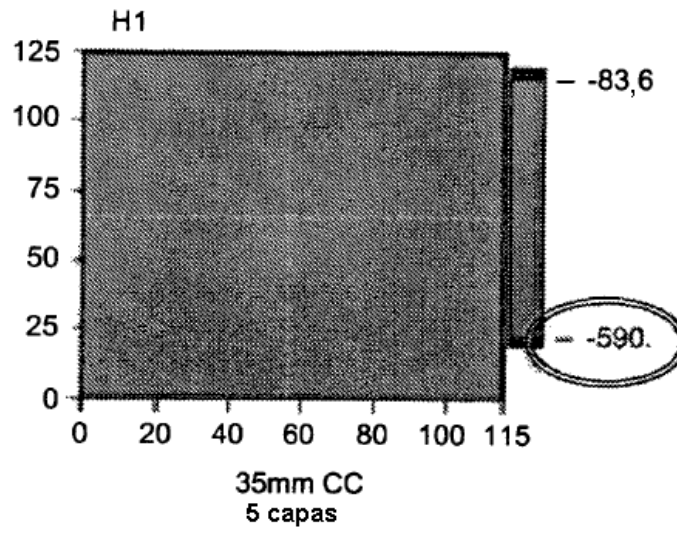


FIG. 13A

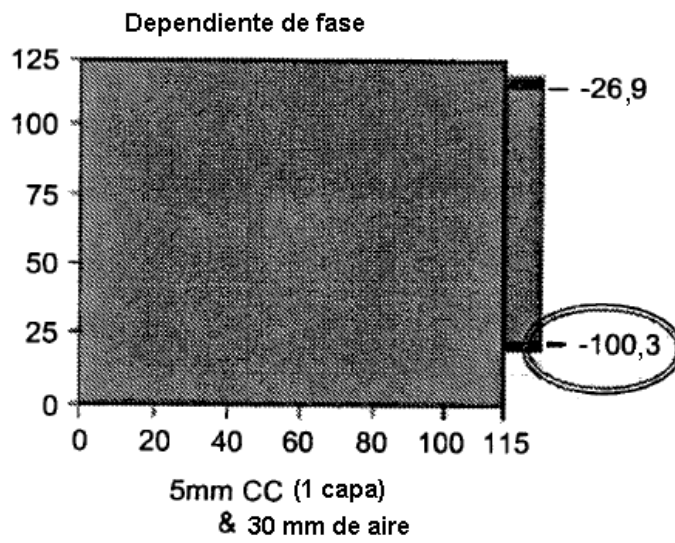


FIG. 13B

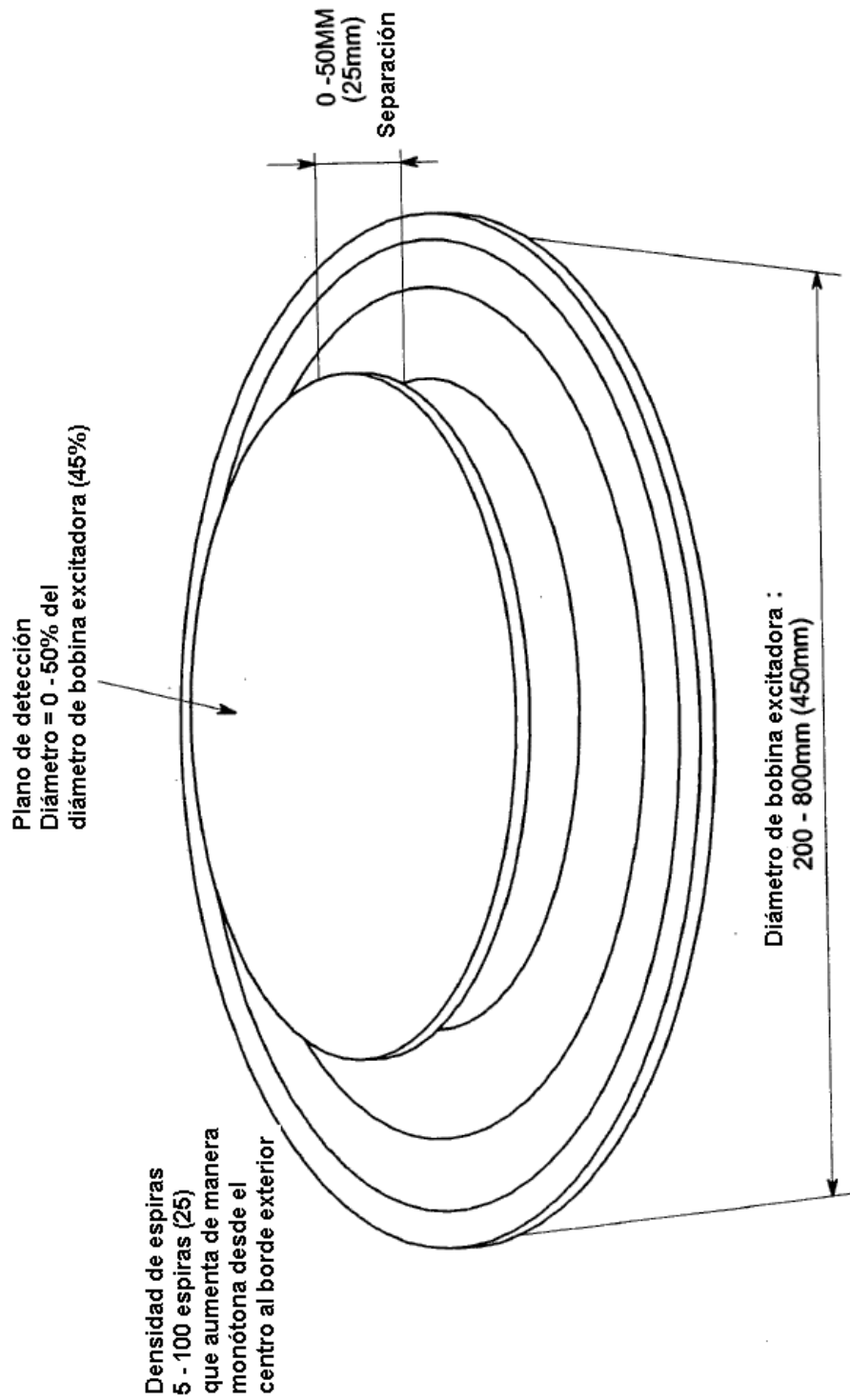


FIG. 14