



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 339 596**

51 Int. Cl.:
G01B 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06809225 .3**

96 Fecha de presentación : **06.11.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1974181**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **01.10.2008**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para medir el espesor de una capa de material.**

30 Prioridad: **19.01.2006 IT MI06A0084**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.05.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.05.2010

73 Titular/es: **S.A. Giuseppe Cristini S.p.A.**
Via Sella 4
20121 Milano, IT

72 Inventor/es: **Cristini, Giovanni**

74 Agente: **Espiell Volart, Eduardo María**

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 y dispositivo para medir el espesor de una capa de material.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para medir el espesor de una capa de material.

En particular, la presente invención encuentra aplicación ventajosa, pero no exclusiva, en la medición de, espesor
10 de una capa de una pasta de papel en una estación de drenaje de una máquina de fabricaron de papel a la que la siguiente descripción hará referencia explícita, sin que esta implique, sin embargo, ninguna pérdida de generalidad.

Técnica antecedente

15 Como es sabido, en una máquina de fabricación de papel, una capa de pasta de papel, en la que la parte de agua es aproximadamente el 98%, se hace avanzar a lo largo de un recorrido para producción del papel, que atraviesa, en sucesión, una estación para drenar la capa de pasta de papel, una estación para comprimir la capa de pasta de papel, y una estación para secar la capa de pasta de papel.

20 Una primera parte del recorrido de producción que atraviesa la estación de drenaje define un recorrido de drenaje, a lo largo del cual avanza la capa de pasta de papel tendida sobre una tela que gira en un bucle. Colocadas debajo de la tela están, a una distancia regular unas de otras, una pluralidad de unidades de succión para aspirar el agua, a través de la tela, de la pasta de papel a medida que avanza.

25 Una elevada eficiencia de la estación de drenaje reduce el coste del tratamiento llevado a cabo por la estación de secado aguas abajo.

Para el propósito anterior, existen en e, mercado dispositivos para controlar el espesor de agua en la pasta del papel, que comprende una varilla, en la cual esta montado un cabezal de lectura Provisto de un sensor para medición de la
30 cantidad de agua. Estos dispositivos normalmente son colocados manualmente de tal modo que el sensor se pone en contacto con la superficie inferior de la tela entre una unidad de succión y otra.

Dichos dispositivos usan diversos tipos de sensores, por ejemplo, sensores que se aprovechan de la tecnología GBS (Gamma Back Scattering-Retrodispersión Gamma) para detectar la consistencia del material con el que entran
35 en contacto. Dicha tecnología es exacta pero requiere la presencia de una fuente radiactiva dentro del cabezal de lectura y, por consiguiente, es costosa y poco práctica. Otros sensores se aprovechan del ultrasonido y son, por lo tanto, menos costosos que los anteriores, pero también más difíciles de utilizar en entornos ruidosos, tales como los de las máquinas de fabricación de papel. Otros sensores más se aprovechan de las microondas, y en particular estiman la consistencia del material a partir de la respuesta en frecuencia del propio material, pero son voluminosos y no producen medidas
40 suficientemente fiables. Una aplicación de esta clase de sensor se desvela en la patente US2004/0194257.

Exposición de la invención

El objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un dispositivo para medir el espesor de una
45 capa de material, y en particular el espesor de agua de una capa de pasta de papel y agua para la producción de papel, que esté libre de los inconvenientes descritos anteriormente y al mismo tiempo sea fácil y económico de fabricar.

De acuerdo con la presente invención, se proporcionan un procedimiento y un dispositivo para medir el espesor de una capa de material según lo que se define en las reivindicaciones independientes adjuntas y, preferentemente, en
50 una cualquiera de las reivindicaciones que dependen directa o indirectamente de las reivindicaciones independientes mencionadas anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

55 Para una mejor comprensión de la presente invención, a continuación se describe una realización preferida de la misma, meramente a título de ejemplo no limitativo y con referencia a la lámina de dibujos adjunta, en la que:

- la Figura 1A y la Figura 1B ilustran una realización preferida del dispositivo para medir el espesor de una capa de material según la presente invención;

60 - la Figura 2 ilustra un diagrama de bloques de una unidad de control del dispositivo de la Figura 1;

- las Figuras 3 a 8 ilustran, en conjunto, un organigrama del procedimiento para medir el espesor de una capa de material según la presente invención;

65 - las Figuras 9 a 14 ilustran ejemplos de curvas de respuesta en frecuencia de muestras de materiales y de curvas de ajuste y calibración correspondientes del dispositivo de la Figura 1, obtenidas y usadas siguiendo el procedimiento para medir el espesor de una capa de material según la presente invención; y

- las Figuras 15 y 16 ilustran ejemplos de respuestas en frecuencia de la capa de material adquiridas y procesadas siguiendo el procedimiento para medir el espesor de una capa de material según la presente invención.

Mejor modo para llevar a cabo la invención

En la Figura 1A, el número de referencia 1 designa, en conjunto, el dispositivo para controlar el espesor de un material, comprendiendo dicho dispositivo 1: una unidad de control 2; un cabezal de lectura 3, diseñado para ser puesto en contacto con una capa de material (no ilustrada) y en particular una capa de pasta de papel y agua para medir el espesor de la misma; y una varilla de soporte 4, que posee un primer extremo 5, en una posición que corresponde a en la que está montado el cabezal de lectura 3, y un segundo extremo 6, en el que está montado un conector 7 provisto de un cable eléctrico 8 para conexión del cabezal de lectura 3 a la unidad de control 2.

La unidad de control 2 comprende un panel de control frontal 9 provisto de una pantalla 10, por ejemplo del tipo de cristal líquido retroiluminada con una resolución de 128x128 píxeles, para visualizar información sobre las mediciones, y un teclado numérico 11, por medio del cual un operador puede impartir órdenes sobre la unidad de control 2. La unidad de control 2 además comprende una pluralidad de conectores 12 para conexión al cabezal de lectura 3 y con dispositivos de control externos adicionales (no ilustrados), por ejemplo, un ordenador personal.

El cabezal de lectura 3 comprende un sensor de microondas 13 y un sensor de temperatura 14. En particular, el sensor de microondas 13 es, por ejemplo, del tipo descrito en la solicitud de patente italiana N° FI2006A0000019, presentada el 19 de octubre de 2006 a favor de ADVANCED MICROWAVE ENGINEERING, y comprende un transmisor de microondas y un receptor de microondas respectivo para detectar, a través del material, las señales generadas por el transmisor. En particular, el sensor 13 está caracterizado por una curva de respuesta en frecuencia sustancialmente centrada alrededor de una frecuencia de resonancia, para la que existe un mínimo valor de amplitud. La presencia del material en las inmediaciones del sensor 13 modifica la curva de respuesta, en cuanto a desplazamiento de la frecuencia de resonancia y de variación de la amplitud mínima, de una manera que depende de las características físicas del propio material.

La varilla de soporte 4 está provista de un elemento de señalización 15, por ejemplo de un tipo óptico o bien, de un tipo acústico, para señalar que la medición está en curso, y con un pequeño nivel 16 para verificar la colocación correcta de la varilla de soporte 4 y, por lo tanto, del cabezal de lectura 3. Con mayor detalle, como se ilustra en la Figura 1B, la varilla de soporte 4 comprende un brazo telescópico 17, que es extensible por su primer extremo 5 y en el que está montado el cabezal de lectura 3.

Con referencia a la Figura 2, la unidad de control 2 comprende, además de la pantalla 10 y el teclado numérico 11 anteriormente mencionados, una unidad de almacenamiento 18, por ejemplo, una memoria flash extraíble del tipo denominado "tarjeta smart media", diseñada para almacenar los datos sobre las mediciones, una unidad de interfaz 19 para comunicación con el dispositivo externo de control, una unidad de interfaz 20 para comunicación con los sensores 13, 14, una unidad de procesamiento 21, por ejemplo, del tipo que comprende un microcontrolador, conectado para comunicación con la pantalla 10, con el teclado numérico 11, y con todas las demás unidades anteriormente mencionadas, y una unidad de alimentación 22, la cual está diseñada para alimentar eléctricamente todas las unidades mencionadas anteriormente.

Con mayor detalle, la pantalla 10 está diseñada para visualizar el estado de los sensores 13, 14, los datos respecto a la medición en curso, y las estadísticas respecto a las mediciones previas. Entre las órdenes que pueden impartirse por medio del teclado numérico 11 está, por ejemplo, el número de muestras de medición que han de adquirirse por medio del dispositivo 1.

La unidad de alimentación 22 comprende una batería (no ilustrada), preferentemente del tipo recargable, y un circuito de supervisión y señalización (tampoco ilustrado), para monitorizar el nivel residual de carga de la batería, estando asociado a dicho nivel un indicador apropiado representado, por ejemplo, por medio de una luz de advertencia o por medio de un icono visualizado en la pantalla 10.

Cada una de las unidades de interfaz 19, 20 está constituida, por ejemplo, por un puerto serie del tipo RS232 o USB.

Las Figuras 3 a 7 muestran partes respectivas de un organigrama del procedimiento para medir el espesor de una capa de un material según la presente invención, siendo implementado dicho procedimiento en un programa de control (firmware) cargado en el microcontrolador de la unidad de procesamiento 21.

El principio subyacente al procedimiento para medir el espesor de una capa de un material consiste en: obtener datos de referencia a partir de un ajuste del sensor de microondas 13 llevado a cabo en el laboratorio sobre muestras de materiales conocidos en condiciones físicas conocidas; calibrar el sensor 13 basándose en la conductividad eléctrica del material bajo examen, es decir, del material de la capa que ha de ser medida, usando, por ejemplo, una muestra de dicho material; y determinar una medición del espesor a partir de una respuesta en frecuencia de la capa de material, adquirida por medio del sensor 13, y como función de la temperatura T_m del lector de material medido con el sensor 14.

ES 2 339 596 T3

Con referencia a la Figura 3, el procedimiento para medir el espesor de una capa de material prevé una etapa de ajuste del sensor 13 (bloque 30) sobre muestras de materiales que tienen valores dados respectivos de conductividad eléctrica para valores de temperatura determinados de tal manera que se obtengan los datos de referencia; una etapa de calibración del sensor 13 (bloque 31) como función de la conductividad eléctrica del material bajo examen, es decir, del material de la capa que ha de ser medida utilizando los datos de referencia para determinar parámetros de calibración; una etapa de medición de la temperatura T_m de la capa de material bajo examen (bloque 32); una etapa de determinación de parámetros de medición de la capa de material a partir de una respuesta en frecuencia de la propia capa usando los parámetros de calibración (bloque 33); y una etapa de procesamiento de los datos de referencia con los parámetros de medición y la temperatura T_m para determinar una medición S_m del espesor de la propia capa (bloque 34).

Las etapas indicadas con los bloques 32, 33 y 34 se repiten, siempre que sea necesario, para obtener una medición del espesor, si no, el control vuelve a la etapa de calibración (bloque 35).

La etapa de ajuste del sensor 13 (bloque 30 de la Figura 3) se lleva a cabo definitivamente en el laboratorio y se ilustra, en todas sus subetapas, en la Figura 4, y se describe más adelante.

La etapa de ajuste del sensor 13 prevé, en primer lugar, obtener datos de referencia constituidos por datos de espesor S de un material determinado a medida que la frecuencia de trabajo F del sensor 13 varía en una banda de frecuencia FB , comprendida entre un valor mínimo F_{min} y un valor máximo F_{max} , y para valores de temperatura dados T_1 , T_2 , T_3 .

Dichos datos de espesor S como función de la frecuencia F se obtienen: adquiriendo, por medio del sensor 13, para cada valor de temperatura T_1 , T_2 , T_3 , una pluralidad de curvas de respuesta en frecuencia de una pluralidad respectiva de muestras de un material que tiene un valor CD_1 de conductividad eléctrica, teniendo cada muestra un valor respectivo de sustancia o espesor S (bloque 40); y asociando a cada valor de espesor S un valor respectivo de frecuencia F identificado por la intersección de la curva de respuesta que corresponde a dicho valor de espesor S con una función que es constante en frecuencia, denominada en los sucesivos, por razones de conveniencia, como "línea recta de interceptación" (bloque 41).

La Figura 9 es una ilustración gráfica de un ejemplo de cómo obtener los datos de espesor S a medida que varía la frecuencia F para cualquiera de los valores de temperatura T_1 , T_2 , T_3 .

El gráfico de la parte superior de la Figura 9 ilustra las curvas de respuesta en frecuencia, que están constituidas por tantos patrones de amplitud A de la señal de salida del sensor 13 como la frecuencia F varía en la banda FB para los diferentes valores del espesor S . La amplitud A es adimensional en la medida en que la salida del sensor 13 corresponde a la salida de un convertidor A/D del sensor 13. La línea recta de interceptación asume un primer valor INT_1 sustancialmente igual a la mitad del intervalo de salida del convertidor A/D, y en particular igual a 2500. Cada valor de frecuencia F asociado al valor respectivo de espesor S está definido por la intersección de la línea recta de interceptación de valor INT_1 con el tramo creciente de la curva de respuesta en frecuencia que corresponde al propio valor de espesor S .

El gráfico de la parte inferior de la Figura 9 representa un ejemplo de patrón del espesor S como función de la frecuencia F obtenida asociando los valores de frecuencia F obtenidos a los valores de espesor S .

La Figura 10 ilustra ejemplos de curvas del espesor S como una función de la frecuencia F para los diferentes valores de temperatura T_1 , T_2 y T_3 que se incrementan de manera que $T_3 > T_2 > T_1$, y preferentemente son iguales a 10°C , 35°C y 60°C , respectivamente.

Los datos de espesor S como función de la frecuencia F para los tres valores de temperatura T_1 , T_2 y T_3 se recogen en una tabla de consulta correspondiente almacenada en la unidad de almacenamiento 18.

La etapa de ajuste del sensor 13 además prevé obtener otros datos de referencia, constituidos por datos de conductividad eléctrica CD como una función de la amplitud mínima A_{min} de la señal de salida del sensor 13 a una temperatura ambiente constante de valor T_{amb} .

Una vez más con referencia a la Figura 4, los datos de conductividad CD como función de la amplitud mínima A_{min} se obtienen: adquiriendo, por medio del sensor 13, una pluralidad de curvas de respuesta en frecuencia, en la banda de frecuencia FB , de una pluralidad respectiva de muestras de materiales que tienen cada uno un valor respectivo de conductividad eléctrica CD (bloque 42); y asociando, a cada valor de conductividad eléctrica CD , los valores de amplitud mínima A_{min} de las curvas de respuesta en frecuencia de la muestra que tiene dicho valor de conductividad eléctrica CD (bloque 43).

La Figura 11 ilustra ejemplos de curvas de respuesta en frecuencia de materiales que tienen diferentes valores de la conductividad eléctrica CD y resalta los valores de amplitud mínima A_{min} de cada curva designada por A_0 , A_1 , A_2 , A_3 , A_4 y A_5 . Dichos mínimos se producen a la frecuencia de resonancia del material correspondiente. La Figura 12 muestra un ejemplo de patrón de la conductividad eléctrica CD como una función de la amplitud mínima A_{min} obtenida a partir de los datos deducidos de la Figura 11.

ES 2 339 596 T3

Los datos de conductividad eléctrica CD como una función de la amplitud mínima Amin a temperatura ambiente Tamb se recogen en una tabla de consulta correspondiente almacenada en la unidad de almacenamiento 18.

Por último, la etapa de ajuste del sensor 13 prevé determinar una función lineal entre el valor genérico INT de la línea recta de interceptación y la conductividad eléctrica CD del material bajo examen a temperatura constante, y en particular en el valor de temperatura T2. En otras palabras, la etapa de ajuste prevé determinar datos de referencia adicionales constituidos por los coeficientes X e Y que identifican una función lineal del tipo $INT = X \cdot CD + Y$.

En particular, una vez más con referencia a la Figura 4, la etapa de ajuste del sensor 13 prevé adquirir, por medio del propio sensor 13, tres conjuntos de curvas de respuesta en frecuencia para tres valores diferentes de espesor de referencia SR, SR', SR'' de material, en los que cada grupo de curvas comprende tres curvas de respuesta en frecuencia de tres materiales que tienen valores respectivos de conductividad eléctrica CD1, CD2, CD3 (bloque 44).

Los valores de conductividad eléctrica CD1, CD2 y CD3 son crecientes de manera que $CD3 > CD2 > CD1$, y preferentemente iguales a 1500, 4000 y 6500 $\mu S/cm$, respectivamente. Los valores de espesor de referencia SR, SR' y SR'' son decrecientes y preferentemente iguales a 25000, 10000 y 5000 g/m^2 , respectivamente.

Para cada uno de dichos grupos de curvas de respuesta en frecuencia, se determinan los siguientes datos: un valor de frecuencia respectivo F1, F1', F1'' a partir de la intersección de la curva que corresponde al material con conductividad eléctrica CD1 con la línea recta de interceptación de un primer valor INT1 (bloque 45); un segundo valor INT2, INT2', INT2'', y un tercer valor INT3, INT3', INT3'' que la línea recta de interceptación debe asumir para identificar el mismo valor de frecuencia F1, F1', F1'' en presencia del material con conductividad eléctrica que tiene el valor CD2 y, respectivamente, CD3 dado el mismo espesor de referencia SR, SR' y SR'' (bloque 46).

En este punto, los valores INT1, INT2, INT2', INT2'', INT3, INT3', e INT3'', que corresponden a los diferentes valores del espesor de referencia SR, SR' y SR'' son promediados entre sí de tal modo que se obtenga un valor medio INT1, INT2m, INT3m de la línea recta de interceptación para cada valor de la conductividad eléctrica CD1, CD2, CD3 (bloque 47). Los coeficientes X e Y se determinan según las series de valores de la conductividad eléctrica CD1, CD2, CD3 y de las series respectivas de valores medios INT1, INT2m, INT3m usando cualquier técnica de regresión lineal conocida (bloque 48).

La Figura 13 ilustra un ejemplo de determinación de los valores INT2, INT2', INT2'', INT3, INT3' e INT3''.

La Figura 14 ilustra un ejemplo de relación lineal entre el valor INT de la línea recta de interceptación y la conductividad eléctrica CD obtenida por regresión lineal. Los coeficientes X e Y también son almacenados en la unidad de almacenamiento 18.

La etapa de calibración del sensor 13 (bloque 31 de la Figura 3) tiene el propósito de determinar un parámetro de calibración constituido por un valor INYc de la línea recta de interceptación en presencia de una muestra del material bajo examen a la temperatura ambiente constante de valor Tamb.

La calibración se lleva a cabo previamente sumergiendo el cabezal de lectura 3 en una cubeta de calibración provista *ex profeso* que contiene una muestra del material bajo examen. Alternativamente, la calibración se lleva a cabo automáticamente mediante el dispositivo 1 durante las operaciones normales de medición del espesor de la capa de material.

En general, la etapa de calibración prevé: adquirir curvas de respuesta en frecuencia del material bajo examen en la banda de frecuencia FB similares a las ilustradas en las Figuras 9 y 10; encontrar un valor de la amplitud mínima Amin_c de dichas curvas; y procesar dicho valor de la amplitud mínima Amin_c para obtener el valor INTc de la línea recta de interceptación.

En particular, con referencia a la Figura 5' la adquisición de las curvas de respuesta en frecuencia se produce: incrementando la frecuencia F desde el valor mínimo Fmin (bloque 50) hasta el valor máximo Fmax (bloque 51) según un escalón de frecuencia dado Fs en particular de un valor de 10 kHz (bloque 52); y adquirir un valor de amplitud A de la señal en la salida del sensor 13 para cada valor de frecuencia F establecido (bloque 53).

El valor de la amplitud mínima Amin_c de la curva se encuentra: estableciendo inicialmente la amplitud mínima Amin_c en un valor suficientemente elevado, y en particular en un valor máximo Alim del intervalo de salida dinámico del sensor 13 igual a 4095 (bloque 50); comparar, para cada valor de frecuencia F establecido, la amplitud mínima Amin_c establecida con cada valor de amplitud A adquirido (bloque 54); y sustituir la amplitud mínima Amin_c establecida por el valor de amplitud A en el caso en que ésta sea inferior (bloque 55).

Una vez que se identifica el valor de la amplitud mínima Amin_c, se compensa según la relación:

$$Amin_c = (Tmc - Tamb) * KC + Amin_c,$$

donde Tmc corresponde a la temperatura del material durante la etapa de medición propiamente dicha y puede ser establecida por el operador mediante el teclado numérico 11 durante la etapa actual de calibración, y KC es un

ES 2 339 596 T3

coeficiente que depende de las características mecánicas y electrónicas del cabezal de lectura 3 y se determina *ex profeso* en el laboratorio de manera empírica (bloque 56).

A continuación se determina una medición de la conductividad eléctrica CDc del material bajo examen, extrayéndola, por medio de interpolación, a partir de los datos de conductividad eléctrica CD usando el valor de la amplitud mínima Amin_c (bloque 57), y se determina un valor INTc de la línea recta de interceptación como función del valor de conductividad eléctrica CDc usando los coeficientes X e Y, es decir, usando la función lineal del tipo ilustrado en la Figura 14 (bloque 58).

En este punto, una vez que se han completado las etapas de ajuste y calibración del sensor 13, se llevan a cabo las operaciones que conducen a la determinación de una medición del espesor.

A la medición de la temperatura Tm del material bajo examen (bloque 32 de la Figura 3) le sigue, como ya ha sido mencionado previamente, la etapa de determinación de parámetros de medición (bloque 33 de la Figura 3). Dichos parámetros de medición comprenden un valor de la frecuencia de interceptación F1_m determinado para un intervalo de valores de amplitud A de una respuesta en frecuencia de la capa de material adquirido mediante el sensor 13, estando dicho intervalo sustancialmente centrado alrededor del valor INTc de la línea recta de interceptación obtenida durante la calibración del sensor 13.

Más exactamente, con referencia a la Figura 6, la determinación del valor medio F1_m de la frecuencia comprende las etapas de:

- establecer inicialmente la frecuencia de trabajo F del sensor 13 en el valor máximo Fmax, el escalón de frecuencia Fs en un valor máximo o aproximado Fs_g, en particular igual a 1 MHz, una tolerancia T de la amplitud A en el valor más elevado que pueda seleccionarse, es decir, en el valor máximo o aproximado T_g, un contador de iteraciones de cálculo C en un valor determinado N de iteraciones, la línea recta de interceptación en el valor INTc de la línea recta de interceptación determinado previamente con la calibración del sensor 13, y la frecuencia de interceptación F1_m en un valor cero inicial (bloque 60);
- comparar el valor actual de la frecuencia F con el valor máximo Fmax y el valor mínimo Fmin (bloque 62) para permitir advertir de posibles ajustes fuera de escala de la frecuencia F (bloque 63) y restablecer en consecuencia los parámetros establecidos en la etapa previa representada por el bloque 60 (bloque 64);
- adquirir un valor de amplitud A de la señal en la salida del sensor 13 (bloque 65); y
- comparar el valor de amplitud A adquirido con el valor INTc de la línea recta de interceptación (bloque 66) y comparar la diferencia, en valor absoluto, entre el valor de amplitud A y el valor INTc con el valor de tolerancia T establecido (bloques 67 y 68) con el fin de distinguir los casos descritos a continuación.

Si se satisfacen las dos condiciones de más abajo:

$$A < \text{INTc};$$

y

$$|A - \text{INTc}| < T,$$

entonces el escalón de frecuencia Fs se establece en un valor mínimo o preciso Fs_f (Fs = Fs_f), y la tolerancia T en un valor mínimo o exacto T_f (T = T_f), y la frecuencia F se incrementa por el escalón de frecuencia Fs (F = F + Fs) (bloque 69), y el flujo pasa al bloque subsiguiente 71. El valor mínimo de tolerancia T_f es, por ejemplo, igual al 1% del valor de INTc de la línea recta de interceptación.

Si se satisfacen las dos condiciones que siguen:

$$A < \text{INTc};$$

y

$$|A - \text{INTc}| \geq T,$$

entonces el escalón de frecuencia Fs se establece en el valor máximo Fs_g (Fs = Fs_g), y la tolerancia T en su valor máximo T_g (T = T_g), la frecuencia F se incrementa por el escalón de frecuencia Fs (F = F + Fs) (bloque 74), y el control vuelve al bloque 62.

ES 2 339 596 T3

Si se satisfacen las dos condiciones que siguen:

$$A \geq \text{INTc};$$

y

$$|A - \text{INTc}| < T,$$

entonces el escalón de frecuencia F_s se establece en el valor mínimo F_{s_f} ($F_s = F_{s_f}$), la tolerancia T se establece en el valor mínimo T_f ($T = T_f$), la frecuencia se disminuye el escalón de frecuencia F_s ($F = F - F_s$) (bloque 70), y el flujo pasa al bloque subsiguiente 71.

Si se satisfacen las dos condiciones que siguen:

$$A \geq \text{INTc};$$

y

$$|A - \text{INTc}| \geq T,$$

entonces el escalón de frecuencia F_s se establece en el valor máximo F_{s_g} ($F_s = F_{s_g}$), y la tolerancia T en el valor máximo T_g ($T = T_g$), la frecuencia F se disminuye por el escalón de frecuencia F_s ($F = F - F_s$) (bloque 75), y el control vuelve al bloque 62.

Después de los incrementos o la disminución de la frecuencia F el escalón de frecuencia F_s desde o hasta el valor mínimo F_{s_f} (salida del bloque 69 o el bloque 70), se prevén las siguientes etapas:

- acumular el valor de frecuencia actual F sumándolo a la frecuencia de interceptación $F1_m$ ($F1_m = F1_m + F$) y disminuyendo en uno el contador de iteraciones de cálculo C ($C = C - 1$) (bloque 71);
- verificar el número residual de iteraciones de cálculo (bloque 72): si dicho número es cero ($C = 0$), entonces el flujo pasa al siguiente bloque 73; si no, el control vuelve al bloque 62; y
- calcular el valor de la frecuencia de interceptación $F1_m$ buscado como el valor medio de los valores acumulados (bloque 73).

La Figura 15 ilustra un ejemplo de determinación del valor de la frecuencia de interceptación $F1_m$. Como puede observarse, la respuesta en frecuencia se adquiere disminuyendo la frecuencia de trabajo F del sensor 13 comenzando desde el valor máximo F_{max} hasta valores de frecuencia que corresponden a valores de amplitud A comprendidos en un intervalo DT centrado alrededor del valor INTc y de extensión igual al doble del valor mínimo T_f de la tolerancia T . En otras palabras, la respuesta en frecuencia adquirida está constituida por un intervalo de valores de amplitud A , que se incrementan a medida que se incrementa la frecuencia F y están distribuidos alrededor del valor INTc .

El procesamiento de los datos de referencia con los parámetros de medición y la temperatura de la capa de material bajo examen para determinar una medición del espesor de la propia capa (bloque 34 de la Figura 3) prevé inicialmente extraer tres valores de primera aproximación del espesor $S1$, $S2$, $S3$ a partir de los datos de espesor S como función de la frecuencia F para las tres temperaturas diferentes $T1$, $T2$ y $T3$ usando la frecuencia de interceptación $F1_m$.

A este respecto, la Figura 10 ilustra un ejemplo de extracción de los valores de primera aproximación del espesor $S1$, $S2$, $S3$ a partir de las curvas que expresan los datos de espesor S como una función de la frecuencia F para las tres temperaturas $T1$, $T2$ y $T3$, obteniéndose dichos datos durante la etapa de calibración del sensor 13.

La medición del espesor buscada, indicada en lo sucesivo por S_m , se obtiene por medio de una interpolación de los tres valores de primera aproximación del espesor $S1$, $S2$, $S3$ usando la temperatura del material T_m . Con mayor detalle, como se ilustra en la Figura 7, la interpolación comprende las etapas de:

- comparar el valor de la temperatura del material T_m con la temperatura $T2$ (bloque 107): si las dos temperaturas son iguales ($T_m = T2$), entonces la medición del espesor S_m es igual a $S2$ (bloque 108); si no, el flujo pasa al siguiente bloque 109;

ES 2 339 596 T3

- comparar el valor de la temperatura del material T_m con la temperatura T_2 (bloque 109): si la temperatura T_2 es inferior a la temperatura T_m ($T_2 < T_m$), entonces la medición del espesor S_m está dada por una primera interpolación (bloque 110),

5
$$S_m = [(S_3 - S_2)/(T_3 - T_2)] * T_m + S_2;$$

si no, la medición del espesor S_m está dada por una interpolación diferente (bloque 111)

10
$$S_m = [(S_2 - S_1)/(T_2 - T_1)] * T_m + S_1.$$

15 Según una realización adicional de la presente invención, los parámetros de medición que han de ser determinados comprenden un segundo valor de la frecuencia de interceptación F_{2_m} y un valor medio de la amplitud mínima A_{min_n} de la respuesta en frecuencia de la capa de material.

20 El segundo valor de la frecuencia de interceptación F_{2_m} se determina de una manera similar a la que se hizo para el primer valor de la frecuencia de interceptación F_{1_m} , es decir, se determina sustancialmente según el organigrama ilustrado en la Figura 6, pero con las siguientes diferencias:

- la etapa indicada por el bloque 60 prevé que la frecuencia de trabajo F del sensor 13 se establezca inicialmente en el valor F_{1_m} obtenido previamente, disminuido un desplazamiento de frecuencia programable $DF1$ de valor suficientemente amplio, por ejemplo, 15 MHz; y
- se invierte la comparación indicada por el bloque 66 entre la amplitud A adquirida y el valor $INTc$ de la línea recta de interceptación; es decir, la condición $A < INTc$ se sustituye por la condición $A > INTc$.

30 Con referencia a la Figura 8, la determinación del valor medio de la amplitud mínima A_{min_n} de la respuesta en frecuencia de la capa de material comprende las etapas de:

- establecer inicialmente el valor de la frecuencia de trabajo F del sensor 13 en un valor F_{inf} igual a $(F_{1_m} + F_{2_m})/2 - DF2$, en el cual el valor $DF2$ es programable y es, por ejemplo, igual a 1,25 MHz, y la amplitud mínima A_{min_m} en un valor inicial cero (bloque 100);
- adquirir un valor de amplitud A de la señal en la salida del sensor 13 (bloque 101);
- acumular el valor de amplitud A adquirido, añadiendo al mismo la amplitud mínima A_{min_n} ($A_{min_n} = A_{min_m} + A$) (bloque 103);
- incrementar la frecuencia F con un escalón de frecuencia F_s de valor dado, y en particular de valor igual a 10 kHz ($F = F + 10 \text{ kHz}$) (bloque 104);
- comparar la frecuencia F con un valor Sup igual a $(F_{1_m} + F_{2_m})/2 + DF2$ (bloque 105): si la frecuencia F es igual a Sup , entonces el flujo pasa al siguiente bloque 106; si no, vuelve al bloque 101; y
- calcular el valor medio de la amplitud mínima A_{min_m} buscado como la media de los valores acumulados previamente (bloque 106).

55 La Figura 16 ilustra un ejemplo de determinación del valor de la frecuencia de interceptación F_{2_m} y de la amplitud mínima A_{min_n} . Como puede observarse, el desplazamiento de frecuencia $DF1$ ha de escogerse para acelerar la búsqueda del segundo valor de la frecuencia de interceptación F_{2_m} , que está situado sustancialmente en una posición simétrica respecto al primer valor de la frecuencia de interceptación F_{1_m} con respecto a la frecuencia de manera que se obtiene el valor mínimo A_{min_m} , es decir, en un tramo de la respuesta en frecuencia definido por un intervalo de valores de amplitud A , el cual disminuye a medida que se incrementa la frecuencia F y está distribuido alrededor del valor $INTc$.

60 Según dicha realización adicional de la presente invención, el procesamiento de una parte de los datos de referencia con los parámetros de medición (bloque 34 de la Figura 3) prevé procesar los valores de la frecuencia de interceptación F_{1_m} y F_{2_m} y el valor de la amplitud mínima A_{min_m} por medio de una red neural artificial implementada por un programa de control adicional que puede cargarse en el microcontrolador de la unidad de procesamiento 21 con el propósito de incrementar la precisión de la medición del espesor S_m .

Referencias citadas en la descripción

Esta lista de referencias citadas por el solicitante es sólo por conveniencia del lector. No forma parte del documento de patente europea. Aún cuando se ha tenido mucho cuidado al compilar las referencias, no pueden excluirse errores u omisiones y la Oficina Europea de Patentes declina toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción

- US 20040194257 A [0007]
- FI 2006A0000019 [0013]

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para medir el espesor de una capa de un primer material, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - adquirir al menos una respuesta en frecuencia de la capa de primer material por medio de un sensor de microondas (13);
 - ajustar (30) el sensor de microondas (13) sobre una pluralidad de muestras de segundos materiales para diferentes valores de temperatura (Tamb, T1, T2, T3) de tal modo que se obtengan unos datos de referencia (CD, X, Y, S);
 - calibrar (31) el sensor de microondas (13) como una función de la conductividad eléctrica del primer material utilizando los datos de referencia (CD, X, Y, S);
 - medir (32) la temperatura (Tm) de la capa de primer material por medio de un sensor de temperatura (14);
 - determinar (33) unos parámetros de medición (F1_m, F2_m, Amin_m) de la capa de primer material a partir de la respuesta en frecuencia; y
 - procesar (34) los datos de referencia (CD, X, Y, S) con los parámetros de medición (F1_m, F2_m, Amin_m) y la temperatura de medición (Tm) para obtener una medición (Sm) del espesor de la capa de primer material;estando el procedimiento **caracterizado** porque la etapa de calibrar (31) el sensor de microondas (13) comprende la etapa de determinar (58) un parámetro de calibración (INTc) como una función de la conductividad eléctrica del primer material y de los primeros (CD, X, Y) de dichos datos de referencia.
2. El procedimiento según la Reivindicación 1, en el que dichos parámetros de medición (F1_m, F2_m, Amin_n) de la capa de primer material se determinan controlando (66-68) la adquisición de dicha respuesta frecuencial como una función de dicho parámetro de calibración (INTc).
3. El procedimiento según la Reivindicación 1 o la Reivindicación 2, en el que dichos primeros datos de referencia (CD, X, Y) comprenden datos de conductividad eléctrica (CD) de dichas muestras de segundos materiales como una función de una amplitud mínima (Amin) de la respuesta en frecuencia de las propias muestras; obteniéndose los datos de conductividad eléctrica (CD) a una temperatura ambiente constante de valor dado (Tamb) y para uno y el mismo valor de espesor de las muestras.
4. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 1 a 3, en el que dicha etapa de calibrar (31) el sensor de microondas (13) comprende las etapas de:
 - adquirir (50, 51, 52, 53) una respuesta en frecuencia de una muestra de dicho primer material por medio del sensor de microondas (13);
 - determinar (54, 55) un valor de la amplitud mínima (Amin_c) de dicha respuesta en frecuencia; y
 - determinar (57) una medición de la conductividad eléctrica del primer material (CDc) como una función de dicho valor de la amplitud mínima (Amin_c) utilizando dichos datos de conductividad eléctrica (CD).
5. El procedimiento según la Reivindicación 4, en el que calibrar (31) el sensor de microondas (13) comprende la etapa de compensar (56) dicho valor de la amplitud mínima (Amin_c) como una función de la diferencia entre dicha temperatura ambiente (Tamb) y un valor de la temperatura de medición (Tmc) puede ser establecido por un operador.
6. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 3 a 5, en el que dichos primeros datos de referencia (CD, X, Y) comprenden coeficientes (X, Y) que definen una función lineal diseñada para suministrar dicho parámetro de calibración (INTc) como una función de la medición de la conductividad eléctrica del primer material (CDc).
7. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes,
en el que dicha etapa de procesar (34) los datos de referencia (CD, X, Y, S) prevé procesar los segundos (S) de dichos datos de referencia.
8. El procedimiento según la Reivindicación 7, en el que dichos segundos datos de referencia comprenden datos de espesor (S) de dichas muestras de segundos materiales que tienen una y la misma conductividad eléctrica, para una pluralidad de valores de temperatura dados (T1, T2, T3).

9. El procedimiento según la Reivindicación 8, en el que dichos datos de espesor (S) se obtienen a medida que varía la frecuencia de trabajo (F) del sensor de microondas (13) para cada uno de dicha pluralidad de valores de temperatura (T1, T2, T3).

10. El procedimiento según la Reivindicación 8 o la Reivindicación 9, en el que dichos parámetros de medición (F1_m, F2_m, Amin_m) comprenden una primera frecuencia de interceptación (F1_m) determinada procesando (73) un primer intervalo de valores de la frecuencia de trabajo (F) del sensor de microondas (13) que corresponden a un primer intervalo de valores de amplitud (A) de dicha respuesta en frecuencia de la capa de primer material, en el que dicho intervalo tiene una extensión dada del valor (DT) y está centrado alrededor de un valor de amplitud igual a dicho parámetro de calibración (INTc).

11. El procedimiento según la Reivindicación 10, en el que el procesamiento de dichos datos de espesor (S) comprende las etapas de:

- extraer una pluralidad de valores de primera aproximación del espesor (S1, S2, S3) a partir de los datos de espesor (S) que corresponden a dicha pluralidad de valores de temperatura (T1, T2, T3) usando dicha primera frecuencia de interceptación (F1_m); e
- interpolar (107, 108, 109) los valores de primera aproximación del espesor (S1, S2, S3) utilizando dicha temperatura (Tm) medida.

12. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 3 a 11, en el que dichos datos de conductividad eléctrica (CD) se determinan adquiriendo (42), por medio del sensor de microondas (13) y a dicha temperatura ambiente (Tamb), una primera pluralidad de curvas de respuesta en frecuencia de una primera pluralidad respectiva de muestras de dichos segundos materiales que tienen valores respectivos de conductividad eléctrica; y asociando (43), a cada uno de los valores de conductividad eléctrica, un valor de la amplitud mínima (Amin) de la curva de respuesta en frecuencia de la muestra que tiene dicho valor de conductividad eléctrica.

13. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 6 a 12, en el que dichos coeficientes (X, Y) se determinan: adquiriendo (44), por medio del sensor de microondas (13) y a temperatura constante, una segunda pluralidad de curvas de respuesta en frecuencia de una segunda pluralidad respectiva de muestras de dichos segundos materiales, que tienen cada uno una conductividad eléctrica respectiva escogida de entre una pluralidad de valores de conductividad eléctrica (CD1, CD2, CD3) y un espesor escogido de entre una pluralidad de valores de espesor de referencia (SR, SR', SR''); determinando (45, 46, 47) una pluralidad de valores medios de la amplitud (INT1, INT2m, INT3m) que asumen las curvas de respuesta a medida que varían los valores de conductividad eléctrica (CD1, CD2, CD3) de tal modo que para cada valor de espesor de referencia (SR, SR', SR'') las curvas detectarán un valor de frecuencia dado respectivo (F1, F1', F1''); y realizando (48) una regresión lineal en los puntos identificados por los valores de conductividad eléctrica (CD1, CD2, CD3) y por los valores medios correspondientes de la amplitud (INT1, INT2m, INT3m).

14. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 9 a 13, en el que dichos datos de espesor (S) se determinan: adquiriendo (40), para cada valor de dicha pluralidad de valores de temperatura (T1, T2, T3), una tercera pluralidad de curvas de respuesta en frecuencia de una pluralidad respectiva de muestras que tienen valores respectivos de espesor (S); y asociando (41), a cada valor de espesor (S), un valor respectivo de dicha frecuencia de trabajo (F) identificado por la curva de respuesta en frecuencia correspondiente para uno y el mismo valor de amplitud (INT1) determinado.

15. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende la etapa de almacenar dichos datos de referencia (CD, X, Y, S).

16. El procedimiento según una cualquiera de las Reivindicaciones 10 a 15, en el que dichos parámetros de medición (F1_m, F2_m, Amin_n) comprenden: una segunda frecuencia de interceptación (F2_m) determinada procesando (73) un segundo intervalo de valores de la frecuencia de trabajo (F) por separado de dicho primer intervalo de valores de la frecuencia de trabajo (F) y que corresponden a dicho primer intervalo de valores de amplitud (A); y un valor de amplitud mínima (Amin_n) de la misma respuesta en frecuencia, obteniéndose dicho valor de amplitud mínima (Amin_n) procesando (73) un segundo intervalo de valores de amplitud (A) que corresponden a un tercer intervalo de valores de la frecuencia de trabajo (F) comprendido entre la primera (F1_m) y la segunda (F2_m) frecuencias de interceptación.

17. El procedimiento según la Reivindicación 16, en el que dicha etapa de procesar (34) los datos de referencia (S, CD, X, Y) con los parámetros de medición (F1_m, F2_m, Amin_m) prevé procesar dichas primera y segunda frecuencias de interceptación (F1_m, F2_m) junto con dicho valor de amplitud mínima (Amin_n) de la capa de primer material por medio de una red neural artificial de tal modo que se incremente la precisión sobre dicha medición de espesor (Sm).

18. Un dispositivo para medir el espesor de una capa de un primer material; comprendiendo el dispositivo (1) medios de control (2), y medios de lectura (3) conectados a los medios de control (2) y diseñados para ser puestos en contacto con la capa del primer material; comprendiendo los medios de control (2) una unidad de almacenamiento

ES 2 339 596 T3

(18), una unidad de interfaz (20) para comunicación con los medios de lectura (3), y una unidad de procesamiento (21) conectada para comunicación con la unidad de almacenamiento (18) y la unidad de interfaz (20); comprendiendo los medios de lectura (3) un sensor de microondas (13) y un sensor de temperatura (14); siendo cargada la unidad de procesamiento (21) con un programa de control diseñado para implementar, cuando se ejecuta, el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

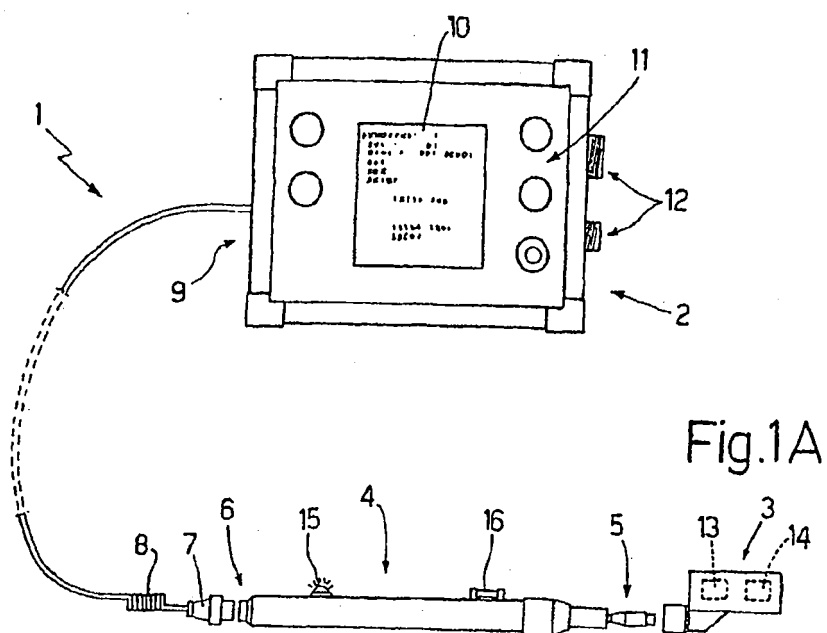


Fig.1A

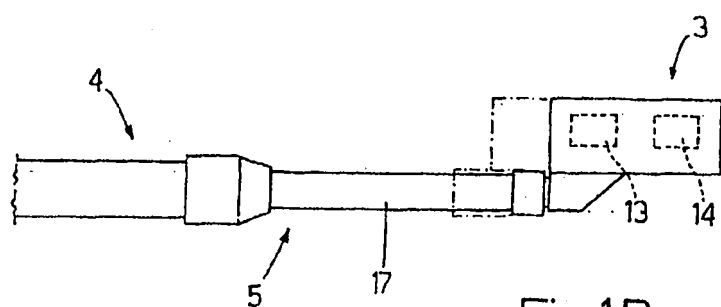


Fig.1B

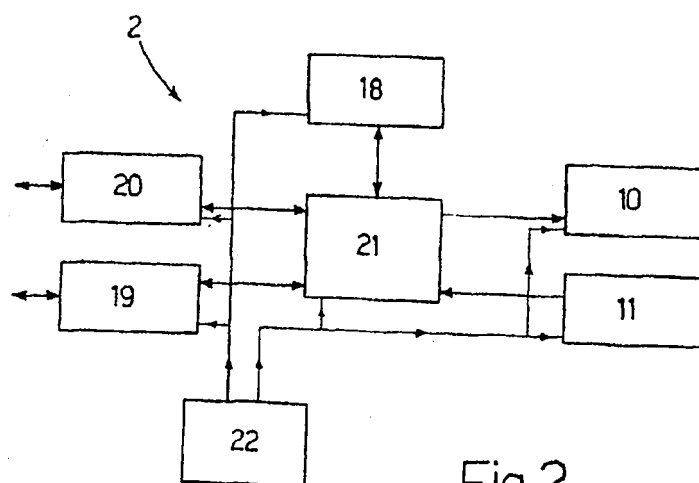


Fig.2

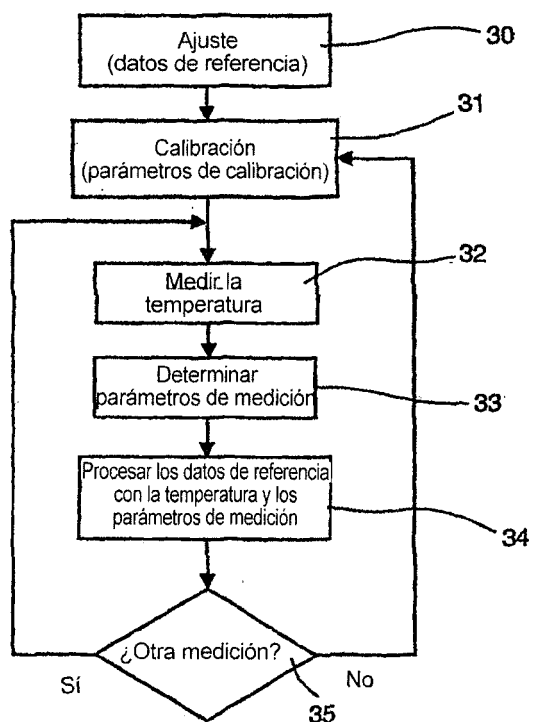


Fig. 3

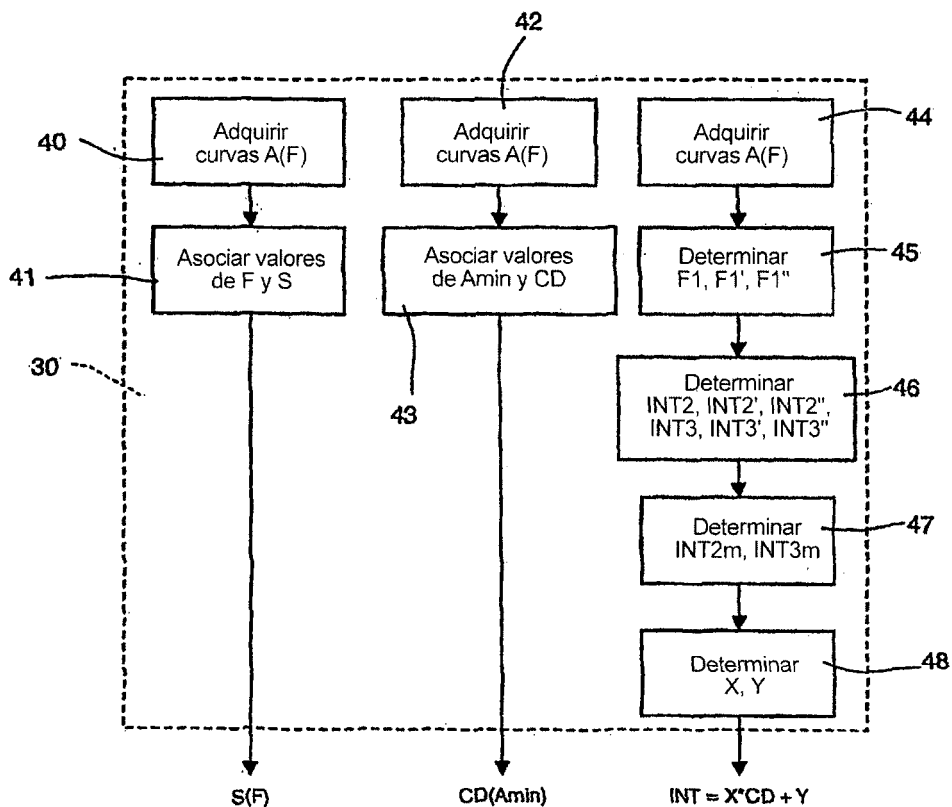


Fig.4

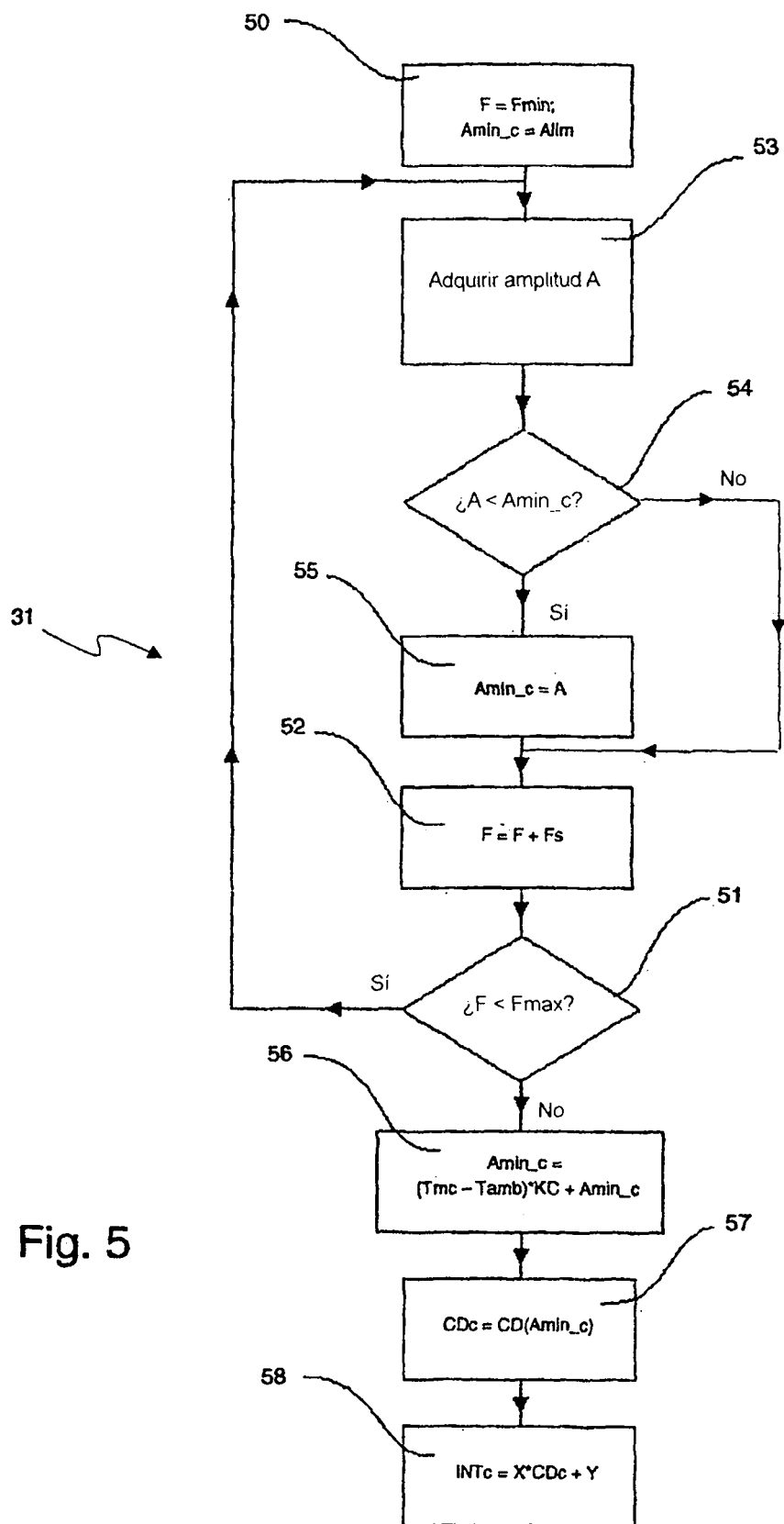


Fig. 5

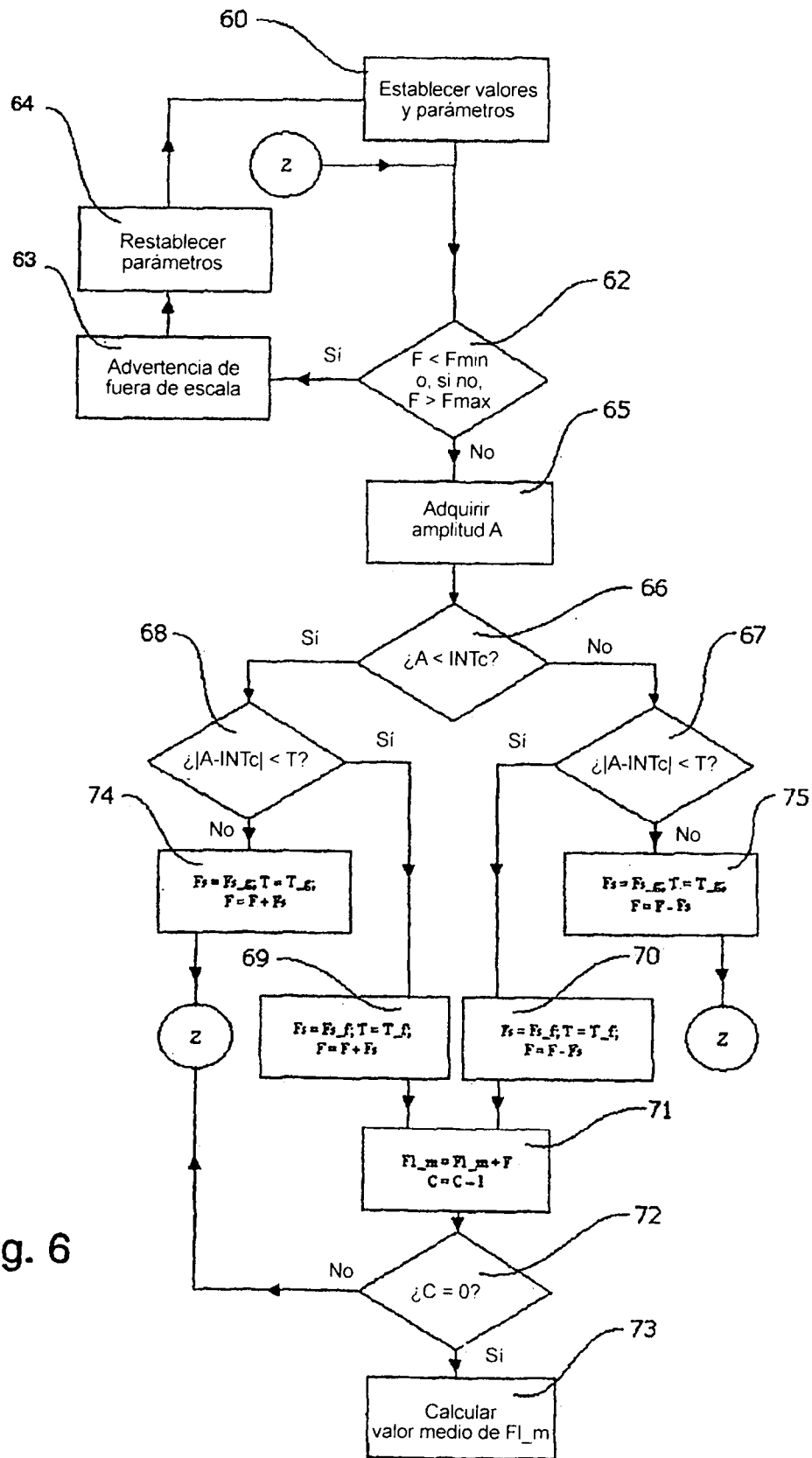


Fig. 6

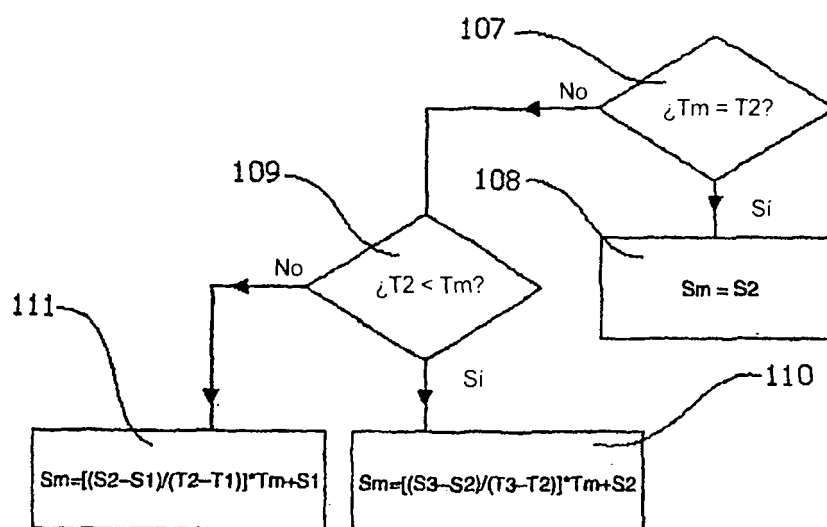
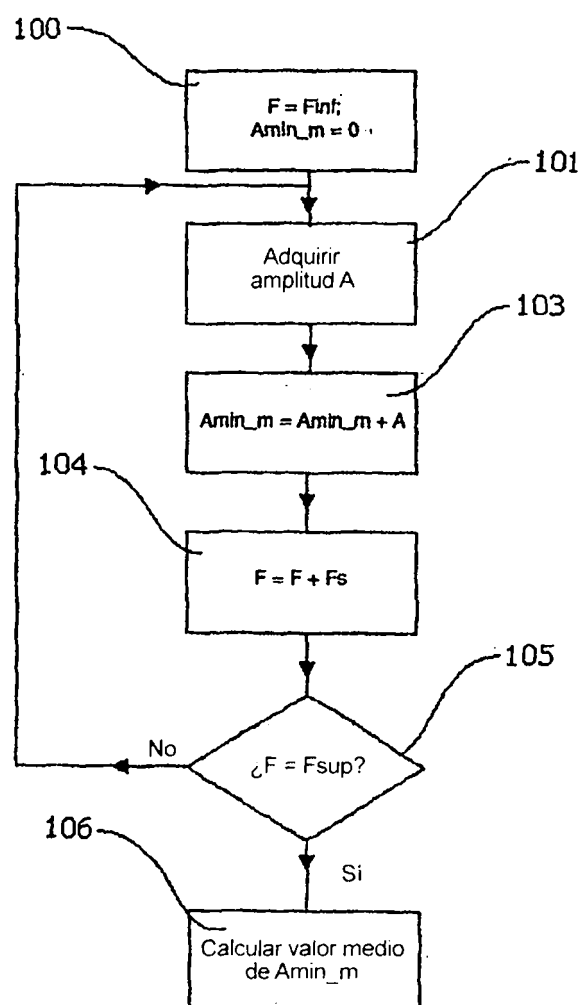


Fig. 7

Fig. 8



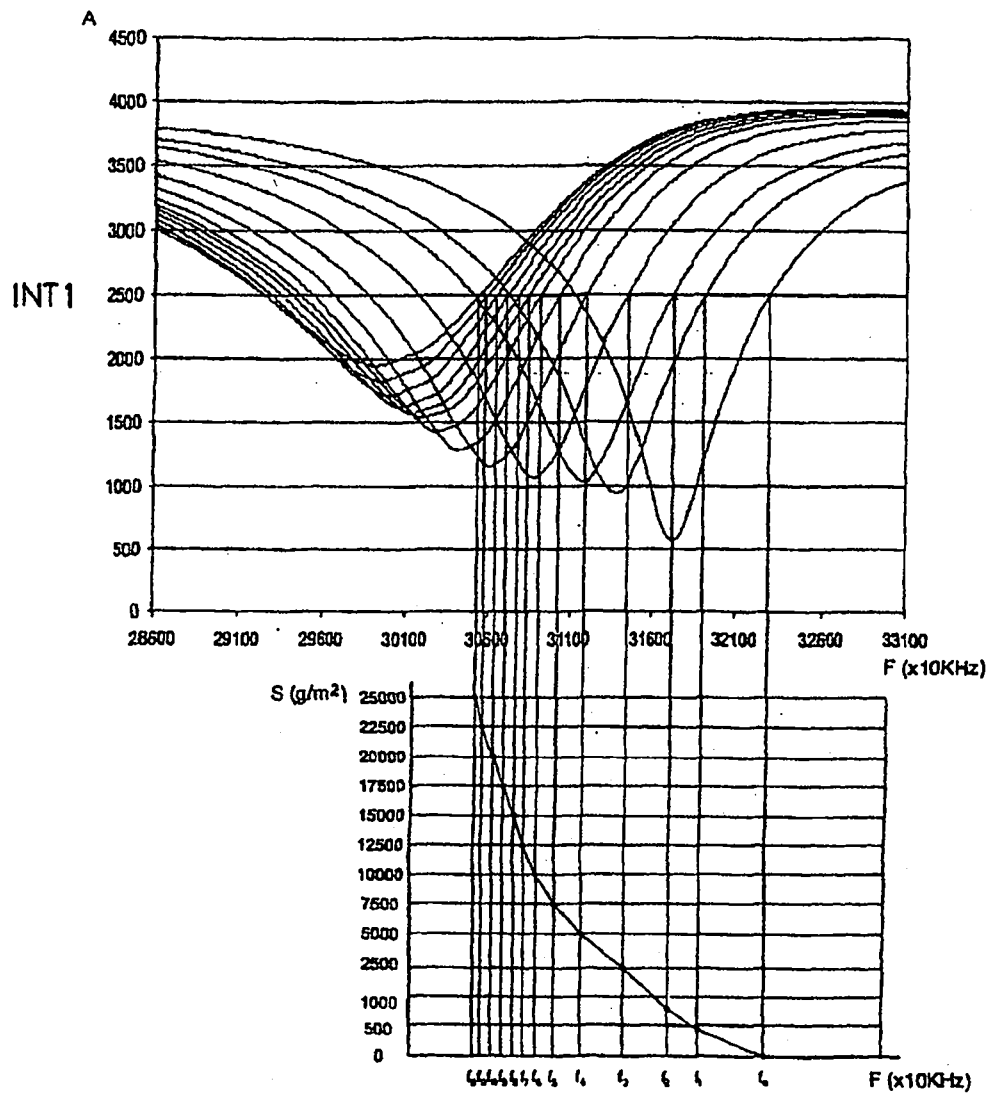


Fig.9

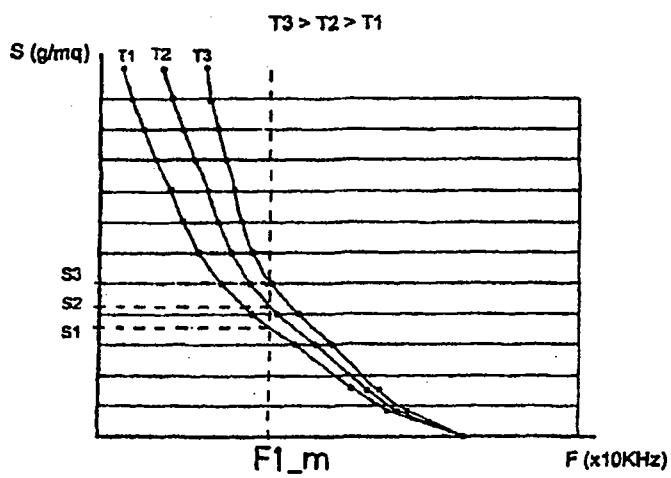
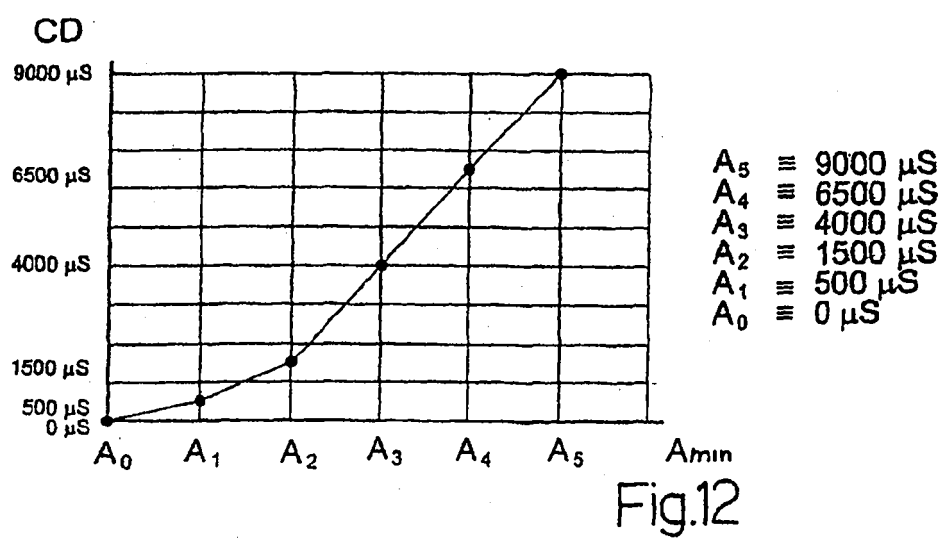
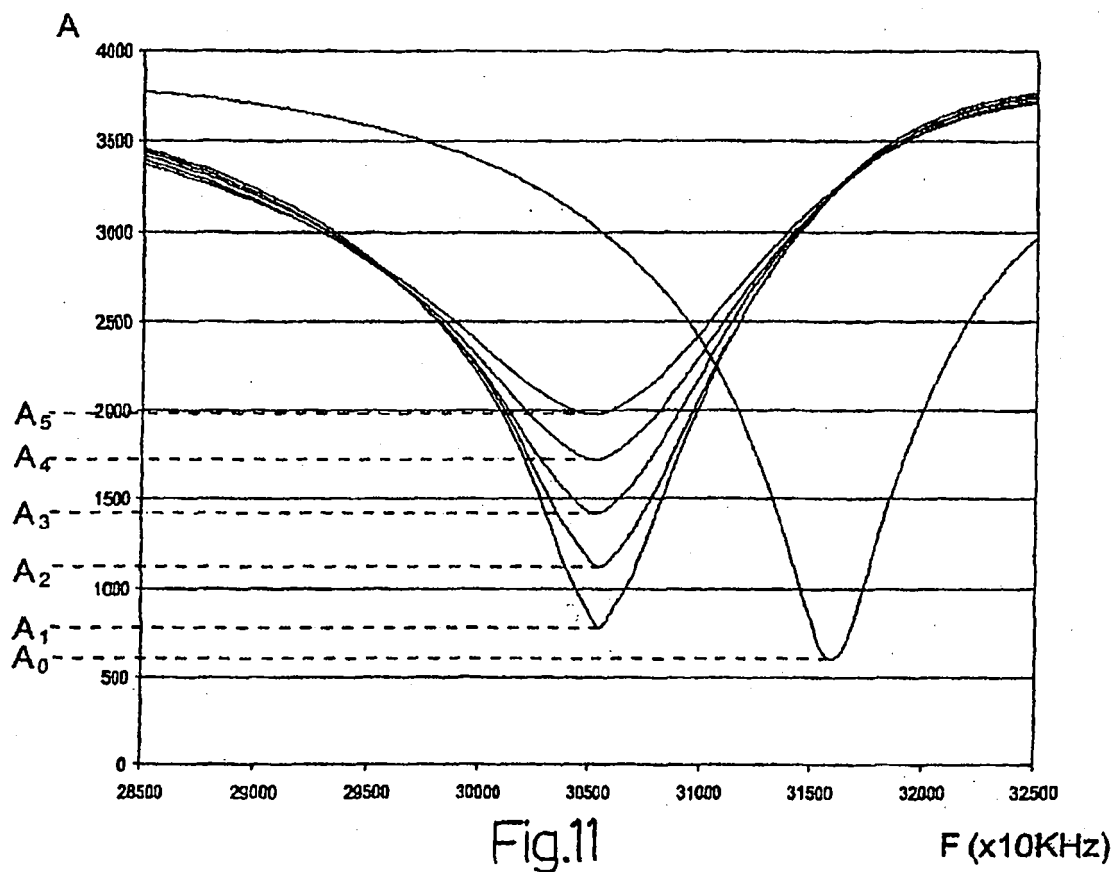
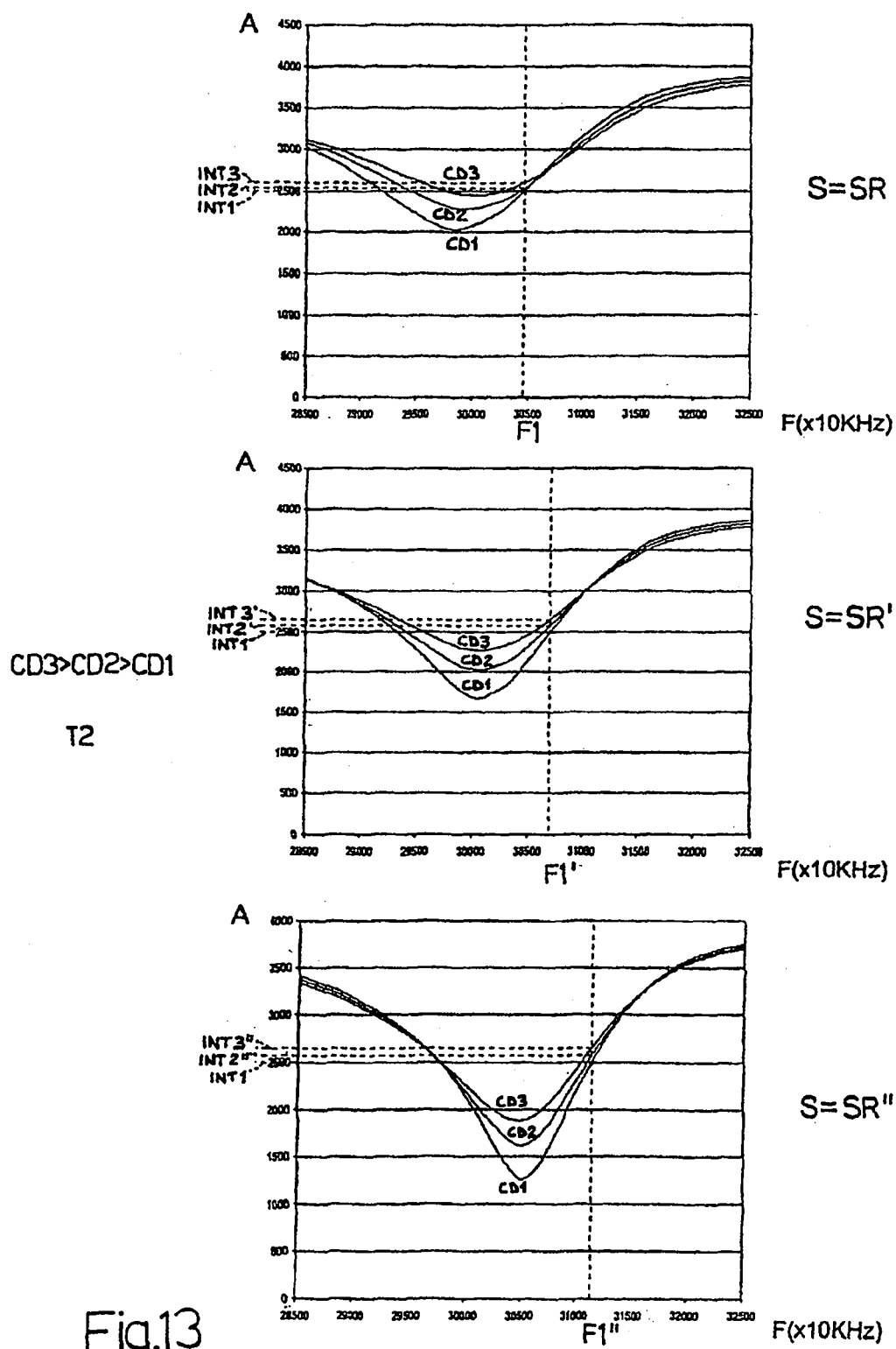
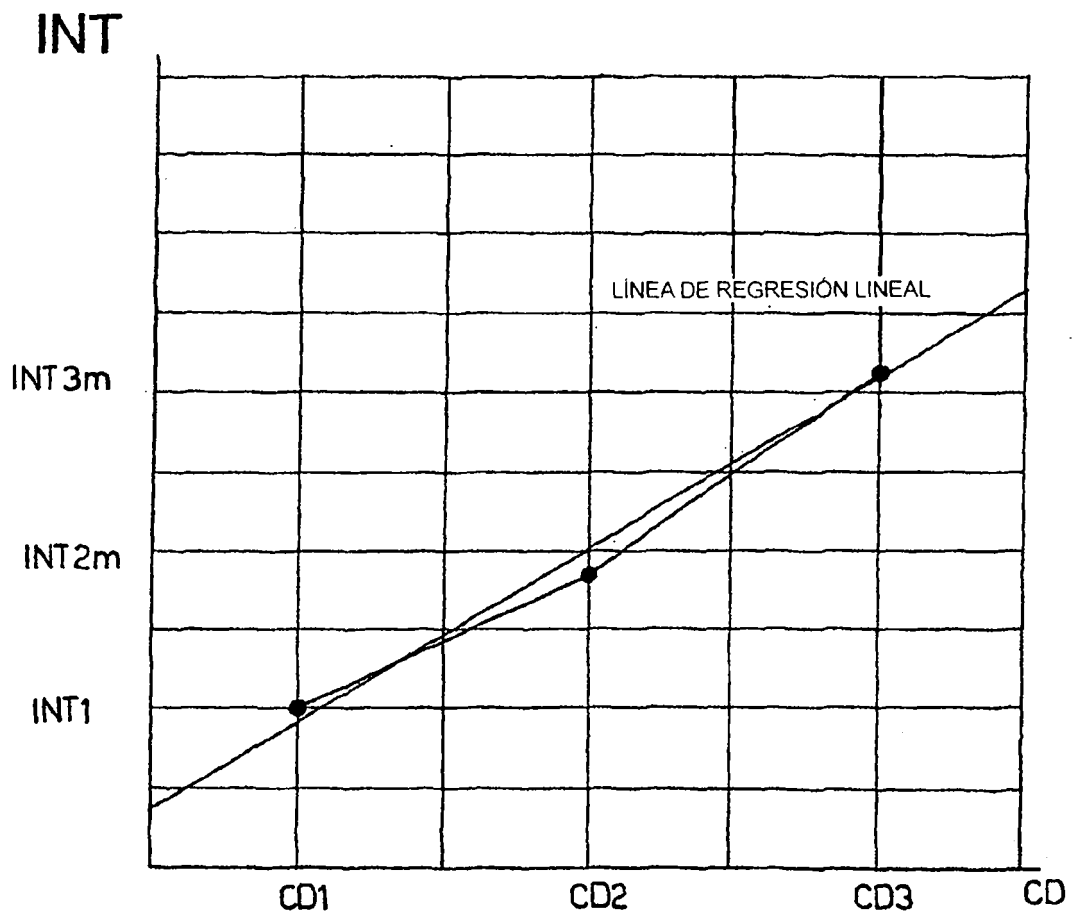


Fig.10







$$INT_c = X * CD + Y$$

Fig.14.

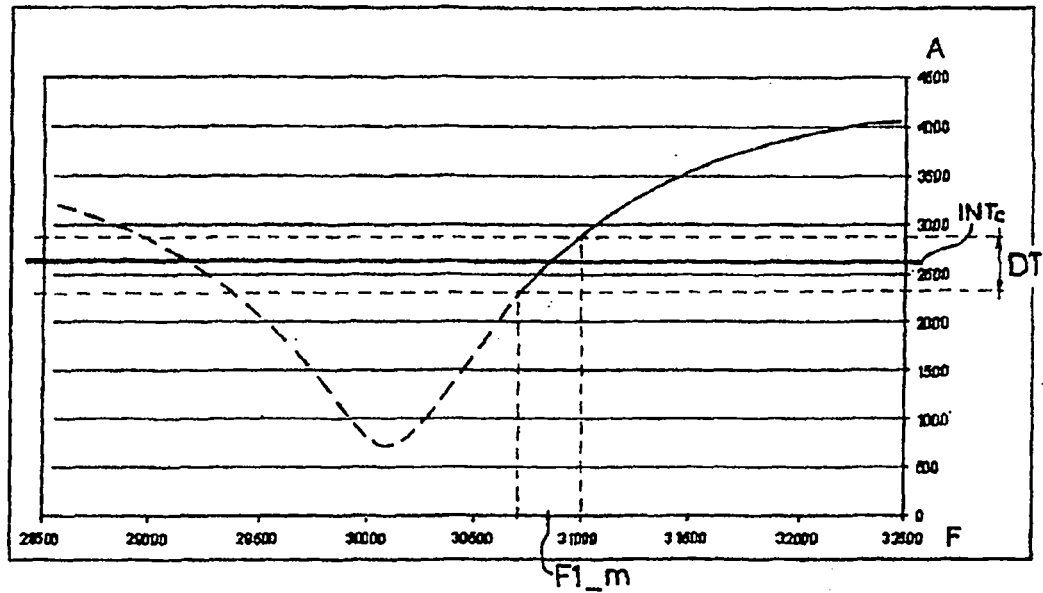


Fig.15

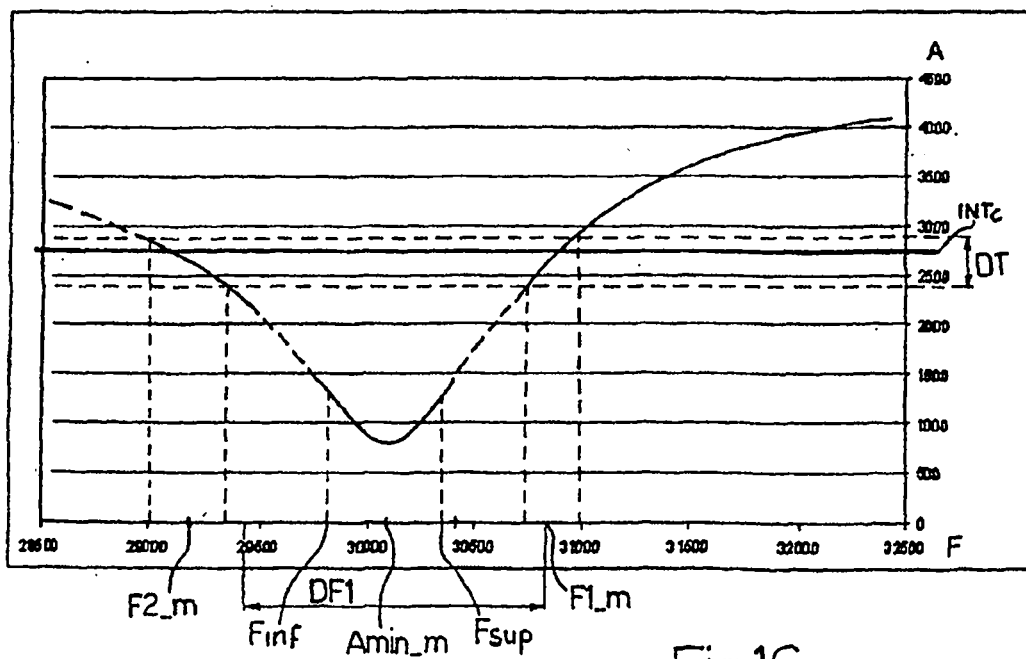


Fig.16