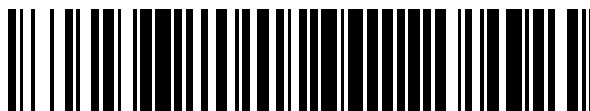


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 897**

51 Int. Cl.:

G01N 27/90

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.01.2013** **E 13000076 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015** **EP 2642281**

54 Título: **Sonda de matriz de corriente de Foucault y procedimiento para compensación de elevación durante operación sin referencias de elevación conocidas**

30 Prioridad:

22.03.2012 US 201213427205

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

13.02.2015

73 Titular/es:

OLYMPUS NDT, INC. (100.0%)
48 Woerd Avenue
Waltham, MA 02453, US

72 Inventor/es:

LEPAGE, BENOIT

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 528 897 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

Sonda de matriz de corriente de Foucault y procedimiento para compensación de elevación durante operación sin referencias de elevación conocidas

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a sistemas de prueba e inspección no destructivos (NDT/NDI), y más particularmente a tecnología de matriz de corriente de Foucault (ECA), sondas de corrientes de Foucault grabadas sobre placas de circuito impreso y compensación de elevación.

Antecedentes de la invención

- 10 La inspección de corrientes de Foucault se utiliza comúnmente para detectar defectos no destructivos en superficies de los componentes manufacturados fabricados a partir de un material conductor, tales como barras, tubos y piezas especiales para las industrias de automoción, aeronáutica o energía. Con los años, los sensores de corrientes de Foucault han sido diseñados con diferentes configuraciones y formas.

- 15 Configuraciones de sensores de corrientes de Foucault típicas incluyen puente de impedancia, emisión y recepción (llamado alternativamente reflexión o transmisión-recepción) y configuraciones diferenciales, pero también pueden incluir combinaciones más complejas, tal como emisión y recepción con receptores diferenciales, múltiples diferenciales, etc. Una variedad aún mayor de formas de sonda se ha desarrollado durante los años, con algunos de las mismas siendo configuraciones verdaderamente exitosas, como se conoce en la industria.

- 20 Un primer tipo conocido de sensor de corriente de Foucault de este tipo, llamado punto ortogonal, transversal o adicional, está montado en un cubo o un núcleo en forma de cruz, con dos bobinas enrolladas ortogonalmente entre sí. Una de las bobinas es el conductor y está enrollada perpendicularmente en el otro eje del núcleo de la bobina, que se utiliza como receptor. En este sensor ortogonal particular, las bobinas conductora y receptora se colocan perpendicularmente al componente a inspeccionar. Esta característica desacopla el campo magnético del conductor desde el eje sensible del receptor, reduciendo así la sensibilidad del receptor al ruido de la superficie que no representa un defecto.

- 25 Con los avances de las tecnologías de placa de circuito impreso (PCB) en las últimas décadas, ahora es posible fabricar algunas formas y configuraciones de sensores de corrientes de Foucault sobre un soporte flexible y delgado. Incluso aún más interesante es el uso de estas tecnologías de fabricación para la fabricación de sondas de matriz de corriente de Foucault, ya que la reducción de costes, la flexibilidad y la reproducibilidad son factores críticos para un diseño de sonda de matriz exitoso. La solicitud de patente en trámite del actual cesionario en Estados Unidos
30 número de serie 12/832620 describe cómo construir una sonda ortogonal con la tecnología de placa de circuito impreso. El contenido de dicha solicitud 12/832620 se incorpora a la presente memoria por referencia.

- 35 Muchos sensores de corriente de Foucault generan una señal muy fuerte representativa de variaciones en la distancia (elevación) entre el sensor y la parte inspeccionada. Tales sensores se hacen referencia en la presente memoria como que son de un segundo tipo, denominado comúnmente como que tienen una respuesta "absoluta" debido a que proporcionan una información relativamente directa del acoplamiento entre el sensor y el componente inspeccionado. Por otro lado, unas pocas configuraciones (incluyendo las disposiciones ortogonales y algunas diferenciales) sólo exhiben una reducción en la sensibilidad con un elevación en aumento. Estas configuraciones son entonces ideales para realizar una inspección sobre piezas irregulares (tal como soldaduras o barras laminadas en caliente) o cuando el entorno de inspección no puede proporcionar un elevación perfectamente estable.

- 40 Sin embargo, incluso para los sensores ortogonales y diferenciales, las potenciales variaciones de sensibilidad relacionadas con las variaciones de elevación inicial correspondientes son un importante factor limitante para las capacidades de detección de los sensores de corriente de Foucault. Este problema es aún más importante para las sondas de matriz de corrientes de Foucault, que incluyen varios canales de corrientes de Foucault independientes, ya que es más fácil mantener un elevación constante para un único sensor que para una matriz de sensores. Varios
45 términos utilizados en este documento tienen las siguientes definiciones:

- (i) Un **sensor de corriente de Foucault** es una disposición de bobina completa capaz de generar corrientes de Foucault en la parte de prueba y recepción del campo magnético producido por esas corrientes de Foucault;
- 50 (ii) Un **sonda de matriz de corriente de Foucault** (ECA) es un conjunto completo que incluye varios sensores; y
- (iii) Un **canal de matriz de corriente de Foucault** (ECA) es una combinación única del sensor y condiciones de prueba (frecuencia, ganancia, etc.), de manera que una sonda ECA de treinta y dos sensores accionada con dos frecuencias de prueba generaría, por ejemplo, sesenta y cuatro canales.

La patente US 5.371.461 divulga unos medios para compensar la elevación para una sonda ECA hecha de bobinas

grabadas mediante la combinación de sensores diferenciales para la detección de defectos y sensores de emisión y recepción para la medición de elevación en la misma sonda. En esta patente, los sensores de emisión y recepción añadidos requieren bobinas adicionales a grabarse en la sonda, que añade complejidad y tamaño a la sonda. El contenido de la patente US 5.371.461 se incorporan por referencia en el presente documento.

- 5 El procedimiento presentado en la patente US 5.371.461 también requiere el uso de una referencia de elevación precisa para calibrar los canales de medición de la elevación. Tal referencia puede ser muy difícil de obtener para piezas de formas complejas y/o irregulares. Esta referencia de elevación también se suma a la complejidad de la solución respecto a su uso diario debido a las etapas de calibración adicionales y el nivel de precisión implicado.

- 10 Otros procedimientos encontrados en la técnica anterior (por ejemplo, en la publicación US 20030071615 o en la patente US 4.727.322) incluyen el uso de un plano de impedancia predefinido respecto a un conjunto de variables medidas, incluyendo la elevación. Estos procedimientos requieren un cálculo intensivo y/o datos experimentales para lograr resultados en un conjunto muy limitado de configuraciones de sonda y piezas. La solicitud de patente US 2012/0007595 A1 divulga una bobina en 2D y un procedimiento de uso del sensor EC envuelto en 2D para la reproducción de la respuesta de la prueba de corriente de Foucault (ECT) de un sensor ortogonal en 3D de la técnica anterior. El sensor ortogonal en 3D se enrolla convencionalmente sobre un núcleo en 3D, con al menos algunas de las superficies siendo no paralelos a la superficie a inspeccionar. El uso de la configuración en 2D divulgada en la presente memoria, permite el uso de tecnologías de la placa de circuito impreso para la fabricación de estos sensores EC. El procedimiento y los sensores EC en 2D asociados divulgados en la presente memoria son particularmente útiles para reproducir el efecto EC de las matrices de sondas ortogonales convencionales.

- 20 En consecuencia, es un objeto de la divulgación proporcionar unos medios para compensar las variaciones de sensibilidad de elevación para una matriz de sondas de corriente de Foucault diferencial u ortogonal sin el uso de bobinas adicionales.

También es un objeto de la divulgación proporcionar unos medios para compensar la elevación sin la necesidad de calibrar la sonda en una referencia de elevación fija.

- 25 Es un objeto adicional de la divulgación tener unos medios para compensar la elevación sin la necesidad de tablas generadas previamente específicas para una aplicación o sonda.

Un objeto adicional de la divulgación es reducir el número de interconexiones en la sonda, permitiendo así un diseño de la sonda más compacto.

- 30 Otro objeto más de la divulgación es permitir la realización de la calibración de compensación de elevación y de la calibración del canal de detección de manera simultánea.

Otro objeto más de la divulgación es eliminar la necesidad de tablas de elevación calculadas previamente, que son típicamente dependientes del material inspeccionado y de las características del sensor (frecuencia de prueba, tamaño del sensor, etc.).

Sumario de la divulgación

- 35 La invención proporciona un sistema de matriz de sondas EC para detectar defectos en un objeto de prueba. Ese sistema incluye:

(a) una disposición de bobina EC que incluye:

- 40 (i) una pluralidad de sensores EC ortogonales dispuestos en canales y configurados para inducir corrientes de Foucault en el objeto de prueba y detectar y emitir unas primeras señales representativas de defectos en el objeto de prueba;

- 45 (ii) una pluralidad de sensores EC absolutos configurados para producir a partir del objeto de prueba unas segundas señales indicativas de una distancia de elevación de dichos sensores EC ortogonales y absolutos respecto a dicho objeto de prueba, estando dicha disposición de bobinas EC configurada de modo que se establece una relación predeterminada o dada entre dichas segundas señales y dichas primeras señales, en diferentes distancias de elevación;

(b) una tabla de configuración que comprende valores de calibración para dichos sensores EC ortogonales con correspondientes valores de compensación de elevación para cada uno de dichos canales en base a dichas segundas señales; y

- 50 (c) un procesador o unidad de adquisición en respuesta a dichos valores de calibración y de compensación de elevación en dicha tabla de configuración y a las segundas señales y configurado para convertir dichas primeras señales obtenidas a partir de dichos sensores EC ortogonales durante la prueba real de dicho objeto de prueba, para obtener unas terceras señales que son representativas de dichas corrientes de Foucault en dicho objeto de prueba, siendo dichas terceras señales sustancialmente independientes de las distancias de elevación reales predominantes entre dichos sensores EC y de dicho objeto de prueba en el

momento de obtención de dichas primeras señales durante la prueba real.

En otras realizaciones preferidas, la disposición de bobinas EC se proporciona sobre una placa de circuito impreso. La disposición de bobinas EC puede comprender bobinas configuradas como bobinas superpuestas y configuradas como bobinas conductoras y receptoras. El procesador puede accionar los sensores de los canales ortogonales absolutos simultáneamente y con una configuración de tipo de emisión y recepción. Además, los canales ortogonales y absolutos pueden utilizar los mismos conjuntos de bobinas conductoras para permitir una adquisición más rápida y señales más estables.

En el procedimiento de acuerdo con la presente divulgación, la disposición de bobinas EC antes mencionada se utiliza para realizar una configuración del sistema de matriz de sonda incluyendo el establecimiento de al menos un valor de ganancia y preferiblemente un valor de rotación de fase en cada canal ortogonal en relación con una muesca de calibración conocida usando los sensores EC ortogonales. Respecto a cada canal ortogonal, un vector de amplitud se obtiene también mediante el uso de los sensores EC absolutos y los valores de longitud de ganancia y vector absoluto se almacenan en una tabla de configuración. Con posterioridad a la preparación de la tabla de configuración, se realiza una prueba real mediante la adquisición de datos para los canales ortogonales y absolutos para obtener datos ortogonales en bruto y datos absolutos en bruto para cada canal. Las longitudes de los vectores de amplitud se calculan y los datos ortogonales en bruto se compensan para los efectos de elevación utilizando las longitudes de los vectores absolutos y/o los valores de ganancia de calibración para obtener datos compensados para el objeto que se prueba.

Otras características y ventajas de la presente invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción de la invención, que se refiere a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra una representación simplificada de la sonda de matriz de corriente de Foucault ortogonal en forma plana de la técnica anterior fabricada en una placa de circuito impreso de dos capas;

La figura 2 es una extensión de placa de circuito de cuatro capas de la representación y de la ilustración de la figura 1 de la posible forma de los canales ortogonales;

La figura 3 ilustra los canales absolutos creados para la estructura de sonda de la figura 2;

La figura 4 muestra que las grietas que afectan a los canales ortogonales no afectarán al canal absoluto correspondiente;

La figura 5 muestra el área sensible absoluta y ortogonal en la sonda de cuatro capas de la figura 2;

La figura 6 ilustra la exploración de un bloque de calibración que incluye una muesca de referencia y la elevación de la sonda.

La figura 7 son los resultados del plano de impedancia que se obtienen en los canales ortogonales a partir de la exploración del bloque de la figura 6 con cuatro condiciones de elevación definidas;

La figura 8 son los resultados del plano de impedancia que se obtienen en los canales absolutos a partir de la exploración del bloque de la figura 6 con cuatro condiciones de elevación definidas;

La figura 9 propone un análisis basado en la amplitud de las señales de prueba mostradas en la figura 7 y la figura 8;

La figura 10 es un diagrama de flujo que describe el procedimiento de calibración propuesto;

La figura 11 es un diagrama de flujo que describe el procedimiento de procesamiento de señales propuesto;

La figura 12 muestra una configuración de hardware para un sistema de la invención.

Descripción detallada de la invención

La solicitud de patente relacionada número de serie 12/832620 describe cómo construir una sonda ECA sobre una placa de circuito impreso. El contenido de la solicitud de patente número de serie. 12/832.620 y 12/847.074 se incorporan por referencia en el presente documento. La estructura presentada en la solicitud número de serie. 12/832 620 está dispuesta en dos capas PCB. Una representación simplificada de tal estructura se muestra en la figura 1 para una sonda ECA 1 ortogonal de cuatro sensores, que incluye cinco bobinas conductoras (2a a 2e) y cinco bobinas receptoras (3a a 3e), resultando en cuatro puntos sensibles (4a a 4d) con respuesta al sensor ortogonal. La disposición de bobinas (tal como 5 y 6) que genera la respuesta del sensor ortogonal se hará referencia como "canales ortogonales" en este documento.

Como se indica primero en el párrafo [0035] de la solicitud mencionada, también es posible utilizar las capacidades

de múltiples capas de las placas de circuito impreso para aumentar la resolución de la sonda ECA ortogonal. La figura 2 ilustra una versión de cuatro capas de la sonda ECA **10** construida utilizando este principio. Las dos capas inferiores (**11a** a **11e** y **12a** a **12e**) están conectadas a las señales del controlador, mientras que las dos capas superiores (**13a** a **13e** y **14a** a **14e**) están conectadas a las señales del receptor para generar canales ortogonales tales como **16**, **17**, **18** y **19**. Las bobinas **11a** a **11e** de la capa inferior operan con las bobinas **14a** a **14e** de la capa superior para generar un primer conjunto de canales ortogonales, mientras las bobinas **12a** a **12e** operan con las bobinas **13a** a **13e** para generar un segundo conjunto de canales ortogonales.

A partir de la estructura de sonda mostrada en la figura 2, es un objeto de la presente invención enseñar cómo obtener canales absolutos para monitorizar la elevación. La figura 3 ilustra cómo estos canales se construyen a partir de la estructura de sonda **10**. Algunas bobinas, que solapan parcialmente las bobinas conductoras, están conectadas como receptores. Por ejemplo, la configuración del sensor de emisión y recepción **36** utiliza dos bobinas de la cuarta capa (**11b** y **11c**) como un conductor y una bobina de la segunda capa (**13d**) como un receptor. En otro ejemplo, la configuración de emisión y recepción **33** utiliza dos bobinas de la tercera capa (**12b** y **12c**) como conductor y una bobina de la cuarta capa (**11c**) como un receptor. Como cuestión de hecho, la misma bobina puede ser utilizada como un conductor y un receptor a través de la secuencia (como ya se ha descrito en la patente 6.344.739 de la técnica anterior). Usando combinaciones de bobinas similares a **31**, **32**, **33**, **34**, **35** y **36** para toda la sonda **10**, obtenemos un conjunto de nueve zonas sensibles (**30a** a **30i**) con la respuesta del sensor absoluto que se extiende sobre toda la longitud de la sonda. Las disposiciones de bobina (tales como **31** a **36**) que generan la respuesta del sensor absoluto se denominan en este documento "canales absolutos" en esta divulgación.

Los canales absolutos recién creados son inherentemente muy sensibles a la elevación, porque la proximidad de la parte inspeccionada tendrá un impacto directo al flujo del campo magnético en el área compartida de las bobinas conductora y receptora (**11c** y **13d**, por ejemplo) definiendo el área sensible (por ejemplo **30f**) del canal absoluto (**36** por ejemplo). La figura 4 también demuestra que el nuevo canal absoluto no será sensible a una grieta longitudinal **41** o transversal **40** que se detecta mediante el canal ortogonal porque el área sensible del canal absoluto (**30f** por ejemplo) no está en línea con la grieta longitudinal o transversal cuando esta grieta está situada en el área sensible del canal ortogonal (**15d** por ejemplo). Por lo tanto, la estructura descrita hace posible desacoplar de forma sustancialmente completa la elevación y las mediciones de la grieta para esta sonda.

Como también se demuestra en la figura 5, cada área sensible del canal ortogonal se encuentra exactamente entre dos áreas sensibles de canales absolutos en el eje de índice. Por lo tanto, podemos utilizar el valor promedio entre estos dos canales absolutos para producir una aproximación de las condiciones de elevación para el canal ortogonal correspondiente.

Se debe entender que la selección de las bobinas que se utilizará en la construcción del canal absoluto se hizo para adquirir los canales ortogonales y absolutos simultáneamente y con una configuración de tipo de emisión y recepción, que es, naturalmente, más estable que un puente de impedancia. Por ejemplo, el canal ortogonal **16** y el canal absoluto **36** utilizan el mismo conjunto de dos bobinas conductoras **11b** y **11c**. Por lo tanto, estos dos canales se pueden adquirir de manera simultánea mediante la electrónica de adquisición. Esta configuración es ventajosa porque permite una adquisición más rápida (a través de la operación simultánea) y una señal estable, pero no es un requisito obligatorio, por lo que habrá otras disposiciones posibles respetando la esencia de la invención.

La conexión de las bobinas conductoras como parte de un puente de impedancias para construir los canales absolutos, por ejemplo, es otro procedimiento para obtener un conjunto válido de canales absolutos para la monitorización de la elevación sin añadir nuevas bobinas en la estructura de la sonda. También es posible imaginar otros tipos de sondas ECA respetando el ámbito de esta invención. Por ejemplo, en la patente US 5.371.461, figura 3, se podría disponer de la bobina de compensación 52 de la patente US 5.371.461 mediante la conexión de la bobina conductora 42 de dicha patente a través de un puente de impedancia.

Ahora que hemos descrito medios para la construcción de canales para la detección (canales ortogonales en la realización preferida) y la monitorización de elevación (canales absolutos hechos a partir de una disposición de sensores de emisión y recepción en la realización preferida), describimos cómo estas señales se procesan para obtener un elevación compensado de la matriz de sondas de corriente de Foucault sin el uso de una referencia de elevación.

Como se muestra en la figura 6, un bloque de referencia **50** que comprende una muesca de referencia **51** larga transversal se escanea en la dirección **53** con un elevación **52** dado. La sonda primero se anula en AIRE para generar un punto de referencia para una condición de elevación infinita, que se convertirá en importante más adelante en esta descripción. El bloque **50** se escanea entonces cuatro veces con el aumento de la elevación (en el ejemplo; Elevación A = 0 mm; Elevación B = 0,63 mm; Elevación C = 1,27 mm; Elevación D = 1,9 mm) para proporcionar la información básica requerida necesaria para describir la invención.

La figura 7 muestra el impacto de la elevación en la amplitud de detección de defectos de referencia en la visualización del plano de impedancia del canal ortogonal **16**. En este caso, la amplitud de defectos **55** se obtiene con la elevación A, la amplitud de defectos **56** se obtiene con la elevación B, la amplitud de defectos **57** se obtiene con la elevación C y la amplitud de defectos **58** se obtiene con la elevación D.

La figura 8 muestra el impacto de la elevación en la visualización del plano de impedancia del canal absoluto **36**. En este caso, el vector de amplitud **60** de la señal total resulta de la elevación A, el vector de amplitud **61** de la señal total resulta de la elevación B, el vector de amplitud **62** de la señal total resulta de la elevación C y el vector de amplitud **63** de la señal total resulta de la elevación D. Es interesante observar que la muesca de referencia **51** genera señales muy débiles en la figura 7 en comparación con la fuerte señal de elevación. Por ejemplo, con la elevación A, la amplitud de defectos **64** es órdenes de magnitud menor que el vector de amplitud **60** de la señal total correspondiente como resultado de la elevación A. Se trata de un comportamiento deseable, ya que queremos usar los canales absolutos para la monitorización de la elevación solamente.

La figura 9 muestra un gráfico que representa una vista combinada de las lecturas de amplitud de defectos **55**, **56**, **57**, **58** en los canales ortogonales y las lecturas **60**, **61**, **62** y **63** del vector de amplitud de la señal total en los canales absolutos respecto a las condiciones de elevación. Como se ve en la figura, ambas series de datos se puede encajar mediante curvas exponenciales **70** y **71**. Además, la forma de las curvas **70** y **71** (que se define por el exponente) es casi la misma ($e^{-0,6322 \cdot \text{elevación}}$ respecto a $e^{-0,6557 \cdot \text{elevación}}$ en este ejemplo). Esta observación es muy importante porque significa que la relación "Orto_Amplitud(Elevación)/Abs_Vector(Elevación)" es casi independiente de la elevación. Por ejemplo: $0,3834 \cdot e^{-0,6557 \cdot \text{elevación}} / 2,3521 \cdot e^{-0,6322 \cdot \text{elevación}} = 0,163 \cdot e^{-0,0235 \cdot \text{elevación}}$... que es aproximadamente una variación de 0,2 dB/mm en comparación con aproximadamente 5,7dB/mm para el canal ortogonal. Esta última observación es la base del procedimiento de procesamiento de señal de la invención. Para la siguiente descripción vamos a aproximar "Orto_Amplitud(Elevación)/Abs_Vector(Elevación)" como un valor predeterminado constante totalmente independiente de la elevación. Se debe entender que el uso del mismo conjunto de bobinas para la detección de defectos y la monitorización de la elevación contribuye a tener curvas de formas similares, ya que la forma de la curva se proporciona por el acoplamiento magnético entre las bobinas y la pieza inspeccionada. De este modo, mediante la comparación de forma dinámica de las amplitudes ortogonales y absolutas en cada punto medido (canal), la amplitud ortogonal se puede conectar para la elevación real prevaleciente durante cada medición, sin conocimiento específico de la cantidad de elevación, por sí misma.

Ahora volvemos nuestra atención a la figura 10, que describe cómo la sonda debe calibrarse con una muesca de referencia, tal como **51**, pero sin una elevación de referencia conocida. En primer lugar, NULA la sonda en AIRE, (**Etapla 102**) se inicia la adquisición (**Etapla 104**), se explora la muesca de referencia (**Etapla 106**) y se define la posición de la muesca de forma manual o automática indicando dónde empieza la señal de la muesca y dónde termina (**Etapla 108**). En este punto, la información que tenemos es equivalente a las señales que se presentan en la figura 8 y en la figura 7, pero para un único elevación desconocido. En otras palabras, si la muesca **51** se escanea en el proceso de calibración con la elevación B, el sistema debe ser capaz de leer la amplitud de defectos **56** y el vector de amplitud total **61**, pero el valor real de la elevación B será desconocido para el sistema de adquisición y para el usuario.

La información disponible en este punto se utiliza primero para calibrar los canales ortogonales aplicando una calibración de GANANCIA y ROTACIÓN de la señal en bruto (**Etapla 1010**), para llegar a un valor predefinido para el defecto de referencia **51**. Este valor predefinido (que típicamente incluye tanto un objetivo angular y la amplitud) es común a todos los canales ortogonales y, por lo tanto, hace que sea posible obtener una detección uniforme del defecto de referencia **51** para todos los canales ortogonales. La calibración GANANCIA y ROTACIÓN para cada canal ortogonal se guarda en la configuración (**Etapla 1012**).

Simultáneamente, usamos la información generada en [0046] en los canales absolutos para calcular la longitud del vector entre AIRE y la línea de base de la señal obtenida en el bloque de calibración **50** (**Etapla 1014**). Un valor de longitud del único vector absoluto (que podría de hecho ser la media entre dos canales absolutos o en otras combinaciones de canales absolutos adaptados a la sonda y a la aplicación) se guarda en la configuración y se asocia con su correspondiente canal ortogonal. Por ejemplo, en la sonda 10, si utilizamos canales absolutos en la posición **30a** y **30b** para compensar la elevación para el canal ortogonal en la posición **15a**, podríamos promediar los canales absolutos en la posición **30a** y **30b** y guardar este valor predeterminado en la configuración con referencia al canal en la posición **15a**. Este valor se hace referencia en la presente memoria como "Absoluto_RefLongitud (n, Cal_Elevación)", donde "n" es el identificador del canal ortogonal # y "Cal_Elevación" es la condición de elevación presente durante la calibración (**Etapla 1016**).

Observando ahora la figura 11, vamos a utilizar la información que ahora se incluye en el archivo de calibración y las propiedades de la relación "Orto_Amplitud(elevación)/Abs_Vector(elevación)" para generar un elevación compensado del canal ortogonal. El proceso que se describe en la figura 11 se aplica de forma dinámica (durante la adquisición), pero podría aplicarse fácilmente también en el procesamiento posterior (después de la adquisición). La primera etapa del proceso es, de nuevo, ANULAR la sonda en AIRE (**Etapla 112**) para tener una referencia de elevación infinita. Después de iniciar la adquisición (**Etapla 114**), cada nuevo conjunto de datos correspondiente al plano de impedancia que resulta en (x, y) para un canal ortogonal dado en una posición de exploración dada se procesa por separado (**Etapla 116**). Este conjunto de datos se hace referencia en la presente memoria como "Orto_bruto (n, elevación)", donde "n" es el identificador del canal ortogonal # y "Elevación" es la condición de elevación en el momento de la medición del conjunto de datos. La primera etapa en el proceso es encontrar la longitud del vector total del canal absoluto, en la posición de exploración actual, correspondiente al canal ortogonal se está procesando actualmente (**Etapla 118**). La relación entre el canal ortogonal y absoluto debe ser la misma que se ha definido previamente en la calibración. Este valor se hace referencia en la presente memoria como

"Absoluta_VLongitud (n, elevación)", donde "n" es el identificador del canal ortogonal # y "Elevación" es la condición de elevación en el momento de la medición del conjunto de datos.

Orto_bruto (n, elevación) se procesa con la siguiente relación para generar una lectura del canal ortogonal de elevación compensado; "Orto_compensado (n, Cal_Elevación) = (Orto_bruto (n, elevación)/Absoluta_Vlongitud (n, Elevación))*Absoluta_RefLongitud (n)" (**Etapas 1110**). El canal "Orto_compensado (n, Cal_Elevación)" generado es entonces relativamente independiente de la elevación actual, pero es entonces dependiente de la elevación presente durante la calibración del sistema. Para eliminar esta dependencia y así proporcionar una lectura de la elevación completamente independiente, la GANANCIA de calibración y FASE se aplican a Orto_compensado (n, Cal_Elevación) (**Etapas 1112**), hasta que todos los canales están así procesados (**Etapas 1114, 1116 y 1118**). Como un resultado final, para un tamaño de defecto dado, el sistema debe generar una amplitud de la señal de defecto uniforme sin importar qué canal ortogonal detecta el defecto y sin tener en cuenta la calibración y la inspección de la elevación.

La figura 12 muestra una configuración de hardware de un sistema típico que puede implementar el procedimiento anterior. El sistema de matriz de sondas EC objeto comprende un procesador **122** o unidad de adquisición que es operable y se controla a través de una interfaz de usuario **124** y que puede mostrar resultados de la prueba, comandos y similares, una pantalla **126**, sensores ortogonales **128**, así como sensores absolutos o bobinas **129** que interactúan, electromagnéticamente, con el objeto de prueba **50** para obtener las diversas señales y para implementar los procedimientos descritos anteriormente a través de instrucciones de programa de software almacenados o cargados en el procesador **122**, de una manera conocida en la técnica.

Es importante señalar que el procedimiento de compensación de elevación descrito puede adaptarse fácilmente para operar una inspección de múltiples frecuencias. Esto se puede hacer mediante la generación de canales absolutos y ortogonales para cada frecuencia o mediante el uso de un conjunto único de canales absolutos para compensar los canales ortogonales de múltiples frecuencias.

También es importante mencionar que, si bien las figuras y la descripción describen una sonda ECA con ocho sensores ortogonales, el procedimiento propuesto en esta invención es aplicable siempre y cuando la configuración de las bobinas haga posible la construcción de al menos un sensor para la detección de defectos y un sensor para la medición de la elevación.

En las realizaciones anteriores, los sensores EC se han descrito y representado como espiras de bobina. Sin embargo, como será reconocido por un experto en la técnica, se pueden usar otros tipos de sensores de campo magnético, tal como, por ejemplo, GMR ("Resistencia de imán gigante"), AMR ("Resistencia de imán anisotrópico"), o sensores de efecto Hall.

Aunque la presente invención ha sido descrita en relación con realizaciones particulares de la misma, muchas otras variaciones y modificaciones y otros usos serán evidentes para los expertos en la técnica. Se prefiere, por lo tanto, que la presente invención no esté limitada por la divulgación específica en el presente documento, sino sólo por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema EC (corriente de Foucault) para la detección de defectos en un objeto de prueba, comprendiendo el sistema:

(a) una sonda de matriz EC configurada con una disposición de sensores, que incluye:

- 5 (i) una pluralidad de primeros sensores de tipo EC que son sensores ortogonales (128) dispuestos en canales y configurados para inducir corrientes de Foucault en el objeto de prueba y para detectar y emitir unas primeras señales representativas de defectos en el objeto de prueba; **caracterizado porque**
- 10 (ii) una pluralidad de segundos sensores de tipo EC que son sensores absolutos (129) configurados para producir a partir del objeto de prueba (50) unas segundas señales indicativas de una distancia de elevación de dichos sensores ortogonales y absolutos EC (128, 129) respecto a dicho objeto de prueba, estando configurada dicha disposición de bobinas EC de manera que se establece una relación predeterminada entre dichas segundas señales y dichas primeras señales, a diferentes distancias de elevación;

15 (b) una tabla de configuración que comprende valores de calibración de dichos sensores EC ortogonales (128) con valores de compensación de elevación correspondientes para dichos canales basados en dichas segundas señales; y

20 (c) una unidad de adquisición que responde a dichos valores de compensación de calibración y de elevación en dicha tabla de configuración y a dichas segundas señales y configurada para convertir dichas primeras señales obtenidas a partir de dichos sensores EC ortogonales (128) durante las pruebas reales de dicho objeto de prueba, para obtener unas terceras señales que son de representativas de dichos defectos en dicho objeto de prueba, siendo dichas terceras señales sustancialmente independientes de las distancias de elevación reales prevalecientes entre dichos sensores EC y dicho objeto de prueba (50) en el momento de la obtención de dichas primeras señales haciendo dichas pruebas reales.

25 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la sonda de matriz EC es proporcionada sobre una placa de circuito impreso.

3. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha sonda de matriz EC comprende bobinas superpuestas configuradas como bobinas conductoras y receptoras.

30 4. El sistema de la reivindicación 2, en el que dicha pluralidad de primeros sensores de tipo EC (128) están configurados para generar un primer conjunto de canales ortogonales que se extienden a lo largo de una primera línea.

35 5. El sistema de la reivindicación 4, en el que dicha pluralidad de segundos sensores de tipo EC (128) están dispuestos de modo que los canales absolutos están dispuestos a lo largo de al menos una línea, que se extiende paralela a dicha primera línea.

6. El sistema de la reivindicación 5, en el que al menos un par de dichos canales absolutos emparedan físicamente dichos canales ortogonales.

7. El sistema de la reivindicación 6, en el que un promedio de dos áreas sensibles de canales absolutos es utilizado para obtener un valor de elevación para un canal ortogonal correspondiente.

40 8. El sistema de la reivindicación 1, en el que dichos canales absolutos están situados para no estar en línea con las grietas longitudinales o transversales del objeto de prueba cuando dichas grietas están situadas en un área sensible de un canal ortogonal.

9. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha unidad de adquisición es eficaz para accionar el primer tipo y segundo tipo de sensores de canal simultáneamente.

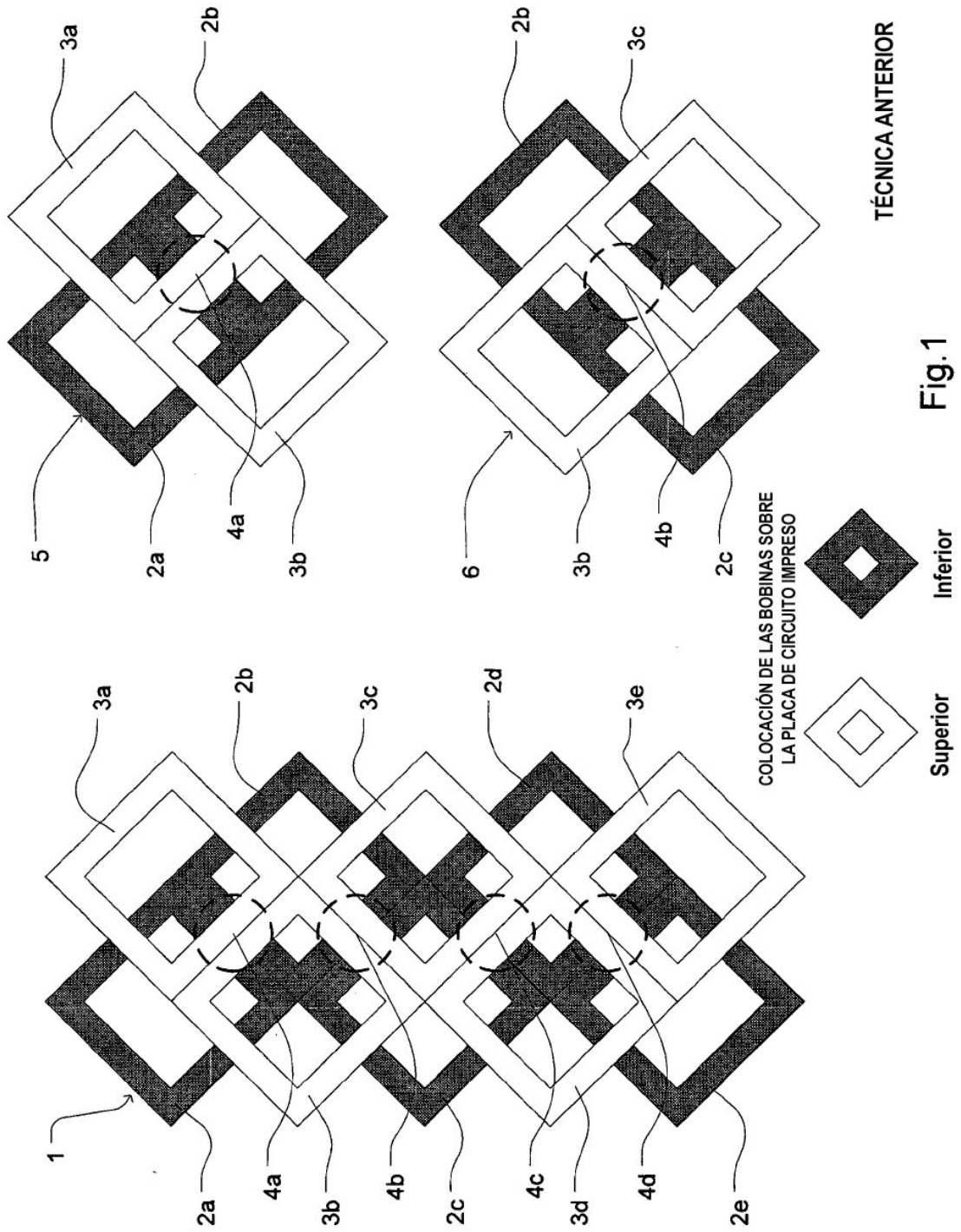
45 10. El sistema de la reivindicación 1, en el que el primero tipo y el segundo tipo de canales correspondiente utilizan los mismos conjuntos de bobinas de accionamiento para permitir una adquisición más rápida y señales más estables.

11. El sistema de la reivindicación 3, en el que dichas bobinas conductoras están conectadas como parte de un puente de impedancia para realizar los canales absolutos.

50 12. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicho sistema está configurado como una sonda de matriz de corriente de Foucault diferencial.

13. El sistema de la reivindicación 1, en el que dichos sensores EC absolutos están formados de bobinas físicas que forman también dichos sensores EC ortogonales (128).

14. El sistema de la reivindicación 2, en el que dichas sondas están dispuestas en al menos cuatro capas sobre dicha placa de circuito.
15. El sistema de la reivindicación 2, en el que dicha sonda de matriz EC comprende sensores GMR.
16. El sistema de la reivindicación 2, en el que dicha sonda de matriz EC comprende sensores AMR.
- 5 17. El sistema de la reivindicación 2, en el que dicha sonda de matriz EC comprende sensores de efecto Hall.
18. Un procedimiento para probar un objeto utilizando un sistema EC (corriente de Foucault), comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - proporcionar una sonda de matriz EC que incluye: (i) una pluralidad de primeros sensores de tipo EC (128) dispuestos en una pluralidad de canales y configurados para inducir corrientes de Foucault en un objeto de prueba y para emitir unas primeras señales representativas de defectos en el objeto de prueba; y (ii) una pluralidad de segundos sensores de tipo EC (129) dispuestos en canales y configurados para producir a partir del objeto de prueba unas segundas señales indicativas de una distancia de elevación de dichos sensores EC de primer tipo y de segundo tipo (128, 129) respecto a dicho objeto de prueba, estando dicha disposición de bobinas EC configurada de manera que se establece una relación sustancialmente predeterminada entre dichas segundas señales y dichas primeras señales, a diferentes distancias de elevación;
 - realizar una configuración del sistema de matriz de sonda que incluye el almacenamiento de al menos un valor de ganancia en cada canal ortogonal en relación con una muesca de calibración conocida usando los primeros sensores de tipo EC (128);
 - 20 obtener respecto a cada canal ortogonal un valor de vector de amplitud mediante el uso de dichos segundos sensores de tipo EC (129); en el que dichos sensores del primer tipo son sensores ortogonales (128) y dichos sensores del segundo tipo son sensores absolutos (129), y almacenar dichos valores de ganancia y del vector de amplitud en una tabla de configuración.
- 25 19. El procedimiento de la reivindicación 18, que incluye además la realización de un procedimiento de adquisición de datos que comprende:
 - adquirir datos de corriente de Foucault reales para dichos canales del primer tipo y dichos canales del segundo tipo en relación con dicho objeto, dichos datos incluyendo datos ortogonales en bruto y datos absolutos en bruto para cada canal;
 - 30 calcular longitudes de vector de amplitud; y compensar dichos datos ortogonales en bruto para efectos de elevación utilizando dichas longitudes de vector absoluto y aplicar dichos valores de ganancia de calibración para obtener unas terceras señales que son representativas de defectos en dicho objeto e independientes de dichas distancias de elevación.
- 35 20. El procedimiento de la reivindicación 19, en el que dicha etapa de configuración del sistema incluye el establecimiento de un valor de rotación de fase y un valor de ganancia en cada canal ortogonal y calcular ambos valores de ganancia y de fase en cada posición.
21. El procedimiento de la reivindicación 19, que incluye la adquisición de dichos datos ortogonales y absolutos simultáneamente durante la prueba real de dicho objeto de prueba.
- 40 22. El procedimiento de la reivindicación 19, que incluye accionar dicho sensor EC ortogonal y absoluto (128, 129) simultáneamente.
23. El procedimiento de la reivindicación 19, en el que dichos valores de vector de amplitud están entre aire y una línea de base de calibración.



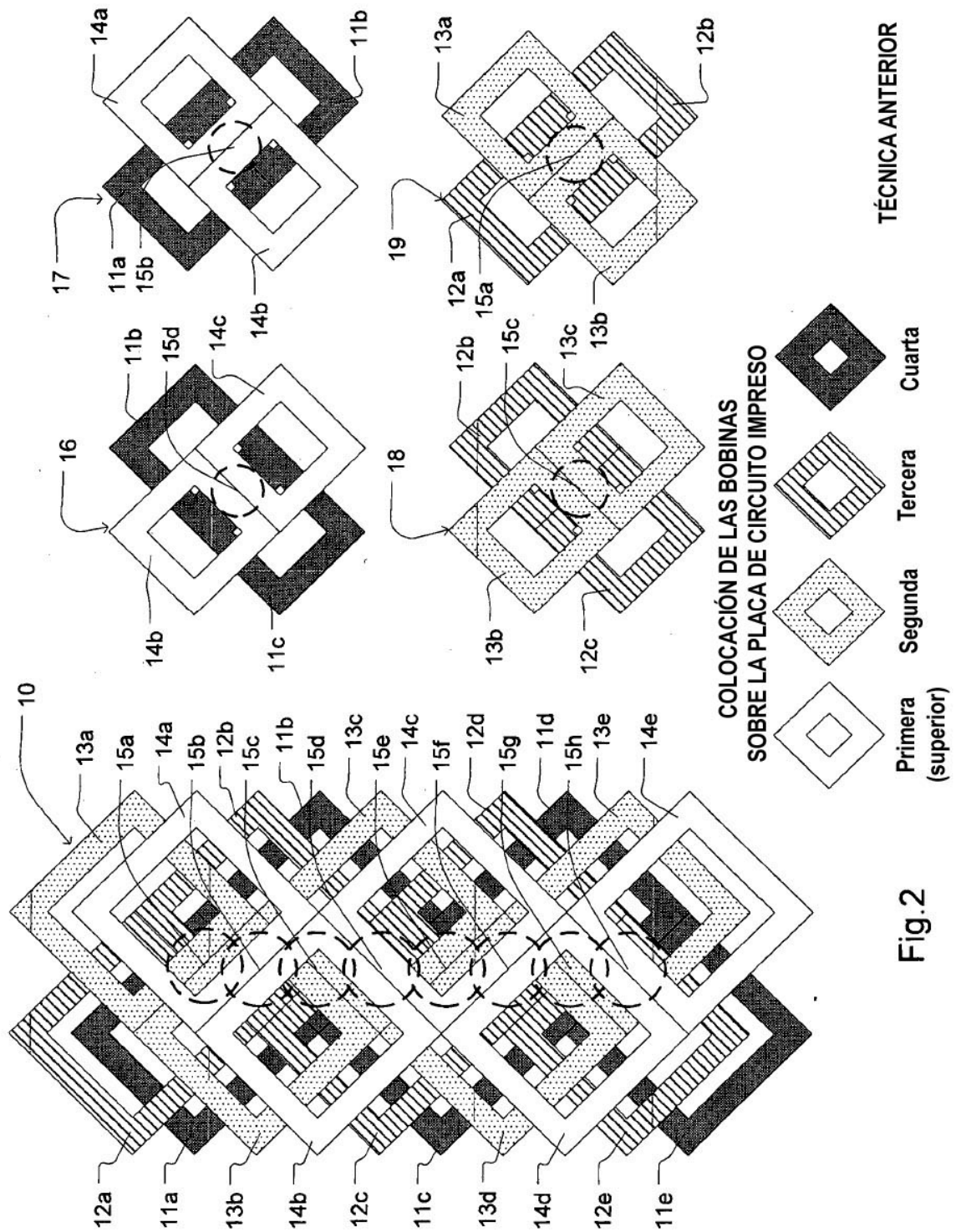
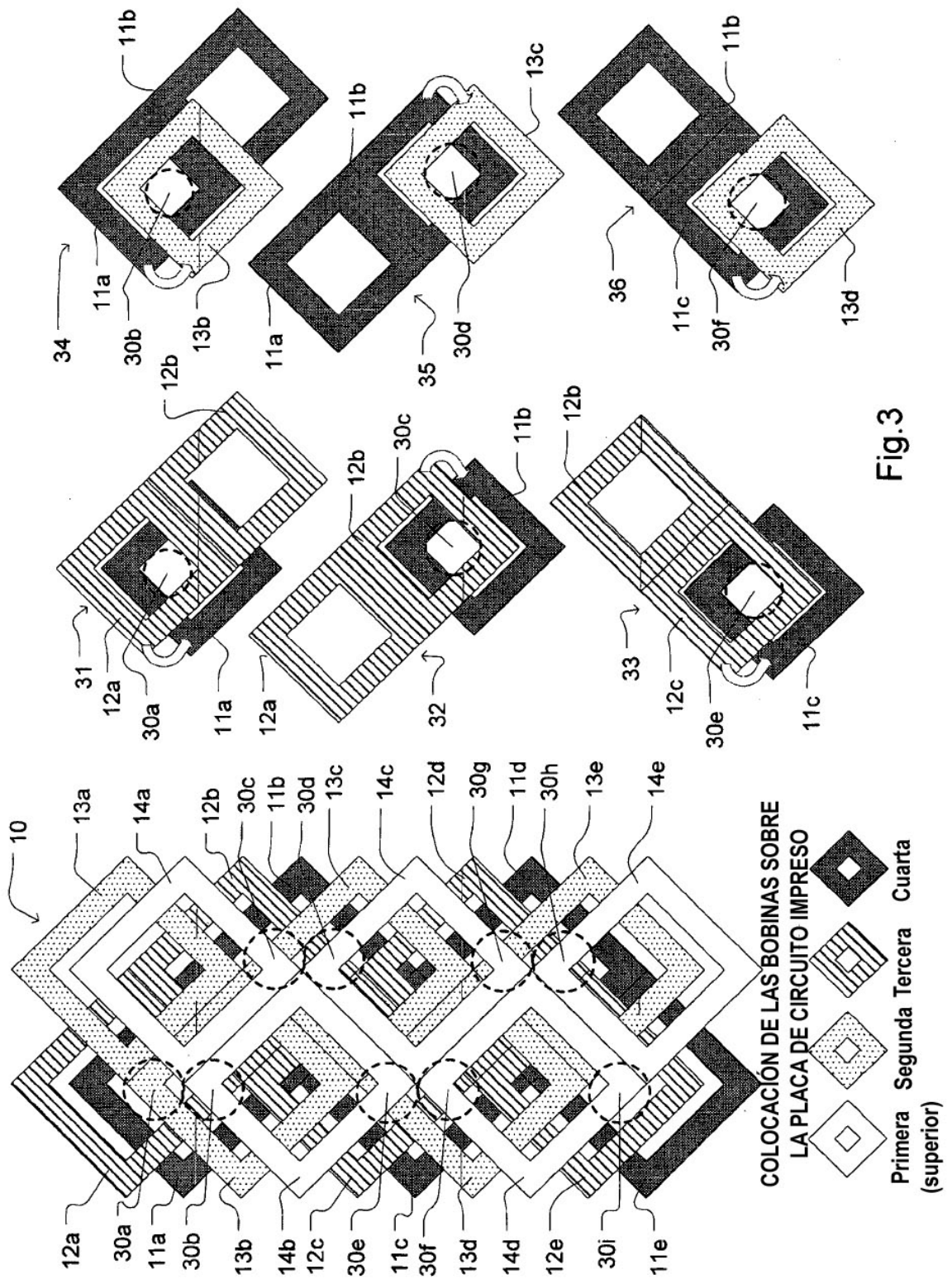


Fig. 2



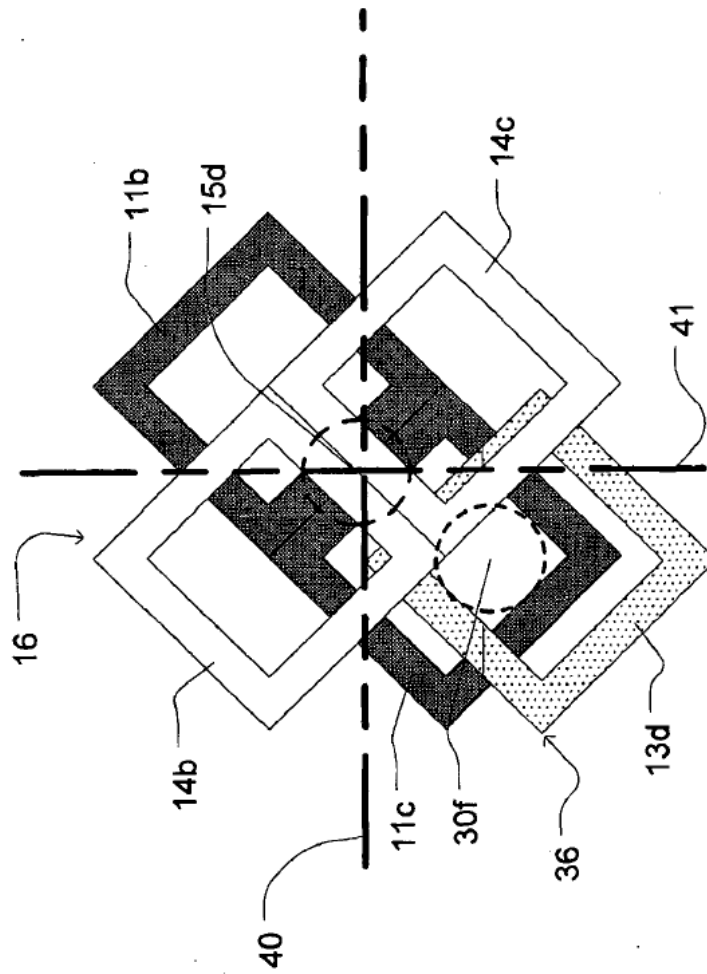


Fig.4

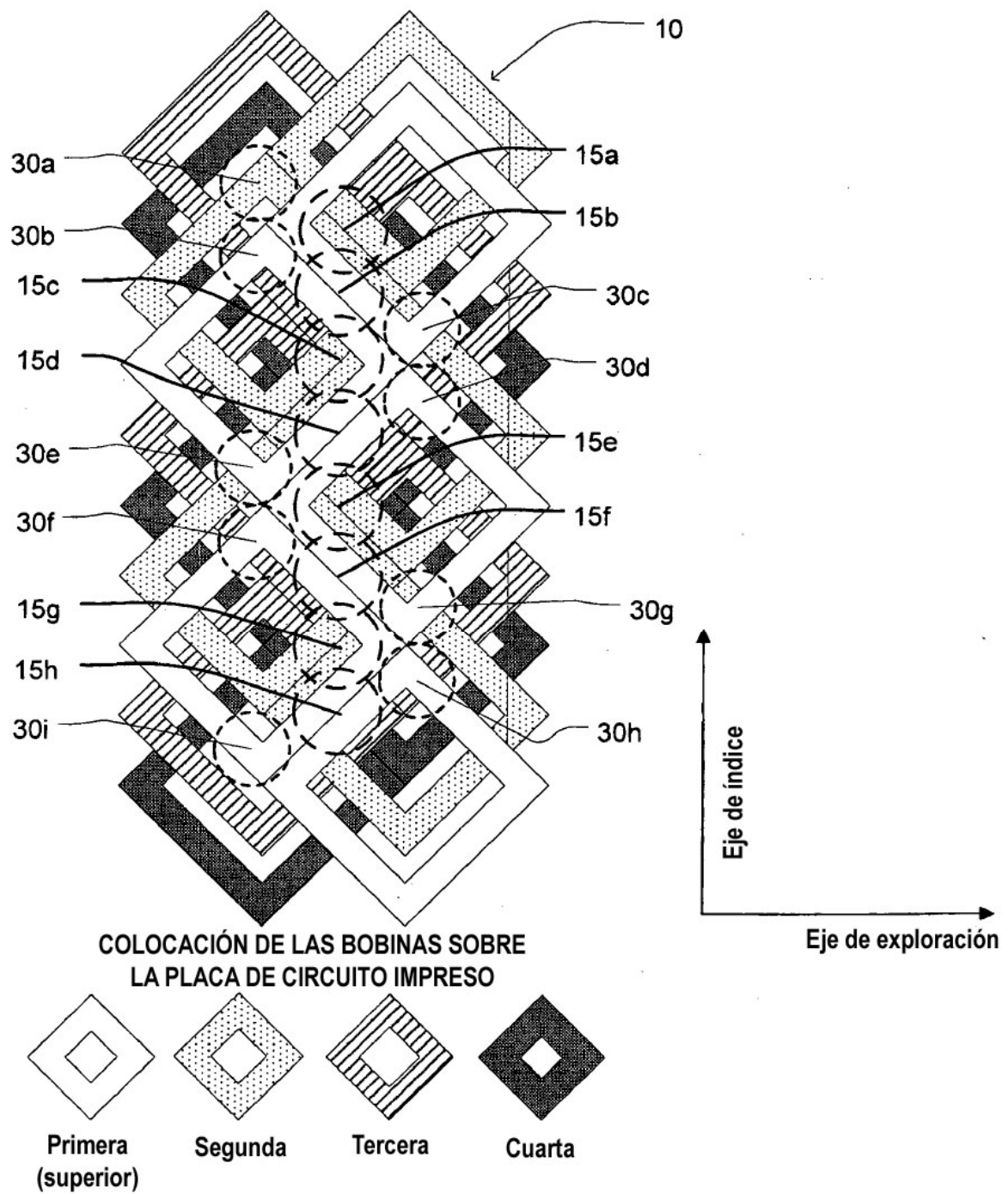


Fig.5

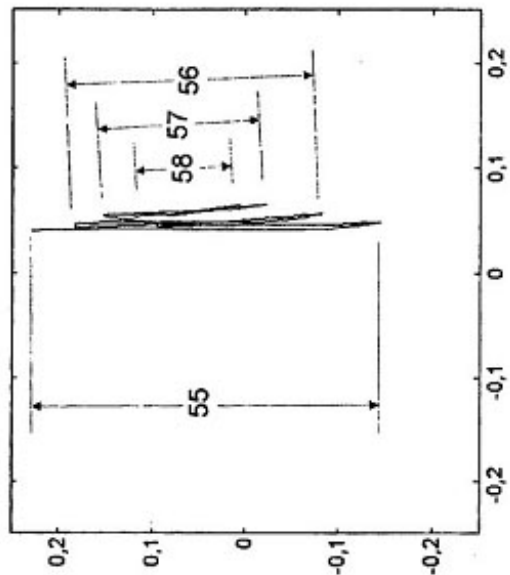


Fig. 7

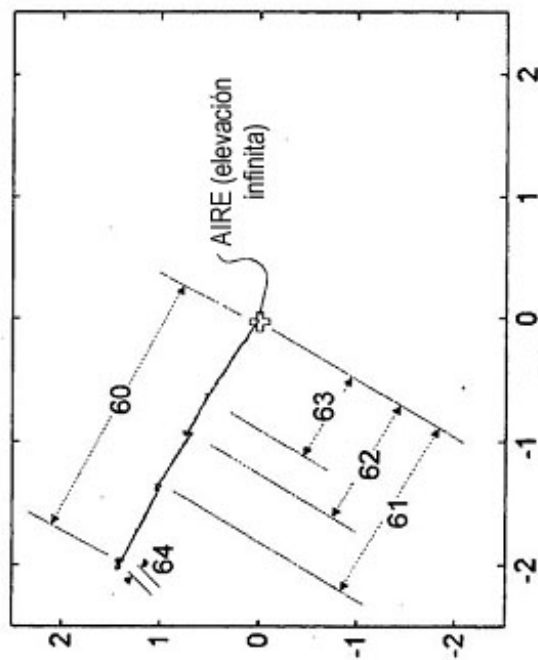


Fig. 8

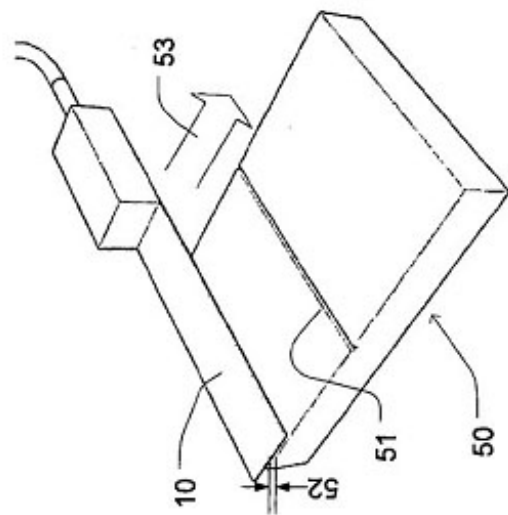


Fig. 6

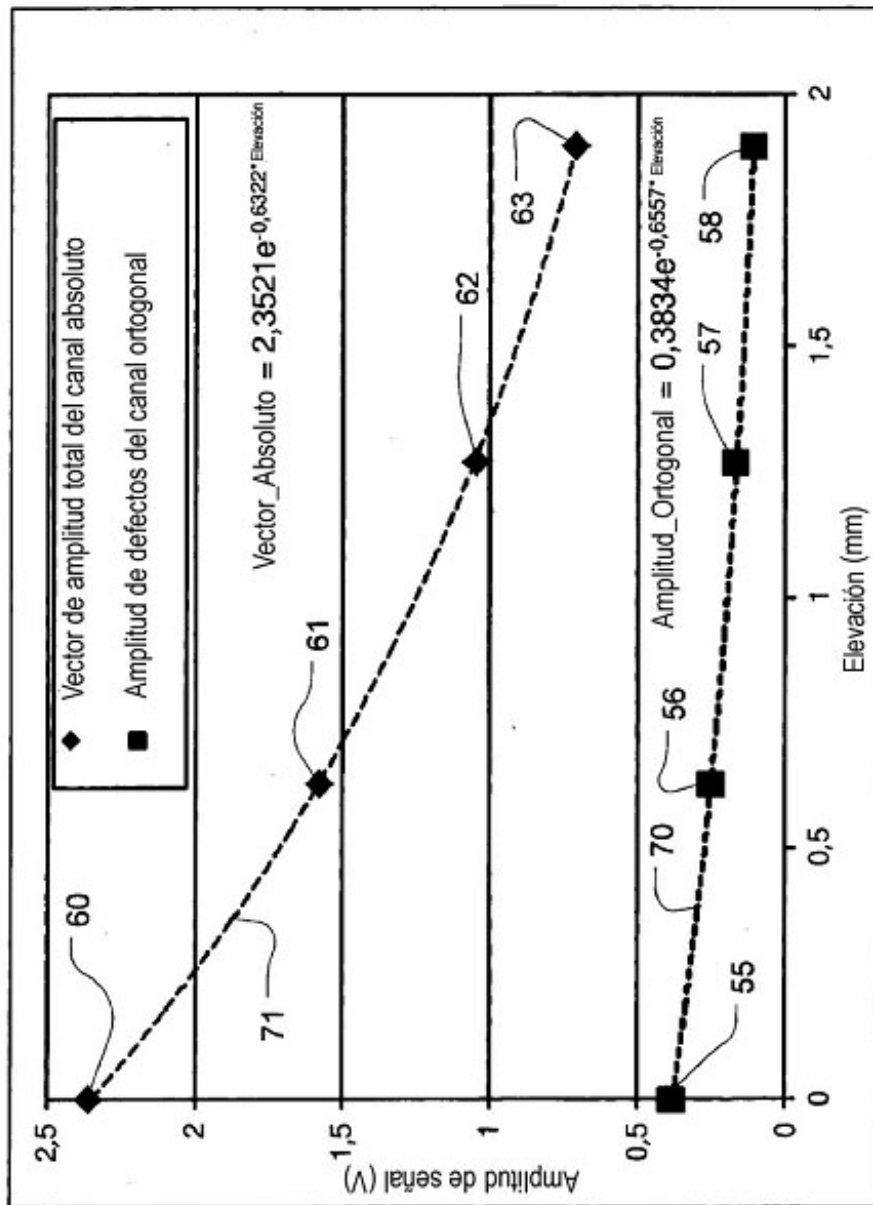


Fig.9

DIAGRAMA DE FLUJO DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

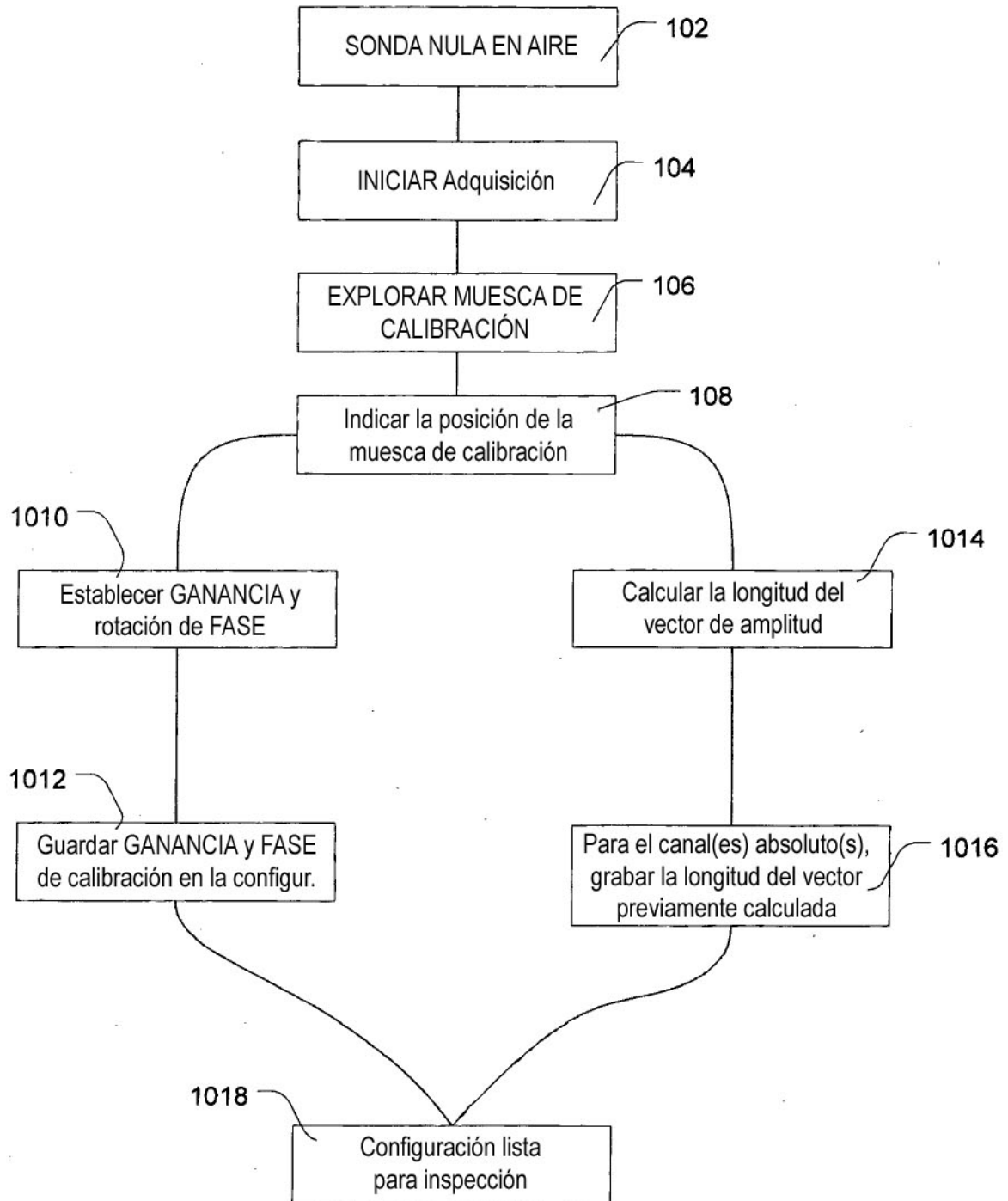


Fig.10

DIAGRAMA DE FLUJO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

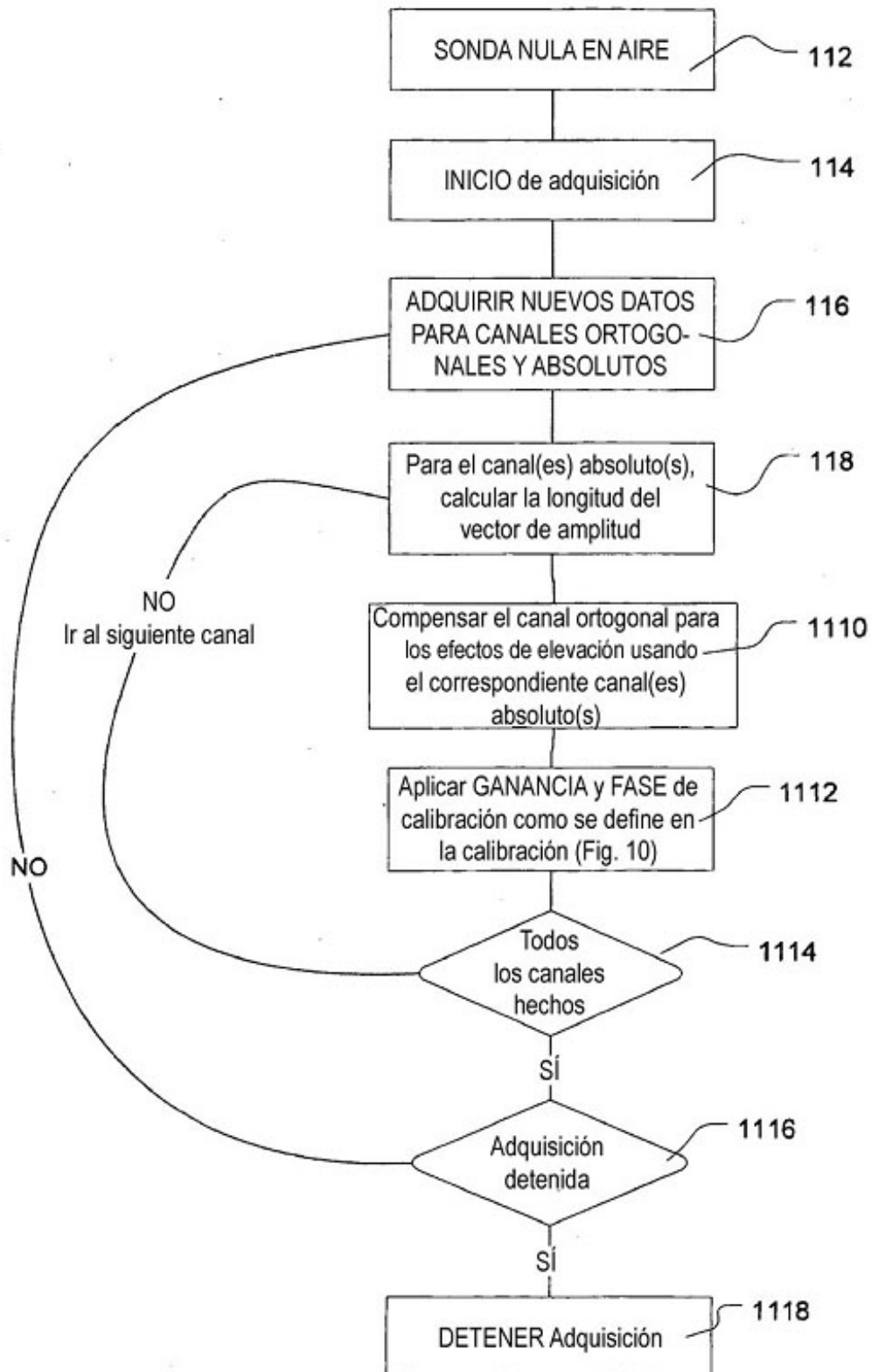


Fig.11

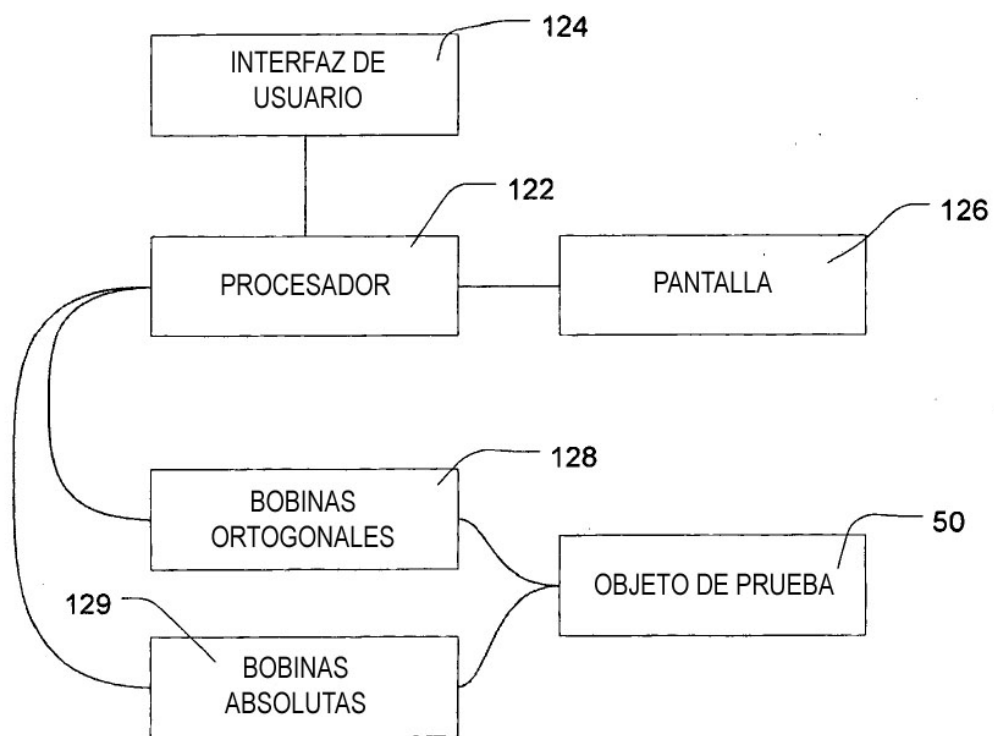


Fig.12