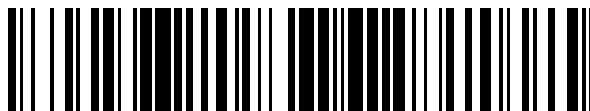


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 775**

21 Número de solicitud: 201400832

51 Int. Cl.:

G01N 27/04 (2006.01)

G01R 27/08 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

15.10.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

15.04.2016

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

24.05.2016

Fecha de la concesión:

13.09.2016

45 Fecha de publicación de la concesión:

20.09.2016

73 Titular/es:

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (100.0%)

Avenida Blasco Ibáñez 13

46010 Valencia (Valencia) ES

72 Inventor/es:

ROSADO MUÑOZ, Alfredo;

CASANS BERGA, Silvia y

IAKYMCHUK, Taras

54 Título: **Método resistivo y sistema para la medida de la humedad en un material fibroso, y programa de ordenador**

57 Resumen:

Método resistivo y sistema para la medida de la humedad en un material fibroso, y programa de ordenador.

El método comprende, de manera secuencial y automática:

a) aplicar unas señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias entre unos electrodos (E1, E2) en contacto y/o insertados en una muestra de material fibroso (M);

b) obtener una pluralidad de valores de la corriente circulante por la muestra (M);

c) calcular la resistencia eléctrica equivalente de la muestra (M) a partir de la aplicación de una función estadística sobre dos o más de los valores de corriente obtenidos en b) y/o sobre unos valores calculados a partir de los mismos; y

d) determinar, mediante cálculo, el grado de humedad de la muestra (M) a partir del valor de resistencia eléctrica equivalente determinado.

El sistema y el programa de ordenador están ambos adaptados para implementar el método de la invención.

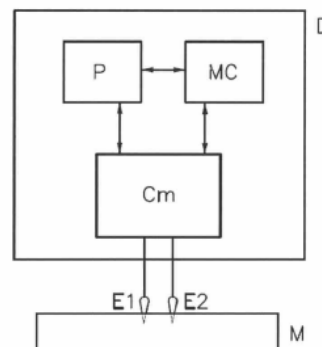


Fig. 2

ES 2 566 775 B2

DESCRIPCIÓN

Método resistivo y sistema para la medida de la humedad en un material fibroso, y programa de ordenador.

5

Sector de la técnica

La presente invención concierne, en un primer aspecto, a un método resistivo para la medida de la humedad en un material fibroso, en general madera, a partir del valor de la resistencia eléctrica equivalente de una muestra de material fibroso determinado a partir de la medida de la corriente circulante por la misma al aplicar una tensión eléctrica sobre la misma, y más en particular a un método que comprende realizar múltiples medidas de corriente circulante por la muestra al aplicar sobre la misma señales de tensión alterna de distintas frecuencias, y aplicar una función estadística sobre los valores medidos para calcular la resistencia eléctrica equivalente.

Un segundo aspecto de la invención concierne a un sistema adaptado para implementar el método.

Un tercer aspecto de la invención concierne a un programa de ordenador adaptado para implementar el método.

Estado de la técnica anterior

De acuerdo con la Directiva de Productos de la Construcción (reglamento UE 305/2011), el Marcado CE de la madera aserrada de sección rectangular clasificada estructuralmente se lleva a cabo con sujeción a lo establecido en el Anexo ZA de la norma armonizada EN 14081-1 en vigor. La implantación del Marcado CE en los aserraderos genera mucha casuística particular, motivo por el cual para armonizar las interpretaciones de la norma armonizada EN 14081-1 y coordinar la supervisión de su implantación por parte de los Organismos Notificados nacionales (los encargados de la supervisión), se creó un comité consultivo, conocido con las siglas GNB-CPD SG 18.

El sistema de evaluación de la conformidad que resulta de aplicación a la madera aserrada estructural se fija por los Organismos Notificados nacionales que son los encargados de evaluar y aprobar la correcta implantación (reflejando su aprobación mediante la emisión de un certificado) del manual para el Control de la Producción en Fábrica (CPF). Este manual, redactado por los fabricantes, ha de establecer los procesos y metodologías internas que aseguren el perfecto control de su producción.

En su Position Paper NB-CPD/SG18/07/051 sobre la norma armonizada EN 14081-1:2005 (de 2 de noviembre de 2007), el GNB-CPD SG 18 establece que para cada lote de madera clasificada estructuralmente, tanto por medios visuales (los más comunes en España) como por sistemas automatizados, deberá asegurarse que, al menos una vez, quedan registradas las siguientes variables: Especie de madera, Procedencia, Dimensiones, Clase de calidad (de acuerdo con la norma o sistema de clasificación seguido), Contenido de humedad (si se clasifica en seco).

También se indica en dicho documento de posición que la competencia del personal clasificador y la calibración de los medidores de humedad deberán ser controladas, al menos, anualmente. Analizando con un poco de atención lo establecido en la norma EN

14081-1:2011 respecto de la medición del contenido de humedad, se observa que en el apartado 5.1.1 se cita textualmente "El contenido de humedad deberá ser determinado de acuerdo con EN 13183-2 (medida resistiva) ó EN 13183-3 (medida capacitiva). La precisión del aparato de medida de la humedad deberá ser de $\pm 2\%$ ".

Esta exigencia establecida en la norma armonizada EN 14081-1:2011 respecto de la calidad de la medida de los xilohigrómetros (evaluada mediante la precisión) es de muy difícil cumplimiento en la práctica por la mayoría de los aparatos actualmente en uso ya que, de acuerdo con el único gran estudio europeo al respecto (llevado a cabo por 'Forsen y Tarvainen' en el año 2000 sobre aparatos comerciales: Forsen, H. and Tarvainen, V. (2000) "Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters", VTT publications, no. 420. 95 pp. ISBN 951-38-5581-3), "la precisión de los medidores de humedad (con un intervalo de confianza del 95%) evaluada en ensayos de laboratorio sobre material bien acondicionado (sin gradientes internos de humedad) es de $\pm 1,5\%$ a $\pm 2,5\%$ para los aparatos de resistencia y de $\pm 2,5\%$ a $\pm 4,0\%$ para los de capacitancia. La precisión determinada en ensayos industriales es de $\pm 2\%$ a $\pm 5\%$ para los aparatos de resistencia y de $\pm 3\%$ a $\pm 5\%$ para los de capacitancia". En este mismo trabajo los autores citan textualmente que "La mayoría de los medidores de humedad por resistencia muestran desviaciones sistemáticas de su medida respecto de los valores reales debido al incorrecto uso de curvas internas de calibración".

De la lectura de lo anterior ya se puede constatar un primer problema: que los aparatos comerciales actualmente existentes no tienen la precisión requerida en su medida para ser usados en el control de humedad de la madera de acuerdo con la norma EN 14081-1. Pero también se tiene identificada la primera causa del problema, al menos en los aparatos de resistencia (los más comunes): que las curvas internas de calibración del aparato no son adecuadas a las especies medidas.

Para que se entienda bien la razón de este problema y su posible solución debe indicarse que la curva interna de calibración de la gran mayoría de aparatos europeos corresponde a la de la madera de picea, y que la forma de esta curva es muy distinta a la correspondiente a, por ejemplo, la de la madera de pino. Los selectores de especie que habitualmente se ven en los aparatos comerciales lo único que hacen en la práctica (salvo los modelos muy avanzados) es trasladar la curva patrón; lo que no hace sino "trasladar" el problema de raíz: que la forma de la curva patrón interna no se ajusta a las de las distintas especies. Por dicho motivo si se quiere realmente mejorar la precisión de la medida de los xilohigrómetros de resistencia trabajando sobre una o unas especies concretas, es necesario conocer y aplicar las curvas adecuadas para convertir las medidas de resistencia eléctrica en medidas de humedad.

Si se sigue con el análisis de los contenidos de la norma armonizada EN 14081-1:2011 respecto de la medida del contenido de humedad, observamos que en el apartado 6.3.2 2.1 se cita textualmente que "Todos los equipos de pesada, medida y ensayo deberán ser calibrados y regularmente inspeccionados de acuerdo con procedimientos, criterios y frecuencias documentados". En una nota al pie en este mismo apartado se cita que "La calibración de los medidores de humedad deberá ser controlada, al menos, anualmente". De la lectura de lo anterior se deduce que el manual del CPF (Control de Producción en Fábrica) debe contener procedimientos para la calibración anual y verificación periódica de los aparatos de medida de humedad.

De la combinación de las dos exigencias contempladas en la norma EN 14081-1:2011 (5.1.1 y 6.3 2.2.1) se deduce que en el CPF no solo debe haber procedimientos documentados para la calibración de los aparatos sino que, además, en ellos debe evaluarse la precisión de la medida tomada en la especie objeto de marcado. Es decir, que no caben calibraciones generales "para todas las especies de una escala" sino verdaderas calibraciones para las maderas para las que se declara y establece el Marcado CE.

En lo que hace referencia al uso de los medidores de humedad por el método de resistencia, la norma armonizada EN 14081-1:2011 hace llamada a los contenidos de la norma EN 13183-2:2002, la cual establece de forma clara y determinante cómo deben ser usados estos aparatos para producir una medida de calidad. De este modo en su apartado 4 se cita textualmente que "Este método es válido para la madera que tenga un contenido de humedad aproximado comprendido entre el 7% y el 30%. Determinados tipos de tratamientos de protección, de ignifugación o tratamientos químicos o térmicos pueden afectar a la precisión de la medida y requieren una calibración particular del instrumento en función del tipo de tratamiento". Vemos claramente cómo se pone de manifiesto la necesidad de llevar a cabo calibraciones particulares en función de las características del material a evaluar.

Pero esta misma norma en su apartado 6, establece que "antes de realizar las medidas, el xilohigrómetro eléctrico de resistencia debe verificarse según las instrucciones aportadas por el suministrador del aparato" y que "para verificar la precisión del equipo se pueden utilizar cajas de resistencia de calibración".

De la lectura de todo lo anterior se deduce que a la luz del Marcado CE, en la medida del contenido de humedad de la madera aserrada estructural deben emplearse aparatos calibrados anualmente, con precisión mejor que el $\pm 2\%$ y que para conseguirlo es necesario efectuar calibraciones adaptadas a las características del sustrato a medir (especie de madera, tratamiento aplicado, etc.). También se cita que se pueden usar cajas de resistencia para efectuar las verificaciones.

La raíz del problema con los medidores de resistencia la pone de manifiesto el estudio europeo arriba citado, y llevado a cabo por 'Forsen y Tarvainen' en el año 2000 sobre aparatos comerciales, al establecer que "la mayoría de los medidores de humedad por resistencia muestran desviaciones sistemáticas de su medida respecto de los valores reales debido al incorrecto uso de curvas internas de calibración". Por este motivo para efectuar una calibración de los medidores de humedad por resistencia no basta el empleo de cajas de resistencia sino que, además, es necesario conocer para cada material las correctas curvas de calibración (las que relacionan para cada especie de madera la resistencia eléctrica medida por el aparato con el valor de la humedad). Este informe demuestra que una gran parte de los medidores de humedad no cumplen los requisitos para permitir el marcado CE de la madera ya que están por encima del 2% de precisión en la medida y no han sido calibrados según las curvas correspondientes a cada una de las especies de madera que miden.

En este momento es conveniente señalar que la gran mayoría de "certificados de calibración" que se ven en el mercado no son tales y que, a lo sumo, pueden ser considerados certificados de "verificación". Esto es así porque lo único que hacen los emisores de tales certificados es comprobar que el equipo sigue midiendo de forma similar a su salida de fábrica (siguiendo para ello las instrucciones aportadas por el

fabricante del aparato), es decir, de acuerdo con su curva interna de calibración (que recordemos que en la mayor la de los aparatos corresponde a la de la picea). En estos certificados "de calibración" se aportan unos datos generales validos para todas las especies o, a lo sumo, para cada una de las escalas; sin indicación de la precisión que se obtiene midiendo con el aparato sobre especies de madera concretas. Por dicho motivo, para calibrar un xilohigrómetro de resistencia no basta con disponer de unas cajas de resistencias calibradas sino que, además, es necesario disponer de las curvas que relacionan para cada especie de madera la medida de la resistencia eléctrica con el valor de la humedad así como conocer la precisión de tales curvas que, en definitiva, es la causante - junto con la calidad de la medida de la resistencia eléctrica efectuada por el aparato - de la precisión de la medida tomada por el aparato.

Por todo lo mencionado anteriormente, se desprende que pocos sistemas de medida empleados en la actualidad son capaces de responder a la normativa europea.

El método de la medida de resistencia eléctrica es, por razones prácticas, el más utilizado en la práctica para determinar el grado de humedad en los campos de la madera y materiales de construcción, aunque tiene el inconveniente de que, si bien cuando el contenido de humedad es bajo los cambios de resistencia obtenidos con el cambio de contenido de humedad son considerables, cuando el contenido de humedad es alto (por ejemplo en caso de madera para humedades por encima del 60%) la variación de la resistencia eléctrica con el cambio de humedad, es muy reducida, por lo que en tales casos los valores de medición resultan significativamente menos precisos, cuando se realizan con los aparatos del estado de la técnica. Asimismo, en la técnica resistiva se deben medir resistencias muy elevadas (especialmente para valores bajos de humedad) y la aparición de efectos parásitos no atribuibles a la medida en particular puede ser muy elevada, lo que puede conducir a errores importantes en la medida realizada con los aparatos del estado de la técnica.

Es por ello que resulta necesario ofrecer una alternativa al estado de la técnica que permita implementar un procedimiento de medida resistivo preciso y ajustable al tipo de madera (y en general a cualquier clase de material fibroso), ofreciendo la exactitud y confianza necesaria como para permitir el marcado CE de la madera y ofrecer unas garantías adecuadas a todos los niveles dentro de los canales de producción y distribución de la madera.

Algunos de los aparatos comerciales para la medida resistiva de humedad en madera con los inconvenientes arriba indicados son, por ejemplo, los de las compañías Veto (http://www.veto.cl/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.pbv.tpl&product_id=239&category_id=91&option=com_virtuemart&Itemid=743&lang=es) y Gann Mess-u. Regeltechnik GmbH (por ejemplo el hidrómetro modelo HT 65: <http://www.gann.de/Produkte/ElektronischeFeuchtigkeitsmessger%C3%A4te/StandardLine/HydrometteHT65/tabid/101/language/en-US/Default.aspx>).

Debe indicarse, asimismo, que existen documentos de patente que protegen métodos y sistemas para la medida de humedad, basados en procedimientos resistivos, pero que también adolecen de la mencionada falta de precisión en las medidas obtenidas, algunos de los cuales se citan a continuación. Obsérvese que todos ellos se encuentran en un horizonte temporal superior a 30 años, lo que es un indicio claro de que lo que proponen es muy susceptible de ser mejorado.

Por ejemplo, cabe citar las patentes US3331020 (publicada en el año 1967) y US4408128 (publicada en el año 1983) ambas dedicadas a la medida de resistencia y su aplicación en la obtención de la humedad en diversos tipos de materiales, entre ellos la madera y granos de trigo. Debido a los componentes electrónicos y etapas del diseño electrónico utilizadas en dichos circuitos, su aplicación a la medida de valores elevados de resistencia, como puede ser el caso de determinadas especies de madera, hace que no pueda obtenerse la precisión requerida por la nueva normativa de marcado CE.

En concreto, la patente US3331020 hace referencia a un circuito basado en dispositivos semiconductores (transistores) y define su novedad frente a las lámparas de vacío previamente utilizadas dada la reciente invención en aquel momento de la tecnología de circuitos integrados por parte de Jack Kilby en 1958. Este circuito se basa principalmente en el empleo de dos transistores de tipo NPN y resistencias variables sobre las que aplicar una fuente de corriente que circula a través de la resistencia a medir. Esta patente no presenta aplicabilidad alguna hoy en día, dado el avanzado estado de la técnica y los circuitos electrónicos existentes. Por otro lado, el rudimentario procedimiento de medida es a todas luces muy poco preciso; de hecho, en la patente no se detallan valores de precisión en la medida, hablando únicamente de una escala lineal de funcionamiento de hasta 100 MOhm, valor muy bajo considerando los elevados valores de resistencia que se deben medir en el caso de la humedad en madera por debajo del 15% (dependiendo del tipo de madera).

En relación a la patente US4408128, también basada en la medida de humedad en madera mediante resistencia eléctrica, propone un sistema que plantea la conversión de la medida de resistencia eléctrica en magnitud de humedad en madera mediante el empleo de circuitos integrados que incluyen la compensación de temperatura, curva de compensación de tipo de madera, conversión logarítmica, etc. Todo ello añade una gran complejidad al sistema. Por otra parte, al igual que en la patente anterior, las curvas de ajuste que se muestran alcanzan valores máximos de 120 MOhm, y por tanto, ofrecen un valor fiable en la medida de humedad por encima del 10% (mayor incluso dependiendo del tipo de la especie) que se encuentra fuera de los rangos de humedad y resistencia que es necesario medir para poder cumplir con el estándar de medida. En esta patente tampoco se ofrecen valores de precisión, por lo que no resulta posible una comparativa pero a la vista de los circuitos de medida planteados en cascada se desprende que la precisión será baja dado los numerosos valores de resistencias empleados (esto introduce errores dado la imprecisión en el valor de las mismas), el empleo de interruptores analógicos que generan pérdidas de corriente a veces del mismo orden que la corriente que se desea medir, y en general la elevada circuitería requerida.

Actualmente los instrumentos que miden con la exactitud exigida por la norma de marcado CE son instrumentos especializados en la medida de altas resistencias, como es el caso del Mega-óhmetro IET1865. Se trata de instrumentos de grandes dimensiones caracterizados por utilizar circuitería interna compleja y como mayor desventaja cabe resaltar que para hacer un uso correcto de los mismos se requiere que el usuario tenga conocimientos electrónicos. Esto hace que sea inviable su uso en aplicaciones relacionadas con la industria maderera.

Asimismo, los documentos de patente alemanes DE3306460-A1, DE3306460-A y DE3306460-C realizan propuestas que se basan principalmente en la obtención de la resistencia eléctrica a través de un circuito de medida analógico muy poco elaborado y donde el valor de la medida de humedad viene dado por la comparación directa entre el

valor de resistencia obtenido con el de unas determinadas tablas de compensación que son variables y programables, aunque sin el uso de ningún tipo de algoritmo para determinar automáticamente de forma precisa y rápida el valor de resistencia eléctrica.

- 5 Por otra parte, la patente US4259633 detalla un procedimiento de medida de humedad también basado en resistencia eléctrica. Esta patente plantea un método de medida donde una resistencia variable se coloca acoplada a la sonda de medida para ajustar hasta cero un posible desplazamiento en la medida de tensión (bias). No se indica que
 10 aparte de esta compensación realizada a través de circuitería electrónica se realice un procedimiento de medida de toma de múltiples datos de forma iterativa dado que según muestra el esquema electrónico, no existe ningún tipo de procesador o sistema digital capaz de almacenar y procesar el valor de la medida sino que está basado únicamente en un conmutador de resistencia que a través de la circuitería realiza ciertas compensaciones y ofrece un valor basado en la medida directa sin ningún tipo de
 15 procesado, adquisición iterativa y estabilización. De hecho, se indica que la conmutación de resistencias debe realizarse de forma manual a través del operador del dispositivo.

- El ajuste propuesto en US4259633 se lleva a cabo corrigiendo la magnitud de la tensión eléctrica aplicada sobre la madera, con el fin de compensar propiedades anómalas de la
 20 madera, en particular efectos de tensión inversa inherentes a cada tipo de madera. No se indica en US4259633 ni realizar una variación de la frecuencia de la tensión aplicada ni tener en cuenta ninguna medida adicional a la obtenida una vez se ha corregido la magnitud de la tensión eléctrica para obtener la medida de humedad de la madera.

- 25 En resumen, como se ha indicado anteriormente, es necesario ofrecer una alternativa al estado de la técnica que permita mejorar la precisión de los métodos y sistemas/aparatos de medida resistivos conocidos.

Explicación de la invención

- 30 La presente invención tiene como fin el de constituir la citada alternativa a los métodos resistivos del estado de la técnica, y concierne, en un primer aspecto, a un método resistivo para la medida de la humedad en un material fibroso, en general madera, que comprende, de manera secuencial:

- 35 a) aplicar una tensión eléctrica entre dos o más electrodos en contacto y/o insertados en una muestra de material fibroso;

- 40 b) obtener el valor de la corriente circulante por dicha muestra y causada por la aplicación de dicha tensión eléctrica:

c) determinar la resistencia eléctrica equivalente de dicha muestra de material fibroso a partir del valor de corriente obtenido; y

- 45 d) determinar, mediante cálculo y dependiendo del material fibroso, el grado de humedad existente en la muestra de material fibroso a partir del valor de resistencia eléctrica equivalente determinado.

- 50 A diferencia de los métodos conocidos, el propuesto por el primer aspecto de la invención comprende, de manera automática:

- en dicha etapa a), aplicar al menos una pluralidad de señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias y aplicar también al menos una señal de tensión continua de entrada;

5 - en dicha etapa b), obtener una pluralidad de valores de la corriente que circula por la muestra de material fibroso (M) durante la aplicación de dicha pluralidad de señales de tensión alterna de entrada y obtener al menos un valor de la corriente circulante entre los dos o más electrodos (E1, E2) durante la aplicación de dicha señal de tensión continua; y

10 - en dicha etapa c), calcular la resistencia eléctrica equivalente a partir de la aplicación de una función estadística sobre dos o más de los valores de corriente obtenidos en b) para dos o más correspondientes señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias y/o sobre unos valores calculados a partir de los mismos y para la señal o
15 señales de tensión continua de entrada y/o sobre uno o más valores calculados a partir de los mismos.

Por lo que se refiere a la pluralidad de valores de la corriente circulante por la muestra de material fibroso, el método del primer aspecto de la presente invención comprende
20 obtenerlas a partir de medidas, en general de tensión eléctrica, realizadas directamente en dichos o en otros electrodos en contacto con la muestra de material fibroso, o indirectamente sin contacto con la muestra de material fibroso.

Para un ejemplo de realización, el método del primer aspecto comprende realizar dichas medidas en diferentes áreas de la muestra de material fibroso y/o a varias profundidades.

25 Preferentemente la mencionada función estadística es una función promedio, aunque, de manera complementaria o alternativa, el uso de otras funciones estadísticas también es posible.

30 Según un ejemplo de realización, el método comprende aplicar de forma iterativa un algoritmo de cálculo sobre la pluralidad de valores de corriente obtenidos, hasta obtener unos valores considerados estadísticamente significativos para como mínimo la mencionada función estadística, y aplicar la función estadística, en la etapa e), sobre dichos valores estadísticamente significativos.

35 De acuerdo con un ejemplo de realización, como mínimo parte de la pluralidad de señales de tensión alterna son señales de pulsos cuadrados y la etapa a) comprende aplicar dichas señales de pulsos cuadrados de distinta frecuencia de manera secuencial.

40 Preferentemente, como mínimo la pluralidad de señales de tensión alterna forman parte de una única señal de tensión variable en frecuencia, y el método comprende aplicar, en la etapa a), dicha única señal de tensión variando su frecuencia durante su aplicación, según un barrido de frecuencias dentro de un rango de frecuencias determinado que, de acuerdo con un ejemplo de realización, varía hasta sustancialmente 1MHz.

45 Alternativamente, aunque de manera menos preferida, las señales de tensión alterna no forman parte de una única señal de tensión sino que son señales independientes entre sí.

Para otro ejemplo de realización, el método comprende, en la etapa a), variar también la
50 magnitud de dicha única señal de tensión, durante su aplicación, mediante escalones incrementales.

El método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende, para otro ejemplo de realización, de manera previa a la etapa a), realizar un proceso de ajuste para determinar como mínimo un valor adecuado, al menos por lo que se refiere a magnitud, de las señales de tensión de entrada a aplicar entre los dos o más electrodos, que provoque la circulación por la muestra de material fibroso, entre los dos o más electrodos, de una corriente con un valor que este dentro de un rango medible, directa o indirectamente, donde dicho valor adecuado es el utilizado inicialmente en la etapa a) para al menos el primer pulso de señal de tensión alterna a aplicar. En general, el valor de la corriente circulante se obtiene indirectamente a partir de medidas de tensión eléctrica, por lo que, en tal caso, el citado rango medible se refiere a valores de tensión eléctrica.

El mencionado proceso de ajuste comprende aplicar entre los dos o más electrodos una señal de tensión alterna con un valor inicial, referente al menos a magnitud, y obtener, si circula corriente, el valor de la corriente circulante por la muestra de material fibroso, y:

i) si la corriente circulante tiene un valor dentro del rango medible, determinar que dicho valor inicial es el valor adecuado; ó

ii) si la corriente circulante tiene un valor fuera de dicho rango medible, incrementar, si esta por debajo del rango medible, o disminuir, si esta por encima, dicho valor inicial de la señal de tensión alterna, aplicarla sobre los dos o más electrodos y obtener de nuevo, si circula corriente, el valor de la corriente circulante por la muestra de material fibroso, y si la corriente circulante tiene un valor dentro del rango medible determinar que dicho valor es el valor adecuado, y si no es así repetir sucesivamente, de manera iterativa, la etapa ii) hasta determinar el valor adecuado.

Preferentemente, la señal de tensión alterna aplicada en el proceso de ajuste es una señal de pulsos cuadrados.

El proceso de ajuste también comprende, ventajosamente, seleccionar un rango de medida adecuado de entre una pluralidad de rangos de medida proporcionados por la variación de como mínimo una resistencia variable, llevándose a cabo dicha selección, durante la aplicación de la señal alterna del proceso de ajuste, variando el valor de dicha resistencia variable desde un valor mínimo que proporciona el rango de medida más bajo hasta un valor superior que proporciona el rango de medida más alto posible sin generar tensión de saturación en la resistencia variable), donde el rango de medida adecuado es el utilizado durante las etapas a) y b), y, en general (por las razones expuestas anteriormente), es un rango de medida relativo a medidas de tensión eléctrica.

Para un ejemplo de realización del método propuesto por el primer aspecto de la presente invención, la etapa a) comprende aplicar al menos parte de las mencionadas señales de tensión alterna de distintas frecuencias de manera secuencial con el fin de detectar frecuencia o frecuencias de resonancia de la muestra de material fibroso a partir de los valores de corriente obtenidos en la etapa b), entendiéndose tales frecuencias de resonancia como aquéllas que presentan una mayor influencia en la respuesta del material fibroso (y que son debidas por ejemplo al tipo de material y/o a imperfecciones en su estructura interna), es decir en el valor o valores que adquiere la corriente circulante, tanto por lo que se refiere a polaridad como a magnitud, Como se explicará más adelante, esta frecuencia o frecuencias de resonancia serán tenidas en cuenta en la

obtención del valor final de la humedad mediante una corrección dependiente de la frecuencia que se ha detectado como más influyente.

5 Dichas señales de tensión alterna aplicadas en a) con el fin de detectar frecuencias de resonancia de la muestra de material fibroso son, para una variante de dicho ejemplo de realización, señales sinusoidales.

10 Según un ejemplo de realización, la etapa e) del método propuesto por el primer aspecto de la invención comprende aplicar como mínimo un promediado a los valores de corriente obtenidos, excluyendo aquellos que muestren una desviación superior a un valor determinado, y utilizar el valor medio obtenido para el cálculo de la resistencia eléctrica equivalente.

15 Dicho promediado comprende, para una variante de dicho ejemplo de realización:

- aplicar unos promediados previos, cada uno a un respectivo grupo de valores de corriente obtenidos, incluyendo al menos un grupo de valores de corriente de polaridad opuesta a la del resto de grupos, y calcular la desviación estándar de cada uno de dichos grupos;

20 - seleccionar los valores de corriente medios de aquellos de dichos promediados previos relativos a grupos cuya desviación estándar este por debajo de un valor umbral (por ejemplo un 10% del valor medio); y

25 - aplicar de forma iterativa un promediado a los valores de corriente medios seleccionados para sucesivos grupos de valores de corriente obtenidos, así como el cálculo de su desviación estándar, y tomar el valor medio del mismo como valor de la medida una vez que la desviación estándar de estos valores de corriente medios es menor que un umbral (por ejemplo un 2% del valor medio).

30 El método del primer aspecto de la invención comprende, en general, en la etapa d), calcular el grado de humedad existente en la muestra de material fibroso para una temperatura de 25°C, o sustancialmente de 25°C, aplicando un algoritmo que relaciona unas constantes inherentes al tipo de material fibroso con el valor de resistencia equivalente determinado en c), para una temperatura de 25°C, o sustancialmente de 25°C.

40 Tras ello, el método comprende aplicar una compensación de temperatura al valor de grado de humedad calculado para obtener un valor de grado de humedad compensado para ajustarse a las condiciones reales de temperatura de la muestra de material fibroso.

45 Adicionalmente, si se ha detectado al menos una frecuencia de resonancia de la muestra de material fibroso como resultado de aplicar las mencionadas señales de tensión alterna, el método comprende aplicar un factor de corrección al valor de grado de humedad calculado o compensado en temperatura basado en información sobre propiedades de la muestra de material fibroso relacionadas con la humedad, que se infiere del valor de la frecuencia de resonancia detectada.

50 Un segundo aspecto de la presente invención concierne a un sistema para la medida de la humedad en un material fibroso, en general madera, mediante un procedimiento resistivo, donde el sistema comprende:

- un circuito electrónico de medida configurado y dispuesto para aplicar una tensión eléctrica entre dos o más electrodos a disponer en contacto y/o insertar en una muestra de material fibroso, y para obtener, mediante medida directa o indirecta (en general a partir de medidas de tensión eléctrica), la corriente circulante por dicha muestra y causada por la aplicación de dicha tensión eléctrica; y

- unos medios de procesamiento en conexión con o formando parte de dicho circuito electrónico de medida y que están configurados y dispuestos para determinar la resistencia eléctrica equivalente de dicha muestra de material fibroso a partir del valor de corriente obtenido y para determinar, mediante cálculo, el grado de humedad existente en la muestra de material fibroso a partir del valor de resistencia eléctrica equivalente determinado.

A diferencia de los sistemas conocidos, el sistema propuesto por el segundo aspecto de la presente invención:

- comprende unos medios de control que controlan a dicho circuito electrónico de medida para que, de manera automática, aplique una pluralidad de señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias entre dichos dos o más electrodos, y para que obtenga una pluralidad de valores de la corriente circulante por la muestra de material fibroso durante la aplicación de dicha pluralidad de señales de tensión alterna de entrada (preferentemente para obtener varios valores de corriente para cada señal de tensión alterna de entrada), y

- los medios de procesamiento están configurados y dispuestos para calcular la resistencia eléctrica equivalente mediante el procesamiento de dos o más de los valores de corriente obtenidos para dos o más correspondientes señales de tensión alterna de distintas frecuencias, donde dicho procesamiento comprende la aplicación de una función estadística sobre dos o más de los valores de corriente obtenidos y/o sobre unos valores calculados a partir de los mismos siguiendo las etapas a, b y c del método propuesto por el primer aspecto de la invención.

El sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención está adaptado para implementar el método del primer aspecto.

De acuerdo con un ejemplo de realización, el sistema del segundo aspecto de la invención comprende un dispositivo, preferentemente portátil, que aloja en su interior tanto al circuito electrónico como a los medios de procesamiento y a los medios de control.

Para un ejemplo de realización, el sistema comprende unos medios de comunicación previstos para establecer una comunicación bidireccional de datos entre los medios de procesamiento y un sistema de computación remoto.

De acuerdo a una variante de dicho ejemplo de realización, el sistema del segundo aspecto de la presente invención comprende también a dicho sistema de computación remoto.

Debe indicarse que, aunque tanto el método del primer aspecto de la presente invención como el sistema del segundo aspecto se han descrito (y reivindicado) limitados a la aplicación de señales de tensión eléctrica de entrada en los dos o más electrodos,

alternativamente es posible sustituir tales señales de tensión eléctrica de entrada por señales de entrada (eléctricas o electromagnéticas) que no sean de tensión pero que causen, de manera equivalente, la circulación de corriente por la muestra de material fibroso, como sería el caso de señales de corriente alterna de entrada.

Un tercer aspecto de la presente invención concierne a un programa de ordenador que incluye instrucciones de código que cuando se ejecutan en un ordenador (o en cualquier otra clase de equipo de computo) implementan al menos las etapas e) y d) del método del primer aspecto.

Breve descripción de los dibujos

Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los que:

La Fig. 1 muestra, de manera simplificada, el circuito equivalente que incluye al sistema de medida propuesto por el segundo aspecto de la invención y a la resistencia equivalente de la muestra de madera Rx, para un ejemplo de realización.

La Fig. 2 muestra esquemáticamente al sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención, para un ejemplo de realización.

La Figura 3 muestra el diagrama de bloques de un prototipo del circuito de medida que implementa el sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención, para un ejemplo de realización.

La Figura 4 es una grafica de aproximación (línea continua) para la estimación de humedad en madera (eje Y) una vez obtenido el valor de resistencia eléctrica (eje X), según los valores experimentales obtenidos por el laboratorio de calibración (puntos), para el Pino Radiata (PR) a 25°C.

La Figura 5 es una gráfica de evolución en el tiempo del valor resistivo en dos muestras diferentes de pino inicialmente seco, humedecido posteriormente y dejado secar, obtenida mediante el prototipo experimental del circuito de medida de la Figura 3.

La Figura 6 es una gráfica de evolución en el tiempo del valor resistivo en tres muestras diferentes de abeto inicialmente seco, humedecido posteriormente y dejado secar, también obtenida mediante el circuito de medida de la Figura 3.

Descripción detallada de unos ejemplos de realización

En la Figura 2 se muestra esquemáticamente, y de manera simplificada, al sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención, para un ejemplo de realización para el que éste comprende un dispositivo portátil D que aloja en su interior al circuito electrónico de medida Cm, a los medios de procesamiento P y a los medios de control MC, donde el circuito Cm aplica las señales de tensión alterna de entrada (según se ha explicado en un apartado anterior) sobre la muestra de madera M a través de dos o más electrodos E1, E2 insertados en la misma, bajo el control de los medios de control MC, y le suministra los valores de corriente obtenidos a partir de las medidas de corriente realizadas a través de los electrodos E1, E2 a los medios de procesamiento P, para que éste las procese

según el método del primer aspecto de la presente invención. Aunque se han ilustrado como elementos independientes, los medios de control MC y los medios de procesamiento P pueden constituir una misma entidad, para otro ejemplo de realización.

Se ha implementado experimentalmente el método, el sistema y el programa de ordenador propuestos por la presente invención en sus ejemplos de realización más elaborados, descritos en un apartado anterior, implementando el procedimiento de medida desarrollado por los presentes inventores que se basa en el cálculo de la humedad de la madera mediante dos pasos principales: determinación de la resistencia eléctrica equivalente y cálculo de la humedad relativa correspondiente mediante algoritmos de compensación basados en el tipo de madera y la temperatura a la que se realiza la medida. Este procedimiento se ajusta a la norma UNE- EN 13183-2 de 2004 que detalla el modo de realizar la medida en sus aspectos metodológicos. La invención plantea el control de las tensiones a aplicar a la madera, así como la introducción de factores de corrección de la medida basados en la temperatura y el tipo de madera. El procedimiento proporciona una medida confiable y de alta precisión, con un corto tiempo de estabilización.

Por tanto, para cumplir con la normativa metodológica UNE- EN 13183-2 de la medida, en la mencionada implementación experimental, en primer lugar se han realizado todos los ensayos siguiendo las indicaciones de la misma en referencia a distancias de medida, tipos de puntas de medida, profundidad de medida, orientación de la madera, etc. De este modo, el procedimiento de medida requiere de la inserción de dos puntas en la madera a cierta profundidad, que se denominarán a partir de ahora sonda o electrodos sobre los que se aplican las tensiones objeto de esta invención. Esta sonda realiza medidas de resistencia equivalente con diversos niveles de tensión y corriente para comprobar la respuesta de la madera y en base a los resultados aplica un algoritmo que extrae el valor en humedad relativa. El alcance de esta invención se fija en la obtención del valor de resistencia equivalente de la madera de una forma rápida y precisa, pudiendo ser utilizado en un muy amplio rango de resistencia equivalente de la madera (desde mega ohmios hasta decenas de giga ohmios) sin pérdida de precisión en todo el rango de medida.

Como elementos principales de base para la obtención de la medida, se parte de un sistema que permita el ajuste en, inicialmente, cinco rangos de medida, que serán automáticamente seleccionados dependiendo del resultado del proceso de medición para que de este modo sea posible obtener el valor de la medida dentro del rango máximo de tensión (V) y que por tanto, nos permitirá mayor precisión en el resultado. La medida de resistencia que es posible obtener por cada uno de los cinco rangos es la siguiente: [2M-47M], [4,16M-100M], [42M-1G], [420M-10G], [2,1G-50G].

En la Figura 1 se ilustra el circuito equivalente que incluye al sistema de medida propuesto por el segundo aspecto de la invención y a la resistencia equivalente de la muestra de madera Rx, donde el sistema es representado de manera simplificada incorporando una tensión de entrada Vin (variable para proporcionar las señales de tensión alterna de diferentes frecuencias según se ha explicado en un apartado anterior), una resistencia variable Rf que proporciona los rangos de medida y un amplificador A, que proporciona, en su salida, la tensión de salida Vout. La resistencia equivalente de la madera Rx se calcula según la fórmula: $R_x = (R_f \cdot V_{in}) / (V_{out} / \text{PGA_gain})$ siendo PGA_gain la ganancia del amplificador A, en general un amplificador programable.

Una vez ubicada la sonda de medida y conectada a través de unos cables convenientemente apantallados para evitar influencias externas, el procedimiento aplicado consiste en aplicar de forma sucesiva una serie de trenes de pulsos de tensión sobre la sonda, leyendo de forma simultánea los valores de corriente que en cada caso circula entre las dos puntas de la sonda, almacenando los valores y procesándolos mediante un sistema digital (microprocesador o similar). El proceso de aplicación es el siguiente:

1. El sistema de medida se encuentra alimentado a una tensión V_{cc} , por lo que se inicia sobre la muestra de madera la aplicación de pulsos cuadrados de tensión, comenzando por un valor de tensión de $V_{cc}/2$. Experimentalmente se ha comprobado que las corrientes circulan mejor por la madera si inicialmente son bajas y se va incrementando paulatinamente, por ello, lo primero que el algoritmo debe realizar es la selección del rango de medida de resistencia más bajo [2M-47M] y rápidamente incrementar el rango hasta el máximo [2.1G-50G]. Proceder en esta dirección y no en la contraria o comenzando por valores intermedios es imprescindible para mejorar la precisión final en la medida y aplicar una corriente estabilizadora en la reorganización de la estructura interna de la madera que ésta sufre al hacer pasar una corriente a su través. Seguidamente, se fija el valor seleccionable de R_f en su máximo valor y se mide la tensión V_{out} durante un tiempo T_{sat} del orden de milisegundos. Si V_{out} es un valor cercano a la tensión de saturación (V_{sat}), se cambia el valor R_f y se vuelve a medir, repitiendo el proceso hasta que se obtiene un valor de R_f que no genera una tensión de saturación en la salida o se recorren todos los posibles valores de R_f sin éxito.
2. Dependiendo del resultado de la medida, si la corriente que circula (calculada a partir de la medida de tensión mediante la Ley de Ohm) es un valor que no es posible determinar debido a que es muy bajo, se incrementa la tensión 0,5V (si como resultado se obtiene un valor de corriente muy elevado, se reduce la tensión 0,5V y se procede del mismo modo que se detalla a continuación). Este proceso se repite hasta que se obtiene un valor de corriente o de tensión medible, momento en el que se prueba nuevamente a modificar el rango a un valor superior para verificar que la tensión de saturación se sigue excediendo, en caso contrario, es preferible un valor cercano a saturación que un valor de V_{out} muy bajo, por lo que se fija el rango que mayor V_{out} proporcione sin alcanzar saturación. Se espera un tiempo T_{stab} del orden de un segundo.
3. Una vez fijados los valores adecuados de V_{cc} y R_f , se realiza un barrido de frecuencia de pulsos que varía entre 100Hz y 1MHz con escalones incrementales del orden de $\log_{10}$ (frecuencia aplicada). Con este barrido resulta posible comprobar el comportamiento de la madera a diferentes frecuencias dado que la estructura interna de la madera se comporta de distinto modo dependiendo de la frecuencia.
4. Con el empleo de esta técnica se obtienen múltiples valores de la medida de corriente que circula por la muestra y que posteriormente serán tratadas por el algoritmo de estimación de resistencia eléctrica.
5. De forma adicional, para obtener más datos se aplica otro barrido de frecuencia empleando una onda sinusoidal para conocer el comportamiento de la materia y la corriente resultante. Esto puede permitir detectar frecuencias de resonancia que

facilitarán conocer detalles acerca de la estructura del material y por tanto, relacionarse con el tipo de madera que se mide.

- 5 6. A medida que se van obteniendo los datos de corriente que circula por la muestra a la tensión fijada para cada una de las frecuencias medidas, se aplica un promediado de los valores a excepción de aquellos valores que hayan mostrado una desviación mayor del 50% de la medida. Si existe un valor de resonancia significativo, éste se almacenará para poder formar parte del algoritmo de cálculo de la humedad de la madera en función del valor de resistencia eléctrica obtenido.
10 Por cada tramo de 100 medidas se calcula su media y desviación estándar, se seleccionan los tramos con una desviación estándar menor del 10% sobre la media del tramo, repitiendo este proceso tantos segundos como sea necesario, para sucesivos grupos de valores de corriente medidos, así como el cálculo de su desviación estándar, es decir la de los valores medios de cada tramo promediado,
15 hasta que la desviación estándar de los valores medios de cada tramo es menor de 2% sobre la media de tales valores medios. Durante el proceso de medida por tramos es necesario tomar al menos un tramo en sentido de polaridad opuesto al del resto de las medidas (corriente circulando en sentido contrario) y comparar su media y valor estándar, lo que contribuye a obtener un valor más estable y
20 preciso.
- 25 7. Dado el valor de resistencia eléctrica, determinado a partir del valor de corriente medio obtenido finalmente, el siguiente paso es la obtención del valor de humedad equivalente a 25°C teniendo en cuenta el tipo de material del que se trata, aplicando un algoritmo que relaciona unas constantes inherentes al tipo de material fibroso con el valor de resistencia equivalente determinado en e), para una temperatura de 25°C, o sustancialmente de 25°C. Para llevar a cabo este proceso, se precisa disponer de las tablas calibradas de compensación, consistentes en tablas de 255 puntos donde figura el valor de humedad
30 correspondiente a una resistencia eléctrica determinada, y temperatura de 25°C. Estas tablas deben elaborarse en laboratorio y son únicas para cada lipa de madera que se desee analizar. Dado que resulta un proceso muy largo en tiempo y complicado, la tabla de 255 puntos se ha elaborado con un algoritmo de estimación de la curva de humedad basándonos en la toma de 6 medidas de
35 resistencia y humedad. El algoritmo genera una aproximación a la curva humedad(y)-resistencia(x) de la forma $y = a \cdot x^b + c$, donde y es el valor de humedad a 25°C, x es el valor de resistencia obtenido según calculas anteriores, y a, b, c son las constantes del material que se ha calibrado previamente (diferentes para cada material).
40
- 45 8. Si en el proceso de barrido de frecuencias se detectó una frecuencia resonante, se aplica un factor de corrección basado en esta frecuencia, que supone corregir ligeramente el valor de resistencia, que a su vez modifica el valor de humedad en función del valor de esta frecuencia, dado que este valor indica la existencia de ciertas propiedades de la madera que informan acerca de la posibilidad de ésta de contener más cantidad de humedad.
- 50 9. Seguidamente se compensa el valor de humedad obtenido para 25°C, en función de la temperatura. La compensación de temperatura se hace por una ecuación de desplazamiento basada en la temperatura y el valor de la resistencia, dado que a valores extremos la compensación es ligeramente diferente.

10. Este proceso se aplica de modo iterativo para al menos 100 medidas, siendo el valor promedio con la acción de un filtrado y promediado, el valor finalmente mostrado como humedad de la muestra de la madera.

5

Los presentes inventores no conocen ninguna propuesta que incorpore un algoritmo o proceso de medida tan sofisticado como el de la presente invención y que tenga en consideración tantos factores (cambio de Vcc, cambio de Rf, aplicación de pulsos cuadrados, de onda sinusoidal, inversión de sentido de la corriente en la sonda, algoritmo de estimación basado en múltiples medidas con eliminación de extremos y análisis de desviación estándar, estabilización de la medida sobre la media de valores, etc.).

10

Para determinar la validez del procedimiento, se ha diseñado un circuito electrónico específico que implementa el sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención y permite la aplicación de las tensiones y corrientes necesarias, así como la obtención de las medidas para el cálculo de la resistencia eléctrica. Para la estimación final de la humedad, los algoritmos aplicados se han probado gracias al desarrollo de una placa electrónica de adquisición y procesamiento que permiten verificar el valor de humedad de la muestra de la madera. La explicación detallada de cada una de las partes es la siguiente:

15

20

- Circuito de sensado: Se han estudiado y probado experimentalmente diferentes etapas de acondicionamiento y sensado para medir la humedad de la madera y se ha determinado el circuito acondicionador a utilizar. Esta parte es la encargada de generar, en los tiempos correspondientes, las tensiones y corrientes necesarias para aplicar el procedimiento planteado anteriormente. Este circuito ha sido posible gracias a las nuevas tecnologías de semiconductor que permiten captar corrientes muy bajas (del orden de femtoamperios), junto con el uso de convertidores ADC de alta precisión y microcontroladores que gestionan todo el proceso de almacenamiento y procesamiento de datos, así como su bajo consumo de energía que los hace idóneos para aplicaciones alimentadas por baterías.

25

30

- Circuito de adquisición y procesamiento: Es la parte del xilohigrómetro encargada de enlazar el valor eléctrico de la medida con la estimación de la resistencia y posterior cálculo de la humedad equivalente mediante los algoritmos de compensación planteados en la invención. El sistema de adquisición y procesamiento esta basado en un microprocesador capaz de leer la señal analógica generada por el circuito de sensado, establecer el valor de la medida según el valor leído y las curvas de compensación (basadas en valor de humedad y temperatura), controlar el proceso de medidas, almacenar la información y comunicarse con equipos externos para el envío de información y/o reprogramación de las curvas de compensación.

35

40

En cuanto al nuevo circuito implementado puede decirse que aporta numerosas ventajas frente a los circuitos destinados a la medida de humedad basados en el método resistivo.

45

Para llegar al diseño final del circuito electrónico, en primer lugar se implementaron diferentes prototipos cuyo principal objetivo fue mejorar y ampliar el intervalo resistivo de medida garantizando el cumplimiento de la normativa y consiguiendo con ello las exigencias del mercado CE. En concreto se llegaron a implementar tres prototipos hasta alcanzar el circuito definitivo.

50

Una vez alcanzado el principal objetivo (correcta medida de valores muy elevados de resistencia eléctrica), se realizaron estudios experimentales que permitiesen ofrecer ventajas frente a los instrumentos comerciales comunes que se utilizan en la actualidad. Se estudió la influencia de la tensión aplicada a la madera (rango, polaridad, tiempo de establecimiento...), se minimizó el consumo para poder disponer de instrumentos con autonomía duradera y se dotó al instrumento de prestaciones que no existen hoy en día en el campo de la industria maderera. Entre algunas de las prestaciones se dotó al instrumento de diferentes comunicaciones externas para darle mayor versatilidad y ampliar sus posibles campos de aplicación. Entre las comunicaciones implementadas, que el usuario puede elegir según le convenga, se encuentran las comunicaciones Zigbee, Ethernet GSM y USB. También es posible utilizar el instrumento como equipo de almacenamiento de datos tomados ("datalogger") mediante el uso de una tarjeta SD. Estas características son de especial interés en el caso del mantenimiento de edificios o lugares donde se desea monitorizar en el tiempo los valores de humedad en la madera, por ejemplo, los tejados de edificios del Patrimonio Nacional, y así evitar desplazamientos al lugar de medida.

La Figura 3 muestra el diagrama de bloques del circuito de medida definitivo acoplado a la resistencia de la muestra de madera Rx. Éste está formado por las siguientes etapas o bloques: C1: alimentación en tensión o corriente, C2: conversor resistencia-tensión (que incluye al amplificador A), C3: convertidor analógico digital, C4: microprocesador y C5: display. Debe indicarse que aunque las medidas realizadas por el bloque C2 son de tensión, el microprocesador C4 calcula los valores de corriente asociados a tales valores de tensión medidos y procesa los valores de corriente así calculados. Además, el medidor implementado incluye la posibilidad de comunicación externa inalámbrica o cableada, ampliando el campo de posibles aplicaciones.

Como se puede apreciar, el sistema/circuito de medida además se caracteriza por su modularidad, es por ello que su diseño, montaje y comprobación experimental se ha realizado por etapas.

Para poder demostrar la validez del sistema y del método de medida propuestos por la presente invención, se realizaron numerosos experimentos que han permitido evaluar la bondad del sistema de medida. En una primera fase se estableció como objetivo realizar una correcta medida de la resistencia eléctrica, para lo cual se realizaron medidas experimentales utilizando la caja de décadas resistiva VRS-100 con calibración certificada y valores resistivos similares a los que se pudieran encontrar en la madera.

Una vez se validó el procedimiento de medida sobre la caja de décadas resistiva, se procedió a realizar medidas directamente sobre madera siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-EN13183-2 para piezas de madera ubicadas en cámara climática a una determinada humedad y temperatura, para diferentes tipos de madera. Se utilizaron tablas de calibración humedad-resistencia proporcionadas por CIFOR-INIA y otras existentes en la bibliografía. Como ejemplo, la gráfica de la Figura 4 muestra los resultados obtenidos para la estimación de humedad. La figura muestra la aproximación de la curva humedad-resistencia donde dados una serie de puntos experimentalmente obtenidos en el laboratorio de calibración a través de cámara climática para un tipo de madera a humedad y temperatura conocidas, se obtiene la curva completa de ajuste para así disponer de la estimación de humedad para cualquier valor de resistencia eléctrica que el medidor obtenga.

Para validar el sistema de medida propuesto por la presente invención se han realizado tres comparativas. La primera consistió en contrastar el valor medido con el de una caja resistiva de décadas calibrada y certificada por un laboratorio oficial. En la Tabla 1 se muestran algunos de los resultados obtenidos siendo R_{th} la resistencia real de la caja de décadas resistiva utilizada como patrón, R_{exp} la lectura de resistencia proporcionada por el circuito propuesto por la presente invención, R_f corresponde a la resistencia ubicada en el lazo de realimentación del amplificador de la Figura 1 y $Er(\%)$ corresponde al error cometido en la medida (error entre el valor que indica la caja de décadas y la medida calculada por el circuito). Puede apreciarse como el resultado de la lectura (R_{exp}) para un mismo valor de resistencia patrón R_{th} mejora la exactitud de la medida variando el valor de la resistencia R_f (esta invención justamente plantea el ajuste dinámico de R_f para mejorar precisión) y también se consigue el principal objetivo de esta invención logrando que el error cometido en la medida sea inferior al 10% en valor resistivo, lo cual garantiza el cumplimiento de la nueva normativa.

La segunda comparativa consistió en la comparación de los valores obtenidos por el sistema objeto de esta patente con los obtenidos por un megaohmetro comercial IET1865 (<http://www.ietlabs.com/1865-megohmmeter.html>). En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en la medida de resistencias de la misma caja de décadas que en el primer caso siendo R_{exp} el valor de la medida obtenido por este equipo y Er el error entre el megaohmetro y la caja de décadas. Como se puede apreciar, en la mayoría de los casos el error es similar al de la tabla 1, lo que indica la validez del sistema propuesto considerando las enormes diferencias entre equipos (tamaño, peso, tiempo de medida, coste).

$R_{th}(M)$	$R_{exp}(M)$	$R_f(M)$	$Er(\%)$
10	9,994	1	0,1
100,001	99,8	1	0,2
100,001	99,56	10	0,4
1000,183	1000	10	0,0
1000,183	1005	100	0,5
10016,717	10120	100	1,0
10016,717	10080	500	0,6
10016,717	9920	1000	1,0
99890,14	10630	1000	6,9

Tabla 1

$R_{th}(M)$	$R_{exp}(M)$	$Er(\%)$
10	10,011	0,1
100,001	100,187	0,2
1000,183	1003	0,3
10016,717	10034	0,2
99890,14	95558	4,3

Tabla 2

La Tabla 3 corresponde a los resultados obtenidos con otro instrumento de alta resistencia, en este caso portátil y en cierto modo comparable al propuesto por la presente invención, concretamente se trata del modelo "Material Moisture Gigamodule" del fabricante alemán Scanntronik (http://www.scanntronik.de/English/Produkt_Materialfeuchte_Gigamodul_eng.php).

En ella se aprecia como los errores obtenidos en la medida de resistencias, si se comparan con los resultados de la Tabla 1, aumentan considerablemente.

Rth(M)	Rexp(M)	Er(%)
9,99589	10	0,04
100,048	103,28	4,7
1046	1071	6,7
10024	10964	9,4
99280	102347	3,1

Tabla 3

Se puede constatar, por tanto, que el sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención ofrece una solución adecuada para los rangos altos de resistencia equivalente a rangos bajos de humedad. Es precisamente en estos rangos donde se requiere la máxima exactitud en la medida y donde presentan problemas de exactitud los instrumentos comerciales actuales destinados a la medida de humedad en madera. Dicho sistema se caracteriza por su simplicidad, bajo consumo y mejora notable en la exactitud de la medida en un intervalo mayor de resistencias, llegando a medir 100 G Ω con un error del 6,9% que equivale a un error inferior al 1% en humedad de la madera

Por otra parte, cabe resaltar que todos estos resultados se refieren a medida de resistencia eléctrica dado que son los que de modo fiable pueden ser comparados. En cambio, carecen de sentido si no se realiza una conversión correcta resistencia-madera donde es muy importante disponer de las curvas de caracterización pertinentes. Como ya se expuso anteriormente, es preciso disponer de las curvas adecuadas para cada tipo de madera para lo que es necesario disponer experimentalmente de datos. Así, si no se dispone de mínimos errores y curvas propias asociadas a cada tipo de madera, no es posible su aplicación en el sector de la madera si se requiere cumplir con la normativa del marcado CE. Por ello, las curvas de ajuste también resultan importantes y los aparatos comerciales no las publican, de ahí que no sea posible comparar resultados con los equipos que ofrecen el resultado de medida en humedad dado que resulta muy complicado saber si el error es debido al sistema de medida o la curva de ajuste.

En cualquier caso, para comprobar el funcionamiento del circuito midiendo la resistencia de la madera, se realizaron numerosas pruebas para garantizar la repetibilidad y reproducibilidad de las medidas. Entre las pruebas de medida se realizaron algunas de ellas en continuo durante varios días. Dichas pruebas consistían en tomar un primer valor resistivo, humedecer las muestras y observar su evolución. La Figura 5 muestra la modificación del valor resistivo para dos tipos de madera (pino radiata y pino pinaster). Los resultados obtenidos coinciden con el comportamiento esperado.

La Figura 6 muestra los resultados obtenidos en tres muestras del mismo tipo de madera, concretamente se trata del abeto. En este caso la tendencia de variación en las tres muestras, como cabe esperar, es muy parecida, aunque en el caso del Abeto 2 se observa una mayor diferencia. Básicamente este comportamiento se debe a que, a pesar de tratarse exactamente del mismo tipo de madera y muestras idénticas, la situación de los electrodos sobre la madera era distinta. Es por ello que es vital establecer un método de medida que cumpla la normativa del marcado CE, garantizando la exactitud requerida, repetibilidad y reproducibilidad.

A modo de resumen, las ventajas que ofrece la presente invención, en sus diferentes aspectos y ejemplos de realización, son las siguientes:

1. Procedimiento novedoso en el modo de obtención de la medida de resistencia eléctrica de la madera, basado en iteraciones múltiples con variaciones en tensión, que permiten realizar un algoritmo de establecimiento de la resistencia equivalente más ajustado al valor real de la humedad de la muestra.
- 5 2. Nuevo algoritmo de compensación para los diferentes tipos de madera a la hora de obtener el equivalente de humedad en función del valor de resistencia obtenido, que incorpora también la temperatura como factor de compensación.
- 10 3. Mayor velocidad de estabilización en la medida, pudiendo realizar una medida fiable en menos de un segundo.
4. Precisión obtenida por debajo del 2%, lo que permite su empleo en el mercado CE de la madera usada en construcción.
- 15 5. Posibilidad de desarrollar equipos de medida de bajo coste y alimentados a batería como equipos de medida portátiles.
6. Permite su utilización a nivel industrial de un modo intensivo y robusto.
- 20 7. Facilita la calibración anual del procedimiento de medida mediante la re-parametrización de los algoritmos de medida, lo que garantiza el cumplimiento de la normativa europea al respecto.
- 25 Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en los ejemplos de realización descritos sin salirse del alcance de la invención según esta definido en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método resistivo para la medida de la humedad en un material fibroso, que comprende, de manera secuencial:

a) aplicar una tensión eléctrica entre dos o más electrodos (E1, E2) en contacto y/o insertados en una muestra de material fibroso (M);

b) obtener el valor de la corriente circulante por dicha muestra de material fibroso (M) y causada por la aplicación de dicha tensión eléctrica;

c) determinar la resistencia eléctrica equivalente de dicha muestra de material fibroso (M) a partir del valor de corriente obtenido; y

d) determinar, mediante cálculo y dependiendo del material fibroso, el grado de humedad existente en la muestra de material fibroso (M) a partir del valor de resistencia eléctrica equivalente determinado,

estando el método **caracterizado** porque comprende, de manera automática:

- en dicha etapa a), aplicar al menos una pluralidad de señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias y aplicar también al menos una señal de tensión continua de entrada;

- en dicha etapa b), obtener una pluralidad de valores de la corriente que circula por la muestra de material fibroso (M) durante la aplicación de dicha pluralidad de señales de tensión alterna de entrada y obtener al menos un valor de la corriente circulante entre los dos o más electrodos (E1, E2) durante la aplicación de dicha señal de tensión continua; y

- en dicha etapa c), calcular la resistencia eléctrica equivalente a partir de la aplicación de una función estadística sobre dos o más de los valores de corriente obtenidos en b) para dos o más correspondientes señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias y/o sobre unos valores calculados a partir de los mismos y para la señal o señales de tensión continua de entrada y/o sobre uno o más valores calculados a partir de los mismos.

2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende obtener dicha pluralidad de valores de la corriente circulante por la muestra de material fibroso (M) a partir de medidas realizadas directamente en dichos (E1, E2) o en otros electrodos en contacto con la muestra de material fibroso (M), o indirectamente sin contacto con la muestra de material fibroso (M).

3. Método según la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicha función estadística es una función promedio.

4. Método según la reivindicación 1, 2 ó 3, **caracterizado** porque comprende aplicar de forma iterativa un algoritmo de cálculo sobre la pluralidad de valores de corriente obtenidos en b), hasta obtener unos valores considerados estadísticamente significativos para al menos dicha función estadística, y aplicar dicha función estadística, en la etapa c), sobre dichos valores estadísticamente significativos.

5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque al menos parte de dicha pluralidad de seriales de tensión alterna son señales de pulsos cuadrados y porque la etapa a) comprende aplicar dichas señales de pulsos cuadrados de distinta frecuencia de manera secuencial.
- 5 6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque al menos dicha pluralidad de seriales de tensión alterna forman parte de una única señal de tensión variable en frecuencia, donde el método comprende aplicar, en la etapa a), dicha única señal de tensión variando su frecuencia durante su aplicación, según un
- 10 barrido de frecuencias dentro de un rango de frecuencias determinado.
7. Método según la reivindicación 6, **caracterizado** porque dicho rango de frecuencias determinado varía hasta sustancialmente 1MHz.
- 15 8. Método según la reivindicación 6 u 7, **caracterizado** porque comprende, en la etapa a), variar también la magnitud de dicha única señal de tensión, durante su aplicación, mediante escalones incrementales.
9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque
- 20 comprende, de manera previa a la etapa a), realizar un proceso de ajuste para determinar al menos un valor adecuado, al menos por lo que se refiere a magnitud, de las señales de tensión de entrada a aplicar entre dichos dos o más electrodos (E1, E2), que provoque la circulación por la muestra de material fibroso (M), entre los dos o más electrodos, de una corriente con un valor que este dentro de un rango medible, directa o indirectamente,
- 25 donde dicho valor adecuado es el utilizado inicialmente en la etapa a) para al menos el primer pulso de señal de tensión alterna a aplicar.
10. Método según la reivindicación 9, **caracterizado** porque dicho proceso de ajuste comprende aplicar entre los dos o más electrodos (E1, E2) una sena! de tensión alterna con un valor inicial, referente al menos a magnitud, y obtener, si circula corriente, el valor
- 30 de la corriente circulante por la muestra de material fibroso (M), y:
- i) si la corriente circulante tiene un valor dentro del rango medible, determinar que dicho valor inicial es el valor adecuado; ó
- 35 ii) si la corriente circulante tiene un valor fuera de dicho rango medible, incrementar, si está por debajo del rango medible, o disminuir, si está por encima, dicho valor inicial de la señal de tensión alterna, aplicarla sobre los dos o más electrodos (E1, E2) y obtener de nuevo, si circula corriente, el valor de la corriente circulante por la muestra de material
- 40 fibroso, y si la corriente circulante tiene un valor dentro del rango medible determinar que dicho valor es el valor adecuado, y si no es así repetir sucesivamente, de manera iterativa, la etapa ii) hasta determinar el valor adecuado.
11. Método según la reivindicación 10, **caracterizado** porque dicha señal de tensión
- 45 alterna aplicada en el proceso de ajuste es una serial de pulsos cuadrados.
12. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado** porque el proceso de ajuste también comprende seleccionar un rango de medida adecuado de entre una pluralidad de rangos de medida proporcionados por la variación de al menos
- 50 una resistencia variable (Rf), llevándose a cabo dicha selección, durante la aplicación de dicha sena! alterna del proceso de ajuste, variando el valor de dicha resistencia variable

(Rf) desde un valor mínimo que proporciona el rango de medida más bajo hasta un valor superior que proporciona el rango de medida más alto posible sin generar tensión de saturación en la resistencia variable (Rf), donde dicho rango de medida adecuado es el utilizado durante las etapas a) y b).

5

13. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la etapa a) comprende aplicar al menos parte de dichas señales de tensión alterna de distintas frecuencias de manera secuencial con el fin de detectar frecuencias de resonancia de la muestra de material fibroso a partir de los valores de corriente obtenidos en la etapa b).

10

14. Método según la reivindicación 13, **caracterizado** porque dichas señales de tensión alterna aplicadas en a) con el fin de detectar frecuencias de resonancia de la muestra de material fibroso (M) son señales sinusoidales.

15

15. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque dicha etapa c) comprende aplicar al menos un promediado a los valores de corriente obtenidos, excluyendo aquellos que muestren una desviación superior a un valor determinado, y utilizar el valor medio obtenido para el cálculo de la resistencia eléctrica equivalente.

20

16. Método según la reivindicación 15, **caracterizado** porque dicho promediado comprende:

25

- aplicar unos promediados previos, cada uno a un respectivo grupo de valores de corriente obtenidos, incluyendo al menos un grupo de valores de corriente de polaridad opuesta a la del resto de grupos, y calcular la desviación estándar de cada uno de dichos grupos;

30

- seleccionar los valores de corriente medios de aquellos de dichos promediados previos relativos a grupos cuya desviación estándar esté por debajo de un valor umbral; y

35

- aplicar de forma iterativa un promediado a los valores de corriente medios seleccionados para sucesivos grupos de valores de corriente obtenidos, así como el cálculo de su desviación estándar, y tomar el valor medio del mismo como valor de la medida una vez que la desviación estándar de estos valores de corriente medios es menor que un umbral.

40

17. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque comprende, en la etapa d), calcular el grado de humedad existente en la muestra de material fibroso (M) para una temperatura de 25°C, o sustancialmente de 25°C, aplicando un algoritmo que relaciona unas constantes inherentes al tipo de material fibroso con el valor de resistencia equivalente determinado en e), para una temperatura de 25°C, o sustancialmente de 25°C.

45

18. Método según la reivindicación 17, **caracterizado** porque comprende aplicar una compensación de temperatura al valor de grado de humedad calculado para obtener un valor de grado de humedad compensado para ajustarse a las condiciones reales de temperatura de la muestra de material fibroso (M).

50

19. Método según la reivindicación 17 o 18 cuando depende de la 13, **caracterizado** porque si se ha detectado al menos una frecuencia de resonancia de la muestra de material fibroso (M) como resultado de aplicar dichas señales de tensión alterna, el método comprende aplicar un factor de corrección al valor de grado de humedad calculado o compensado en temperatura basado en información sobre propiedades de la muestra de material fibroso relacionadas con la humedad, que se infiere del valor de dicha frecuencia de resonancia.

20. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho material fibroso (M) es madera.

21. Sistema para la medida de la humedad en un material fibroso, mediante un procedimiento resistivo, donde el sistema comprende:

- un circuito electrónico de medida (Cm) configurado y dispuesto para aplicar una tensión eléctrica entre dos o más electrodos (E1, E2) a disponer en contacto y/o insertar en una muestra de material fibroso (M), y para obtener, mediante medida directa o indirecta, la corriente circulante por dicha muestra de material fibroso (M) y causada por la aplicación de dicha tensión eléctrica; y

- unos medios de procesamiento (P) en conexión con o formando parte de dicho circuito electrónico de medida (Cm) y que están configurados y dispuestos para determinar la resistencia eléctrica equivalente (Rx) de dicha muestra de material fibroso (M) a partir del valor de corriente obtenido y para determinar, mediante cálculo, el grado de humedad existente en la muestra de material fibroso (M) a partir del valor de resistencia eléctrica equivalente (Rx) determinado,

estando el sistema **caracterizado** porque:

- el sistema comprende unos medios de control (MC) que controlan a dicho circuito electrónico de medida (Cm) para que, de manera automática, aplique una pluralidad de señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias entre dichos dos o más electrodos (E1, E2), y para que obtenga una pluralidad de valores de la corriente circulante por la muestra de material fibroso (M) durante la aplicación de dicha pluralidad de señales de tensión alterna de entrada,

- y porque dichos medios de procesamiento (P) están configurados y dispuestos para calcular la resistencia eléctrica equivalente (Rx) mediante el procesamiento de dos o más de los valores de corriente obtenidos para dos o más correspondientes señales de tensión alterna de distintas frecuencias, donde dicho procesamiento comprende la aplicación de una función estadística sobre dos o más de los valores de corriente obtenidos y/o sobre unos valores calculados a partir de los mismos siguiendo las etapas a, b y c según la reivindicación 1.

22. Sistema según la reivindicación 21, **caracterizado** porque esta adaptado para implementar el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20.

23. Sistema según la reivindicación 21 ó 22, **caracterizado** porque comprende un dispositivo (D) que aloja en su interior tanto al circuito electrónico de medida (Cm) como a los medios de procesamiento (P) y a los medios de control (MC).

24. Sistema según la reivindicación 21-23, **caracterizado** porque comprende unos medios de comunicación previstos para establecer una comunicación bidireccional de datos entre los medros de procesamiento (P) y un sistema de computación remoto.
- 5 25. Sistema según la reivindicación 24, **caracterizado** porque comprende también a dicho sistema de computación remoto.
26. Programa de ordenador que incluye instrucciones de código que cuando se ejecutan en un ordenador implementan al menos las etapas c) y d) del método según una
- 10 cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20.

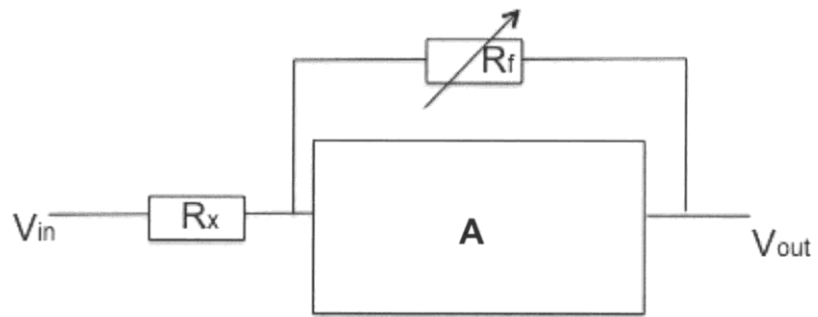


Fig. 1

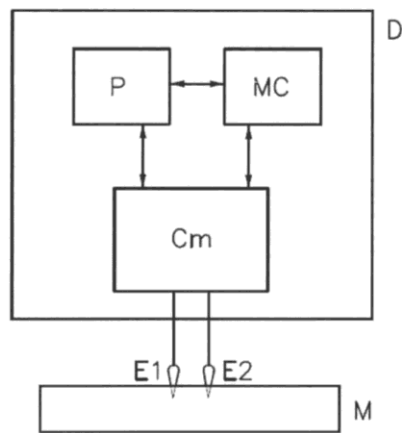


Fig. 2

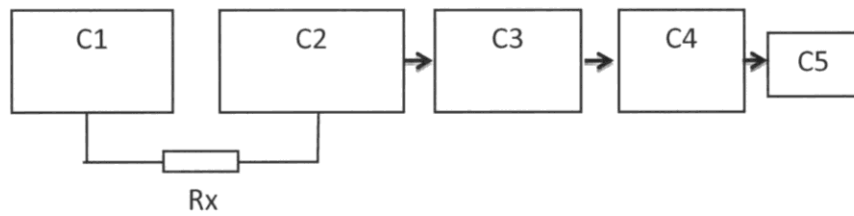


Fig. 3

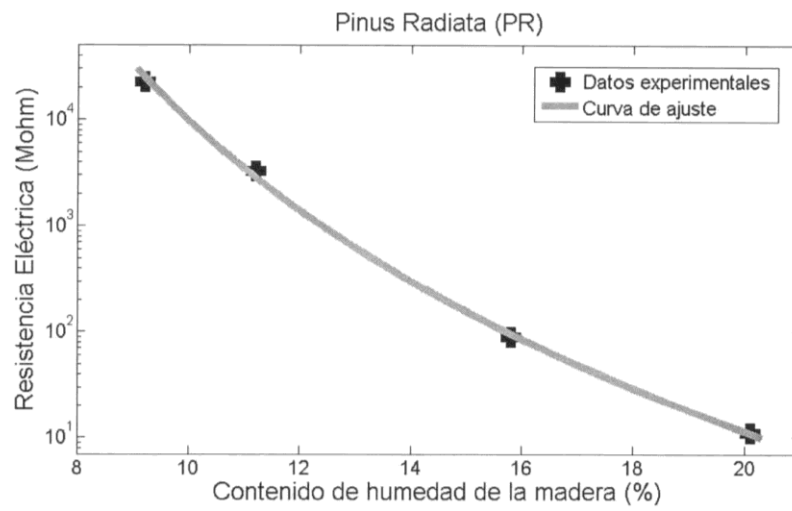


Fig. 4

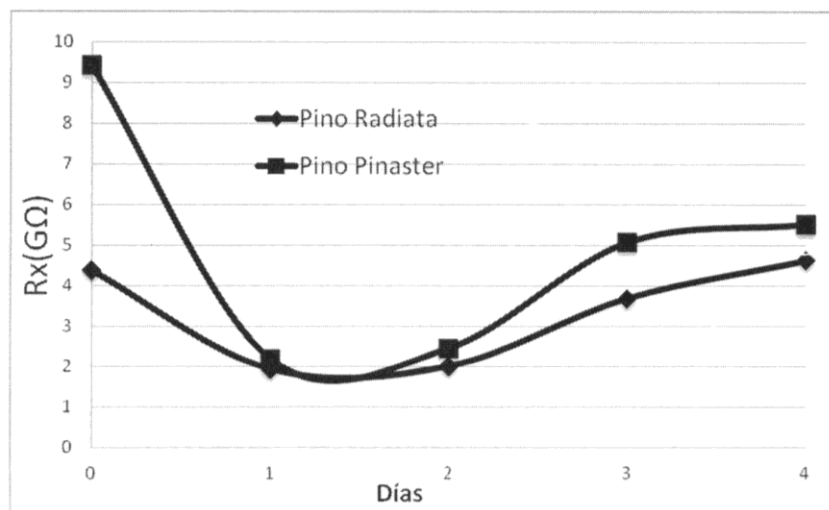


Fig. 5

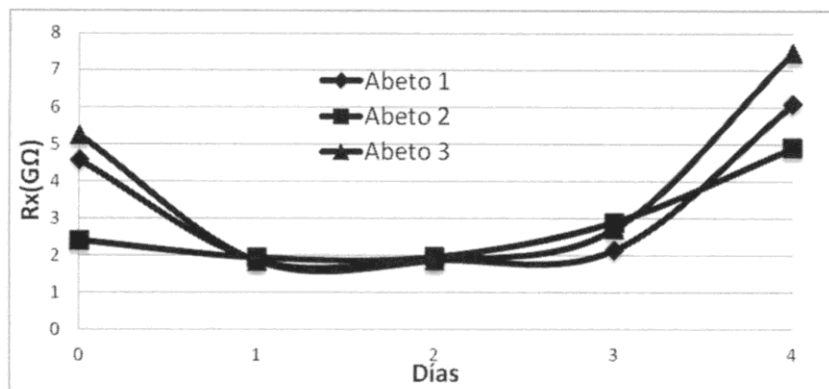


Fig. 6



- ②① N.º solicitud: 201400832
②② Fecha de presentación de la solicitud: 15.10.2014
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01N27/04** (2006.01)
G01R27/08 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	WO 2007037830 A1 (KATES) 05.04.2007, párrafos [83,86,89,93,94,99-101,103,109,112,115-118,120,121,123,124,126]; figuras 11,14	1-3,5,7-10,16,21
Y		4,14,15,18-20
Y	US 2014009174 A1 (YOUSSI et al.) 09.01.2014, párrafos [54,56,57].	4
Y	FERNANDEZ-GOLFIN et al. "Curves for the estimation of the moisture content of ten hardwoods by means of electrical resistance measurements". Forest Systems, vol. 21, nº. 1, págs. 121-127, Marzo 2012, doi:http://dx.doi.org/10.5424/fs/2112211-11429.	18-20
Y	US 4540936 A (WALSH) 10.09.1985, columna 4, líneas 53-65; columna 5, líneas 40-53.	14,15
A	US 2005151552 A1 (ABRAHAM et al.) 14.07.2005, párrafos [4,6-9,13,14, 9,20,22]; figura 1a.	1,2,22
A	WO 2006064266 A1 (DELTA et al.) 22.06.2006, página 8, líneas 12-24; página 11, líneas 5-13.	1,7,8,22

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
12.05.2015

Examinador
F. J. Olalde Sánchez

Página
1/6

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01N27, G01R27

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, IEEE

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 12.05.2015

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 4,6-8,11-15,17-20	SI
	Reivindicaciones 1-3,5,9,10,16,21	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 6,11-13,17	SI
	Reivindicaciones 4,7,8,14,15,18-20	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 2007037830 A1 (KATES)	05.04.2007
D02	US 2014009174 A1 (YOUSSI et al.)	09.01.2014
D03	"Curves for the estimation of the moisture content of ten hardwoods by means of electrical resistance measurements" (FERNANDEZ-GOLFIN et al.)	Marzo/2012
D04	US 4540936 A (WALSH)	10.09.1985
D05	US 2005151552 A1 (ABRAHAM et al.)	14.07.2005
D06	WO 2006064266 A1 (DELTA et al.)	22.06.2006

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

De acuerdo con el artículo 29.6 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/86 de Patentes se considera, preliminarmente y sin compromiso, que los objetos definidos por las reivindicaciones 1-5,7-10,14,15,18-27 no cumplen aparentemente los requisitos de novedad en el sentido del artículo 6.1 de la Ley 11/86 de Patentes (LP), y/o de actividad inventiva en el sentido del artículo 8.1 LP, en relación con el estado de la técnica establecido por el artículo 6.2 de dicha Ley. En concreto,

La solicitud incluye tres reivindicaciones independientes que definen un método resistivo para la medida de la humedad de un material fibroso (reivindicación 1); un sistema para la medida de la humedad de un material fibroso (reivindicación 22); y un programa de ordenador para la ejecución de etapas del método (reivindicación 27). La solicitud incluye adicionalmente objetos para los que se solicita protección dependientes del objeto definido por la reivindicación 1 (reivindicaciones 2-21) y por la reivindicación 22 (reivindicaciones 23-26).

REIVINDICACIONES INDEPENDIENTES**Reivindicación 1 (método):**

El documento D01 divulgó un método resistivo (párrafo 99) aplicable a la medida de la humedad en un material fibroso (párrafo 100: madera) que comprende de manera secuencial: a) aplicar una tensión eléctrica entre dos o más electrodos en contacto y/o insertados en una muestra del material; b) obtener el valor de la corriente circulante por dicha muestra de material y causada por la aplicación de dicha tensión eléctrica; c) determinar la resistencia eléctrica equivalente de dicha muestra de material a partir del valor de corriente obtenido; y d) determinar, mediante cálculo y dependiendo del material, el grado de humedad existente en la muestra de material a partir del valor de resistencia eléctrica equivalente determinado (párrafos 99, 103, 108, 109; figura 11). El método comprende:

- en dicha etapa a), aplicar al menos una pluralidad de señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias; en dicha etapa b), obtener una pluralidad de valores de la corriente que circula por la muestra de material durante la aplicación de dicha pluralidad de señales de tensión alterna de entrada y en dicha etapa c), calcular la resistencia eléctrica equivalente a partir de la aplicación de una función estadística sobre dos o más de los valores de corriente obtenidos en b) para dos o más correspondientes señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias y/o sobre unos valores calculados a partir de los mismos (párrafos 108, 112, 115; 118; figura 11).

Por tanto, el objeto definido por la reivindicación 1 carece aparentemente de novedad frente a D01.

Reivindicación 22 (sistema):

D01 divulgó un sistema de medida Sistema para la medida de la humedad en un material fibroso, mediante un procedimiento resistivo (párrafos 99,100), donde el sistema comprende:

- un circuito electrónico de medida configurado y dispuesto para aplicar una tensión eléctrica entre dos o más electrodos a disponer en contacto y/o insertar en una muestra de material fibroso y para obtener, mediante medida directa o indirecta, la corriente circulante por dicha muestra de material fibroso y causada por la aplicación de dicha tensión eléctrica (figura 11); y
- unos medios de procesamiento en conexión con o formando parte de dicho circuito electrónico de medida y que están configurados y dispuestos para determinar la resistencia eléctrica equivalente de dicha muestra de material fibroso a partir del valor de corriente obtenido y para determinar, mediante calculo, el grado de humedad existente en la muestra de material fibroso a partir del valor de resistencia eléctrica equivalente determinado. El sistema comprende unos medios de control que controlan a dicho circuito electrónico de medida para que, de manera automática, aplique una pluralidad de señales de tensión alterna de entrada de distintas frecuencias entre dichos dos o más electrodos y para que obtenga una pluralidad de valores de la corriente circulante por la muestra de material fibroso durante la aplicación de dicha pluralidad de señales de tensión alterna de entrada. Dichos medios de procesamiento (P) están configurados y dispuestos para calcular la resistencia eléctrica equivalente mediante el procesamiento de dos o más de los valores de corriente obtenidos para dos o más correspondientes señales de tensión alterna de distintas frecuencias (párrafos 89, 90, 93, 99; 108, 112, 115; figura 11). Dicho procesamiento comprende la aplicación de una función estadística sobre dos o más de los valores de corriente obtenidos y/o sobre unos valores calculados a partir de los mismos (párrafo 118).

Por tanto, el objeto definido por la reivindicación 22 carece aparentemente de novedad frente a D01.

Reivindicación 27 (programa):

Resulta implícito al sistema la inclusión de un programa de ordenador que incluya instrucciones de código que cuando se ejecutan en los medios de procesamiento implementan al menos las etapas c y d del método, por lo que el objeto definido por la reivindicación 22 carece aparentemente de novedad frente a D01.

REIVINDICACIONES DEPENDIENTESReivindicaciones 23- 26

El sistema divulgado por D01 está adaptado para implementar el método de la reivindicación 1; contempla su integración en un dispositivo que aloja un circuito electrónico de medida, unos medios de procesamiento y unos los medios de control (párrafos 89, 90); comprende medios de comunicación previstos para establecer una comunicación bidireccional entre los medios de procesamiento y un sistema de computación remoto (párrafos 83,86); comprende un sistema de computación remoto (párrafos 83, 86, 93) y por lo que los sistemas definidos por las reivindicaciones 23-26, carecen aparentemente de novedad frente a D01.

Reivindicaciones 2-21

- Carencia de novedad: reivindicaciones 2,3,5,7,9,10,16, 21

D01 divulgó un método en el que:

- (R2) se obtiene dicha pluralidad de valores de la corriente circulante por la muestra de material fibroso “a partir de medidas realizadas directamente en dichos o en otros electrodos en contacto con la muestra de material fibroso o indirectamente sin contacto con la muestra de material fibroso” (párrafo 101); Se hace notar que D05 divulgó adicionalmente las posibilidades de uso común en la técnica, no divulgadas explícitamente en D01 (párrafo 8; figura 1a), lo que afectaría a la actividad inventiva de una posible modificación del objeto de protección limitándolo a dichas posibilidades.

- (R3) utilizando una como función estadística una función promedio (párrafo 118);

- (R5) se aplican pulsos cuadrados de tensión alterna y la pluralidad de señales de tensión alterna forman parte de una señal de tensión variable en frecuencia (párrafo 112);

- (R9) se varía también la magnitud de dicha señal de tensión “mediante escalones incrementales” (párrafo 126);

- (R10) comprende realizar un proceso de ajuste de manera previa a la etapa a) para determinar al menos un valor adecuado, al menos por lo que se refiere a magnitud, de las señales de tensión de entrada a aplicar entre dichos dos o más electrodos, que provoque la circulación por la muestra de material fibroso (M), entre los dos o más electrodos, de una corriente con un valor que este dentro de un rango medible, directa o indirectamente, donde dicho valor adecuado es el utilizado inicialmente en la etapa a) para al menos el primer pulso de señal de tensión alterna a aplicar (párrafo 126). Se hace notar que el primer método objeto de protección definido mediante la utilización de pulsos cuadrados se corresponde con la reivindicación 5, aunque el preámbulo de la reivindicación 10 indique “según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores”, lo cual resultaría incongruente.

(R16): D01 divulga un método en el que se aplica al menos un promediado a los valores de corriente obtenidos, excluyendo aquellos que muestren una desviación superior a un valor determinado (párrafo 124).

- (R21): Dicho material fibroso es madera (párrafos 13, 89,100)

- Carencia de actividad inventiva: reivindicaciones 4,7,8,14,15,18,19,20

- (R4): D02 divulgó un método para la medida de la humedad en un material fibroso (párrafo 54) en el que para el cálculo de la resistencia se aplica de forma iterativa un algoritmo de cálculo (párrafo 56). El experto en la materia utilizaría de manera evidente las enseñanzas de D02 en el método de D01, aplicando de manera iterativa un algoritmo de cálculo, para obtener el objeto de protección definido por la reivindicación 4.

- (R7): D01 divulgó la aplicación de señales de tensión a distintas frecuencias pero no divulgó explícitamente la aplicación de la pluralidad de señales de tensión alterna de entrada como una única señal de tensión variando su frecuencia durante su aplicación según un barrido de frecuencias. Cualquier experto en la materia contemplaría las potenciales posibilidades de manera evidente (una señal de tensión con variación de frecuencia o pluralidad de señales de tensión a distintas frecuencias). Adicionalmente, esta característica fue divulgada explícitamente en D06 (página 11, líneas 5-13).

- (R8): La elección de un rango de frecuencias hasta 1 Mhz constituye una elección arbitraria a la que, en cualquier caso, se llegaría por mera experimentación (D06, pagina 8, líneas 12-24)

- (R14; R15): D04 divulgó la importancia de la información dada por detección de frecuencias de resonancia en la medida de humedad de madera de alta resistencia eléctrica que el experto en la materia tendría en cuenta de manera evidente para mejorar el método de D01 siendo la elección de señales sinusoidales de uso común en la técnica.

- (R18; R19): D03 divulgó el método tradicional de medida de humedad de la madera por medida de resistencia eléctrica en el que se calcula el grado de humedad existente en la muestra para una temperatura dada (20°C), aplicando un algoritmo que relaciona unas constantes inherentes al tipo de material fibroso con el valor de resistencia equivalente determinado para dicha temperatura y se aplica una compensación de temperatura al valor de humedad calculado. El experto en la materia utilizaría de manera evidente las enseñanzas de uso común en la técnica (D03) en el método de D01.

- (R 20): Aplican los razonamientos hechos en referencia a las reivindicaciones 14 y 18.