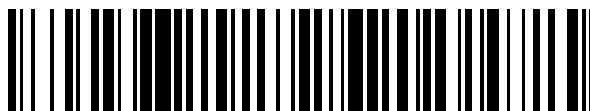


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 441 272**

51 Int. Cl.:

G01N 33/24 (2006.01)

G01N 22/04 (2006.01)

A01G 25/16 (2006.01)

G01N 33/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2008 E 08857948 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2013 EP 2215459**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la determinación de biomasa por medio de un resonador de microondas**

30 Prioridad:

05.12.2007 DE 102007058836

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

03.02.2014

73 Titular/es:

**FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH (100.0%)
52425 Jülich, DE**

72 Inventor/es:

**BLÜMLER, PETER;
MENZEL, MARION IRENE;
KRAUSE, HANS-JOACHIM y
GILMER, FRANK**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 441 272 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para la determinación de biomasa por medio de un resonador de microondas.

La invención concierne a un procedimiento para la determinación de biomasa por medio de mediciones dieléctricas en el resonador de microondas y a un dispositivo adecuado para ello.

- 5 Tradicionalmente, la determinación de la biomasa se efectúa a través de la determinación gravimétrica de la masa seca por unidad de volumen.

Los procedimientos conocidos hasta ahora adolecen del inconveniente de que, por un lado, solo van acompañados de una toma o destrucción completas de la muestra/biomasa investigada (procedimiento invasivo). Además, es desventajoso el hecho de que, debido al secado necesario, la determinación consume relativamente mucho tiempo.

- 10 La publicación "Microwave resonator for sensing moisture content and mass of single wheat kernels" de Kraszewski W. et al. en la revista Canadian Agricultural Engineering, vol. 36, No. 4, 1 de octubre de 1994, páginas 231-238, revela un procedimiento para la determinación de biomasa, en el que se introduce la biomasa polarizada en el espacio interior de un resonador de microondas, se miden las propiedades de resonancia modificadas y se calcula la biomasa con ayuda de datos calibrados.

- 15 Por tanto, el cometido de la invención consiste en crear un procedimiento rápido y no invasivo para la determinación de biomasa. Asimismo, el cometido de la invención consiste en proporcionar un dispositivo con el que pueda conseguirse una determinación rápida y no invasiva de biomasa.

- 20 Partiendo del preámbulo de la reivindicación 1, el problema se resuelve según la invención con las características indicadas en la parte caracterizadora de la reivindicación 1. Asimismo, el problema se resuelve según la invención partiendo del preámbulo de la reivindicación 6 con las características indicadas en la parte caracterizadora de la reivindicación 6.

- 25 Se ha visto que con el procedimiento según la invención resulta posible una rápida vigilancia no invasiva (cribaje) del crecimiento de biomasa. Asimismo, se detecta una distribución de la biomasa en el perfil de la altura. A este fin, se introduce la biomasa para su medición en el espacio del resonador o bien se conduce el resonador a lo largo del eje de la planta. En el dispositivo según la invención el resonador para esta aplicación está configurado de manera desplegable a lo largo del eje longitudinal a fin de posibilitar una sencilla medición de la biomasa.

Con el procedimiento según la invención resulta también posible, por ejemplo, seguir directamente varias veces el crecimiento de la biomasa en plantas idénticas durante un prolongado periodo de tiempo.

- 30 El resonador puede presentar una sección transversal circular o bien una sección transversal poligonal. El procedimiento de la invención según la reivindicación 1 concierne a un procedimiento para la determinación de biomasa por medio de mediciones dieléctricas en el resonador de microondas, en el que se introduce la biomasa polarizada en el espacio interior de un resonador de microondas.

Por el término biomasa deberá entenderse en el marco de la presente solicitud un material orgánico, tal como, por ejemplo, un material vegetal.

- 35 Para la medición se introduce, por ejemplo, la parte aérea de la planta en un resonador o se la envuelve con éste. La zona del espacio de la raíz con el sustrato de la planta deberá apantallarse en este caso con respecto al resonador. Como apantallamiento es adecuado cualquier material eléctricamente conductivo. Éste puede estar configurado como un material macizo o bien, por ejemplo, como una malla. En la configuración del apantallamiento en forma de malla el ancho de malla debe ascender, por ejemplo, a aproximadamente 1/20 de la longitud de onda
40 (aproximadamente 10 mm a 1 GHz con una longitud de onda de 200 mm).

- 45 El procedimiento de medida se basa en la modificación de las propiedades eléctricas del espacio interior del resonador por la introducción de material polarizable, tal como, por ejemplo, agua (polarización de las moléculas de agua en un campo electromagnético aplicado desde fuera). El agua produce un desplazamiento de frecuencia y una variación de la calidad (= atenuación con el ancho de pico de un mínimo de transmisión de -3 dB) en un resonador de microondas. Debido a las fuerzas de enlace internas al agua se obtiene al aumentar la frecuencia de excitación en el dominio de MHz, a consecuencia de la inercia en la polarización entre las moléculas y el campo exterior, un desplazamiento de fase que provoca pérdidas dieléctricas cada vez mayores. Particularmente en sustancias orgánicas y tejidos biológicos resultan importantes las pérdidas dieléctricas. Por medio de este procedimiento de medida dieléctrico se pueden detectar ya pequeñas cantidades de agua en el dominio de los microlitros tanto en
50 material orgánico como en material inorgánico. Dado que las plantas consisten en su mayor parte en agua (80-90% de proporción en peso), este procedimiento es especialmente adecuado para biomasa no invasivas (= determinación de agua) en plantas.

Con ayuda de un calibrado mediante el desplazamiento de la frecuencia de resonancia y/o la modificación de la

calidad de las propiedades de resonancia en una muestra de biomasa pesada se puede determinar la cantidad absoluta de agua. Una vez conocida ésta, se pueden calcular la masa seca, el contenido relativo de agua y la proporción relativa de masa seca en la forma siguiente:

- 5 Masa seca (g) = pesada (g) – agua (g)
 Contenido relativo de agua (%) = agua (g) / pesada (g)*100
 Proporción relativa de masa seca (%) = [masa seca (g)] / pesada (g)]*100

La calibración es específica para cada clase de planta. Por medio de un banco de datos se pueden almacenar los valores calibrados y recuperarlos después según sea necesario, sin que sea precisa una nueva calibración.

- 10 Se puede medir en modos diferentes del resonador. El dominio de frecuencia de los modos depende del respectivo resonador. Así, el dominio de los modos inferiores, por ejemplo para el resonador empleado en el ejemplo de realización, está en el intervalo de 750 a 900 MHz para el primer modo y de 1150 a 1350 MHz para el segundo modo. La duración de la medida por cada medición de una muestra puede estar entonces en el dominio de los segundos.

- 15 Aparte de la determinación del contenido de agua, es también posible, además, investigar otros parámetros, como, por ejemplo, el contenido de sal de la biomasa.

- 20 Así, se tiene que, por ejemplo, los modos bajos de 1 a 2 son especialmente adecuados para la medición del contenido de agua. Los modos superiores a 2 pueden ser especialmente adecuados para la medición del contenido de sal. La proporción real de la señal de medida describe el desplazamiento de la frecuencia de resonancia y lo correlaciona con el contenido de agua. La proporción imaginaria describe el desplazamiento de fase de la frecuencia de resonancia y lo correlaciona con el contenido de sal. Cada modo se caracteriza por una distribución de sensibilidad espacial característica que se puede derivar de la imagen específica de las líneas de campo del modo. Mediante la combinación de la información obtenida a partir de la medición de varios modos se pueden reducir, por un lado, las variaciones en las señales de medida debido a diferentes distribuciones de biomasa y en principio, por otro lado, se pueden sacar también conclusiones sobre esta distribución de la biomasa.

- 25 Una electrónica de evaluación, por ejemplo un analizador de red, obtiene las propiedades de resonancia y transmite éstas a una unidad electrónica de proceso de datos mediante la cual se puede realizar entonces un cotejo con los datos ya calibrados de un banco de datos.

- 30 En una realización ventajosa de la invención se adapta la geometría del resonador a la forma de crecimiento vegetal que se debe investigar. El dimensionamiento del resonador se efectúa según sea necesario atendiendo al producto/material vegetal que se debe investigar. Su frecuencia de resonancia, con constantes dadas de dielectricidad y permeabilidad (dependientes del objeto de medición), es inversamente proporcional al diámetro interior.

La invención concierne también a un dispositivo que es adecuado para el procedimiento anteriormente descrito.

En las reivindicaciones subordinadas se indican perfeccionamientos ventajosos.

- 35 En lo que sigue se indicarán con más detalle algunos ejemplos de realización que no pertenecen al objeto de la invención y que explican el principio de medida con más detalle.

Las figuras muestran:

La figura 1, la geometría de un resonador,

La figura 1a, una representación gráfica de los ejes en el resonador y

- 40 La figura 2, la evolución de la frecuencia de resonancia del primer modo en el resonador.

En las figuras 3 a 13 los ejes horizontales, que forman el plano horizontal de la figura, indican las respectivas posiciones investigadas de los ejes X/Y y los ejes X/Z en el resonador (véase la figura 1a) en (mm), correspondiendo la posición 0 (mm) al centro del resonador. El eje mostrado perpendicular al plano reproduce los valores de la frecuencia de resonancia medida [f] en (Hz).

- 45 La figura 3 muestra la evolución vertical (a lo largo del eje Z) de la frecuencia de resonancia en el primer modo. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Z.

La figura 4 muestra la evolución horizontal (a lo largo del plano X/Y) de la frecuencia de resonancia en el primer modo a una altura del eje Z en el resonador de 50 mm (0 mm = centro del resonador). El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Y.

- 50 La figura 5 muestra la evolución horizontal (a lo largo del plano X/Y del resonador) de la frecuencia de resonancia a

una altura del eje Z en el resonador de -70 mm en el primer modo. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Y.

La figura 6 muestra la evolución vertical (a lo largo del eje Z) de la frecuencia de resonancia en el segundo modo. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Z.

- 5 La figura 7 muestra la evolución horizontal (a lo largo del plano X/Y) de la frecuencia de resonancia en el segundo modo a la altura del eje Z de 93 mm. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Y.

La figura 8 muestra la evolución vertical (a lo largo del eje Z) de la frecuencia de resonancia en el tercer modo. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Z.

- 10 La figura 9 muestra la evolución horizontal (a lo largo del plano X/Y) de la frecuencia de resonancia en el tercer modo a la altura del eje Z de 87 mm. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Y.

La figura 10 muestra la evolución vertical (a lo largo del eje Z) de la frecuencia de resonancia en el cuarto modo. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Y.

- 15 La figura 11 muestra la evolución horizontal (a lo largo del plano X/Y) de la frecuencia de resonancia en el cuarto modo a la altura del eje Z de 80 mm. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Y.

- 20 La figura 12 muestra la evolución horizontal (a lo largo del plano X/Y) de la frecuencia de resonancia en el cuarto modo a la altura del eje Z de -4 mm. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Y.

La figura 13 muestra la evolución horizontal (a lo largo del plano X/Y) de la frecuencia de resonancia en el cuarto modo a la altura del eje Z de -70 mm. El plano horizontal de la figura corresponde a las posiciones investigadas en los ejes X/Y.

- 25 La figura 14 muestra frecuencias de resonancia para diferentes pesos húmedos [Fg] en función de la posición de medida. La ordenada X indica el peso húmedo [Fg] en (g). La abscisa Y indica la frecuencia de resonancia [f] en (MHz).

La figura 15 muestra frecuencias de resonancia para diferentes pesos secos [Tg] en función de la posición de medida en el resonador. La ordenada X indica el peso seco [Tg] en (g) y la abscisa Y indica la frecuencia de resonancia [f] en (MHz).

- 30 La figura 16 muestra frecuencias de resonancia en función del contenido porcentual de agua después de la adición controlada de agua a la biomasa secada con una masa seca de partida definida [TG] de 10 g, 20 g, 30 g, 40 g. La ordenada X indica el contenido porcentual de agua H₂O en (%) y la abscisa Y indica la frecuencia de resonancia [f] en (MHz).

- 35 La figura 17 muestra frecuencias de resonancia en función del contenido porcentual de agua después de la adición controlada de agua a la biomasa secada. La ordenada X indica el contenido de agua en % y la abscisa Y indica la frecuencia de resonancia [f] en (MHz). Como medición de control (K10g – K40g) se compararon los valores de biomasa del procedimiento según la invención con los valores (TG10g – TG40g) obtenidos por procedimientos conocidos según el estado de la técnica.

- 40 La figura 1 muestra a título de ejemplo la geometría de un resonador con 1 = manguitos de cierre, 2 = espacio del resonador, 3 = bucles de acoplamiento y 4 = línea de alimentación para la conexión al circuito oscilante de análisis. Las dimensiones posibles están relacionadas en la tabla I siguiente. Los bucles de acoplamiento y desacoplamiento se orientan para un campo H circularmente rotativo de manera que se excite preferiblemente el modo más bajo, es decir, el modo TM₀₁₀ transversal-eléctrico. La frecuencia de resonancia del modo se calcula según la teoría de los resonadores de cavidad en la aproximación de un cilindro completamente cerrado del diámetro D₁ y la longitud L₁ según
- 45

$$f_{010}^E(D_1) = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \cdot \frac{x_{01}}{\pi D_1}$$

En esta fórmula $x_{01} = 2,4048$ designa el primer punto nulo de la función de Bessel $J_0(x)$. La velocidad de la luz en el vacío es $c = 2,9979 \times 10^8$ m/s. ϵ_r y μ_r describen la susceptibilidad dieléctrica y la permeabilidad magnética del medio en el resonador.

Tabla I: Dimensiones posibles de resonadores

Versión	D_1 (mm)	D_2 (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	$f_{res}(teo)$ (MHz)	$f_{res}(exp)$ (MHz)
1	190	190	275	125	-	898,4
2	300	180	210	126	765,0	812,8
3	250	150	175	100	917,9	976,9
4	180	130	90	65	1274,9	1428,6

$f_{res}(teo)$ = frecuencia de resonancia teórica
 $f_{res}(exp)$ = frecuencia de resonancia experimental
 La versión 1 se utilizó para determinaciones de biomasa para su ensilado (véase más abajo II.1).

5 La figura 2 muestra a título de ejemplo la evolución de la frecuencia de resonancia del primer modo en el resonador con las propiedades de resonancia características tales como atenuación, calidad y posición. La abscisa X muestra la frecuencia de resonancia [f] en (MHz). La ordenada Y muestra la transmisión [T] en (dB). La bondad/calidad es el resultado del cociente de la frecuencia de resonancia [f_0] por el ancho de banda Δf a T_{min} de -3 dB.

Ejemplos de realización:

I. Mediciones de calibración para determinar la geometría de campo de un resonador

10 La estructura de los ensayos consistió en la combinación de una mesa desplazable XYZ, un resonador de cavidad de microondas de la versión 1 de la tabla I (véase también la figura 1) y un analizador de red (Rhode & Schwartz).

Para controlar la mesa desplazable y el analizador de red se materializaron programas de aplicación en Lab-VIEW (National Instruments).

Se programó el analizador de red de tal manera que se indicaran y aseguraran en el dominio de frecuencia indicado la curva de transmisión completa, incluyendo la parte real y la parte imaginaria.

15 Los datos medidos y almacenados se evaluaron (se calcularon y se representaron gráficamente) con rutinas MatLab autoprogramadas.

I. 1. Material y métodos

20 Como probeta se empleó un dado hueco de plexiglás (longitud de arista: 2,5 cm exterior; 2,0 cm interior) cargado con 7,3 g de agua. La fijación del dado al brazo de la mesa desplazable se efectuó por medio de una varilla de plexiglás. Todas las mediciones se realizaron a temperatura ambiente (aproximadamente 22°C).

Para ensayar los resultados de medida en diferentes posiciones de la geometría del resonador y la sensibilidad del procedimiento de medida al emplazamiento de la muestra, se tramó la probeta en el espacio interior del resonador con ayuda de una mesa desplazable según 3 ejes en las direcciones XYZ.

I. 2. La distribución de los modos

25 La distribución de los modos depende de la geometría del resonador, las propiedades de los campos electromagnéticos y la constante dieléctrica del medio investigado. Un resonador de cavidad cilíndrico con una forma y tamaños determinados presenta en una banda de frecuencia prescrita solamente una única oscilación propia, es decir, un modo. Una explicación detallada puede encontrarse en la literatura técnica. [“Mikrowellen” A.J. Baden Fuller; “Mikrowellen” Gunter Nimtz].

30 Para la geometría del resonador dada se fijan como sigue los intervalos de frecuencia de resonancia de los modos para las mediciones realizadas:

Primer modo de 750 a aproximadamente 900 MHz

Segundo modo de 1150 a 1350 MHz

Tercer modo de 1450 a 1650 MHz

35 Cuarto modo de 1750 a 1950 MHz

El ancho del intervalo se eligió en este caso de tal manera que las mediciones típicas con o sin cilindro de plexiglás no condujeran a un desplazamiento de la señal de medida fuera del intervalo, ya que en las mediciones con cilindro de plexiglás se desplaza la distribución de los modos hacia frecuencias más bajas.

I. 3. Análisis de la homogeneidad espacial de los datos

40 Para el análisis de la homogeneidad espacial se tomaron como base los datos de una medición de volumen de alta resolución (3D) en el intervalo de frecuencia de 700 MHz a 1,9 GHz (con cilindro de plexiglás). Los parámetros de

medida eran para ello como sigue:

Objeto	Dado de plexiglás lleno de agua
Dimensiones	25 mm ³ exteriormente; 20 mm ³ interiormente
Cantidad de agua	7,3 g
Frecuencia de arranque	700 MHz
Frecuencia de parada	1,9 GHz
Número de puntos en el espectro	20001
Coordenadas de principio/fin	X = -55 a +55 mm
	Y = -55 a +55 mm
	Z = -70 a 93 mm
Ancho de paso	dx=dy=6,11 mm; z=6,037 mm
Tiempo de espera	5 s

I. 4. Resultados

Primer modo:

- 5 Frecuencia de resonancia medida min. 775 MHz
 Frecuencia de resonancia medida max. 776,5 MHz
 Valor medio: 775,75 MHz

10 La variación de la frecuencia de resonancia de abajo arriba a lo largo del eje Z en el espacio de medición completo del resonador asciende a 1,5 MHz. Esto corresponde a $\leq 0,2\%$ del valor medio. El intervalo más homogéneo con la desviación de la frecuencia de resonancia de 0,1% con respecto al valor medio es verticalmente de -70 a +50 mm (a lo largo del eje Z (véase la figura 3) y horizontalmente de -45 a +45 mm (045 mm) (a lo largo de los ejes X/Y) (véanse las figuras 4 y 5).

La desviación de la frecuencia de resonancia máxima en superficies X/Y a lo largo del eje Z en todo el espacio de medición asciende a 0,9 MHz, lo que corresponde a 0,12% del valor medio.

15 Segundo modo:

Intervalo de frecuencia de 1100 a 1200 MHz
 Frecuencia de resonancia medida min. 1142 MHz
 Frecuencia de resonancia medida max. 1145,6 MHz
 Valor medio: 1143,8 MHz

20 El intervalo de frecuencia homogéneo (desviación de la frecuencia de resonancia ≤ 3 MHz, lo que corresponde a $\leq 0,26\%$ del valor medio) es en todo el espacio de medida del resonador verticalmente de -70 a +93 mm (a lo largo del eje Z) (véase la figura 6) y horizontalmente de -50 a +50 mm (050 mm) (a lo largo de los ejes X/Y) (véase la figura 7).

25 El ruido mínimo (desviación de la frecuencia de resonancia ≤ 1 MHz, lo que corresponde a $\leq 0,1\%$) se encuentra en el rango de medida superior a partir de 70 mm a lo largo del eje Z.

Tercer modo:

Intervalo de frecuencia de 1460 a 1560 MHz
 Frecuencia de resonancia medida min. 1480,8 MHz
 Frecuencia de resonancia medida max. 1482,4 MHz
 Valor medio: 1481,6 MHz

30 La desviación de la frecuencia de resonancia del tercer modo en todo el espacio de medida del resonador (frecuencia de resonancia mínima en la parte inferior de 1480,8 MHz; frecuencia de resonancia máxima en la parte superior de 1482,4 MHz) asciende a 1,6 MHz y, por tanto, está por debajo de 0,1% del valor medio. La estabilidad a lo largo del eje Z (véase la figura 8), al igual que ocurre también en otros modos (más altos), posibilita las mediciones en plantas cada vez más altas. En el rango más estrecho de 0-20 mm se obtienen mediciones muy homogéneas. La desviación de la frecuencia de resonancia es inferior a 0,02% del valor máximo de 1482,4 MHz. Al igual que en el segundo modo, el ruido disminuye en la parte superior del resonador (véase la figura 9).

Cuarto modo:

- 40 Frecuencia de resonancia medida min 1811,6 MHz
 Frecuencia de resonancia medida max 1812,2 MHz

Valor medio: 1811,9 MHz

La desviación máxima de la frecuencia de resonancia del cuarto modo asciende a 0,6 MHz; aproximadamente 0,03% del valor medio. Por tanto, el cuarto método resultó ser muy estable en todo el rango de medida (véanse las figuras 10 a 13).

5 **Quinto modo:**

Frecuencia de resonancia medida min. 2141,8 MHz
 Frecuencia de resonancia medida max. 2142,2 MHz
 Valor medio: 2141 MHz

10 La variación máxima de la frecuencia de resonancia medida del quinto modo en todo el espacio de medida del resonador asciende a 0,4 MHz, lo que corresponde a 0,02%.

15 Con las mediciones aquí descritas se pudo demostrar que con las condiciones y características de procedimiento/dispositivo aquí seleccionadas se pueden realizar mediciones y evaluaciones automatizadas. La duración de medida media de aproximadamente 60 segundos por punto de datos (según la resolución digital de la medición) permite en el futuro una determinación rápida de la biomasa. La estabilidad espacial de las frecuencias de resonancia (desviación de como máximo 1%) es en conjunto muy buena.

II. Determinación de la biomasa de un ensilado de maíz

Para las primeras mediciones de calibración se captaron o calcularon primeramente tan solo los valores de medida siguientes sobre la base de su magnitud:

- 20 ■ *Frecuencia de resonancia* f_0 : Frecuencia de resonancia del primer modo [MHz]
- *Ancho de banda* Δf : Ancho de pico a 3dB de pérdida de transmisión
- *Bondad/calidad* $Q = f_0 / \Delta f$

25 La figura 2 muestra a título de ejemplo la evolución de la frecuencia de la magnitud del primer modo en el resonador. La adición de agua al espacio del resonador produce tanto un desplazamiento de la posición de resonancia, f , como una variación de la calidad. El desplazamiento de la resonancia y/o la variación de la calidad y, por tanto, el valor de la frecuencia de resonancia son así una medida de la determinación del contenido de agua.

II. 1. Estructura de medida y mediciones de calibración

30 La estructura de los ensayos para los primeros prototipos constaba de un resonador de cavidad de microondas y un analizador de red (Rhode & Schwarz). El dimensionamiento del resonador (cotas: altura 525 mm, diámetro 190 mm) se eligió teniendo en cuenta las plantas a investigar y se le cerró con manguitos para garantizar una estabilidad de modo suficiente incluso en caso de un llenado mayor. Se utilizó adicionalmente un cilindro de plexiglás con fondo para poder manejar mejor las partes vegetales.

35 En primer lugar, se determinó en preensayos (véase más arriba) con una probeta (cuerpo hueco de plexiglás, dimensiones exteriores 2,5 x 2,5 x 2,5 cm³ – cargado con 7,3 g de H₂O) la evolución espacial de la frecuencia de resonancia y la calidad en el espacio del resonador para poder fijar allí una posición de medida óptima. A partir de estos primeros datos de calibración se pudo determinar en una primera estimación la dependencia de la señal de medida respecto de la posición

II. 2. Material y métodos

40 Se investigó primeramente el ensilado de maíz fresco con un contenido de agua desconocido a pesos en fresco de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 40 g. Después de un secado a 100°C durante 24 horas se determinaron las masas secas por pesaje con una precisión de 0,1 g. En paralelo se investigaron también estas muestras en posiciones diferentes de la geometría del resonador para ensayar la sensibilidad del procedimiento de medida al emplazamiento de la muestra. A continuación, se humedecieron masas secas definidas con agua hasta alcanzar humedades definidas (contenidos relativos de agua (RWC)) y se investigaron estas masas para establecer una correlación entre RWC y el desplazamiento de la frecuencia de resonancia.

45 II. 3. Resultados de medida

Para obtener una manifestación lo más exacta posible sobre la distribución de la sensibilidad en el cilindro se tramó una zona de 100 mm (sobre 200 mm a 300 mm de altura de construcción) a distancias de 20 mm. La figura 14 ilustra que existe una dependencia – si bien pequeña – entre la posición de medida y la frecuencia de resonancia.

50 Con la medición del ensilado de maíz seco se pudo demostrar que el valor del desplazamiento de frecuencia con una cantidad de llenado correspondiente en el intervalo de 200 a 260 mm es independiente de la posición del

volumen de medida en el cilindro (figura 15). Se puede deducir de esto que la frecuencia de resonancia en el volumen elegido de la muestra depende sustancialmente tan solo del contenido de humedad de la muestra.

Si se añade controladamente agua a masas secas definidas, las frecuencias de resonancia resultantes muestran dependencias respecto de la masa seca de partida y el contenido relativo de agua. Éste resulta de

$$5 \quad \text{Contenido relativo de agua [\%]} = \text{agua [g]} / (\text{masa seca [g]} + \text{agua [g]})$$

10 Esto era de esperar, ya que una variación de la frecuencia de resonancia está directamente correlacionada con la cantidad absoluta de agua añadida. Esto se ilustra con una línea horizontal en la figura 16 a 850 MHz: Un peso seco de partida de 40 g con un contenido relativo de agua de 33% muestra la misma frecuencia de resonancia que un peso seco de partida de 30 g con un contenido relativo de agua de 40% o bien que un peso seco de partida de 20 g con un contenido relativo de agua de 50%, concretamente un desplazamiento de la frecuencia de resonancia de 890 MHz sin agua a ~ 850 MHz. En los tres casos, se añadió la misma cantidad absoluta de agua de 20 g.

15 Por tanto, se ha podido demostrar que con ayuda de una calibración correspondiente se puede determinar, por medio del desplazamiento de la frecuencia de resonancia, la cantidad absoluta de agua en una muestra de ensilado pesada. Una vez conocida esta cantidad, se pueden calcular como sigue la masa seca, el contenido relativo de agua y la proporción relativa de masa seca:

$$\begin{aligned} \text{Masa seca (g)} &= \text{pesada (g)} - \text{agua (g)} \\ \text{Contenido relativo de agua (\%)} &= \text{agua (g)} / \text{pesada (g)} * 100 \\ \text{Proporción relativa de masa seca (\%)} &= [\text{masa seca (g)}] / \text{pesada (g)} * 100 \end{aligned}$$

20 Para estimar la precisión de medida o el error del procedimiento se realizaron otras mediciones (ciegas) con un ensilado de maíz proveniente de otro suministro. Se trató en cada caso de 4 muestras con pesos secos de 10, 20, 30 y 40 g de ensilado secado (0% de humedad), a las cuales se añadió poco a poco agua de una manera controlada. Se midió en el intervalo de frecuencia del primer modo de 713 MHz a 1013 MHz y el número de puntos de medida en el espectro ascendió a 201; véase la figura 17.

25 En todas las mediciones resultaron correlaciones muy buenas entre el contenido de agua determinado por vía dieléctrica (microondas) y gravimétrica, únicamente con pequeñas desviaciones (<0,5% y, con un par de datos, <1,8%). El valor medio de las desviaciones de tres series de medida en momentos diferentes y con muestras de ensilado de suministros diferentes asciende a aproximadamente 0,5%.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación no invasiva de la distribución de biomasa en el perfil de la altura por medio de mediciones dieléctricas en el resonador de cavidad de microondas, **caracterizado** por que
- 5 - se envuelve biomasa polarizable con un resonador de cavidad de microondas,
- se conduce el resonador de cavidad de microondas a lo largo del eje de la planta,
- se detectan las propiedades de resonancia modificadas,
- se calcula la biomasa con ayuda de datos calibrados.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se realiza una calibración para cada clase de planta y se emplean estos datos para otras mediciones.
- 10 3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** por que, para determinar el contenido de agua, se mide en un modo bajo del resonador.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** por que, para determinar el contenido de sal, se mide en un modo más alto del resonador.
- 15 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** por que se apantallan el sustrato de la planta y/o el recipiente de la planta con respecto a la biomasa que se debe investigar.
- 20 6. Dispositivo para la determinación no invasiva de la distribución de biomasa en el perfil de la altura por medio de mediciones dieléctricas en el resonador de cavidad de microondas, que comprende al menos un resonador de cavidad de microondas con una electrónica de evaluación, **caracterizado** por que el resonador de cavidad de microondas es desplegable paralelamente al eje longitudinal de modo que la planta pueda ser introducida en dicho resonador de cavidad de microondas, el resonador de cavidad de microondas es desplazable a lo largo del eje de la planta y todo el espacio (2) del resonador está configurado como un resonador de cavidad de microondas.

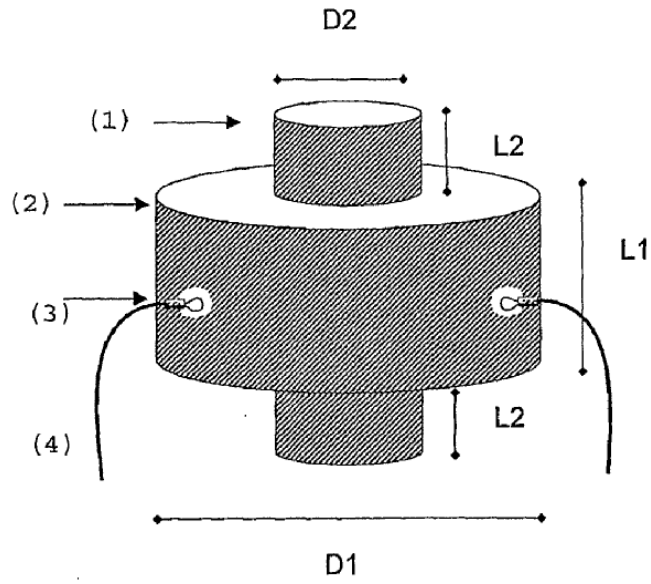


Fig. 1

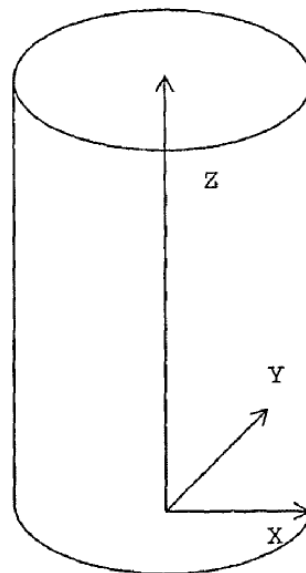


Fig. 1a

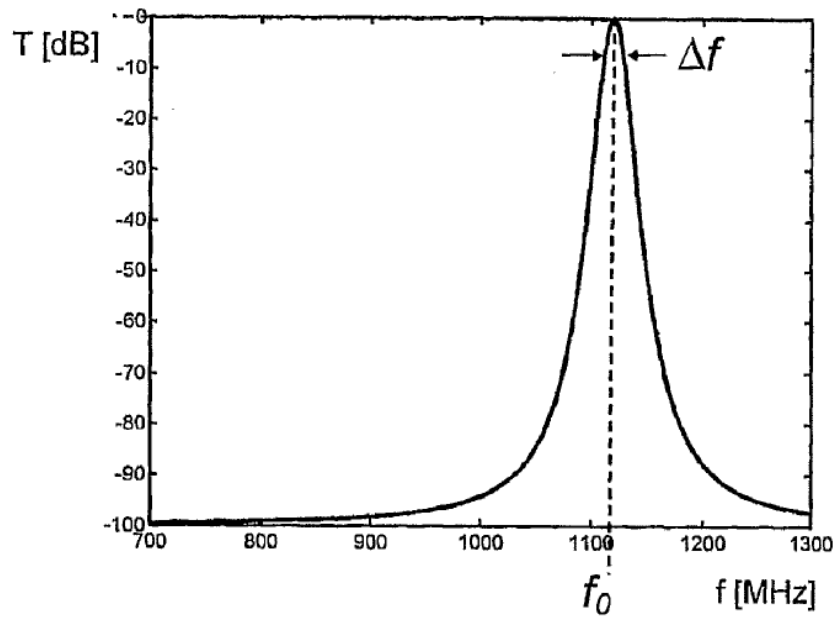


Fig. 2

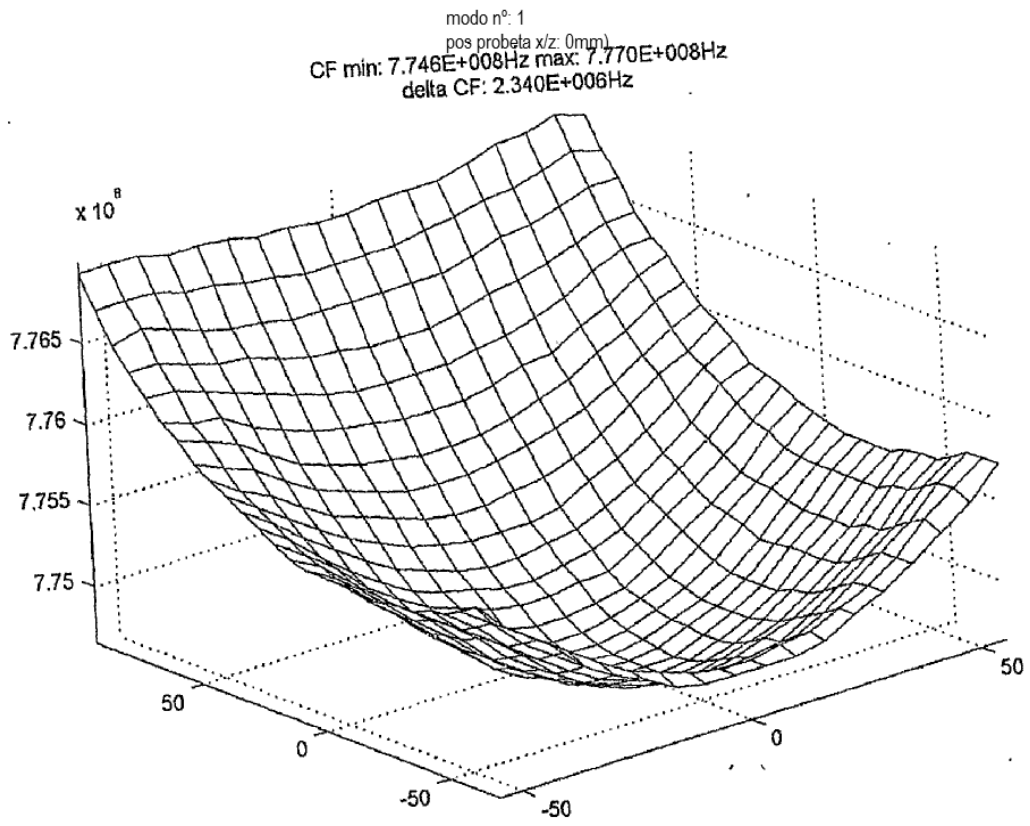


Fig. 3

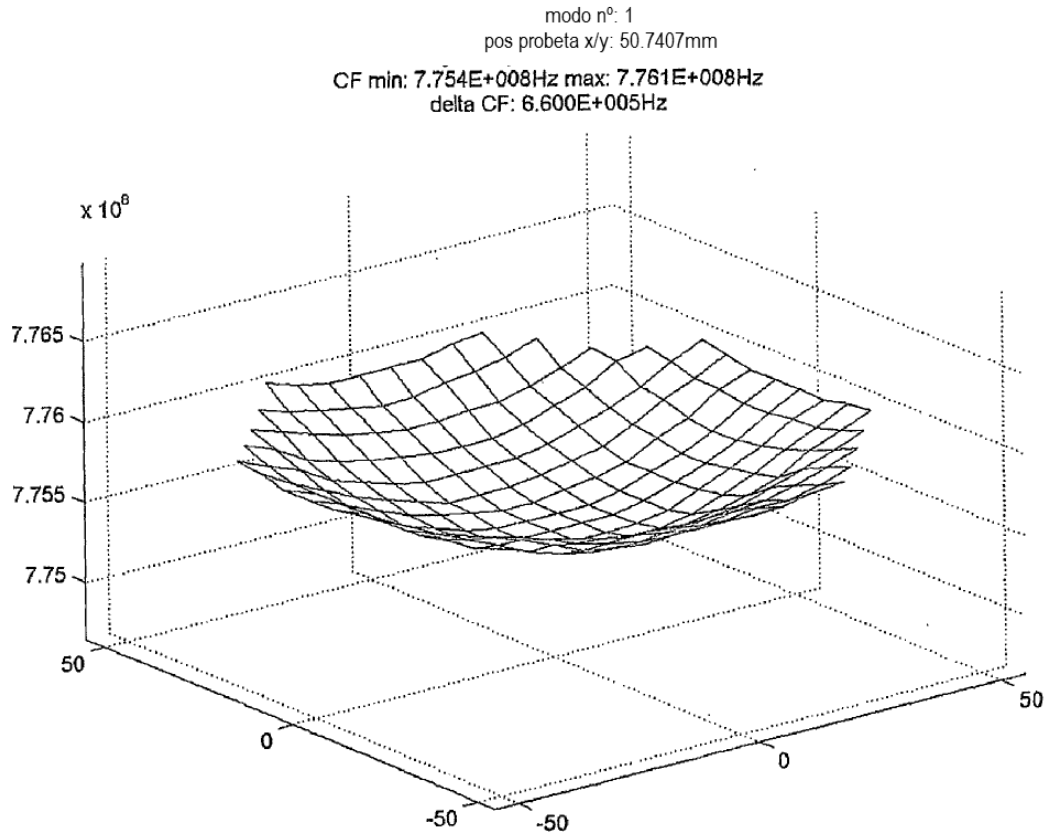


Fig. 4

modo n°: 1
pos probeta x/y: -70mm
CF min: 7.749E+008Hz max: 7.757E+008Hz
delta CF: 7.800E+005Hz

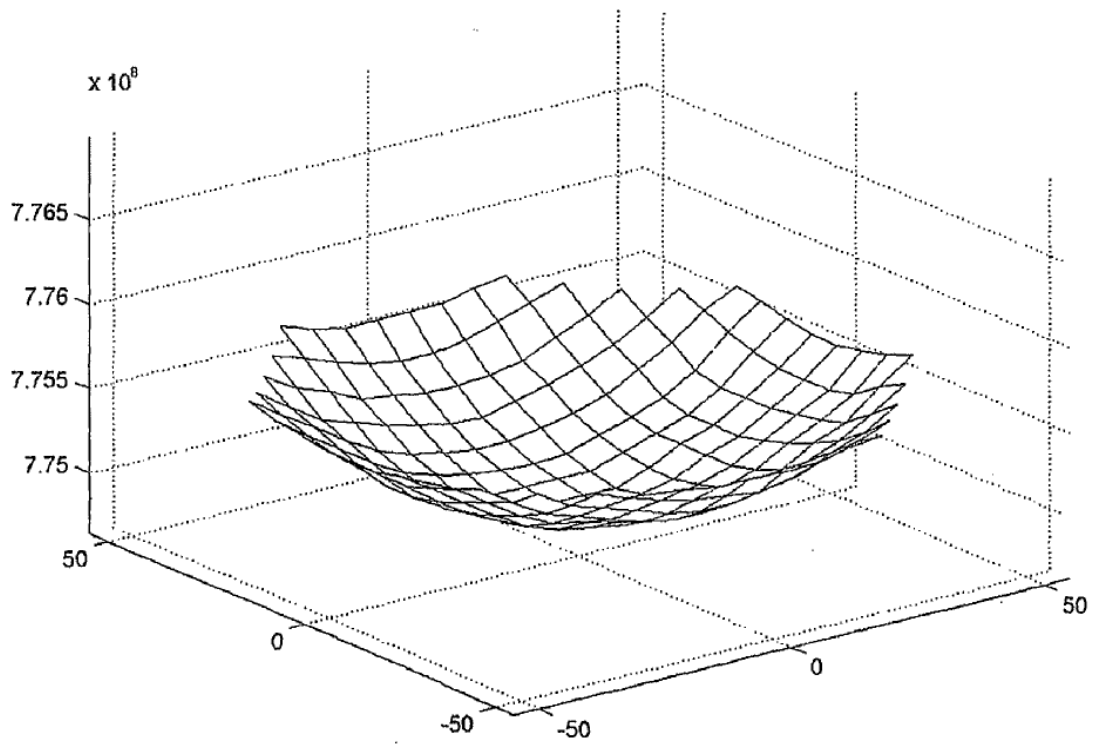


Fig. 5

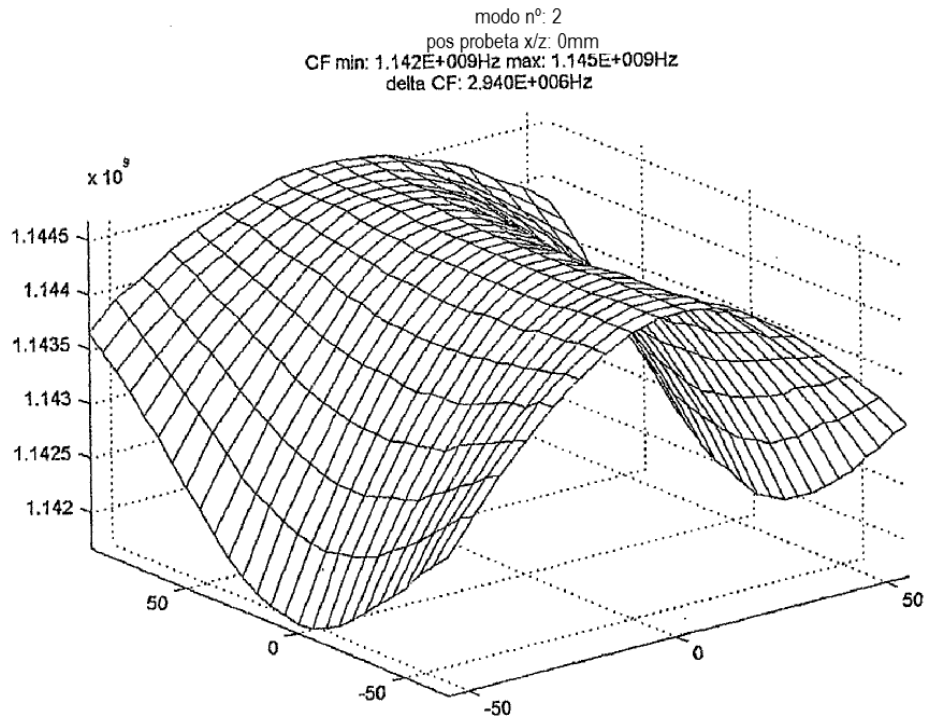


Fig. 6

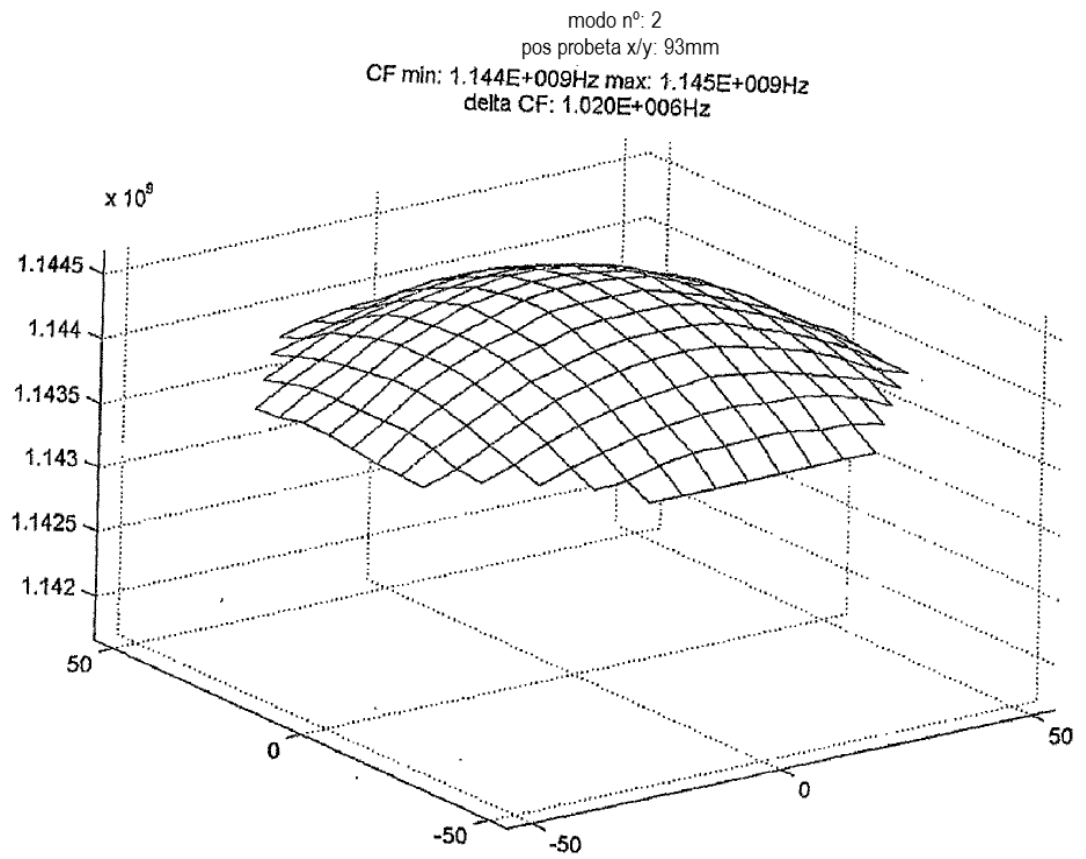


Fig. 7

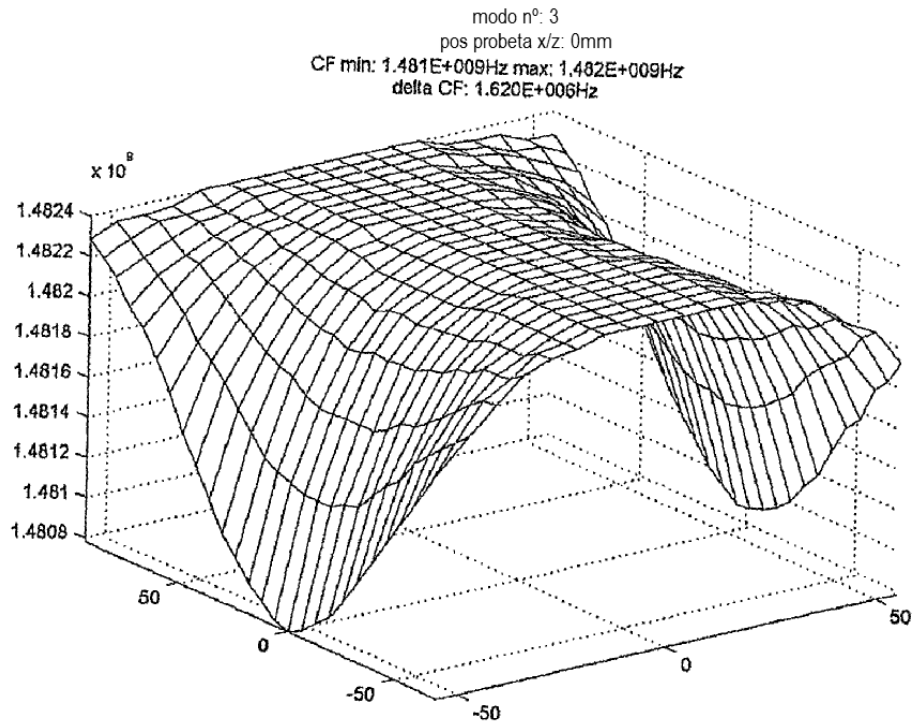


Fig. 8

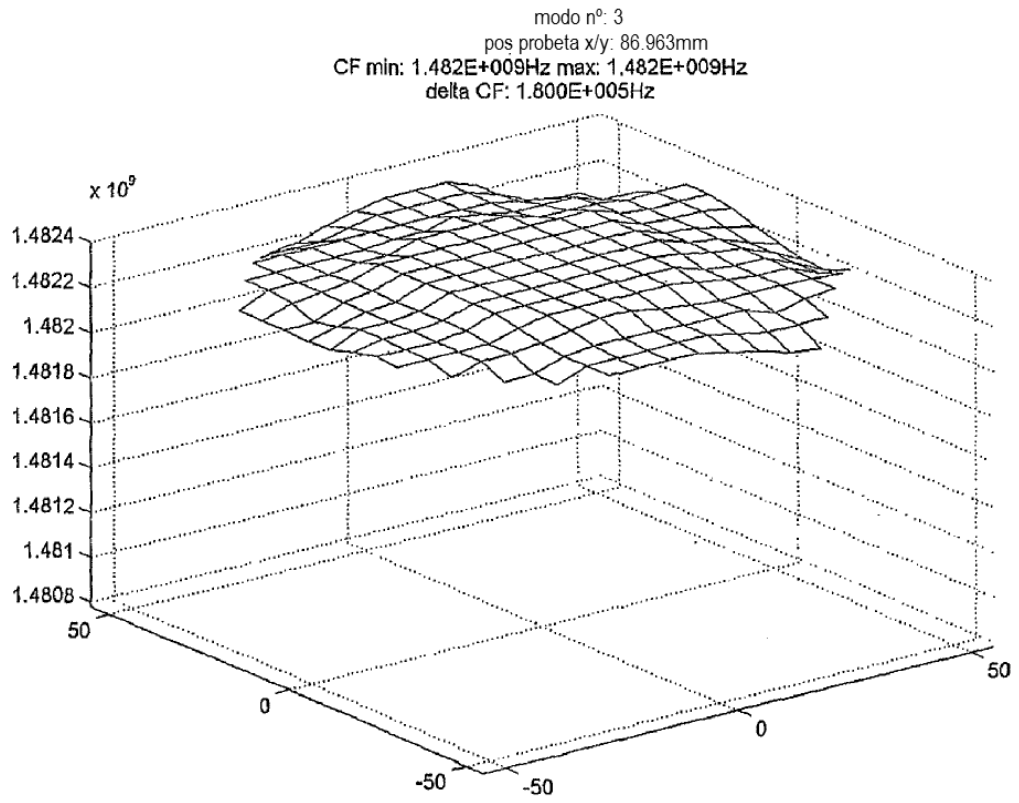


Fig. 9

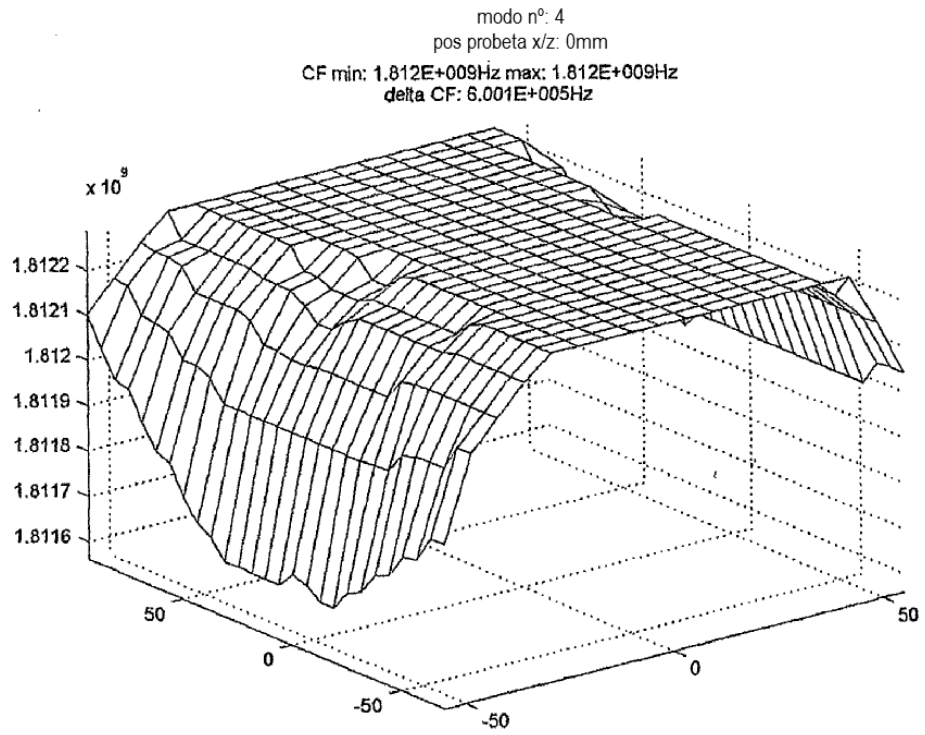


Fig. 10

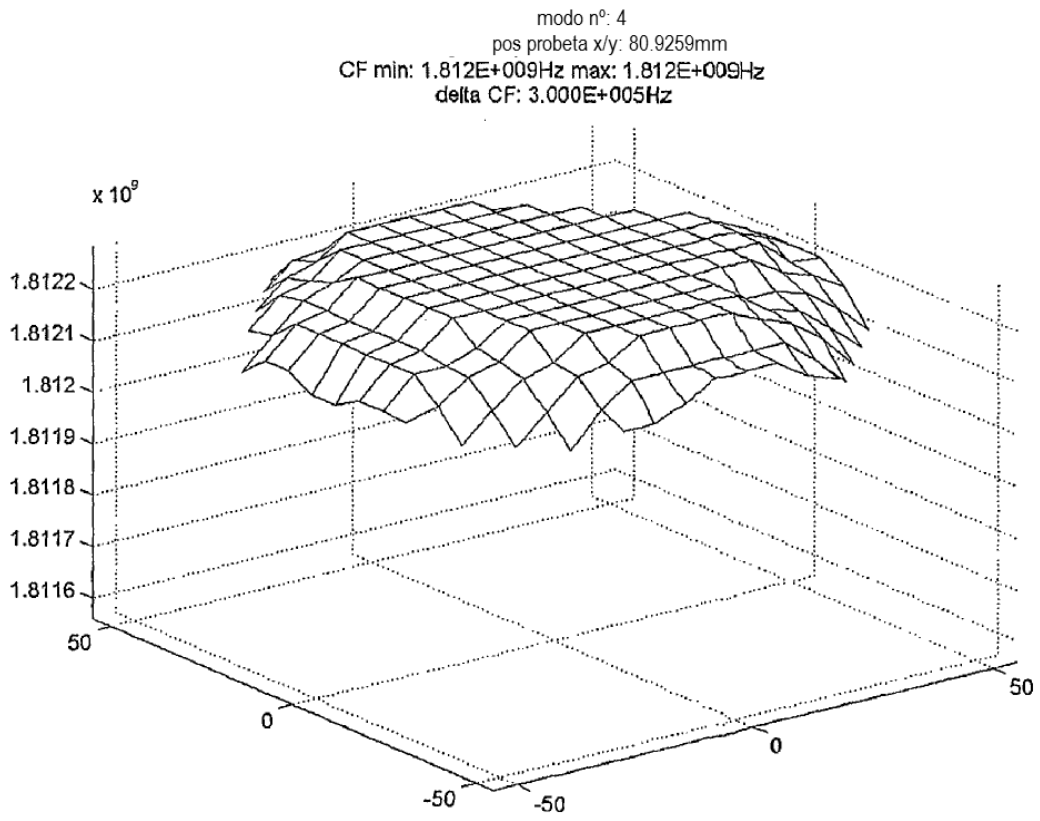


Fig. 11

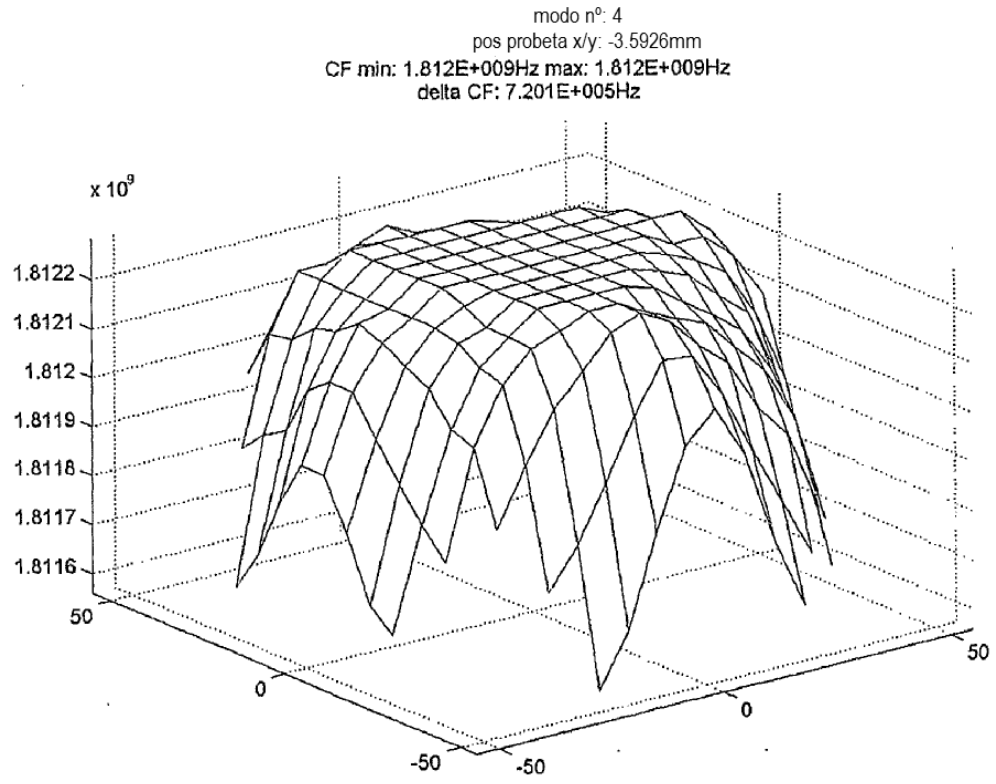


Fig.12

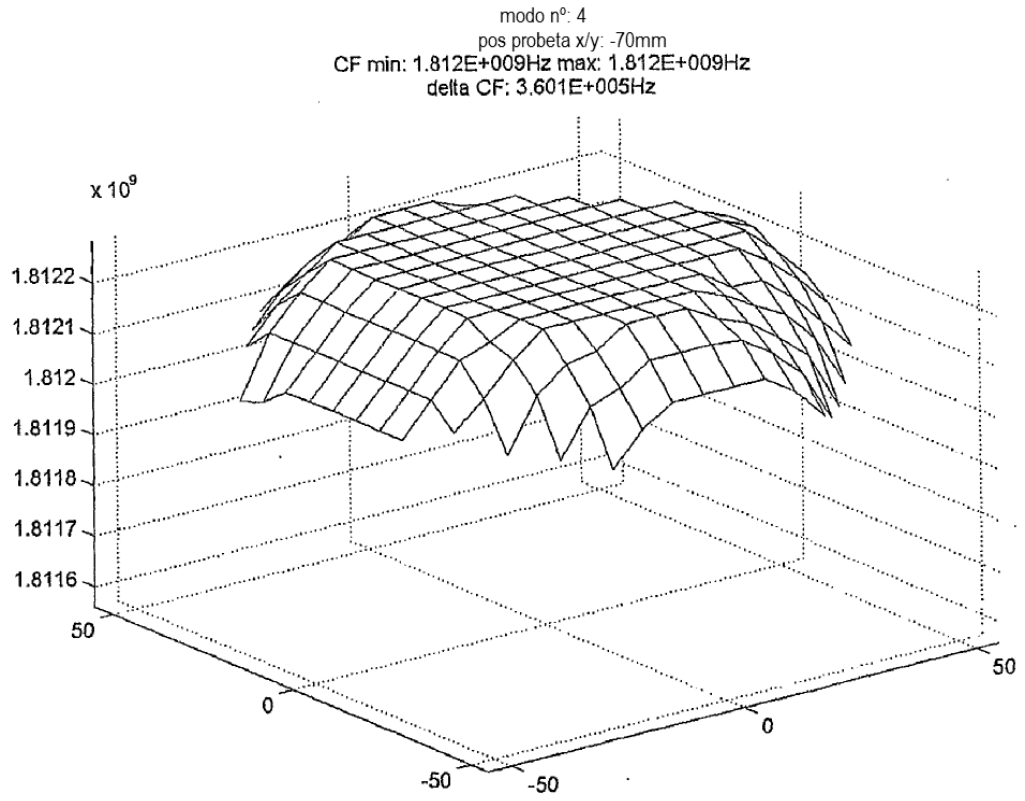


Fig. 13

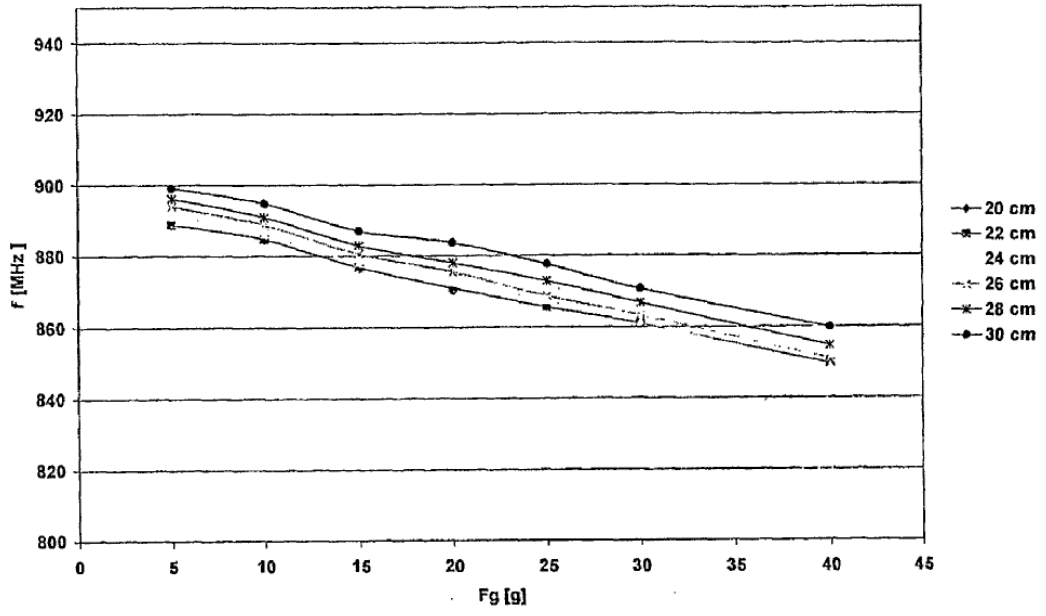


Fig. 14

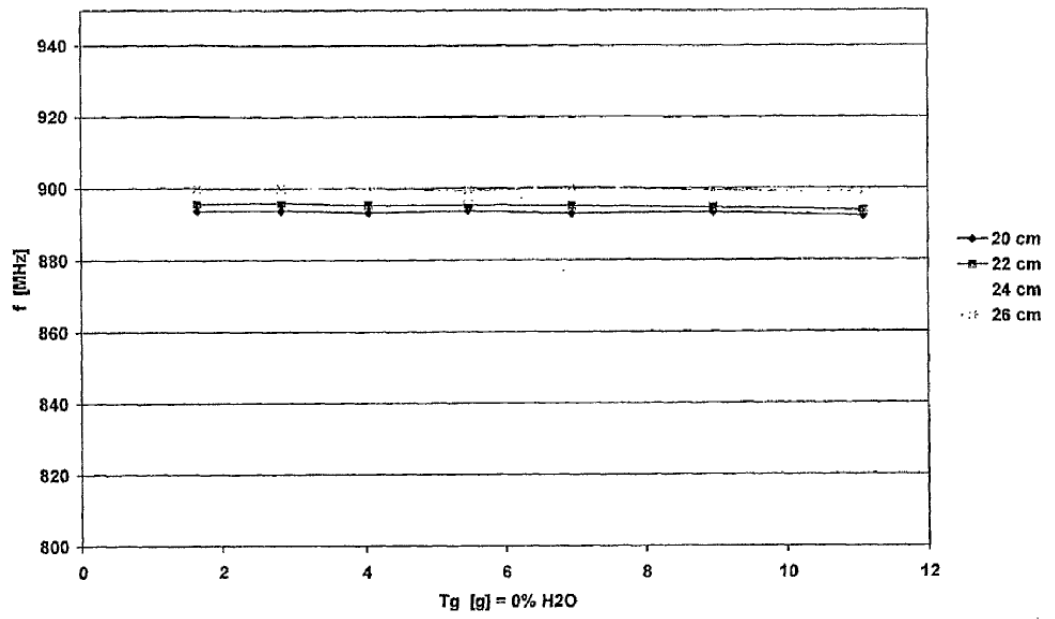


Fig. 15

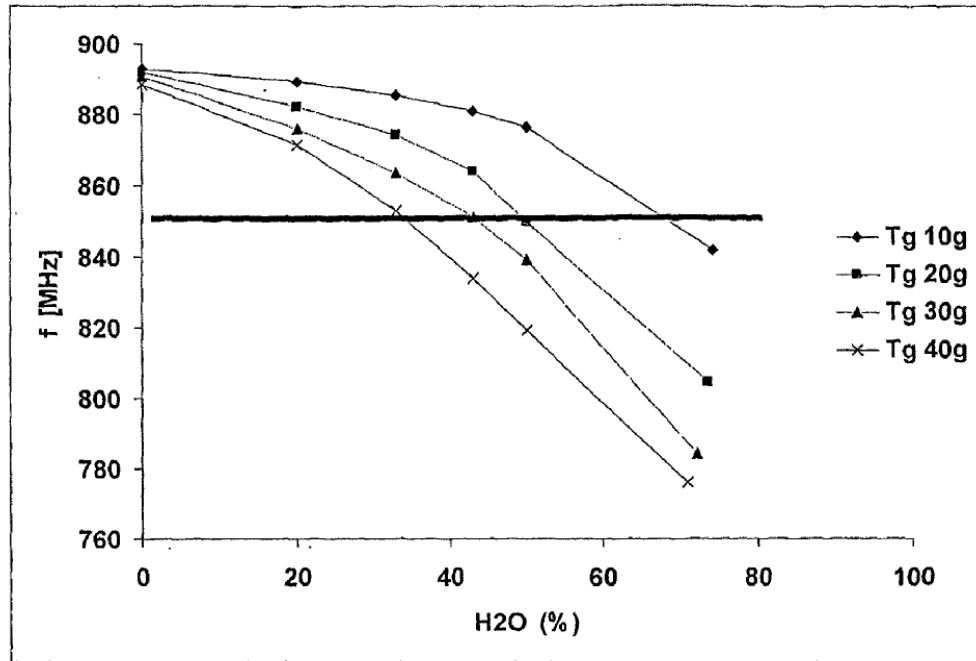


Fig. 16

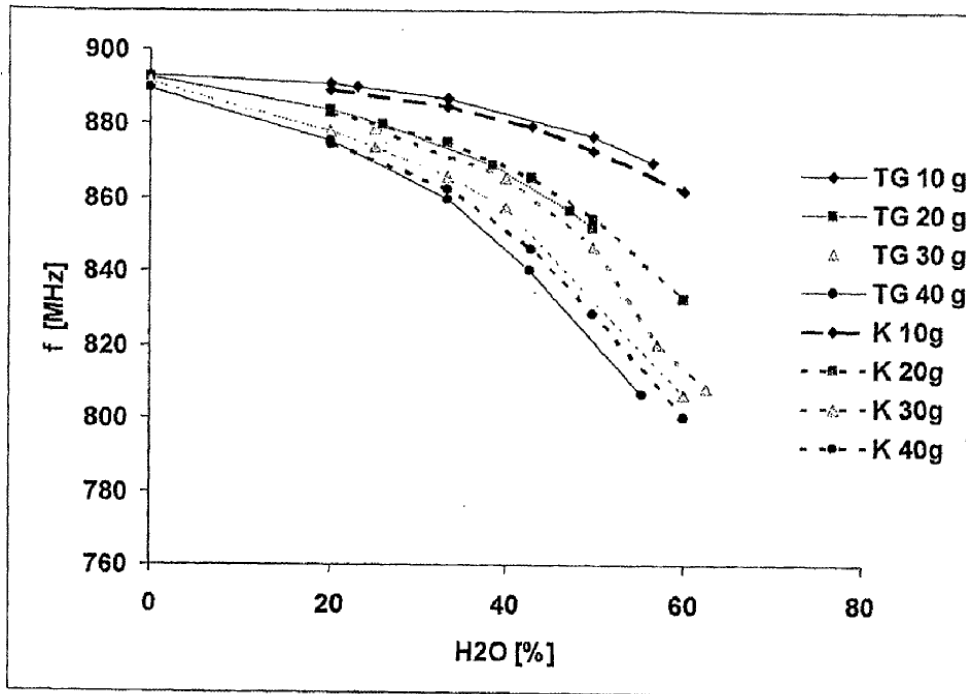


Fig. 17