

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 805 427**

51 Int. Cl.:

**G01V 3/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2017 PCT/FR2017/050587**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.09.2017 WO17158287**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2017 E 17715236 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 3430443**

54 Título: **Dispositivo detector inductivo de factor 1**

30 Prioridad:

**16.03.2016 FR 1652242**

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

**12.02.2021**

73 Titular/es:

**SENSTRONIC (SOCIÉTÉ PAR ACTIONS  
SIMPLIFIÉE) (100.0%)  
83 route de Dettwiller  
67700 Saverne, FR**

72 Inventor/es:

**LOTZ, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 805 427 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

Dispositivo detector inductivo de factor 1

La presente invención se refiere al campo de los dispositivos de detección inductivos, que permiten detectar en un lugar o posición dados la presencia o proximidad de un objeto metálico, en particular los detectores implementados en la industria y que se basan en el análisis de la señal proporcionada por al menos un circuito LC resonante.

El solicitante ha comercializado durante muchos años detectores de este tipo y, por ejemplo, se describen en los documentos FR 2 827 677, EP 1 580 889, EP 1 580 536, EP 1 965 177 y EP 2 546 614.

Más específicamente, la invención tiene por objeto un dispositivo detector de proximidad o de presencia, de tipo inductivo y "de factor 1", es decir, que ha sido concebido y funciona de manera que presenta preferiblemente una variación muy pequeña en la distancia de detección para los distintos materiales metálicos principales (acero, aluminio, latón, cobre, zinc, etc.).

En el caso de un detector inductivo convencional, la distancia nominal de detección,  $S_n$ , se expresa siempre para un objetivo hecho de acero (norma EN60947-5-2). En los demás metales, por ejemplo el aluminio o el cobre, para determinar la distancia de detección es necesario aplicar un factor de corrección a este alcance nominal  $S_n$ . Por ejemplo, la distancia de detección para el aluminio puede ser  $0,40 \times S_n$  (factor 0,40), y  $0,70 \times S_n$  (factor 0,70) para el acero inoxidable. Para el acero el factor vale 1, es decir, la distancia de detección es  $1 \times S_n = S_n$ .

Se recuerda que, a efectos de detección, los materiales metálicos se pueden clasificar en dos categorías:

- los materiales ferromagnéticos (acero, hierro) que, cuando están cerca de una bobina de detección, tienden a aumentar la resistencia en serie,  $R_s$ , de la bobina (la inductancia en serie,  $L_s$ , varía poco);

- los materiales no ferromagnéticos (aluminio, cobre, latón, etc.) que, cuando están cerca de una bobina de detección, tienden a disminuir la inductancia en serie,  $L_s$ , de la bobina ( $R_s$  varía poco).

En el estado de la técnica, se puede calificar a un detector como "de factor 1" cuando ha sido concebido y funciona de manera que para todos los metales, o al menos para los principales (es decir, al menos el acero, hierro, aluminio, cobre, latón, zinc y sus posibles aleaciones), rige sustancialmente la misma distancia de detección,  $S_n$ .

La Figura 1 ilustra esquemáticamente los principales parámetros que intervienen en la definición de las prestaciones o características de este tipo de sensores. En esta figura se indican:

- el alcance nominal " $S_n$ ": el alcance convencional que sirve para designar al detector;

- el alcance real " $S_r$ ": el alcance medido bajo la tensión nominal de alimentación y a la temperatura ambiente (+/- 10% de  $S_n$ );

- el alcance útil " $S_u$ ": el alcance medido dentro de los límites admisibles de temperatura y de tensión de alimentación (+/- 10% de  $S_r$ ).

Ya existen numerosas realizaciones de detectores "de factor 1" tales como, por ejemplo, los sistemas basados en la emisión/recepción (montaje de tipo transformador) con 3 o 4 bobinas (véanse los documentos US 7.106.052 y EP 2 493 076 A1), o sistemas basados en la medida de la frecuencia (véase el documento EP 2 017 652 A1).

El documento US 2003/184301 propone un sensor de temperatura en la bobina de medición. El documento US 2014/376586 introduce un medio calefactor que permite actuar sobre la temperatura y no modificar la señal de medición.

Sin embargo, estos sistemas que utilizan varias bobinas son complejos, caros y voluminosos. Además, un sistema basado en la frecuencia puede recurrir a componentes costosos y, sin embargo, presentar prestaciones frecuentemente limitadas (baja frecuencia de conmutación, escasa distancia de detección).

Para paliar estos inconvenientes, se ha propuesto un dispositivo detector de proximidad o de presencia, de tipo inductivo y que funciona en modo "de factor 1", es decir, que presenta una variación muy pequeña de la distancia de detección  $S_n$  para los principales tipos de metales, y que comprende esencialmente, por un lado, un circuito LC resonante alimentado por un generador de pulsos de excitación que definen fases de detección sucesivas y repetitivas, y por otro lado una cadena operativa de medios para adquisición y tratamiento de la señal de respuesta, en forma de oscilaciones libres, proporcionada por dicho circuito LC de detección durante cada fase de detección, que incluye en particular un medio de muestreo y un circuito para conversión analógico-digital, y por último un conjunto funcional de medios para evaluar al menos un valor de la señal tratada ajustado en el tiempo y para proporcionar una información o una señal lógica de detección o de no detección.

Por ejemplo, un dispositivo detector de este tipo es conocido, al menos en parte, a partir del documento EP 1 530 064.

En el caso de un montaje de oscilador libre de tipo LC resonante de este tipo, se observa:

- una variación de la amplitud de las oscilaciones cuando la bobina está situada cerca de un material ferromagnético;

5 - una variación de la frecuencia de oscilación cuando la bobina está situada cerca de un material no ferromagnético.

De hecho, para hacer que una detección sea "de factor 1" basta con atender a dos tipos de materiales:

- el acero, representante de los materiales ferromagnéticos, que provoca una variación de  $R_s$  y, por lo tanto, una variación de amplitud en el caso de un oscilador libre LC;

10 - el aluminio, representante de los materiales no ferromagnéticos, que provoca una variación de  $L_s$  y, por lo tanto, una variación de frecuencia en el caso de un oscilador libre LC.

En el caso del acero, el acercamiento de un objetivo provoca una atenuación de las pseudooscilaciones, pero poca variación en la frecuencia de la señal (Figura 2A).

En el caso del aluminio, el acercamiento de un objetivo provoca un incremento de la frecuencia de las pseudooscilaciones, mientras que la amplitud de la señal apenas varía (Figura 2B).

15 El documento EP 1 530 064 indica que hay un instante de muestreo "Trif" en el cual se verifican las condiciones de funcionamiento "de factor 1", es decir, en el cual la disminución en la amplitud de la señal provocada por el acercamiento de un objetivo hecho de acero es igual a la disminución en la amplitud inducida por el desfase de la sinusoide provocada por el acercamiento de un objetivo hecho de aluminio (véase la Figura 3).

20 En ese documento EP, el instante "Trif" se determina por cálculo, pero sin que se indique la manera de determinar los valores que permitan realizar el cálculo. Además, en el documento no se alude ni al procedimiento de fabricación ni al método de reglaje del detector.

Además, la construcción de circuito descrita por el documento EP 1 530 064 hace uso de la señal de detección en forma bruta, en particular sin filtrar, y presenta una escasa dinámica de la señal de detección y al mismo tiempo una fuerte deriva de esta última por temperatura.

25 La finalidad de la presente invención es mejorar un dispositivo detector que funciona en modo "de factor 1", del tipo descrito por el documento EP 1 530 064 antes mencionado, superando al menos algunas de las limitaciones de este último, y proporcionar un dispositivo que posea un alcance de detección incrementado y que asegure una detección fiable y reproducible.

30 Para ello, la invención tiene por objeto un dispositivo detector de proximidad o de presencia, de tipo inductivo y "de factor 1" como se ha mencionado más arriba, caracterizado por que los medios para adquisición y tratamiento comprenden, por un lado, medios analógicos de filtrado y/o amplificación de la señal de respuesta muestreada, después de su adquisición y antes de su conversión digital, y por otro lado un medio para compensación de la deriva por temperatura de la señal de respuesta, mediante corrección de la señal muestreada después de su conversión digital, asociado a, o que incluye, un sensor de temperatura que proporciona información acerca de la temperatura de al menos una parte del dispositivo detector, que comprende el circuito LC resonante y medios para adquisición y tratamiento, dentro de la cadena operativa, situados aguas arriba del circuito de conversión A/D.

35 La invención se entenderá mejor gracias a la descripción siguiente, que se refiere a un modo de realización preferida, ofrecido a modo de ejemplo no limitativo y explicado con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los cuales:

40 la Figura 4 es un esquema sinóptico de los principales elementos funcionales que constituyen el dispositivo detector conforme a la invención;

las Figuras 5A a 5F son esquemas eléctricos equivalentes simplificados de distintas variantes de realización de la cadena operativa para generación y adquisición de la señal de detección, que forma parte del dispositivo conforme a la invención;

45 la Figura 6 es una representación gráfica (con alineamiento temporal) de las curvas [amplitud/tiempo] representativas de las señales de detección (sinusoides pseudoamortiguadas) tomadas de los terminales del circuito LC resonante del dispositivo detector conforme a la invención, en respuesta a una excitación por pulsos y respectivamente en ausencia de objetivo, en presencia de un objetivo hecho de acero (hierro) a la distancia  $S_n$ , y en presencia de un objetivo hecho de aluminio a la distancia  $S_n$ ;

50 la Figura 7 es una representación del detalle A de la Figura 6 a una escala diferente, que muestra asimismo los instantes de muestreo de las señales (solo se representan las curvas de las señales "Hierro" y "Aluminio");

las Figuras 8A a 8C ilustran distintos casos de posicionamiento del instante de muestreo "de factor 1" (T<sub>acq</sub>) con respecto a los instantes de muestreo prospectivos, implementados efectivamente durante la fase de pruebas de reglaje y calibración del dispositivo detector conforme a la invención, y

5 la Figura 9 es un diagrama de flujo del procedimiento de aprendizaje o de calibración implementado en el marco de la invención.

La Figura 4, y parcialmente las Figuras 5, ilustran de manera sinóptica y funcional un dispositivo detector 1 de proximidad o de presencia, de tipo inductivo y que funciona en modo "de factor 1".

10 Este dispositivo 1 comprende esencialmente, por un lado, un circuito LC resonante 2 alimentado por un generador 3 de pulsos de excitación que definen fases de detección sucesivas y repetitivas y, por otro lado, una cadena operativa de medios 4, 5, 6, 12 para adquisición y tratamiento de la señal de respuesta (oscilaciones libres), proporcionada por dicho circuito LC 2 de detección durante cada fase de detección, que incluye en particular un medio 4 de muestreo y un circuito 6 para conversión analógico-digital y, por último, un conjunto funcional de medios 7, 8 para evaluar, en particular por comparación, al menos un valor de la señal tratada ajustado en el tiempo y proporcionar una información o una señal lógica de detección o de no detección.

15 Este dispositivo 1 comprende asimismo una unidad 9 de gestión y control, de tipo microcontrolador, para controlar el funcionamiento de dicho dispositivo 1.

20 Conforme a la invención se prevé que los medios para adquisición y tratamiento antes mencionados comprendan, por un lado, medios analógicos 5; 12, 13 de filtrado y/o amplificación de la señal de respuesta muestreada, después de su adquisición y antes de su conversión digital y, por otro lado, un medio 10 para compensación de la deriva por temperatura de la señal de respuesta, mediante corrección de la señal muestreada después de su conversión digital, asociado a, o que incluye, un sensor 10' de temperatura que proporciona información acerca de la temperatura de al menos una parte del dispositivo detector 1, que comprende el circuito LC resonante 2 y medios 4, 5, 11, 12, 13 para adquisición y tratamiento, dentro de la cadena operativa, situados aguas arriba del circuito 6 de conversión A/D.

25 Gracias a estas disposiciones particulares que contribuyen de forma acumulativa a la mejora de las prestaciones del dispositivo detector 1 en términos de calidad y precisión y, por lo tanto, de su alcance máximo, se mejoran significativamente la dinámica de la señal explotable y su independencia frente a las variaciones de temperatura, en comparación con el estado de la técnica.

Ventajosamente, la evaluación del valor muestreado en el instante crítico determinado se efectúa por comparación con un valor umbral determinado en la fase de calibración durante la producción.

30 Preferiblemente, y como muestran las Figuras 5A, 5C, 5E y 5F, después del medio 4 de muestreo la cadena operativa incluye, por ejemplo en forma de un muestreador-bloqueador, un medio de amplificación en forma de un amplificador diferencial, asociado a un medio 5' de sustracción de la componente continua de la señal presentada a la entrada del amplificador diferencial 5.

Como disposiciones constructivas prácticas para aumentar la dinámica de la señal, también se puede prever:

35 - utilizar un muestreador-bloqueador 4 externo al microcontrolador 9, lo que permite reducir el tiempo de muestreo, apuntar mejor hacia el sitio a muestrear y realizar un tratamiento analógico (amplificación, filtrado) antes de la conversión analógico-digital;

40 - incrementar la resolución del convertidor A/D 6 (por ejemplo, a 12 bits), realizando este circuito una conversión analógico-digital de la señal procedente del amplificador 5 y no una conversión directa de la señal de salida del circuito LC 2.

45 Para evitar las señales parásitas o interferentes de frecuencia elevada, se puede prever, tal como se ilustra en las Figuras 5B a 5D y 5F, que la cadena operativa comprenda, después del medio 4 de muestreo y aguas arriba del circuito 6 de conversión y también, en su caso, antes del eventual medio 5 de amplificación, un circuito 12 de filtrado analógico, preferiblemente en forma de un filtro RC de paso bajo que comprende una resistencia 12' en serie y una capacitancia 12" en paralelo.

Para facilitar y aumentar la frecuencia y la repetibilidad de los ciclos o fases de detección se puede prever, como se muestra simbólicamente en la Figura 5, aguas abajo del circuito LC 2 de detección y aguas arriba del medio 4 de muestreo, un medio 11 de conmutación para descargar selectivamente dicho circuito LC 2.

50 El muestreador-bloqueador 4 puede comprender, por ejemplo, un interruptor 4' asociado a una capacitancia 4" de memorización (véase la Figura 5).

De manera alternativa o adicional al primer circuito 12 de filtrado antes mencionado, eventualmente en asociación con la presencia de un medio 5 de amplificación, la cadena operativa puede incluir también, aguas abajo del circuito LC 2 de detección y aguas arriba del medio 4 de muestreo, un circuito 13 de filtrado analógico, preferiblemente en forma de un filtro RC de paso bajo que comprende una resistencia 13' en serie y una capacitancia 13" en paralelo

(Figuras 5D a 5F).

Las Figuras 5A a 5F ilustran las distintas variantes constructivas posibles para la cadena operativa del dispositivo 1 conforme a la invención, en función de las combinaciones y de la presencia o ausencia de los distintos medios 5, 12 y 13 de filtrado y de amplificación.

- 5 En el marco de una realización práctica de la invención, se pueden tener en cuenta ventajosamente las siguientes consideraciones.

10 El filtro 12, situado en su caso después del muestreador 4, permite estabilizar la señal antes de la conversión analógico-digital (supresión de las perturbaciones inducidas por el muestreador, supresión de la diafonía inducida por el circuito oscilante LC, supresión de las perturbaciones de radiofrecuencia, etc.). Su frecuencia de corte es baja (por ejemplo, del orden de 16 kHz, pero puede variar según las características del dispositivo detector 1, en particular de su frecuencia de conmutación). En el caso del montaje de la Figura 5D, la capacitancia 12" debe ser lo suficientemente alta (por ejemplo, mínimo 10 nF) como para limitar la atenuación inducida por la transferencia de carga desde esta capacitancia 12" hacia la capacitancia interna del convertidor analógico-digital 6 durante la conversión.

15 El filtro 13, situado en su caso antes del muestreador 4, permite principalmente eliminar las perturbaciones de radiofrecuencia captadas por la inductancia del circuito LC (efecto antena). Para no alterar la señal útil, la frecuencia de corte de este filtro 13 debe ser mayor que la frecuencia de oscilación del circuito LC 2. La frecuencia de corte abarca típicamente desde algunos cientos de kHz hasta varias decenas o cientos de MHz, dependiendo del tipo de perturbación de radiofrecuencia presente. La capacitancia 13" debe tener un valor bajo (unas pocas decenas o  
20 cientos de pF) y la resistencia 13' se puede reemplazar por una inductancia de bajo valor o una ferrita.

Por lo tanto, el filtrado de tipo "paso bajo" realizado por el filtro 12 o el filtro 13, o incluso por la implementación conjunta de estos dos filtros 12 y 13, permite por un lado estabilizar la señal (antes y/o después del muestreo) y, por otro lado, inmunizar el dispositivo detector 1, y más particularmente la parte de su cadena operativa situada antes del convertidor 6, contra las perturbaciones electromagnéticas de alta frecuencia presentes en los entornos  
25 industriales (como por ejemplo una cadena de montaje, en particular por soldadura).

Por supuesto, las resistencias 12' y 13' pueden ser reemplazadas por inductancias.

En cuanto a la ganancia del medio 5 de amplificación, debería ser lo suficientemente alta como para mejorar significativamente la dinámica de la señal útil. Sin embargo, tampoco debería ser demasiado alta, para evitar que se  
30 saturase el amplificador 5, en particular en caso de deriva de la señal y de su componente continua en caso de variaciones de temperatura. Una ganancia comprendida entre 5 y 10, preferiblemente fijada aproximadamente en 6, ha proporcionado resultados satisfactorios en ensayos realizados por los inventores.

Según una característica ventajosa de la invención, el medio 10 para compensación de la deriva por temperatura consiste en una tarea de *software* ejecutada por el microcontrolador 9 en cada fase de detección, aprovechando por un lado el valor medido por el sensor 10' de temperatura y, por otro lado, informaciones almacenadas resultantes de  
35 evaluaciones experimentales anteriores y referentes a la influencia de la temperatura sobre la señal de detección, donde estas informaciones almacenadas consisten en una función de compensación estimada o en una tabla de correspondencia, por ejemplo.

Así, para lograr una compensación lo suficientemente precisa y repetible como para cumplir las restricciones normativas (véase la norma EN60947-5-2 que autoriza una deriva por temperatura de +/- 10% del alcance real), la  
40 solución adoptada por la invención para compensar la deriva por temperatura se basa en una corrección digital de la señal a partir de una temperatura tomada por un sensor 10' de temperatura.

Para efectuar esta compensación por temperatura, es preciso registrar con anterioridad la deriva de la señal en función de la temperatura. Estas mediciones de la deriva se realizan con los valores de salida del convertidor A/D 6, al objeto de compensar simultáneamente tanto la deriva del sensor inductivo (circuito LC 2) como la de toda la  
45 cadena de adquisición posterior.

Cuando se han realizado con anterioridad (en una fase de puesta a punto) lecturas digitales de la deriva de la señal en una pluralidad de dispositivos detectores 1 idénticos, es posible determinar una deriva media y repetible para al menos una serie de tales dispositivos 1. Es posible compensar la deriva con ayuda de una función codificada directamente en el microcontrolador 9. La compensación también se puede realizar a través de una tabla de correspondencia (también denominada tabla de consulta, en inglés "look-up table").  
50

Según otra característica de la invención, que permite evitar todos los cálculos complejos, así como tener que recurrir a elementos específicos, se prevé ventajosamente que el valor de ajuste temporal (valor del plazo de tiempo después de finalizado el pulso de excitación), que es aprovechado por el microcontrolador 9 para controlar el muestreador-bloqueador 4 y que corresponde al punto "de factor 1", consiste en un par [valor de amplitud; plazo de tiempo después de finalizado el pulso de excitación] que se determina experimentalmente por muestreo de las  
55 señales de respuesta proporcionadas por objetivos hechos respectivamente de hierro y de aluminio, colocados a la

distancia de detección  $S_n$  deseada, siendo leídas estas señales de respuesta con el dispositivo detector 1 listo para ser utilizado.

En la práctica, y como se muestra en la Figura 6, el punto "de factor 1" elegido corresponde preferiblemente a la intersección de las dos curvas de las señales de respuesta de los objetivos hechos de hierro y de aluminio, en forma de pseudooscilaciones sinusoidales amortiguadas, en la fase descendente del semiciclo positivo de su tercer período. No obstante, se puede utilizar cualquier otro punto de intersección entre las dos curvas, incluidos los que se encuentran en los semiciclos negativos de las señales de respuesta.

Así pues, según una característica de la invención, se prevé determinar, durante la fase de reglaje:

- el punto de muestreo óptimo que permite una detección "de factor 1";
- el punto de conmutación del dispositivo 1 vinculado al alcance  $S_n$  requerido.

En la práctica, la solución adoptada se basa en la búsqueda del punto "de factor 1" mediante muestreos sucesivos. Este procedimiento permite encontrar el punto óptimo después de que el dispositivo 1 haya sido completamente ensamblado y se le ha aplicado resina, eliminando al mismo tiempo el uso de un dispositivo (calculador, etc.) externo y costoso. Esta técnica permite asimismo acercarse mejor al alcance nominal  $S_n$ , una propiedad particularmente interesante en el caso de alcances incrementados y/o de intervalos de temperatura extendidos.

Para cada uno de los dos materiales de referencia (hierro y aluminio) colocados a la distancia de detección  $S_n$  deseada, el microcontrolador 9 realiza  $N$  mediciones alrededor del punto "de factor 1", con un instante de muestreo "Tacq" que varía de  $T_0$  a  $T_0+N \cdot dt$  ( $Tacq = T_0 + N \times dt$ , donde  $dt$  corresponde a la resolución temporal y  $N$  varía en este caso de 0 a 9). Las amplitudes correspondientes a las diferentes muestras se almacenan en las tablas ("ValorHierro" y "ValorAluminio").

Aunque el punto "de factor 1" (cruce de las curvas Hierro/Aluminio) se da en cada uno de los períodos de la señal oscilatoria amortiguada, el muestreo al comienzo de la fase descendente del tercer período (véase la Figura 6) parece un buen compromiso en términos de estabilidad.

El número  $N$  de puntos de muestreo debe elegirse lo suficientemente grande (al menos 10) como para poder encontrar el punto "de factor 1" en todos los casos: de hecho, es necesario tener en cuenta las tolerancias iniciales de los componentes que introducen variaciones en la amplitud, la frecuencia o la base de tiempo entre una pieza y otra.

En la tabla siguiente se presentan, en dos partes, los resultados de los muestreos de las dos curvas de la Figura 7:

| Muestra (N)                      | 1     | 2        | 3         | 4         | 5         |
|----------------------------------|-------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Temporización de Tacq            | $T_0$ | $T_0+dt$ | $T_0+2dt$ | $T_0+3dt$ | $T_0+4dt$ |
| ValorHierro (LSB)                | 2050  | 2060     | 2066      | 2070      | 2071      |
| ValorAluminio (LSB)              | 2058  | 2069     | 2075      | 2078      | 2077      |
| Diferencia Hierro/Aluminio (LSB) | 8     | 9        | 9         | 8         | 6         |

| Muestra (N)                      | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Temporización de Tacq            | $T_0+5dt$ | $T_0+6dt$ | $T_0+7dt$ | $T_0+8dt$ | $T_0+9dt$ |
| ValorHierro (LSB)                | 2069      | 2062      | 2052      | 2041      | 2027      |
| ValorAluminio (LSB)              | 2072      | 2061      | 2049      | 2034      | 2015      |
| Diferencia Hierro/Aluminio (LSB) | 3         | 1         | 3         | 7         | 12        |

Luego se comparan entre sí los valores "ValorHierro" y "ValorAluminio", lo que permite determinar el valor absoluto de la diferencia entre el valor ValorHierro[N] y el valor ValorAluminio[N]. La diferencia más pequeña corresponde al

punto de muestreo más cercano al punto "de factor 1", que es el punto de cruce de las dos curvas de respuesta Hierro y Aluminio.

El índice M, correspondiente a la diferencia Hierro/Aluminio más pequeña, permite determinar:

- el instante de muestreo  $T_{acq} = T_0 + M \times dt$  óptimo para una detección "de factor 1";

5 - el umbral de detección elegido correspondiente a la media entre ValorHierro[M] y ValorAluminio[M].

El instante de muestreo  $T_{acq}$  corresponde teóricamente al cruce entre las curvas de respuesta Hierro y Aluminio pero, en la práctica, se puede observar una diferencia entre el punto de muestreo y el cruce real de las dos curvas (véanse las Figuras 8A a 8C). Durante la fase de desarrollo, es preciso verificar que, a pesar de esta diferencia, se puede considerar aún al dispositivo detector 1 como "de factor 1", es decir, que la variación del alcance real  $S_r$  en función de los materiales debido a esta diferencia permanece siempre dentro del +/- 10% de la  $S_n$  autorizado por la norma EN60947-5-2.

10

Durante la fase de producción, el reglaje del punto de muestreo  $T_{acq}$  y el reglaje de la distancia de detección  $S_n$  se efectúan en dos pasos sucesivos (se puede invertir el orden de los dos pasos):

1. Se coloca un objetivo hecho de acero frente al dispositivo detector 1 a la distancia  $S_n$ , y una orden inicia una secuencia de aprendizaje que permite completar la tabla "ValorHierro". El detector señala el final de este procedimiento utilizando su salida.

15

2. Se coloca un objetivo hecho de aluminio frente al dispositivo detector 1 a la distancia  $S_n$ , y una orden inicia una secuencia de aprendizaje que permite completar la tabla "ValorAluminio".

Después, con ayuda de las dos tablas, el microcontrolador 9 puede determinar el punto de muestreo óptimo y el umbral de detección. A continuación se guardan en la memoria estos dos parámetros, y se recuperan cada vez que se enciende el detector. El dispositivo detector 1 señala el final de este procedimiento utilizando su salida.

20

El envío de la orden de aprendizaje se puede realizar a través de una interfaz de parametrización que se comunica a través de las líneas de alimentación y de la salida del dispositivo detector, tal como se describe, por ejemplo, en el documento EP 2 748 936 a nombre del solicitante.

Otro punto importante para acercarse lo más posible al punto "de factor 1" consiste en prever una resolución temporal alta para el muestreo y, por lo tanto, un ciclo de reloj alto y estable para el microcontrolador 9, preferiblemente del orden de al menos 32 MHz y con una baja deriva por temperatura. Por lo tanto, se prefieren bases de tiempo del tipo de resonadores de cuarzo o de osciladores MEMS.

25

La invención tiene asimismo por objeto un método para calibrar un dispositivo detector 1 tal como el mencionado en lo que antecede, caracterizado por que consiste en colocar sucesivamente un objetivo hecho de hierro y un objetivo hecho de aluminio a la distancia de detección  $S_n$  deseada, registrar una pluralidad de muestras, preferiblemente al menos diez, de la señal de respuesta sinusoidal proporcionada por el circuito LC 2 de detección del dispositivo detector 1 después de la excitación de dicho circuito mediante pulsos, ventajosamente durante la fase descendente del primer semiciclo del tercer período de estas dos señales, y determinar, por comparación y eventual interpolación, las coordenadas (amplitud, tiempo) del punto de intersección de las curvas representativas de las dos señales de respuesta que corresponde al punto "de factor 1".

30  
35

En la Figura 9 se ilustra un modo posible de realización práctica de los diferentes pasos del procedimiento arriba mencionado.

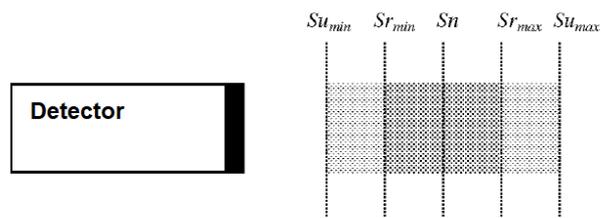
Por supuesto, la invención no se limita al modo de realización descrito y representado en los dibujos adjuntos. Siguen siendo posibles modificaciones, en particular desde el punto de vista de la constitución de los diversos elementos o por sustitución de equivalentes técnicos, sin salir por ello del dominio de protección de la invención que se define por las reivindicaciones.

40

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo detector (1) de proximidad o de presencia, de tipo inductivo y que funciona en modo "de factor 1", es decir, que presenta una variación muy pequeña de su distancia de detección,  $S_n$ , en función de los distintos tipos principales de metales,
- 5 comprendiendo esencialmente dicho dispositivo detector (1), por un lado, un circuito LC resonante (2) alimentado por un generador (3) de pulsos de excitación que definen fases de detección sucesivas y repetitivas, por otro lado una cadena operativa de medios (4, 5, 6, 12) de adquisición y tratamiento de la señal de respuesta, en forma de oscilaciones libres, proporcionada por dicho circuito LC (2) de detección durante cada fase de detección, que incluye en particular un medio (4) de muestreo y un circuito (6) para conversión
- 10 analógico-digital, y por último un conjunto funcional de medios (7, 8) para evaluar, en particular por comparación, al menos un valor de la señal tratada ajustado en el tiempo y para proporcionar una información o una señal lógica de detección o de no detección, comprendiendo asimismo dicho dispositivo (1) una unidad (9) de gestión y control, de tipo microcontrolador, para controlar el funcionamiento de dicho dispositivo (1),
- 15 dispositivo detector (1) caracterizado por que los medios para adquisición y tratamiento comprenden, por un lado, medios analógicos (5; 12, 13) de filtrado y/o amplificación de la señal de respuesta muestreada, después de su adquisición y antes de su conversión digital, y, por otro lado, un medio (10) para compensación de la deriva por temperatura de la señal de respuesta, mediante corrección de la señal muestreada después de su conversión digital, asociado a, o que incluye, un sensor (10') de temperatura que proporciona información acerca de la temperatura de al menos una parte del dispositivo detector (1) que comprende el circuito LC
- 20 resonante (2) y medios (4, 5, 11, 12, 13) de adquisición y tratamiento, dentro de la cadena operativa, situados aguas arriba del circuito (6) de conversión A/D.
2. Dispositivo detector según la reivindicación 1 caracterizado por que, después del medio (4) de muestreo en forma de un muestreador-bloqueador, la cadena operativa incluye un medio (5) de amplificación en forma de un amplificador diferencial, asociado a un medio (5') de sustracción de la componente continua de la señal presentada a
- 25 la entrada del amplificador diferencial (5).
3. Dispositivo detector según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que, después del medio (4) de muestreo y aguas arriba del circuito (6) de conversión y también, si se da el caso, antes del eventual medio (5) de amplificación, la cadena operativa incluye un circuito (12) de filtrado analógico, preferiblemente en forma de un filtro RC de paso bajo que comprende una resistencia (12') en serie y una capacitancia (12'') en paralelo.
- 30 4. Dispositivo detector según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que comprende asimismo, aguas abajo del circuito LC (2) de detección y aguas arriba del medio (4) de muestreo, un medio (11) de conmutación para descargar selectivamente dicho circuito LC (2).
5. Dispositivo detector según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que, aguas abajo del circuito LC (2) de detección y aguas arriba del medio (4) de muestreo, la cadena operativa incluye un circuito (13) de filtrado analógico, preferiblemente en forma de un filtro RC de paso bajo que comprende una resistencia (13') en serie y una capacitancia (13'') en paralelo.
- 35 6. Dispositivo detector según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el medio (10) de compensación de la deriva por temperatura consiste en una tarea de *software* ejecutada por el microcontrolador (9) en cada fase de detección, aprovechando por un lado el valor medido por el sensor (10') de temperatura y, por otro lado, informaciones almacenadas resultantes de evaluaciones experimentales anteriores y relativas a la influencia de la temperatura sobre la señal de detección, donde estas informaciones almacenadas consisten en una función de compensación estimada o en una tabla de correspondencia, por ejemplo.
- 40 7. Dispositivo detector según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el valor de ajuste temporal que es aprovechado por el microcontrolador (9) para controlar el muestreador-bloqueador (4) y que corresponde al punto "de factor 1", consiste en un par [valor de amplitud; plazo de tiempo después de finalizado el pulso de excitación] determinado experimentalmente por muestreo de las señales de respuesta proporcionadas por objetivos hechos respectivamente de hierro y de aluminio, colocados a la distancia de detección ( $S_n$ ) deseada, siendo leídas estas señales de respuesta con el dispositivo detector (1) listo para ser utilizado.
- 45 8. Dispositivo detector según la reivindicación 7, caracterizado por que el punto "de factor 1" elegido corresponde a la intersección de las dos curvas de las señales de respuesta de los objetivos hechos de hierro y de aluminio, en forma de pseudooscilaciones sinusoidales amortiguadas, en la fase descendente del semiciclo positivo de su tercer período.
- 50 9. Método para calibrar un dispositivo detector según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que consiste en colocar sucesivamente un objetivo hecho de hierro y un objetivo hecho de aluminio a la distancia de detección ( $S_n$ ) deseada, registrar una pluralidad de muestras, preferiblemente al menos diez, de la señal de respuesta sinusoidal proporcionada por el circuito LC (2) de detección del dispositivo detector (1) después de la excitación de dicho circuito mediante pulsos, ventajosamente durante la fase descendente del primer semiciclo del
- 55

tercer período de esas dos señales, y determinar, por comparación y eventual interpolación, las coordenadas (amplitud, tiempo) del punto de intersección de las curvas representativas de las dos señales de respuesta que corresponde al punto "de factor 1".



**Fig. 1**

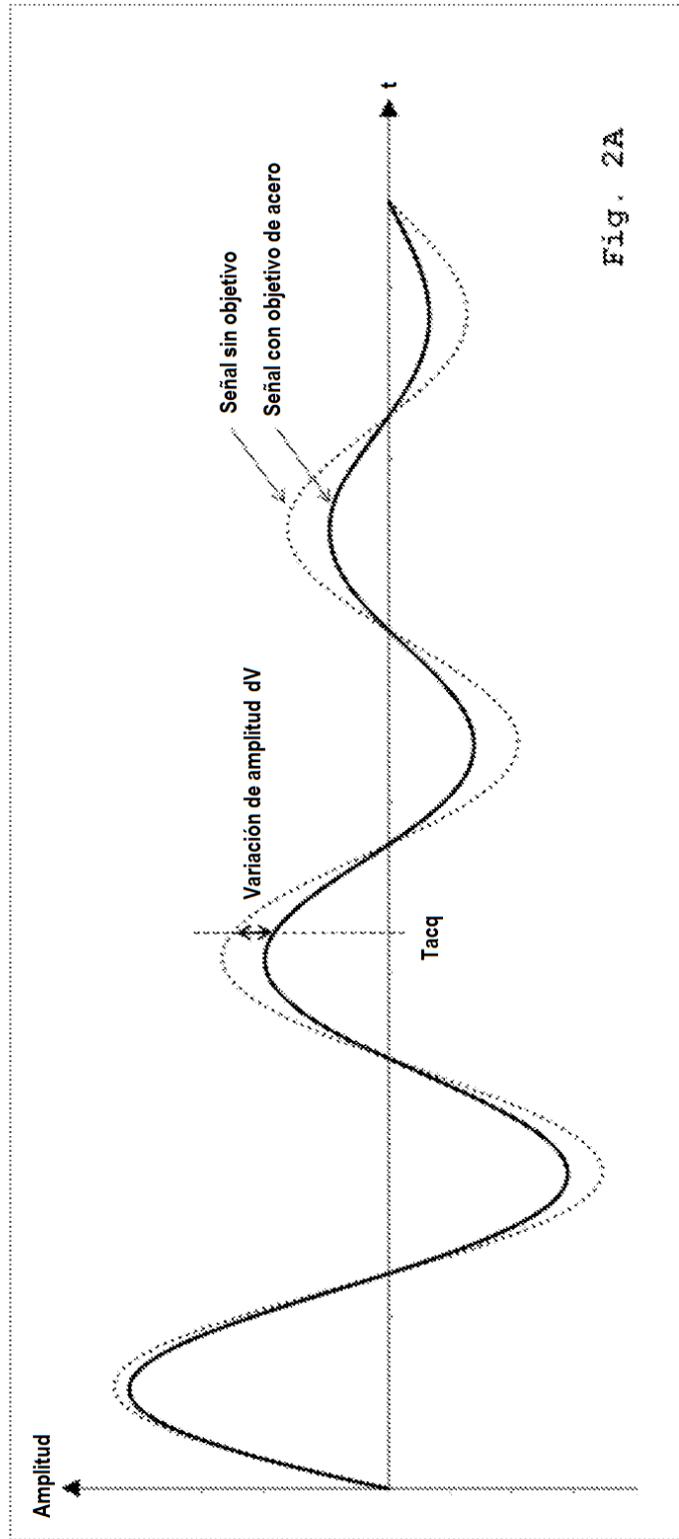


Fig. 2A

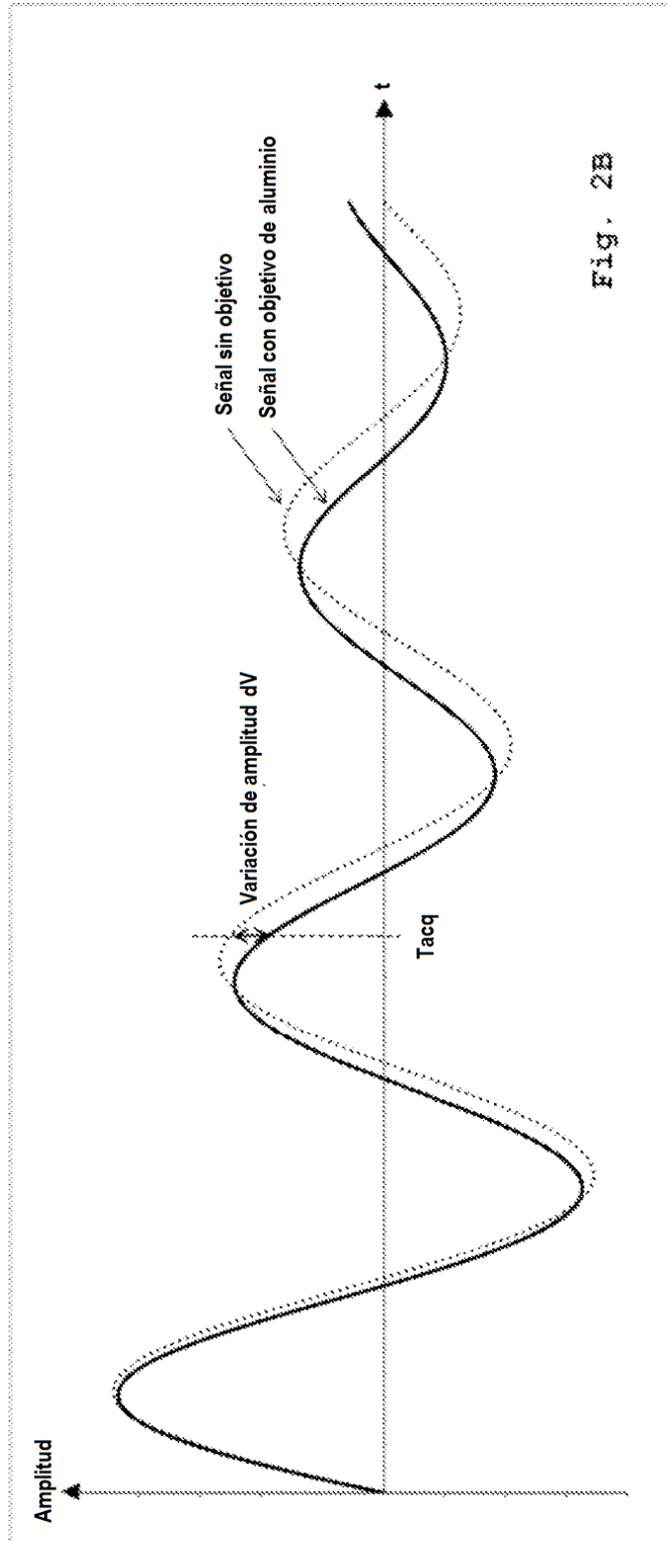


Fig. 2B

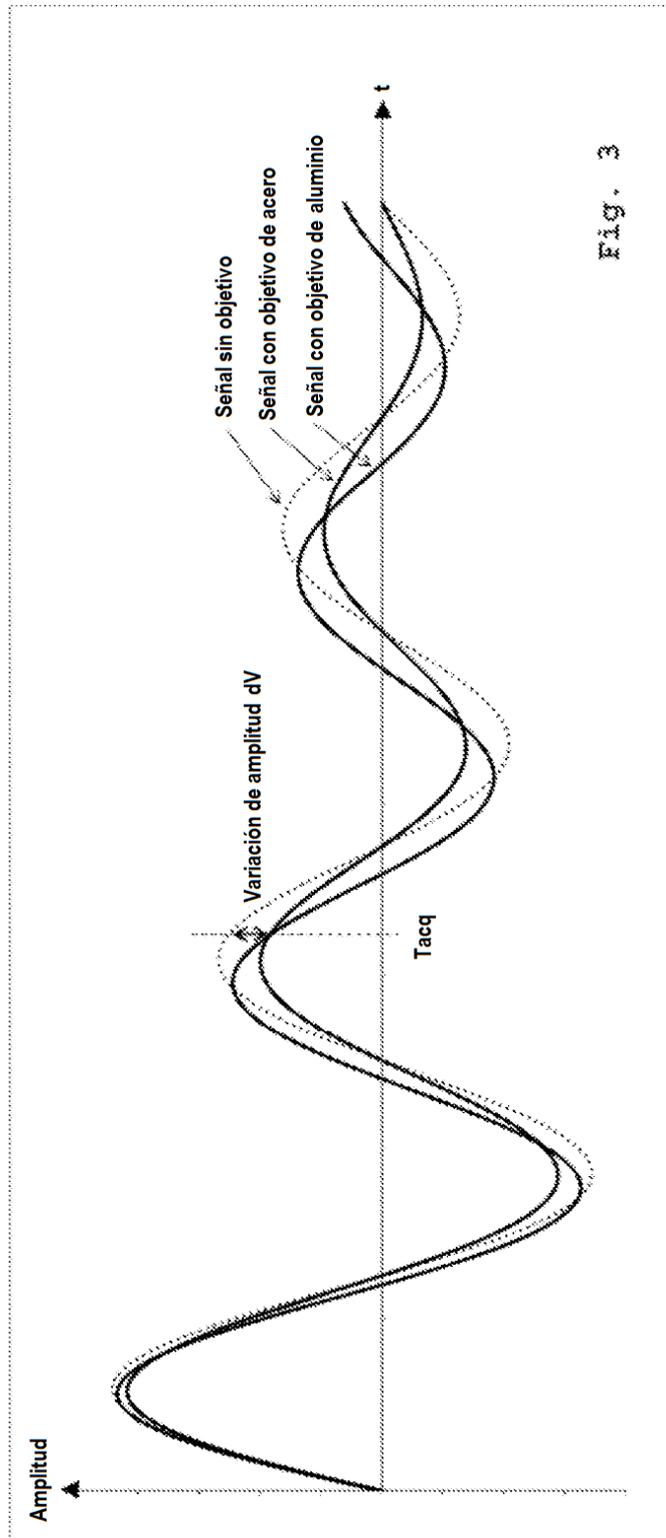


Fig. 3

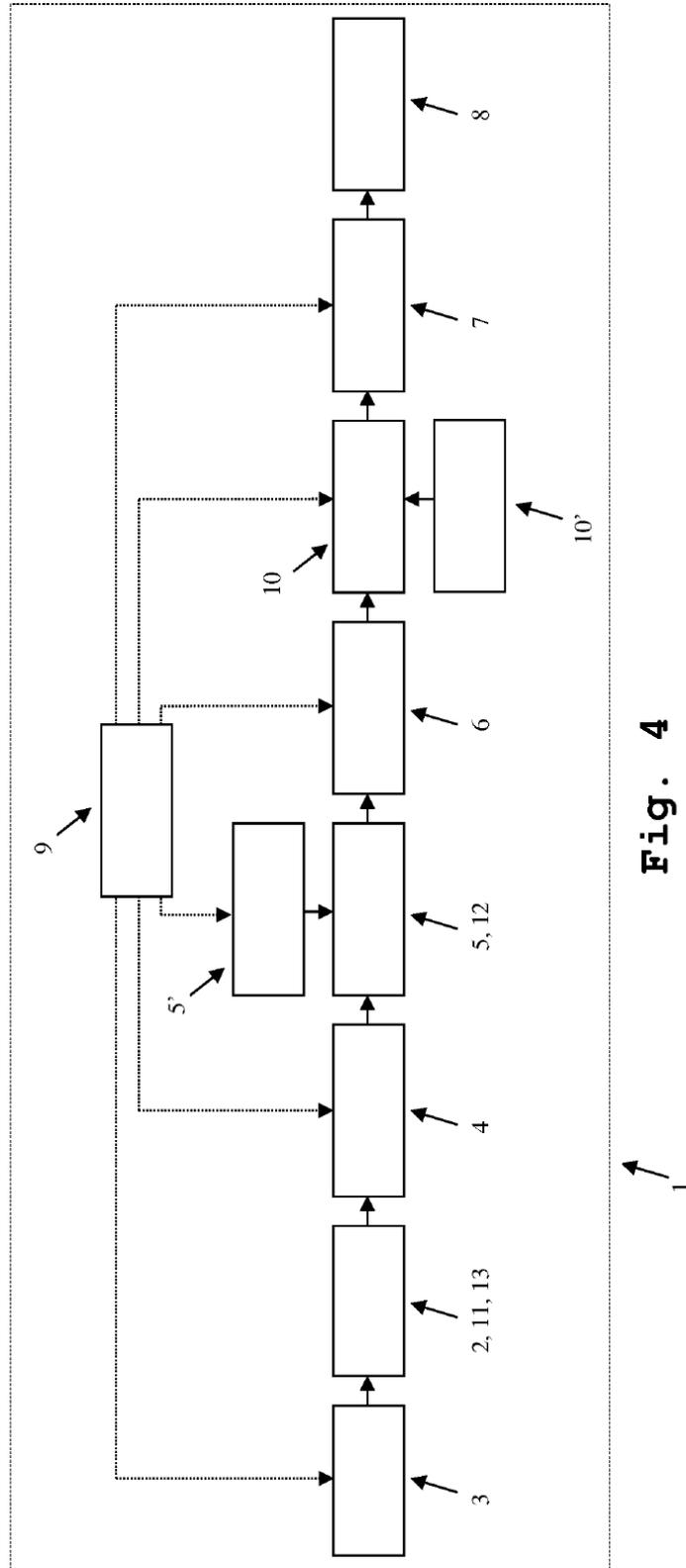
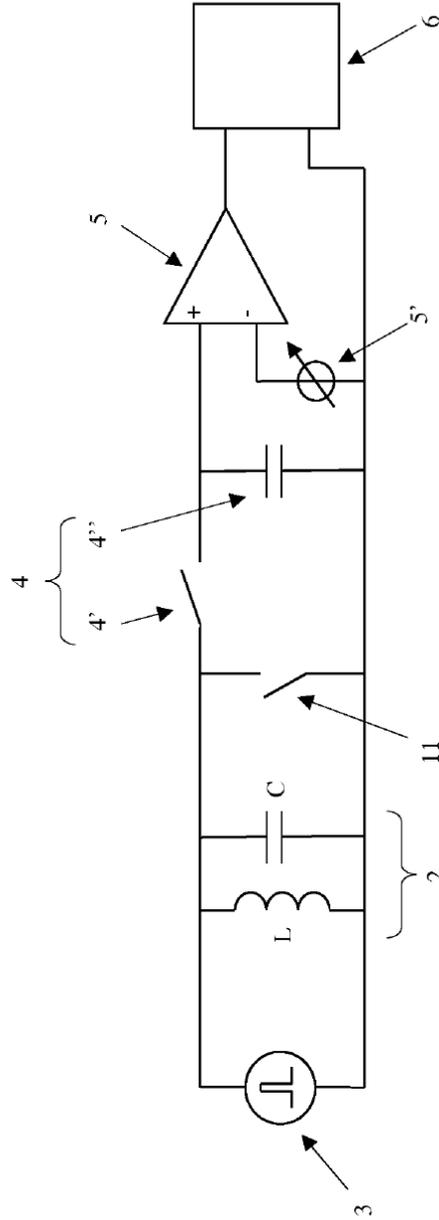


Fig. 4



**Fig. 5A**

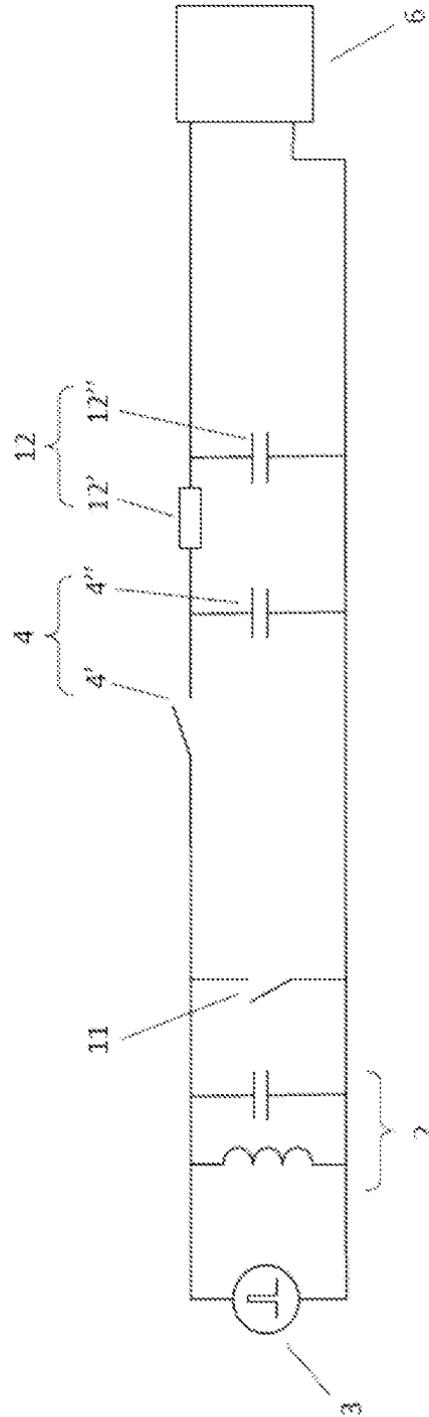


Fig. 5B

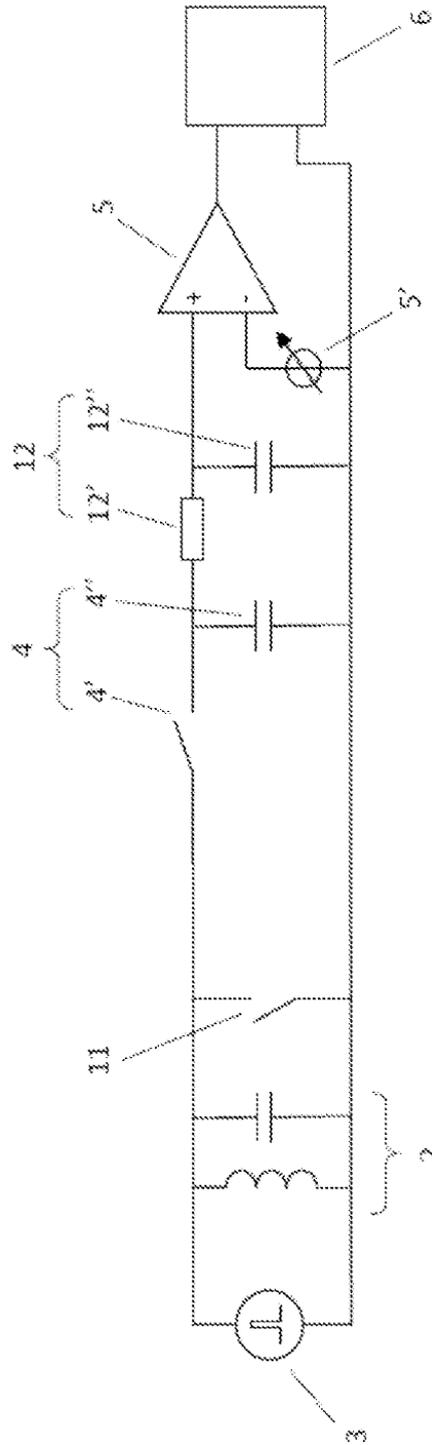


Fig. 5C

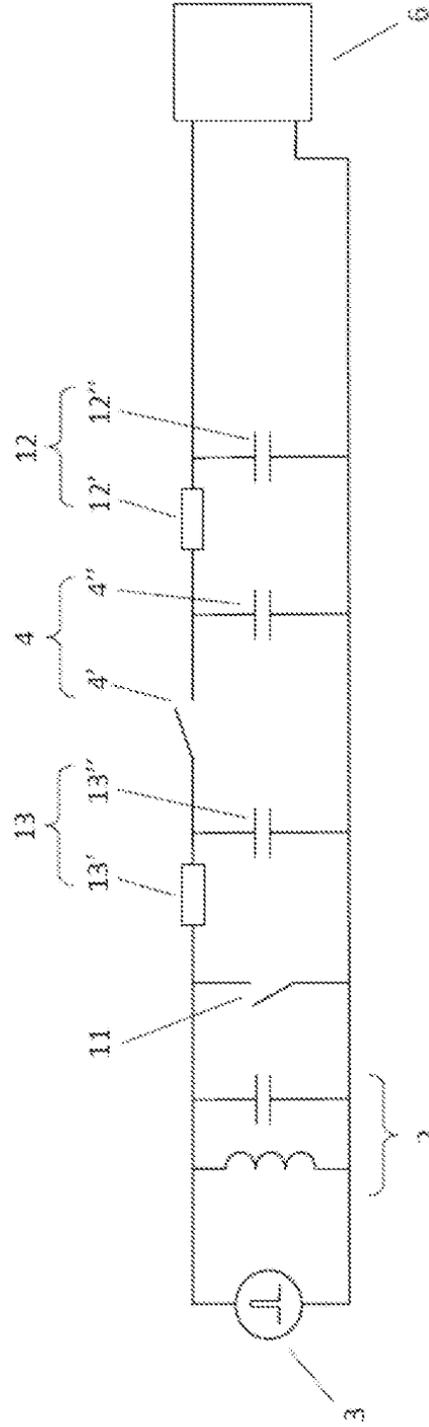
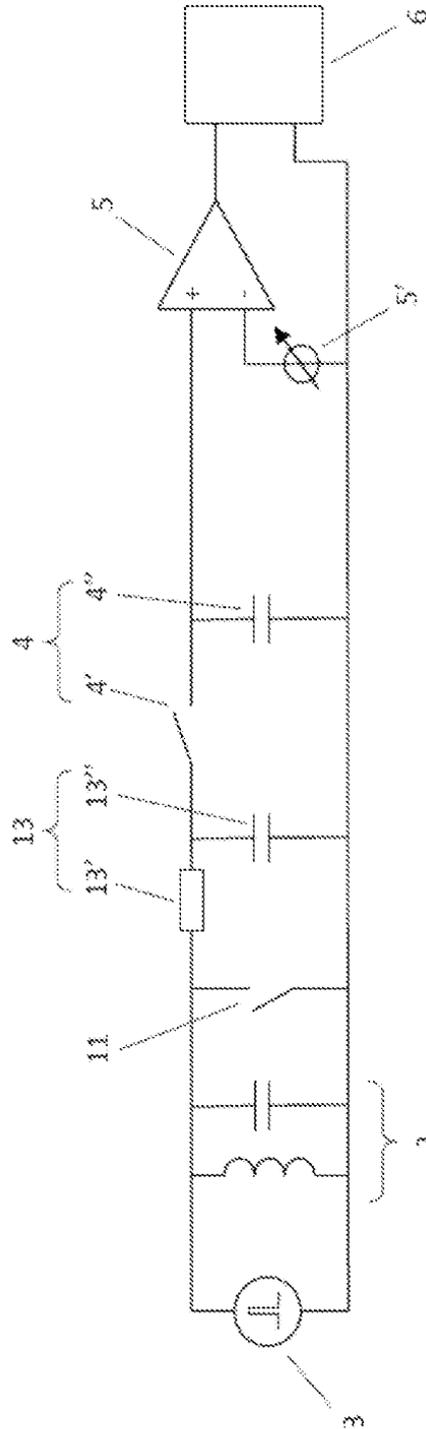


Fig. 5D



**Fig. 5E**



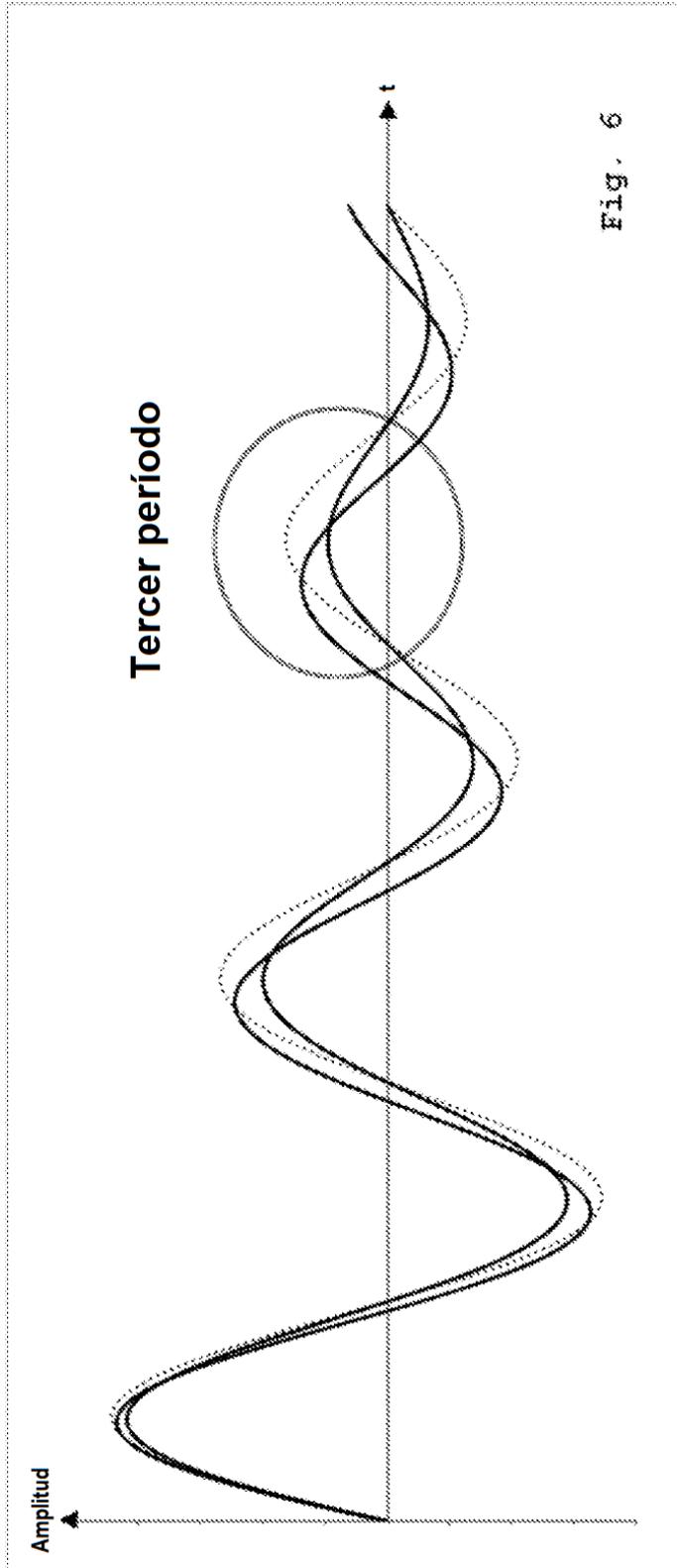


Fig. 6

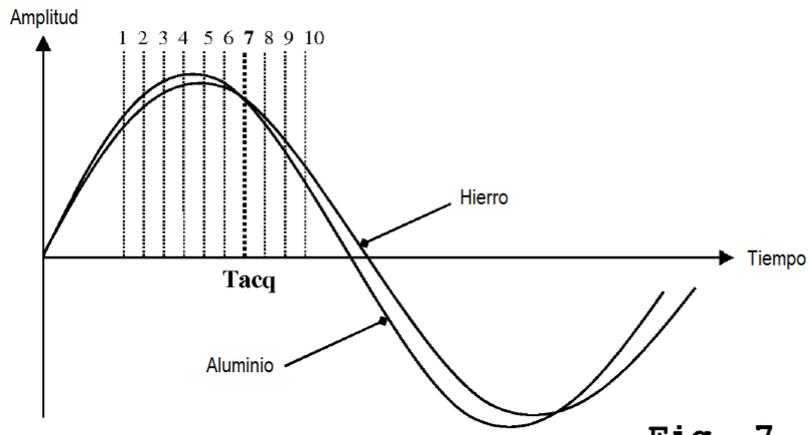


Fig. 7

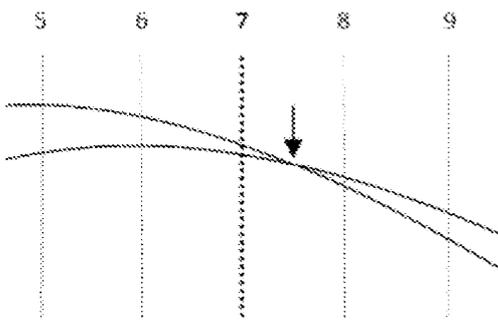


Fig. 8A

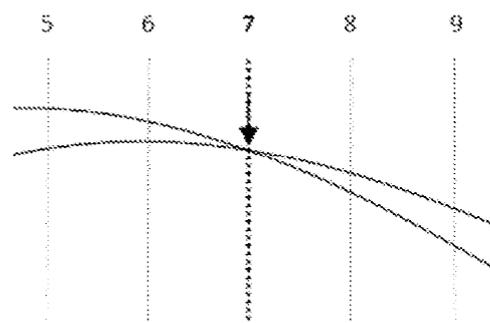


Fig. 8B

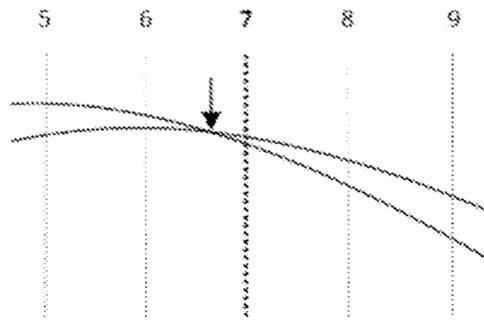


Fig. 8C

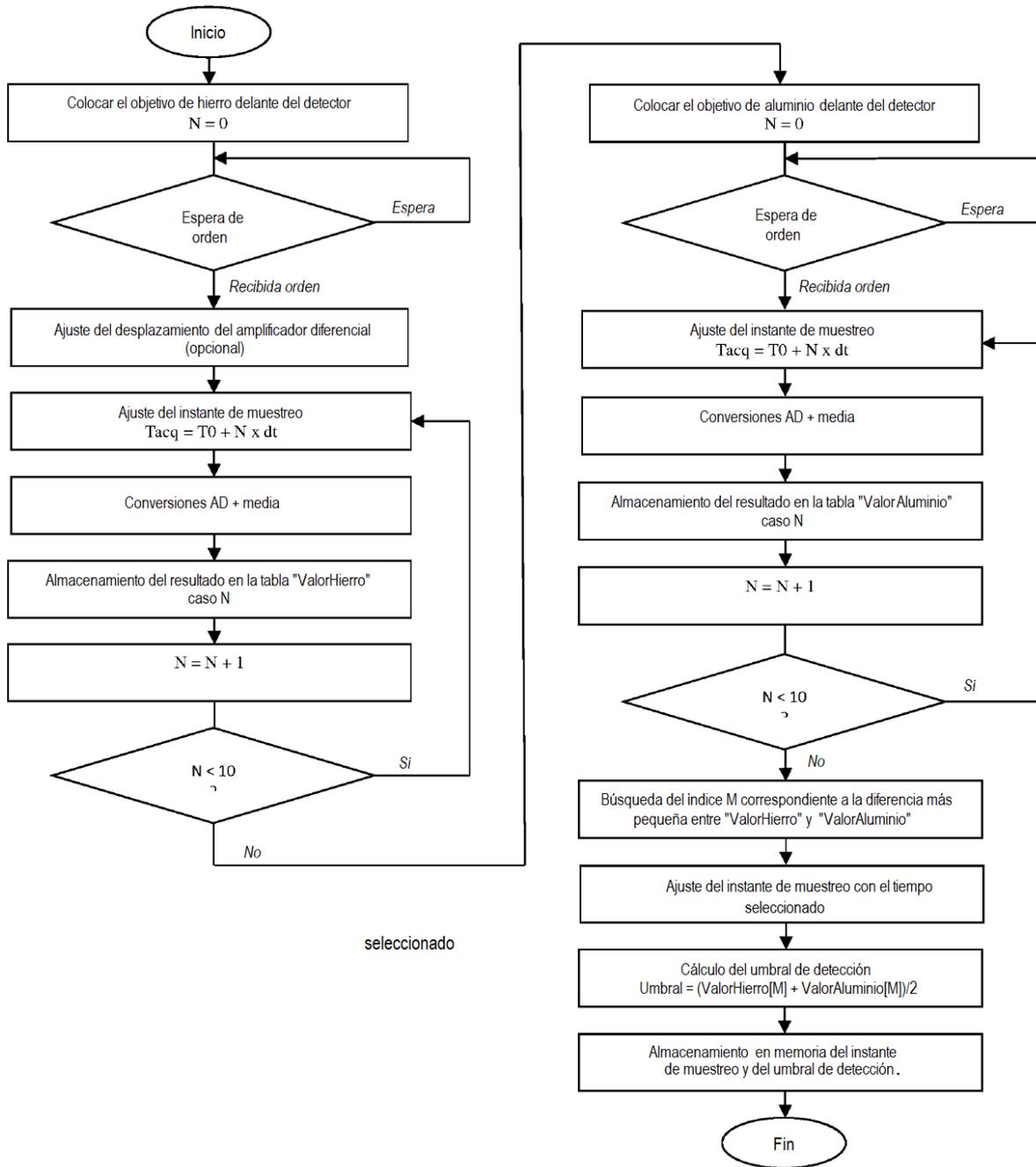


Fig. 9