

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 684 756**

51 Int. Cl.:

G01B 17/02 (2006.01)

G01N 29/07 (2006.01)

G01N 29/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2015** **E 15382384 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018** **EP 3121559**

54 Título: **Procedimiento de medición del espesor de componentes de fibra de carbono usando ultrasonidos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.10.2018

73 Titular/es:

AIRBUS OPERATIONS S.L. (100.0%)
Avenida John Lennon, s/n
28906 Getafe, Madrid, ES

72 Inventor/es:

JARA BLÁZQUEZ, LUIS;
TORRES MACARRILLA, DAVID;
BERMEJO GONZÁLEZ, SERGIO y
LÓPEZ BRAVO, DAVID

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 684 756 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 de medición del espesor de componentes de fibra de carbono usando ultrasonidos

Objeto de la invención

5 La presente invención se refiere, en general, a técnicas de ensayos ultrasónicos para mediciones dimensionales de calidad.

Más específicamente, la invención se refiere a un procedimiento de medición del espesor usando ultrasonidos en componentes a base de fibra de carbono.

10 Un objeto de la invención es proporcionar un procedimiento de medición del espesor con precisión y simplicidad potenciadas, y que se puede aplicar a componentes de composite heterogéneos formados por varios tipos de materiales.

Antecedentes de la invención

15 Se sabe que las mediciones por ultrasonidos proporcionan el espesor de un componente midiendo el tiempo (t) que tarda en propagarse una señal ultrasónica a través de un componente (1) y volver al equipo de ultrasonidos (2). La Figura 1 muestra esta técnica, en la que el espesor del componente (e) se calcula mediante la fórmula $e = v \cdot t / 2$, en la que (v) es la velocidad de ultrasonido fijada en el emisor de ultrasonido (2).

20 Puesto que la precisión de medición de cada velocidad de ultrasonido es diferente para el espesor diferente que se va a medir, el uso convencional de un equipo ultrasónico automático para medir el espesor de un componente que tiene áreas de diferente espesor, requiere de forma convencional varios ajustes de la velocidad ultrasónica generada (v), para espesor máximo y mínimo de ese componente particular, con el fin de seleccionar una velocidad ultrasónica, que proporciona una precisión aceptable para cada intervalo de espesor. Debido a estos reajustes, el procedimiento de medición es lento y complejo.

25 Adicionalmente, algunos componentes de aeronaves como cubiertas de revestimiento de alas, se forman típicamente de varias capas de diferentes materiales, como fibra de carbono, malla de cobre, capas adhesivas, exceso de resina, etc., de modo que el espesor total del componente en un área específica, es el espesor de fibra de carbono más el espesor de los otros materiales.

30 Puesto que la velocidad de propagación de ultrasonido cambia para cada tipo de material (véase la figura 2), la falta de homogeneidad de estos componentes, la rugosidad superficial, además de los diferentes espesores del componente, provoca que la precisión requerida para las medidas dimensionales, no esté garantizada. En la actualidad, se desprecia el error provocado por los materiales adicionales diferentes de fibra de carbono. SCHINDEL D W Y COL.: "Through-thickness characterization of solid by wideband air-coupled ultrasound", ULTRASONICS, vol. 33, n.º 1, 1 enero 1995, páginas 11-17, desvela el uso de un sistema de inspección sin contacto que emplea ultrasonidos acoplados en aire de banda ancha para la caracterización de material sólido fino. La generación y detección de ultrasonido pulsado se consiguió en lados opuestos de la muestra (en el modo a través del espesor) usando transductores de capacitancia acoplados en aire micromecanizados. El ancho de banda resultante permitió 35 estimar con una precisión razonable ($\geq 1\%$) los cambios en las velocidades absolutas y el espesor para polímeros, productos de madera y composites de polímero reforzado con fibra de carbono.

Sumario de la invención

40 La presente invención se define en la reivindicación independiente adjunta y supera las desventajas de la técnica anterior, proporcionando un procedimiento automático para medir el espesor de componentes heterogéneos en los que la fibra de carbono es el componente principal con espesor variable y que integra adicionalmente al menos un segundo material diferente con espesor constante, como una malla de cobre, capas adhesivas, fibra de vidrio, etc.

45 De acuerdo con la invención, se calcula una única velocidad de ultrasonido a lo largo de todo el componente y correspondiente al material de espesor variable, que puede medir de forma exacta el espesor de la fibra de carbono, pero falla debido a la diferente velocidad de propagación del segundo material y la perturbación provocada por la rugosidad superficial. Puesto que tanto el espesor del segundo material como la rugosidad superficial son constantes en todas las zonas, entonces el error obtenido es constante también, y el cálculo de este error permite la aplicación de una corrección precisa sobre los resultados.

50 El procedimiento comprende las etapas de medir el espesor real máximo y mínimo del componente, esto es, la medición del espesor real de la parte más gruesa y el espesor real de la parte más fina del componente. Estas mediciones se llevan a cabo de forma convencional por medio de un dispositivo mecánico de medición del espesor, tal como un calibre o un micrómetro, por ejemplo (o cualquier otra forma con el fin de conocer el espesor real).

Después, se usa un equipo de ultrasonido automático para medir el tiempo entre que la señal se emite hasta que se recibe el eco después de rebotar en el fondo de cada parte de espesor medida con un micrómetro en la etapa previa.

Por el valor real del espesor máximo y mínimo y el tiempo que tarda la señal en cruzarlos, se puede proponer una ecuación que permite calcular la velocidad de ensayo de ultrasonido y el factor de corrección de espesor.

Después, se ajusta un equipo automático de medición de ultrasonido a la velocidad de ensayo de ultrasonido calculada, y se toman las medidas de espesor total a través de todo un componente usando la misma velocidad de ensayo de ultrasonido calculada.

Finalmente, se aplica el valor de corrección de espesor calculado a cada una de las mediciones de espesor total para cada parte del componente, para determinar un espesor de fibra de carbono corregido para cada parte.

Algunas ventajas de la invención son las siguientes:

- puesto que sólo se necesita un ajuste de velocidad al principio del procedimiento, el procedimiento de medición se simplifica en gran medida.
- Mejora en la precisión. En el intervalo de 0-18 mm de espesor en el bloque de calibrado, el procedimiento de la invención proporciona un máximo de +0,02 mm/-0,04 mm de incertidumbre en la medida. Los procedimientos existentes sin reajuste proporcionan en el mismo intervalo y bloque de calibrado, +0,09 mm/-0,15 mm de incertidumbre.

15 **Breve descripción de los dibujos**

Los modos de realización preferentes de la invención, se describen de aquí en adelante con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Figura 1. - muestra una representación esquemática del procedimiento tradicional para la medida de espesor usando ultrasonidos.

20 Figura 2. - muestra una representación esquemática de una medición del espesor de ultrasonido en un componente de fibra de carbono (3) formado por partes con diferente espesor (3a,3b,3c) y que incorpora un segundo material (4), como una malla de cobre, adhesivo, etc. Las flechas en la figura representan la diferente velocidad de propagación de ultrasonido para cada material, y el error "X" provocado en la medición del espesor de fibra de carbono debido a la diferente velocidad ultrasónica en el segundo material.

25 Figura 3. - el gráfico muestra el problema de tener que usar diferentes velocidades y la ausencia de la precisión ofrecida, en comparación con la solución que permite el uso de una única velocidad y mayor precisión para un intervalo de espesor de 2-18 mm.

Figura 4. - muestra una tabla que contiene un ejemplo de datos calculados y medidos para demostrar la precisión del procedimiento de medición de fibra de carbono de la invención.

30 **Modo de realización preferente de la invención**

El procedimiento de la invención es adecuado para medir el espesor de fibra de carbono, en cualquier componente de fibra de carbono (preferentemente plástico reforzado con fibra de carbono), incluso como el mostrado en la figura 2, que tiene partes con diferente espesor (3a, 3b, 3c) y que integra al menos una capa (4) de un segundo material, diferente de fibra de carbono. Típicamente, en una cubierta de revestimiento de ala de un avión, este segundo material es una malla de cobre que tiene un espesor constante a lo largo de las diferentes partes del componente.

Se miden el espesor real de la parte más gruesa (3a) y el espesor real de la parte más fina (3c), con un micrómetro.

Se calcula una velocidad de ensayo de ultrasonido óptima para la que la diferencia entre el error de medida en el espesor real máximo y el error de medida en el espesor real mínimo del componente es similar.

40 La figura 3 muestra la precisión de varias velocidades de ultrasonido para un intervalo de espesor de 2-18. Se puede destacar en el gráfico que una velocidad de ultrasonido de 2955 m/s es la velocidad óptima, puesto que es la que proporciona un error similar a lo largo del espesor del componente.

Por otra parte, se toman dos medidas de tiempo, una es el tiempo que el ultrasonido tarda en propagarse a través de la parte de componente más gruesa, y la segunda es el tiempo que tarda el ultrasonido en propagarse a través de la parte de componente más fina.

45 Después, se calcula un valor de corrección de espesor (X) para cada parte (3a,3b,3c) del componente con diferente espesor. Adicionalmente, también se calcula una velocidad de ensayo de ultrasonido (Y) a partir de dicho valor de corrección de espesor, dichos tiempos medidos, y dicho espesor real máximo y mínimo.

El procedimiento para calcular estos dos parámetros (X), (Y) se describe a continuación, en el que:

- Y= única velocidad de ensayo de ultrasonido
- 50 X= valor de corrección de espesor

ES 2 684 756 T3

e_1 = medida por micrómetro del espesor real de la parte más gruesa del componente
 e_2 = medida por micrómetro del espesor real de la parte más fina del componente
 t_1 = tiempo que tarda el ultrasonido en propagarse a través de la parte más gruesa del componente.
 t_2 = tiempo que tarda el ultrasonido en propagarse a través de la parte más fina del componente.

5 Sabiendo que $e = v \cdot t$, entonces:

$$e_1 + X = Y t_1$$

$$e_2 + X = Y t_2$$

$$X = Y t_1 - e_1$$

$$X = Y t_2 - e_2$$

10 $Y t_1 - e_1 = Y t_2 - e_2$

$$Y t_1 - Y t_2 = e_1 - e_2$$

$$Y (t_1 - t_2) = e_1 - e_2$$

Se obtiene el valor de los dos parámetros:

$$Y = (e_1 - e_2) / (t_1 - t_2)$$

15 $X = (Y t_1) - e_1$

Esto es, se obtiene una velocidad de ensayo de ultrasonido calculada común (Y) y un valor de corrección de espesor (X), para todas las partes del componente con diferente espesor y configuración de materiales.

En el caso de la figura 2, ya que el espesor de malla de cobre es constante a lo largo de todas las partes del componente, el valor de (X) es el mismo para todas las partes.

20 Finalmente, se ajusta un equipo automático de medición de ultrasonido con la velocidad de ensayo de ultrasonido calculada (Y), y usando esta velocidad, se mide el espesor total de cada una de las partes del componente. Después, se aplica el valor de corrección de espesor (X) a cada una de las mediciones de espesor total de cada parte, para obtener un espesor de fibra de carbono corregido para cada parte del componente.

25 La figura 4 muestra la gran precisión lograda con el procedimiento de la invención, en el que se puede destacar que la diferencia entre el espesor real (columna de valor de calibre), y el espesor obtenido por el procedimiento de la invención (columna de espesor calculado), es menos de un 0,52 % en este ejemplo particular.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de medición del espesor de fibra de carbono, en un componente de fibra de carbono (1) que tiene partes de diferente espesor y que integra al menos un segundo material, en el que el espesor del segundo material es constante a lo largo de las diferentes partes del componente de fibra de carbono, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- 5
- medir con micrómetro el espesor real máximo y mínimo (e_1 , e_2) del componente,
medir con equipo ultrasónico automático (2), el tiempo que tarda un ultrasonido en propagarse a través de la parte de componente con espesor máximo y la parte de componente con espesor mínimo,
10 calcular una velocidad de ensayo de ultrasonido y un valor de corrección de espesor (X) para el componente, en el que dicho valor de corrección de espesor (X) y una velocidad de ensayo de ultrasonido óptima se determinan usando los tiempos que el ultrasonido tarda en propagarse a través de la parte de componente con espesor máximo y la parte de componente con espesor mínimo, y el espesor real medido máximo y mínimo,
15 medir el espesor total de cada una de las partes del componente, usando ultrasonidos con la misma velocidad de ensayo de ultrasonido calculada,
y aplicar el valor de corrección de espesor (X) para cada una del espesor total medido de cada parte, para determinar un espesor de fibra de carbono corregido para cada parte.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el espesor máximo y mínimo real del componente se mide con un dispositivo mecánico de medición de espesor.
3. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fibra de carbono es un plástico reforzado con fibra de carbono.
- 20
4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se genera el ultrasonido por un equipo automático de medición de ultrasonido, ajustado a la velocidad de ensayo de ultrasonido calculada.

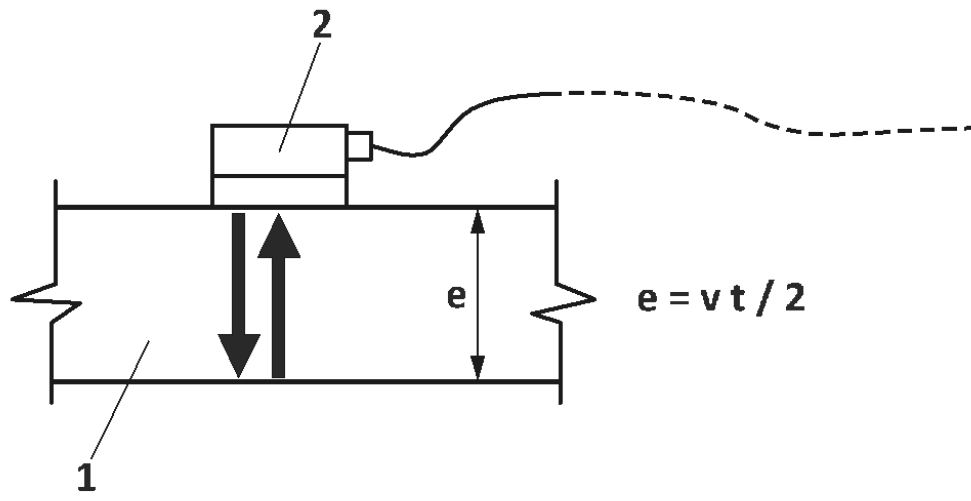


FIG. 1

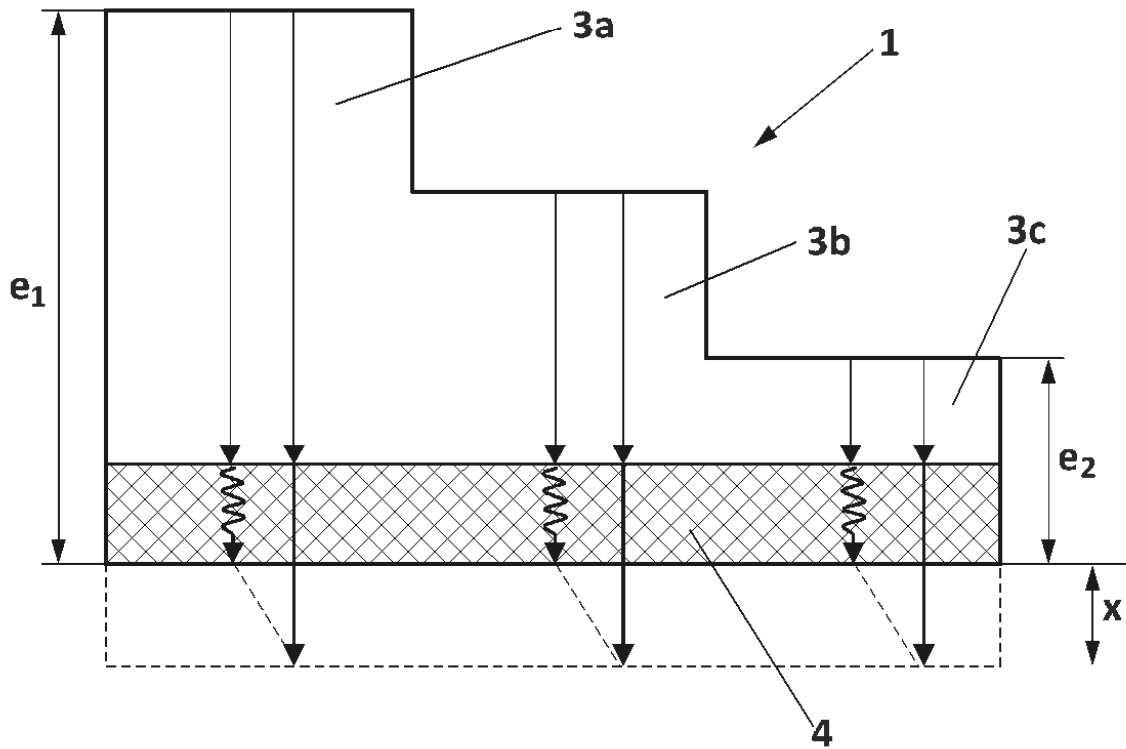


FIG. 2

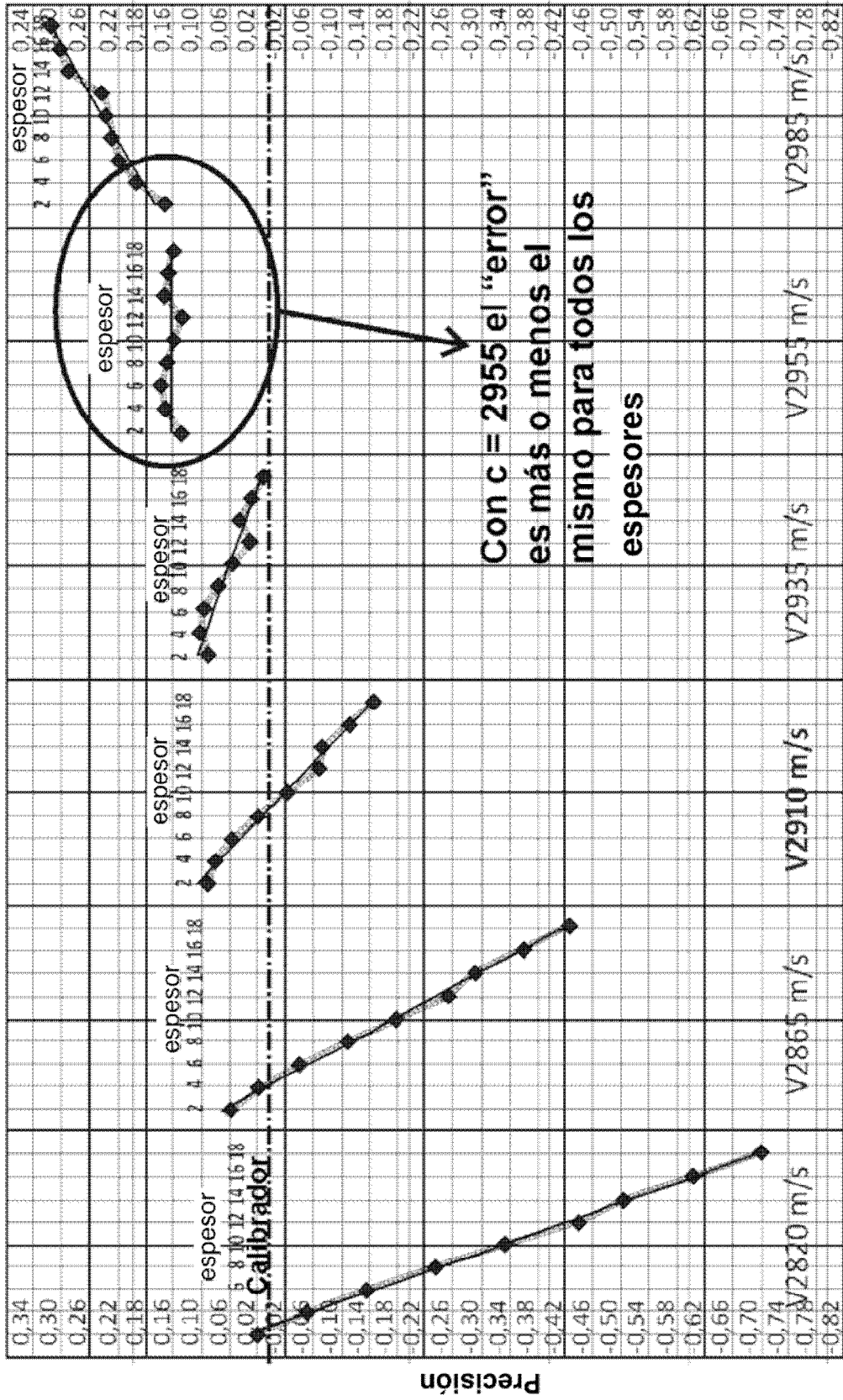


FIG. 3

Valor	Medida por TU					
	Calibrador	Tiempo=e/v	Factor de corrección	Velocidad calculada	Espesor calculado	Precisión, mm
17,92	0,006106529	0,126	2955	17,920	0,000	0,00
16,06	0,005491409	0,126	2955	16,102	-0,042	-0,26
16,08	0,005484536	0,126	2955	16,082	-0,002	-0,01
16,00	0,005450172	0,126	2955	15,980	0,020	0,12
14,08	0,004814433	0,126	2955	14,102	-0,022	-0,15
13,96	0,004769759	0,126	2955	13,970	-0,010	-0,07
12,08	0,004130584	0,126	2955	12,081	-0,001	-0,01
12,04	0,004109966	0,126	2955	12,020	0,020	0,17
10,06	0,003443299	0,126	2955	10,050	0,010	0,10
10,02	0,003439863	0,126	2955	10,040	-0,020	-0,20
8,24	0,002828179	0,126	2955	8,232	0,008	0,10
8,04	0,002776632	0,126	2955	8,080	-0,040	-0,49
6,28	0,002178694	0,126	2955	6,313	-0,033	-0,52
6,04	0,002092784	0,126	2955	6,059	-0,019	-0,31
4,22	0,001477663	0,126	2955	4,241	-0,021	-0,50
2,20	0,000786942	0,126	2955	2,200	0,000	0,00

FIG. 4