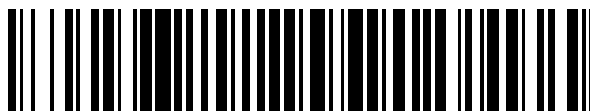


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 453 841**

51 Int. Cl.:

G01N 3/26 (2006.01)

G01N 33/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.08.2005** **E 05776620 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2013** **EP 1787102**

54 Título: **Método y aparato de ensayo de rigidez al cizallamiento en cartón**

30 Prioridad:

19.08.2004 NZ 53478504

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

08.04.2014

73 Titular/es:

Korutest Limited (100.0%)
19 Orchard Place
Rotorua, NZ

72 Inventor/es:

CHALMERS, IAN

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PALMERO, Fe

ES 2 453 841 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

Método y aparato de ensayo de rigidez al cizallamiento en cartón

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para evaluar la rigidez al cizallamiento de cartón ondulado.

Antecedentes

10 El cartón ondulado es una construcción de tipo sándwich de papel realizada mediante la combinación de tres o más hojas de cartón. En su forma más común, se adhieren dos caras de cartón a cada lado de una hoja de cartón interna que se ha conformado en una forma sinusoidal. Esta construcción consigue una elevada rigidez y resistencia con un bajo peso y a bajo coste.

15 La rigidez al cizallamiento es una propiedad importante del cartón ondulado. Si un cartón ondulado tiene las especificaciones adecuadas, con forros y tripa fuertes, tendrá el rendimiento diseñado, pero si la tripa se daña durante o después de la fabricación, su resistencia puede ser inferior a la estándar.

20 A menudo se utiliza un aplastamiento en plano del cartón ondulado para medir la "resistencia" del cartón ondulado. El ensayo de aplastamiento en plano se realiza sobre una muestra circular de área estándar. Las especificaciones para este ensayo están indicadas en la norma australiana 1301.429s-89. Una desventaja de este método de ensayo es que no discriminará entre cartón no dañado bueno y cartón ondulado dañado durante el procesamiento, que parece blando al tacto. Esto se debe a que el resultado de aplastamiento más alto se produce después de que las ondas se hayan apretado bastante. Un daño del material de núcleo por una presión lateral excesiva puede debilitar gravemente la estructura del núcleo. Un núcleo aplastado presenta una drástica pérdida de rigidez al cizallamiento global, en la dirección de la máquina, del núcleo y también carecerá de dureza y rigidez a la flexión.

25 La rigidez al cizallamiento es una propiedad estructural fundamental de un panel de tipo sándwich y viene definida por:

$$Rigidez_cizalladura = \frac{fuerza_cizalladura}{deformación_cizalladura} \quad \text{Ec. 1}$$

30 La rigidez al cizallamiento en la dirección de la máquina se designa como G_{xz} y en la dirección transversal, de manera global, como G_{yz} .

La patente estadounidense 3.955.409 da a conocer un dispositivo para ensayos de oscilación torsional de materiales de plástico.

40 La patente estadounidense 4.958.522 describe un método para determinar la rigidez al cizallamiento de cartón ondulado montando y retorciendo una pieza de ensayo entre dos prensas de sujeción. Se realizan mediciones del ángulo de torsión y de la fuerza aplicada utilizando un codificador rotatorio y una célula de carga. Al utilizar esta técnica para la evaluación de la calidad de cartón ondulado se supone que, siendo todo lo demás igual (compresión de forro etc.), el daño durante la conversión es la principal causa de un mal rendimiento del cartón ondulado y el ensayo de cizallamiento mostrará este daño.

Sumario de la invención

La presente invención se define en y por las reivindicaciones adjuntas.

50 La presente invención consiste, en términos generales, en un método de ensayo de la rigidez torsional de una muestra de cartón, que incluye:

sujetar una muestra de cartón ondulado en una parte y unir una masa inercial a otra parte de la muestra;

55 hacer rotar inicialmente la masa inercial alrededor de un eje de la muestra y después;

permitir que la masa inercial oscile libremente;

60 medir el periodo de tiempo para una o más oscilaciones de la muestra; y

obtener una indicación de la rigidez de la muestra en referencia al periodo de tiempo de dichas una o más oscilaciones.

Preferiblemente dicha indicación de la rigidez de la muestra es la frecuencia angular de la(s) oscilación/oscilaciones o un valor derivado de la frecuencia angular de la(s) oscilación/oscilaciones.

5 Preferiblemente el método incluye evaluar el módulo torsional de la muestra en referencia a la frecuencia angular de las oscilaciones, el momento polar de inercia de la masa inercial así como el área de sección transversal y la longitud de la muestra.

10 Un aparato para su uso en el método de ensayo de la rigidez torsional de una muestra de cartón ondulado puede incluir:

medios para sujetar las muestras de modo que una parte de la muestra que lleva una masa inercial pueda hacerse rotar en relación con otra parte de la muestra alrededor de un eje de la muestra y después permitirse que oscile;

15 un detector para detectar cuándo pasa la masa inercial por una región de ángulo cero cuando oscila la muestra; y

medios de procesamiento electrónico dispuestos para obtener una indicación de la rigidez al cizallamiento de la muestra en referencia al periodo de tiempo de una o más oscilaciones de la muestra.

20 Preferiblemente, el aparato puede incluir además medios para medir el desplazamiento angular de la masa inercial en relación con el eje de la muestra.

25 Preferiblemente, la indicación de la rigidez de la muestra es la frecuencia angular de la(s) oscilación/oscilaciones o un valor derivado de la frecuencia angular de la(s) oscilación/oscilaciones.

Preferiblemente, el detector comprende un captador óptico fijado al armazón y un dedo fijado a la masa inercial para detectar cuándo pasa la masa inercial por la región de ángulo cero cuando oscila la muestra.

30 El término 'que comprende/comprendiendo' tal como se utiliza en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones significa 'que consiste al menos en parte en', es decir, en la interpretación de reivindicaciones independientes que incluyen ese término, tienen que estar presentes todas las características precedidas por este término en cada reivindicación, pero también pueden estar presentes otras características.

35 **Breve descripción de los dibujos**

A continuación se describirá la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

40 la figura 1 muestra una tira de cartón ondulado sometida a momento de torsión;

la figura 2 muestra una curva de amortiguación típica de un primer aparato prototipo con una ecuación modelo aplicada a los datos;

45 la figura 3 muestra una vista frontal de un primer aparato prototipo;

la figura 4 muestra una vista lateral de un primer aparato de ensayo prototipo;

la figura 5 muestra una vista en perspectiva de un segundo aparato de ensayo prototipo;

50 la figura 6 muestra una muestra fijada en el segundo aparato de ensayo prototipo;

la figura 7 muestra los pulsos eléctricos producidos durante el uso del primer aparato de ensayo prototipo;

55 la figura 8 representa gráficamente la pendiente deformación-esfuerzo de la rigidez a la torsión con respecto a la frecuencia angular al cuadrado, resultados obtenidos a partir de ensayos de tres muestras de cartón ondulado diferentes, de diferentes anchuras; y

la figura 9 representa gráficamente la frecuencia angular con respecto a la anchura de la pieza de ensayo para dos muestras de cartón de buena calidad.

60 **Descripción detallada**

65 La figura 1 muestra una tira de cartón ondulado sometida a un momento de torsión, M , que es simétrico alrededor del eje del cartón. Se desarrolla un campo de cizallamiento en el ondulado, de manera que no existe cizallamiento a lo largo del centro de la muestra y la magnitud de cizallamiento a cada lado del centro es igual y opuesta.

La rigidez al cizallamiento es una propiedad estructural fundamental de un panel de tipo sándwich y, tal como se mencionó anteriormente, viene definida por:

$$Rigidez_cizalladura = \frac{fuerza_cizalladura}{deformación_cizalladura}$$

Por tanto, la rigidez a la torsión de la muestra puede definirse como

$$D_{QM} = \frac{M}{\theta} \frac{L}{w} \quad \text{Ec. 3}$$

donde

D_{QM} = rigidez a la torsión (Nm) en la dirección de la máquina (MD)

M = momento de torsión (Nm)

θ = ángulo de torsión (radianes)

L = longitud de la muestra entre prensas de sujeción (m)

w = anchura de la muestra (m)

La rigidez a la torsión total es una combinación de la rigidez a la torsión de los forros y el ondulado. Sin embargo, si el ángulo de torsión se mantiene suficientemente pequeño y el espesor de los forros es delgado en relación con la altura del ondulado, las tensiones de cizallamiento de los propios forros pueden considerarse despreciables. Por tanto, es posible introducir una fuerza de cizallamiento relativamente grande en el ondulado, pero sin que se produzca gran cizallamiento en las caras. El análisis de elementos finitos dado a conocer por McKinlay (Amcor), en el *10th Fundamental Research Symposium*, Oxford, sept. 1993, se ha utilizado para mostrar que existe una relación fundamental entre la rigidez al cizallamiento MD del cartón ondulado (CB) y la rigidez a la torsión MD, medida como antes, según (Ec. 4):

$$\frac{D_Q}{D_{QM}} = 3 + \{1 + a + b\} \frac{3D_Q}{5tG_{12}} \left\{ \frac{w}{h} \right\}^2 \quad \text{Ec. 4}$$

donde

D_Q = rigidez al cizallamiento MD

D_{QM} = rigidez a la torsión MD

a = 0,028

b = 0,018

t = grosor del forro

G_{12} = módulo de cizallamiento en plano de los forros

w = anchura de la muestra

h = altura de onda

Por tanto, la rigidez al cizallamiento MD pura del cartón ondulado puede calcularse a partir de sencillas mediciones de torsión por cizallamiento MD.

Las figuras 3 y 4 muestran un primer prototipo del aparato o máquina de ensayo de rigidez al cizallamiento para cartón ondulado que puede utilizarse en el método de la invención. La máquina de ensayo incluye un bastidor generalmente vertical soportado sobre una base 1, con una primera prensa 2 de sujeción fijada en un extremo superior del bastidor en 4 y una segunda prensa 3 de sujeción que puede rotar libremente en un segundo extremo de la base 5. Hay un pequeño cojinete 9 de rodillos bajo la placa inercial que actúa como punto para que el iniciador de la oscilación mecánica entre en contacto para iniciar la rotación pendular. Las prensas de sujeción primera y

segunda están alineadas axialmente. Una placa 7 inercial está unida a la segunda prensa de sujeción. En el
armazón también se encuentra un captador 8 optoelectrónico, tal como un escáner de barrido óptico con disparador
Schmitt, y un dedo 10 estrecho está fijado a la masa inercial para detectar cuándo pasa el péndulo de torsión por la
región de ángulo cero. Alternativamente puede instalarse un dispositivo óptico o eléctrico para obtener datos
completos acerca de la posición angular de la placa inercial.

En uso, se corta una muestra 6 de cartón ondulado en forma cuadrada a lo largo de la dirección de la máquina de la
onduladora (y la máquina de papel) con bordes paralelos y sin aplicar compresión al cartón durante la operación de
corte. Dependiendo del tamaño de la máquina de ensayo y de la masa inercial, el tamaño de la muestra puede ser,
por ejemplo, de cualquier anchura desde 20 hasta 100 mm con una longitud de envergadura de desde 3 hasta 8
veces la anchura. Preferiblemente, la anchura es aproximadamente 25 mm con una envergadura libre de
aproximadamente 100 mm.

La muestra 6 se prensa y se sujeta firmemente en las mordazas 2, 3 de la máquina de ensayo de modo que la
muestra queda fijada rígidamente y no puede moverse en un extremo y forma parte de manera efectiva de la masa 7
inercial en el otro extremo. La prensa de sujeción puede acoplarse mediante el uso de tornillos, palancas, pistones o
resortes. Para sujetar eficazmente una muestra que sólo es 10 mm más larga que la envergadura libre, se requiere
un poste 14 sobre el que la muestra pueda deslizarse y contra el que pueda prensarse y sujetarse tal como se
muestra en la figura 6.

La placa 7 inercial se retuerce alrededor del eje de la muestra. El ángulo de torsión inicial se elige para garantizar
que el cizallamiento se encuentra dentro de la región elástica. Después se permite que la masa inercial oscile
libremente. La detección de las oscilaciones mediante el paso del dedo 10 estrecho por el captador 8 produce una
salida pulsada, tal como se indica en la figura 6. La disminución de la velocidad angular puede medirse a partir de la
longitud del pulso óptico producido.

Para medir la frecuencia de resonancia de una oscilación torsional, todo lo que se requiere es un modo de contar los
pulsos en un sistema basado en el tiempo. Normalmente el tiempo para los dos primeros ciclos se determina en
milisegundos y se usa un microcontrolador para calcular el cuadrado de la frecuencia angular promedio (ω^2) que se
emite a la LCD.

A partir de la curva de la figura 2 se mide la frecuencia ω y, junto con el momento polar de inercia y las dimensiones
de la muestra, puede obtenerse el módulo de cizallamiento G_{zx} o G_{zy} . Si se instala un dispositivo óptico o eléctrico
para obtener datos completos acerca de la posición angular de la placa inercial, también puede producirse una curva
como en la figura 2.

El tiempo para un ciclo de oscilación se convierte fácilmente en frecuencia angular al cuadrado (ω^2) que es
directamente proporcional a la rigidez torsional. Para una aplicación de control de calidad en general, ω^2 es todo lo
que se requiere. Puede obtenerse información científica adicional más detallada utilizando cálculos de tamaño de
muestra y momento de inercia.

La máquina de ensayo tiene una pantalla 15 de visualización para mostrar los resultados o salidas del ensayo.
Normalmente, la salida es la frecuencia angular al cuadrado dividida por 100. Esto reduce el intervalo de resultados
para cartón ondulado desde por ejemplo 150 - 8000 hasta 1,5 - 80.

Estos números más bajos son más fáciles de entender y se denominan "indicador de rendimiento del cartón" o BPI.
Alternativamente pueden calcularse y visualizarse otras salidas. Por ejemplo, rigidez al cizallamiento, frecuencia
angular, o frecuencia angular al cuadrado.

Dado que el ensayo se ha diseñado para que sea comparativo en lugar de absoluto, no se requiere la rigidez pura.
Como dispositivo de control de calidad, la frecuencia angular al cuadrado o el BPI son más útiles que la rigidez al
cizallamiento pura del cartón.

Con un tipo de onda, los resultados son comparables y puede identificarse fácilmente la influencia de diferentes
variables. Por ejemplo, diferentes perfiles de onda "C", variación diaria de la onduladora o un cambio en los pesos de
los componentes. Aguas abajo de la operación de conversión, los efectos de amortiguación de la presión de
impresión también pueden identificarse fácilmente. En la tabla 1 se muestran resultados de BPI típicos para algunas
calidades.

Tabla 1: Resultados de BPI típicos

Onda	Forro 1 g/m ²	Tipo de Tripa	Tripa g/m ²	Forro 1 g/m ²	BPI
B	145	RF	120	115	9,8
B	145	SC	150	175	11,8
C	145	RF	120	115	6,0
C	175	RF	150	205	10,1
C	204	SC	190	205	17,5
C	205	SC laminada	120/120	205	30,1

Tabla 2: Efecto del aplastamiento en los resultados de DST en un cartón de onda C de 4,0 mm.

Profundidad de aplastamiento (mm)	Aplastamiento (%)	DST tras 1 hora (BPI)	Pérdida de BPI (%)
0	0	22,5	0
0,15	3,75	20,5	-8,9
0,40	10,0	15,3	-32,0
0,65	16,25	11,0	-51,1

A partir de la tabla 2, cada 1% de aplastamiento va seguido de aproximadamente un 3% de pérdida en DST.

El ensayo es de tipo no destructivo en el sentido de que la misma muestra puede someterse a ensayo varias veces en caso necesario. El dispositivo es sencillo y rápido de usar y se obtienen resultados en segundos.

Un aparato o máquina 20 de ensayo de la rigidez al cizallamiento para cartón ondulado alternativo que puede utilizarse en el método de la invención se muestra en la figura 5. La segunda máquina de ensayo difiere de la primera máquina de ensayo mostrada en las figuras 3 y 4 en que la máquina de ensayo tiene una orientación horizontal en lugar de vertical.

La segunda máquina de ensayo prototipo puede tener cualquier orientación de horizontal a vertical siempre que las prensas de sujeción estén perfectamente alineadas una respecto a la otra. Esto garantiza que la muestra esté paralela y que no se apliquen fuerzas de compresión a la muestra. Para facilitar la operación, la orientación preferida de la muestra es horizontal con la anchura de la muestra en ángulo recto con respecto al plano x-y.

La figura 5 muestra la segunda máquina de ensayo prototipo sin una muestra colocada. Con esta máquina de ensayo, la presión de sujeción se aplica mediante tensión de resorte. Alternativamente, la presión de sujeción puede aplicarse a través de tornillos, palancas y/o pistones.

Durante los estudios utilizando un primer aparato de ensayo prototipo según se ha descrito, se monitorizó el captador 8 mediante el registrador de datos *pico* ADC-212. Se encontró que, tras el ciclo inicial, el segundo ciclo se aceleraba y después los ciclos restantes se ralentizaban a medida que se reducía la amplitud. La figura 7 muestra un resultado típico para un cartón ondulado con tripa SC y forro Kraft de onda "C" 250/160/250, de 36 mm de ancho con una envergadura de 200 mm. En la figura 7, el borde delantero del primer pulso inicia el registrador de datos y cada pulso se produce a mitad de ciclo cuando el captador óptico se ve perturbado por un dedo 10 estrecho, que la masa 7 inercial lleva, que interrumpe el haz de luz de un dispositivo de escáner de barrido con disparador Schmitt óptico.

La electrónica del aparato de ensayo puede ser básica, con una lógica conectada físicamente para detectar pulsos y tiempo o, alternativamente, puede incluir electrónica de microcontrolador y salida calculada o interconectada a un ordenador para un análisis de datos completo y resultados conectados en red.

Puede ser necesario investigar la rigidez de la muestra en diversas condiciones ambientales, por ejemplo para determinar el efecto del contenido de humedad. El aparato de ensayo puede disponer de cables de modo que el conjunto armazón y prensas de sujeción puede usarse en una cabina ambiental (de guantes) con la electrónica fuera de la cabina. La electrónica también puede sellarse herméticamente para permitir su uso en una cámara ambiental (de acceso) o almacén refrigerado. Por tanto pueden utilizarse condiciones de almacén refrigerado de 95% HR y 1°C para condiciones de ensayo severas pero realistas.

Un cuerpo oscilará en movimiento rotacional si hay un par antagonista que es proporcional al desplazamiento angular del cuerpo desde su posición de equilibrio, es decir:

$$\tau = -k\theta$$

donde -k es la constante de torsión de la barra

Combinando esto con la segunda ley de Newton en forma de movimiento rotacional para dar

$$\tau = I\alpha$$

$$-k_t\theta = I\alpha$$

Ec. 7

donde I es el momento de inercia del objeto rotatorio y

$$\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

es la aceleración angular del sistema. La ecuación de movimiento es

$$-k_t\theta = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

Ec.8

La solución general a esta ecuación es

$$\theta = \theta_m \sin(\omega t + \phi)$$

Ec. 9

donde θ_m es la amplitud de la oscilación y

ω es la frecuencia angular donde

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \text{radianes / s}$$

donde f y T son la frecuencia y el periodo de la oscilación y ϕ es el ángulo de fase.

Ha de observarse particularmente que ω no debe confundirse con la tasa de cambio del desplazamiento $\Delta\theta/\Delta t$, la velocidad angular, que normalmente presenta el mismo símbolo (omega).

Para que la ecuación 8 sea una solución de la ecuación 9, debe aplicarse lo siguiente

$$\omega = \sqrt{\frac{k_t}{I}} \quad \text{o} \quad k_t = \omega^2 I$$

Ec. 10

La constante de torsión k_t depende de la forma de la barra así como del material. La relación para una barra maciza de sección transversal circular es:

$$k_t = \frac{nA^2}{2\pi L} \quad \text{o} \quad n = \frac{k_t 2\pi L}{A^2}$$

Ec. 11

donde n es el módulo de torsión, A es el área de sección transversal de la barra y L es la longitud de la barra.

Con la finalidad de una medición de control de calidad en planta, un método convencional que usa una anchura y la conversión del periodo de tiempo para un ciclo al cuadrado de la frecuencia angular es más que adecuado para determinar si el cartón ondulado se ha dañado durante la fabricación. Sin embargo, se apreciará que en otras realizaciones puede calcularse el módulo de torsión completo, la constante de torsión, la rigidez torsional o la rigidez al cizallamiento, si se requiere. Esta información se obtiene en referencia a la frecuencia angular de la(s) oscilación/oscilaciones, el momento polar de inercia de la masa inercial así como el área de sección transversal y la longitud de la muestra.

Se sometieron a ensayo tres muestras de cartón ondulado principales en la primera máquina de ensayo de rigidez prototipo.

Se sometieron a ensayo muestras de un cartón ondulado de onda "C" de componente virgen convencional, un almohadillado doble RF y un ondulado "B" RF, con una variedad de anchuras de muestra. Se obtuvo una correlación muy buena entre rigidez al cizallamiento medida usando los datos de pendiente deformación/esfuerzo (momento de torsión) y la rigidez dinámica usando datos de pulsos de oscilación. Los resultados se muestran en la figura 8.

La ecuación empírica que relaciona la frecuencia dinámica de este sistema inercial con la pendiente de la rigidez a la torsión MD es:

5
$$\text{Rigidez a la torsión MD} = 3,329 \times 10^{-4} * \text{Frecuencia angular dinámica al cuadrado } (\omega^2), r^2 = 0,9974$$

10 A partir de la figura 8 puede verse que puede realizarse una sencilla conversión empírica de frecuencia angular en rigidez a la torsión y después llevarse a cabo cálculos de rigidez al cizallamiento utilizando la ecuación 3 para obtener, a partir de los mismos, cifras comparativas con respecto a los datos existentes que puedan estar disponibles.

Puede calcularse el módulo de torsión completo si se requiere conforme a la sección anterior, pero la frecuencia angular al cuadrado (ω^2) por sí sola sería adecuada para un responsable de control de calidad interno.

15 El cartón ondulado RF de onda "B" utilizado en el ejemplo anterior se había impreso y se había convertido totalmente con bastante daño en diferentes partes de la caja. Esta variación fue captada por la máquina de ensayo de rigidez dinámica, variando ω^2 desde 251 hasta 408 en diferentes partes de la caja. Debido a esta variabilidad, esta muestra no fue adecuada para su uso para el ejercicio que resultó en la figura 9. La figura 9 muestra cómo la frecuencia angular (ω) varía con la anchura de la muestra. La correlación es muy buena sin signo alguno de efecto de borde.

20

REIVINDICACIONES

1. Método de ensayo de la rigidez torsional de cartón ondulado, que incluye las etapas de sujetar y retorcer una muestra de cartón ondulado, caracterizado porque dicho método también incluye las etapas de:
 - 5 sujetar la muestra (6) de cartón ondulado en una parte y unir una masa (7) inercial a otra parte de la muestra (6) de cartón ondulado;
 - 10 hacer rotar inicialmente la masa (7) inercial alrededor de un eje de la muestra (6) de cartón ondulado;
 - 15 permitir que la masa (7) inercial oscile libremente;
 - medir el periodo de tiempo para una o más oscilaciones de la muestra (6) de cartón ondulado detectando el paso de la masa inercial por una región de ángulo cero a medida que oscila la muestra; y
 - 20 obtener una indicación de la rigidez de la muestra (6) de cartón ondulado en referencia al periodo de tiempo de dichas una o más oscilaciones.
2. Método según la reivindicación 1, en el que dicha indicación de la rigidez de la muestra es la frecuencia angular de la(s) oscilación/oscilaciones o un valor derivado de la frecuencia angular de la(s) oscilación/oscilaciones.
3. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, que incluye además evaluar el módulo torsional de la muestra en referencia a la frecuencia angular de la(s) oscilación/oscilaciones, el momento polar de inercia de la masa inercial así como el área de sección transversal y la longitud de la muestra.
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que incluye la etapa de evaluar la rigidez de la muestra en referencia a una o dos oscilaciones de la muestra.
5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el cartón ondulado comprende dos capas enfrentadas de cartón a cada lado de una capa central ondulada.

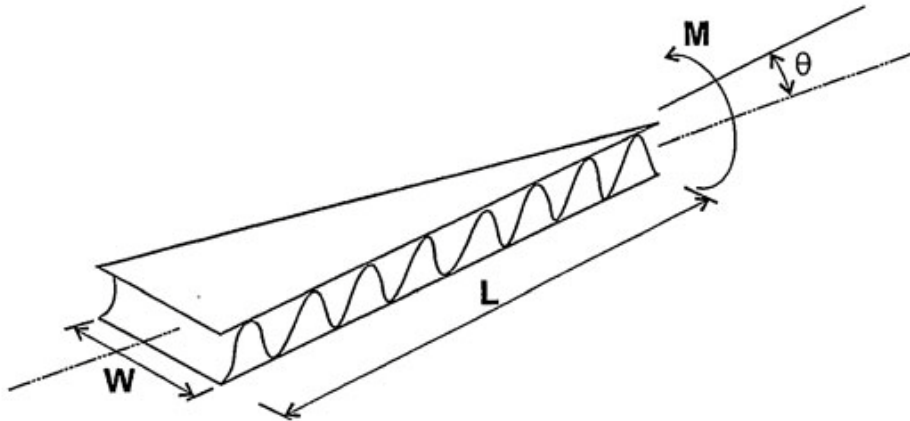
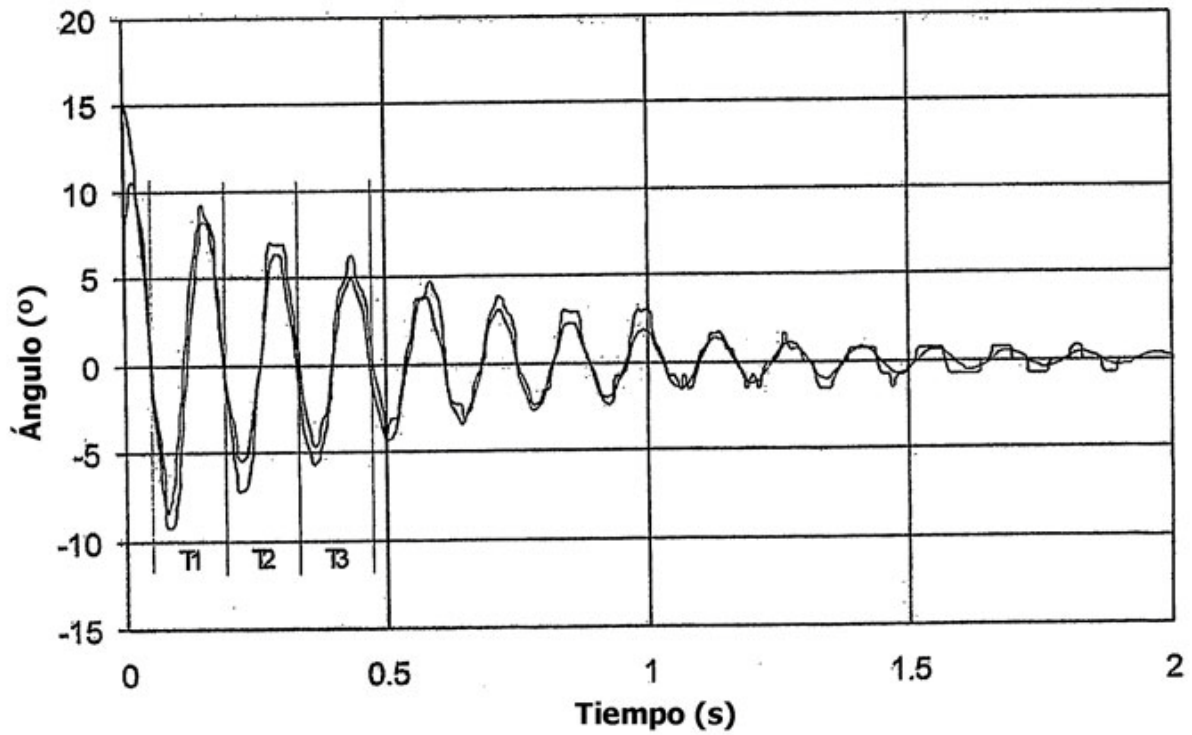


FIGURA 1

Muestra 60406 - Onda "C" de componente virgen

$$\text{Ángulo} = e^{-1.81t} [8.06 \cos 44.99t + 7.61 \sin 44.99t]$$



$$T = 0.140 \text{ s}, \omega = 44.77 \text{ rad/s} \quad \omega^2 = 2005$$

FIGURA 2

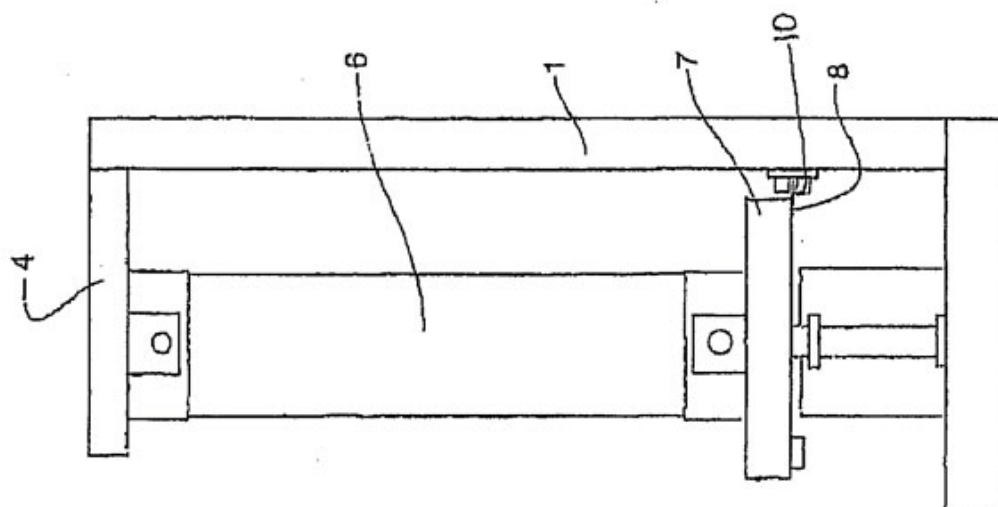


FIGURE 4

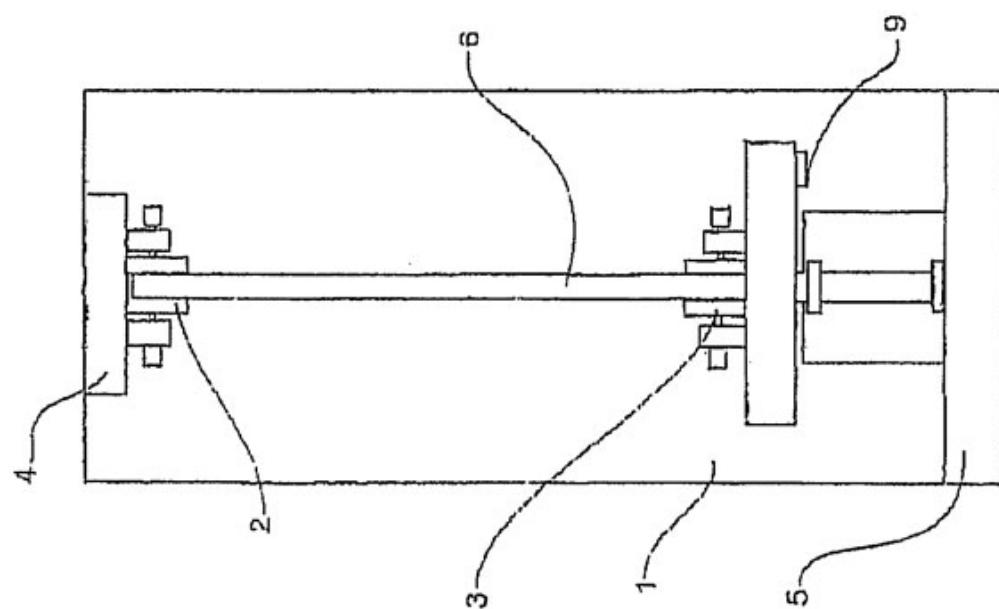


FIGURE 3

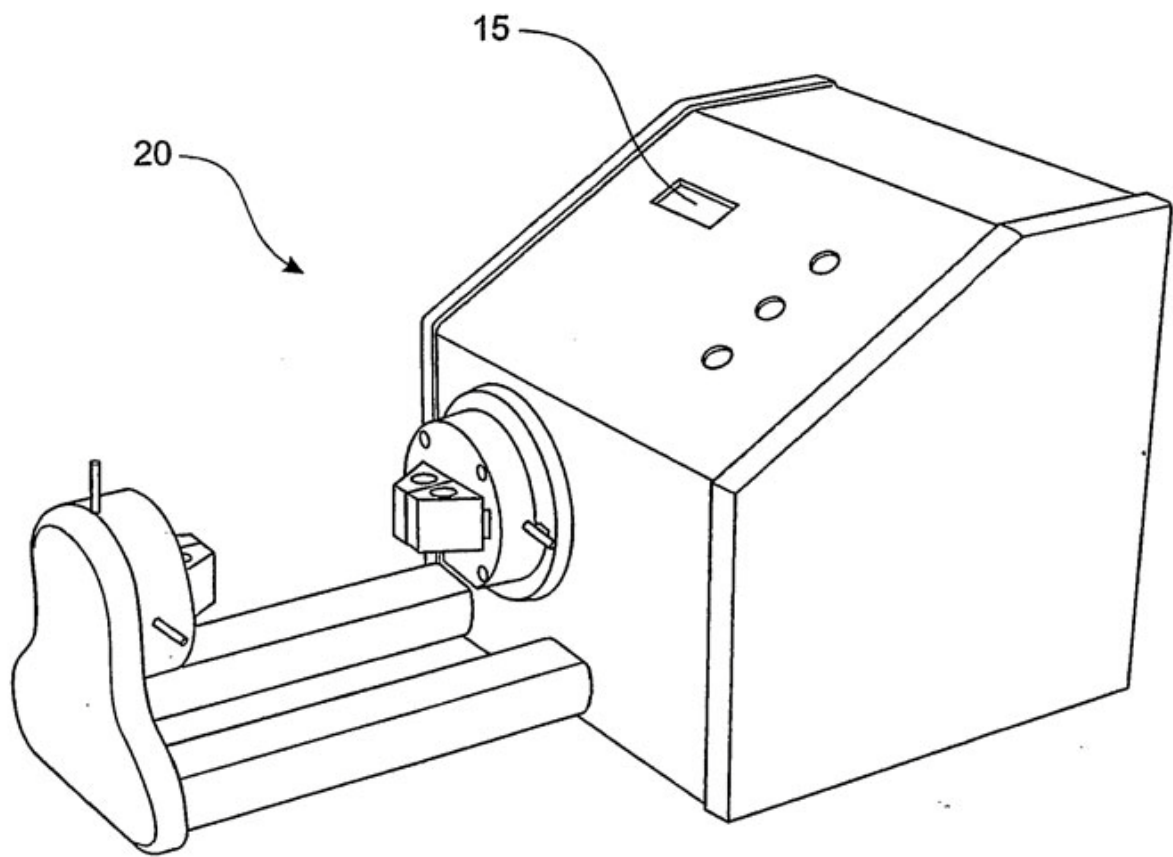


FIGURA 5

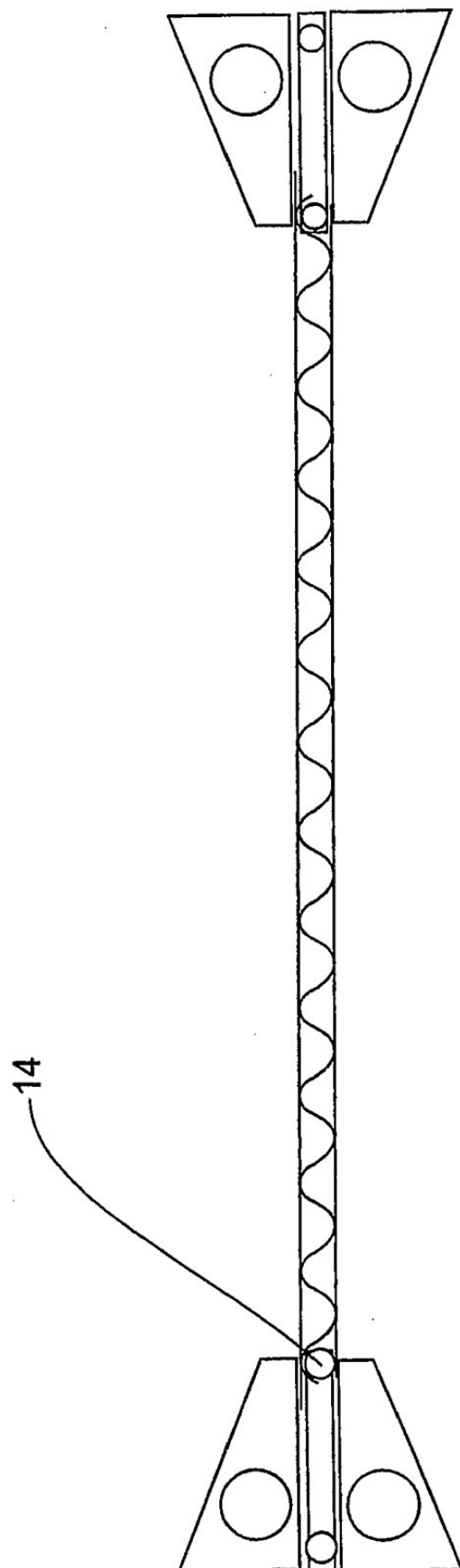


FIGURA 6

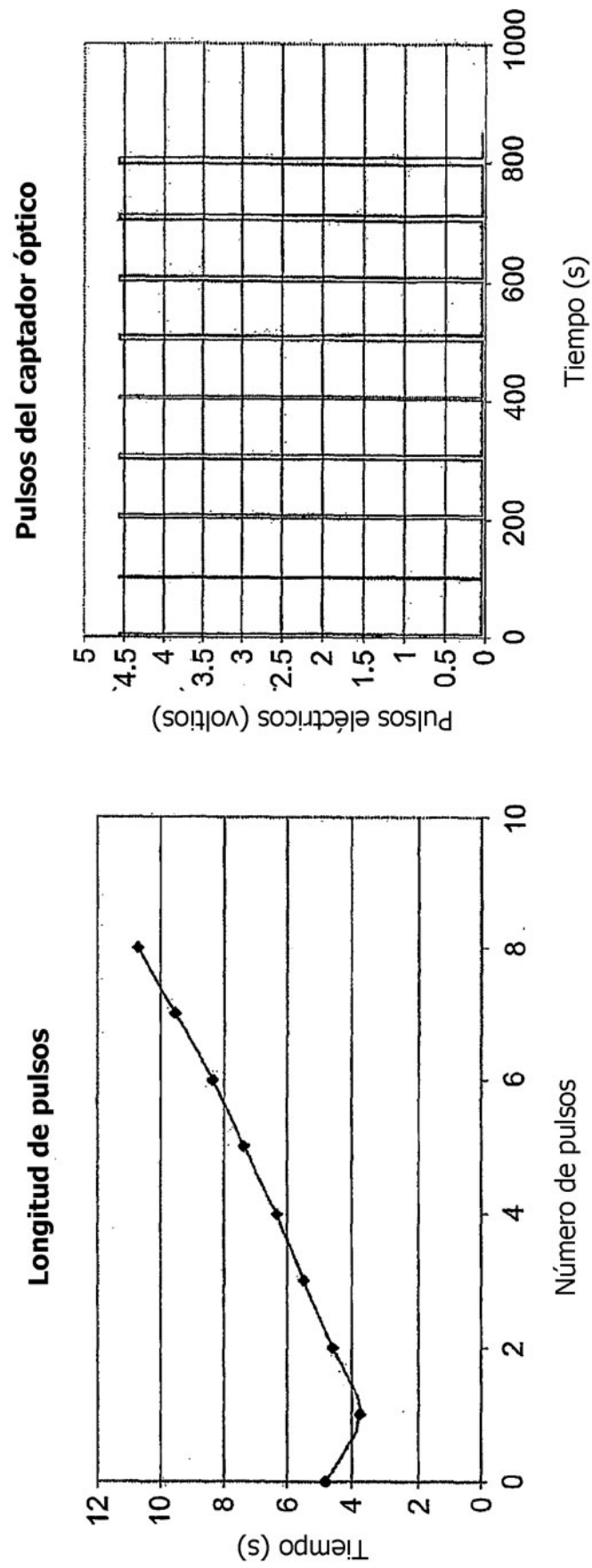


FIGURA 7

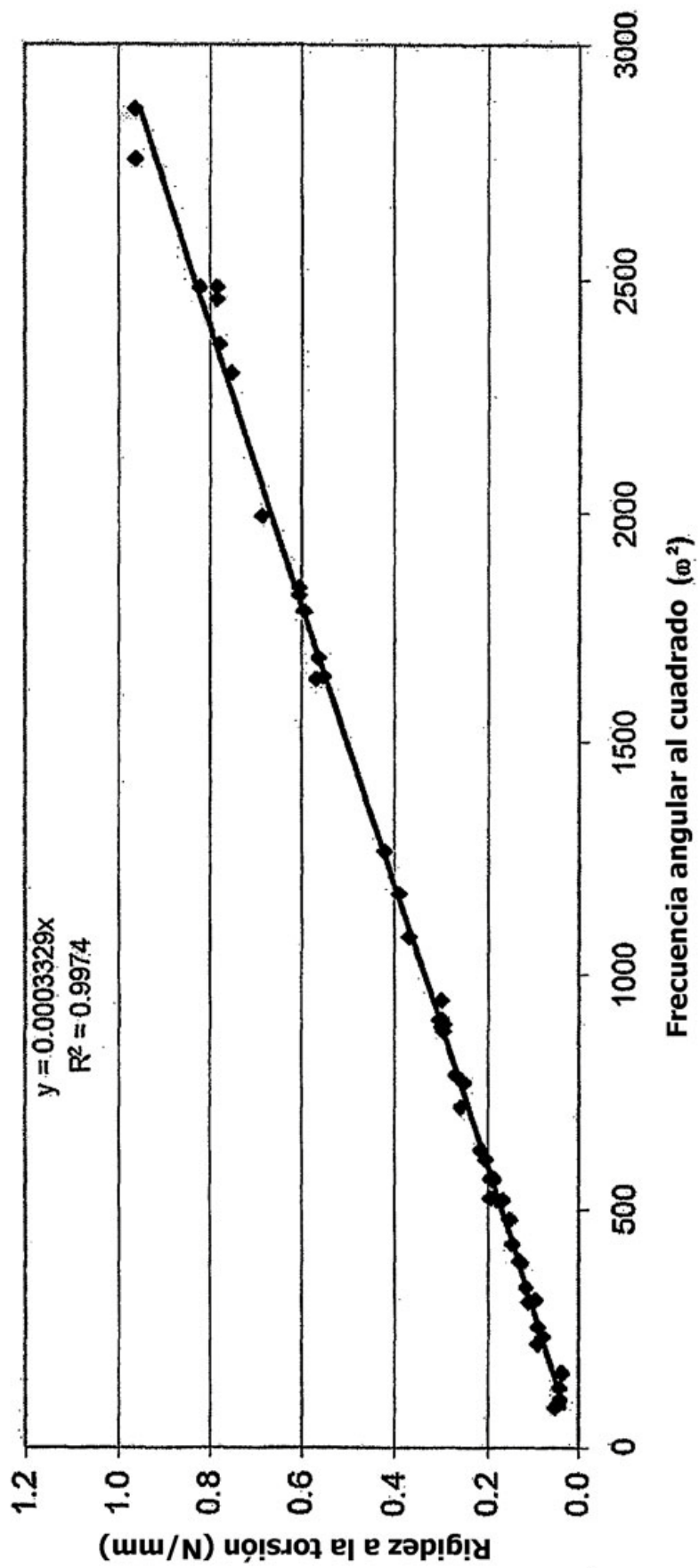


FIGURA 8

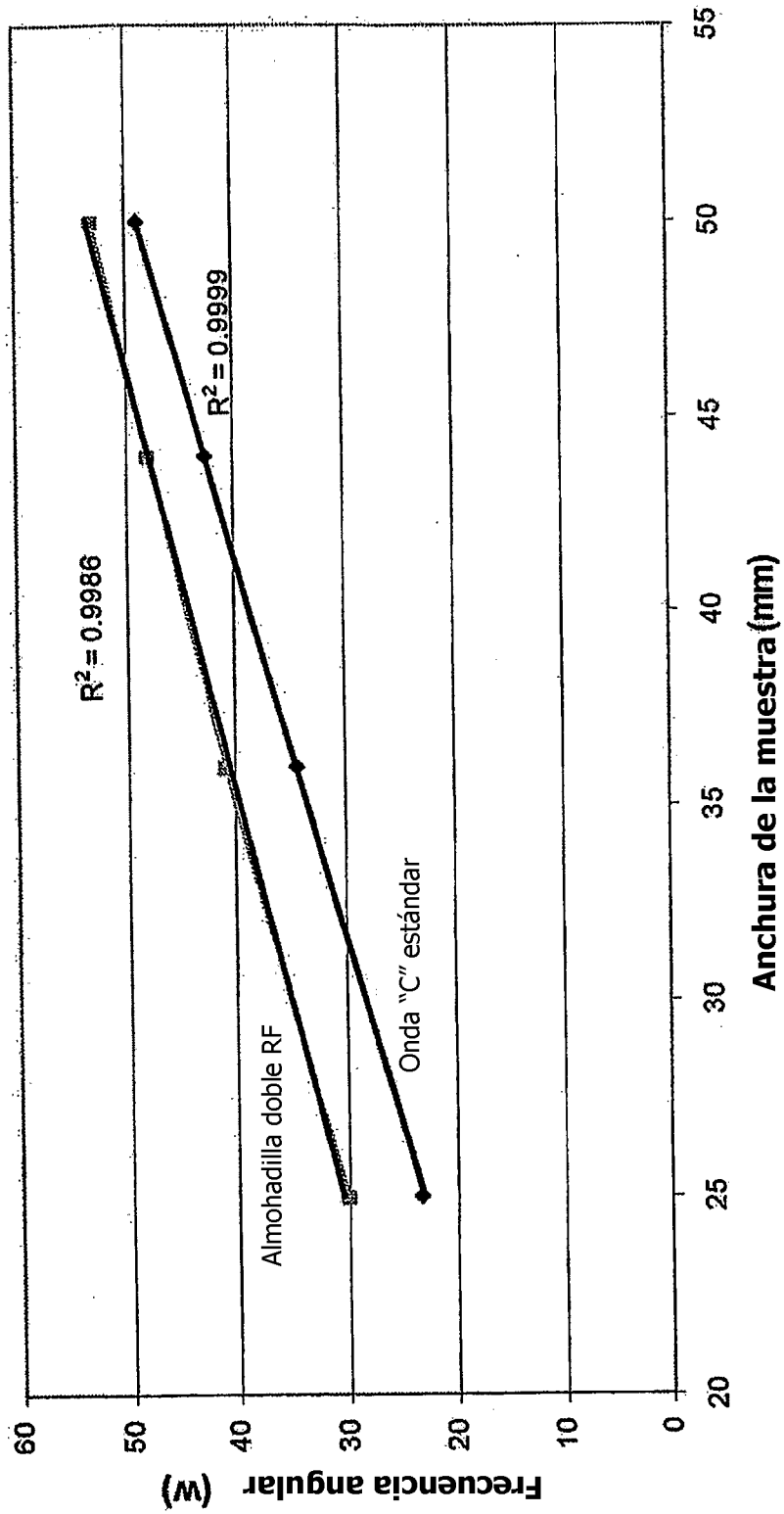


FIGURA 9