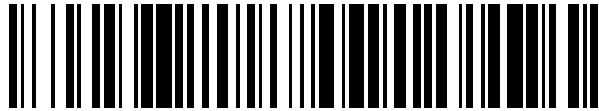


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 607 811**

51 Int. Cl.:

**G01N 33/44** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.10.2013 PCT/IB2013/059227**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2014 WO14057429**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2013 E 13805557 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.09.2016 EP 2906944**

54 Título: **Sistema y método para medir la humedad absorbida en un material compuesto**

30 Prioridad:

**09.10.2012 IT TO20120878**

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

**04.04.2017**

73 Titular/es:

**LEONARDO S.P.A. (100.0%)  
Piazza Monte Grappa 4  
00195 Roma, IT**

72 Inventor/es:

**IANNONE, MICHELE**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

**ES 2 607 811 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

Sistema y método para medir la humedad absorbida en un material compuesto

5 La presente invención se refiere en general a técnicas para medir la humedad absorbida en materiales compuestos que tienen una matriz polimérica.

10 Como es bien sabido, los materiales poliméricos tienen una estructura macromolecular, es decir, que se caracteriza por cadenas poliméricas largas con movilidad relativa variable que depende de la propia estructura, pero en todos los casos, tales como para permitir el acceso de moléculas de sustancias de peso molecular más bajo, que se insertan por sí mismas entre las macromoléculas que forman una solución real.

15 Obviamente, la cantidad de dichas sustancias depende de la naturaleza molecular del polímero y del material de peso molecular bajo. Además, la interacción puede ser de tipo físico y/o químico.

20 La interacción química, para algunas sustancias químicamente más reactivas, tales como ácidos y/o algunos disolventes orgánicos, puede dar lugar a una modificación del propio polímero y, en algunos casos, a la disolución real. Por el contrario, la interacción física está vinculada a la mezcla de un tipo esencialmente reversible; se crea una solución entre el polímero y la sustancia de peso molecular bajo, con propiedades físicas modificadas en comparación con el polímero puro. Puesto que éstas son sustancias de peso molecular bajo, generalmente tienen el efecto de facilitar los movimientos relativos entre las macromoléculas, generalmente produciendo una reducción de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ); desde un punto de vista mecánico, los valores del flujo plástico  $\sigma_y$  (tracción) y tensión  $\tau_y$  (cizallamiento) generalmente disminuyen, y el módulo de elasticidad  $E$  (tracción elástica o módulo de Young) y el módulo de elasticidad de cizallamiento ( $G$ ), generalmente disminuyen. La totalidad de todos estos efectos se denomina generalmente "plastificación".

25 La plastificación depende de la naturaleza del polímero y de la sustancia de peso molecular bajo disuelta y de la cantidad de esta sustancia.

30 Las sustancias plastificantes incluyen disolventes orgánicos (por ejemplo: MEK, metanol, etanol, hexano y acetona) y también agua. Si el polímero se sumerge en el líquido plastificante, tiende a absorberlo, y absorbe una determinada cantidad del mismo en un tiempo que depende del ritmo de difusión de dicha sustancia en el polímero. Cuando se alcanza una situación de equilibrio, que es tal que no se tiene la entrada adicional del plastificante en el polímero (en realidad, a nivel molecular, el número de moléculas que entran es igual a las que salen), se dice que se ha alcanzado el contenido de "saturación" del plastificante, que depende de la naturaleza química del polímero y del plastificante y puede depender de la temperatura.

35 Cuando el polímero se sumerge en un medio que tiene un contenido parcial de plastificante, la cantidad de saturación es una función del porcentaje de plastificante presente en el medio; más precisamente en términos termodinámicos se hace referencia a la actividad del plastificante. En el caso de mezclas gaseosas, la actividad está vinculada a la presión parcial; si  $x$  es la fracción volumétrica del plastificante, la presión parcial es igual a  $x \cdot \pi$ , donde  $\pi$  es la presión de la mezcla. En el caso de agua dispersada en aire en forma gaseosa, cuando existe un equilibrio entre el agua gaseosa y el agua líquida, la actividad del agua gaseosa es igual a la del agua líquida. En este caso, se afirma que el medio está saturado con agua y la humedad relativa es igual a un 100 % y la presión parcial del agua en la fase gaseosa es igual a la presión de vapor del agua líquida a la misma temperatura.

40 Para los polímeros expuestos a medios en los que el agua está presente, en una buena aproximación, existe una relación lineal entre la humedad relativa y la cantidad, en porcentaje, de agua absorbida por el polímero en la saturación.

45 Sin embargo, en cuanto a la variabilidad de agua absorbida en función de la temperatura, en general, la dependencia en relación con la temperatura no es muy grande; para las resinas epoxi usadas como matrices para materiales compuestos estructurales en la industria aeronáutica, el porcentaje de agua absorbida en la saturación por la resina sumergida en agua (o de manera equivalente en aire húmedo a una humedad de un 100 %) varía dependiendo del tipo de resina. Expresado como  $\Delta$ peso/peso, típicamente varía de un 1 a un 3 %, y es casi constante, para la misma resina, en el intervalo de temperatura de 25 °C a 80 °C [1, 2].

50 Sin embargo, el ritmo al que se alcanza la saturación en los diferentes ambientes está controlado por la difusión del agua dentro del polímero, y es por tanto una función del coeficiente de difusión, que depende exponencialmente de la temperatura. La integración de la ley de difusión da lugar a la identificación de una dependencia del tiempo de saturación sobre el espesor de tipo cuadrático.

55 Todo lo anterior da lugar a la consideración de que los materiales poliméricos, como, por ejemplo, la matriz de los materiales compuestos con una matriz polimérica, son responsables en el tiempo de la absorción de agua atmosférica en una medida que depende de las condiciones atmosféricas reinantes. En vista de la variabilidad

de las condiciones, es necesario, como precaución, considerar las condiciones más desfavorables, que, para aplicaciones aeronáuticas, se ha acordado que son 28 °C y un 85 % de humedad relativa para toda la vida útil de la aeronave (típicamente 30 años). Para la mayoría de estructuras de materiales compuestos, esto implica la hipótesis de asumir una saturación en la escala de al menos un 85 % con finalidad de certificación [3].

5 En cuanto a las temperaturas, generalmente, la temperatura mínima (en altitud) es de -55 °C, y la máxima (en el suelo, exposición solar intensa) es de 80 °C.

10 De lo que se ha dicho respecto a la plastificación, el efecto de la alta temperatura opera en la misma dirección que la absorción de humedad; por lo tanto, la certificación de los materiales y estructuras se lleva a cabo mediante la evaluación del material a alta temperatura y después de la absorción de humedad (condición "húmeda caliente") y a baja temperatura generalmente sin absorción de humedad (condición "seca fría").

15 La necesidad de añadir estas condiciones a los planes de certificación aeronáutica, ya muy onerosa debido a las pruebas mecánicas a temperatura ambiente (que en cualquier caso se refieren a piezas de prueba, piezas, elementos, subcomponentes y componentes completos), es muy costosa en términos de actividad experimental adicional (incluso para la exposición de las muestras de prueba) y tiempo. De hecho, a partir de lo anterior, la absorción es muy lenta, y la simulación de la absorción durante más de treinta años a temperatura ambiente requiere varios meses, incluso con el recurso de un envejecimiento acelerado (a alta temperatura).

20 A partir de lo anterior, la cantidad de humedad que típicamente está contenida en estructuras de materiales compuestos aeronáuticos es muy variable, y es incluso bastante raro que alcance valores en equilibrio con un ambiente con alta humedad en porcentaje. Esto es porque típicamente la humedad no es demasiado alta, y porque en condiciones en las que el avión está estacionado al sol tiene lugar el calentamiento de las piezas irradiadas, adquiriendo éstas una temperatura mayor que la temperatura ambiente, con el efecto de desorción acelerado debido al calentamiento. Por lo tanto, si fuera posible una medición directa de la humedad contenida en el material compuesto, expresada típicamente como Δpeso/peso, sería posible imaginar la certificación de las estructuras en condiciones no húmedas (por ejemplo, a un 50 % de saturación, la condición conocida como "ambiente"), sujeta a comprobación periódica en la estructura de material compuesto del avión para controlar que no se supere ese porcentaje. Sin embargo, en el estado actual del conocimiento, no existe ningún método conocido para la medición directa de la cantidad de humedad.

25 M.E.Tuttle [5] divulga un método para medir la ingresión de humedad en materiales compuestos de emparedado alveolar debida a la exposición a la humedad. El método usa sensores de humedad embebidos en la región del núcleo. Thomas Carlsson [6] divulga un método para determinar la permeabilidad a la humedad de laminados, mediante laminación de un sensor de humedad y exposición de la parte exterior a un ambiente húmedo. S.H. Myhre [7] divulga un método para determinar la humedad en laminados que contienen resinas. El ritmo de secado se mide con el fin de evaluar el estado de humedad actual. El procedimiento usa un flujo de gas seco sobre la superficie que se va a secar y la aplicación de calor a una temperatura de laminado controlada para acelerar el secado. El control del contenido de humedad del flujo de gas corriente abajo del laminado de secado y la evaluación de estos datos por medio de análisis de difusión de humedad proporciona información sobre el ritmo de desorción de humedad y una indicación del contenido de humedad restante del laminado.

35 En realidad, un método muy simple, que se usa comúnmente en el laboratorio, es el de pesar las piezas que han absorbido humedad y, a continuación, pesar de nuevo después de una desorción en un ambiente seco a alta temperatura (por ejemplo, un horno a alrededor de 80 °C), pero este método, que proporciona un valor medio en todo el espesor del material compuesto, obviamente no es aplicable a piezas aeronáuticas en servicio. También se han probado los métodos basados en la medición de la conductividad o las propiedades dieléctricas, o incluso basados en espectrometría de infrarrojos, pero los resultados obtenidos no son satisfactorios, sobre todo porque la presencia de fibras de carbono hace que todas las propiedades asociadas a la resina sean mucho más difícil de leer; por ejemplo, en un material compuesto la conductividad térmica o eléctrica depende principalmente de las fibras, y ligeras variaciones de la conductividad de la resina tienen un efecto muy limitado sobre la conductividad del material compuesto. En cuanto a la espectrometría, es difícil obtener evaluaciones cuantitativas de la presencia de agua a partir de un espectro obtenido de resina polimerizada, en particular en presencia de fibras de refuerzo.

45 Sin embargo, la humedad se puede medir con buena precisión en aire, con métodos normalizados, tales como los vinculados a la deformación de una sustancia higrométrica (por ejemplo, un cabello), o a la lectura comparativa de temperatura de ampolla húmeda y ampolla seca o (más recientemente) con un sensor capacitivo de humedad, que es un condensador que modifica su capacidad como una función de la humedad del aire entre los conductores opuestos (o placas).

60 Una finalidad de la presente invención es la de proporcionar un sistema para la medición de la humedad interna de un material compuesto, que puede proporcionar la posibilidad de medición en servicio de la

humedad absorbida. Dicho sistema permitiría la certificación de las estructuras en condiciones más ventajosas que las condiciones de humedad, con la única condición de una comprobación periódica de la humedad en servicio y, en el caso (improbable) de superarse el nivel de humedad establecido por la certificación, de una intervención de deshumidificación en un ambiente caliente o con calentamiento local.

5

Esto a su vez implica ventajas de ahorro en el peso de la estructura, en la que se usarían valores admisibles (es decir, las propiedades del material usado para el método de diseño) en condiciones más ventajosas y por lo tanto más altas que las condiciones de humedad. Más precisamente, a un incremento en porcentaje  $x\%$  en la propiedad de dimensionamiento corresponde una disminución en peso de la misma medida. La disminución en peso también implica un ahorro equivalente en el coste del material usado (incluyendo el coste de producción recurrente, proporcional a la cantidad de material usado). Finalmente, la posibilidad de certificación en condiciones "secas" también implica una simplificación y el consiguiente ahorro en el método de certificación de las estructuras de material compuesto, con una reducción significativa en los costes no recurrentes para la creación de un nuevo avión, en particular, a través de la posibilidad de certificar las estructuras sin realizar pruebas en condiciones de humedad ni a nivel de piezas de prueba, ni de subcomponentes y componentes.

10

15

De acuerdo con la presente invención, la finalidad anterior se consigue por medio de un sistema para medir la humedad absorbida en un material compuesto, que incluye:

20

un artículo de material compuesto que comprende una pluralidad de capas de material consolidadas a través de la acción de presión y calor, en el que cada capa de material se forma a partir de una matriz de resina reforzada con un material de fibra,

25

un inserto embebido en dicho material compuesto, que se coloca entre una primera y una segunda de dichas capas de material, en una zona de interfaz limitada fuera de la cual dichas primera y segunda capas de material son mutuamente contiguas, formándose al menos una cavidad en dicho inserto en comunicación fluida con dichas primera y segunda capas de material, y

30

un sensor de humedad ambiental colocado dentro de dicha cavidad, y que puede proporcionar una señal que indica el contenido de humedad en la atmósfera presente dentro de dicha cavidad.

También es materia objeto de la invención un método para medir la humedad absorbida en un material compuesto, que incluye las siguientes etapas:

35

proporcionar un artículo de material compuesto que comprende una pluralidad de capas de material consolidadas a través de la acción de presión y calor, en el que cada capa de material se forma a partir de una matriz de resina reforzada con un material de fibra, y un inserto embebido en dicho material compuesto, que se coloca entre una primera y una segunda de dichas capas de material, en una zona de interfaz limitada fuera de la cual dichas primera y segunda capas de material son mutuamente contiguas, formándose al menos una cavidad en dicho inserto, en comunicación fluida con dicha primera y segunda capas de material, colocándose un sensor de humedad ambiental dentro de dicha cavidad,

40

por medio de dicho sensor de humedad ambiental, proporcionar una señal que indica el contenido de humedad en la atmósfera presente dentro de dicha cavidad, y

45

determinar el contenido de humedad absorbida en el material compuesto a nivel de dicha zona de interfaz como una función del contenido de humedad presente dentro de dicha cavidad.

50

Los modos de realización particulares forman la materia objeto de las reivindicaciones dependientes, cuyo contenido se ha de entender como una parte integral de la presente descripción.

El concepto en que se basa la invención es el de crear un espacio libre de material compuesto, que sin embargo está en contacto con el propio material compuesto, dentro de las piezas en el material compuesto cuyo contenido de humedad se desea medir. Este espacio libre se llena progresivamente con aire debido a la porosidad y difusión, y contiene una cantidad de humedad en equilibrio, o que rápidamente alcanza el equilibrio, con las superficies de las capas de material que están en contacto con el espacio anteriormente mencionado. Por lo tanto, con una medición de humedad en la fase de gas realizada con un dispositivo de medición de humedad es posible determinar, mediante cálculos convencionales, la humedad absorbida en las capas adyacentes de material compuesto.

60

Otras características y ventajas de la invención se divulgan con más detalle en la siguiente descripción detallada de una de sus modos de realización, aportada a modo de ejemplo no limitante, con referencia al dibujo adjunto que muestra esquemáticamente un ejemplo de un sistema para medir la humedad absorbida en un material compuesto de acuerdo con la invención.

65

La figura 1 muestra un artículo 1 de material compuesto, tal como, por ejemplo, un panel, que, por ejemplo, puede constituir un componente localizado a bordo de un avión, tal como, por ejemplo, un panel de fuselaje. El artículo 1 comprende, de manera conocida de por sí, una pluralidad de capas de material 11, 12 consolidadas a través de la acción de presión y calor (solo se muestran dos capas por simplicidad en la figura), en el que cada capa de material se forma a partir de una matriz de resina reforzada con un material de fibra. La matriz polimérica puede ser termoplástica o termoestable y está reforzada con fibras, en fibras largas particulares, por ejemplo, de carbono, vidrio o Kevlar.

Se proporciona un inserto 13 embebido en el material compuesto, que se coloca en una zona de interfaz 15 entre dos de las capas de material anteriormente mencionadas. La extensión de la zona de interfaz 15 en la que se coloca el inserto 13 es limitada, en el sentido de que es pequeña en comparación con la extensión superficial de las capas de material 11, 12. De manera correspondiente a la zona de interfaz 15 ocupada por el inserto 13, las capas de material 11, 12 están separadas entre sí debido al espesor del inserto 13, mientras que fuera de la zona de interfaz 15 las capas de material 11, 12 son mutuamente contiguas. Dentro del inserto 13 se forma al menos una cavidad 17, en comunicación fluida con las capas de material 11, 12 entre las cuales se interpone el inserto 13.

Preferentemente, el inserto 13 tiene una estructura alveolar, por ejemplo, de material metálico o polimérico (aramida), en la que se forma la cavidad 17 anteriormente mencionada a partir de una o más celdas de la estructura alveolar.

Una característica importante de la estructura alveolar consiste en el hecho de que permite la creación de un volumen interno no separado del material compuesto, lo que no sería posible si, por ejemplo, se usara un elemento de caja cerrada; además, si el panel se dimensiona correctamente, previene el aplastamiento del volumen interno durante la fase de polimerización de las capas de material. El inserto 13 puede ser de pequeñas dimensiones; por ejemplo, puede tener un espesor de 1/4" (aproximadamente de 6 mm), y dimensiones planas de 50 x 50 mm. Además, este está ventajosamente ahusado a lo largo de su borde periférico. La invención, sin embargo, no está limitada a una forma y estructura específicas del inserto 13, siempre que este último pueda mantener una cavidad en contacto con el material compuesto.

Se coloca un sensor de humedad ambiental 20 dentro de la cavidad 17. Este sensor puede proporcionar una señal que indica el contenido de humedad en la atmósfera presente dentro de la cavidad 17.

Una unidad de procesamiento 30 está conectada operativamente al sensor de humedad ambiental 20, por ejemplo, mediante un cable eléctrico, fibra óptica o conexión inalámbrica. La unidad de procesamiento 30 lee la señal que deriva del sensor 20 y determina el contenido de humedad absorbida en el material compuesto como una función del contenido de humedad presente dentro de la cavidad 17.

Como se divulga anteriormente, el concepto en que se basa la invención es el de crear un espacio libre de material compuesto, que, sin embargo, está en contacto con el propio material compuesto, dentro de las piezas en un material compuesto cuya humedad se desea medir. El uso del inserto permite la creación de una zona de "vacío", que en realidad se llena progresivamente con aire debido a la porosidad y difusión, y que contiene una cantidad de humedad en equilibrio, o que alcanza rápidamente el equilibrio, con las superficies 11a, 12a de las capas adyacentes 11 y 12. Se puede observar que las superficies en cuestión, debido a cómo se crea la zona alveolar, son la continuación de la totalidad de las superficies de interfaz de las capas 11 y 12 del sólido laminado. La cantidad de agua en términos de peso contenida en la fase gaseosa en la zona alveolar es muy baja, en comparación con la que está contenida en el sólido laminado. Para aportar un ejemplo numérico, considerando un material compuesto a 25 °C, que tiene un contenido en porcentaje de saturación  $\Delta$ peso/peso = 2 %, y considerando un espesor de una zona de vacío insertada de 6 mm, en el que el aire está saturado (ya que está en equilibrio con una superficie que está en sí saturada), la presión parcial de agua es igual a la presión de vapor a 25 °C, concretamente, de 0,0313 atm. Mediante cálculos simples basados en la ley de Avogadro, se puede concluir que la cantidad de agua contenida en un espesor de 6 mm es equivalente a la contenida en 0,004 mm de material compuesto, y, por lo tanto, la variación equivalente en el espesor debida a la adición del hueco en el inserto es prácticamente despreciable. En cuanto a la cantidad de agua contenida en el emparedado, que típicamente tiene una densidad de alrededor de 0,05 g/cc, en 6 mm de espesor del emparedado, es aproximadamente equivalente a la contenida en 0,2 mm de material compuesto, por lo tanto, aproximadamente equivalente a una capa adicional de material compuesto. También debería tenerse en cuenta el hecho de que el espesamiento debido a la presencia del inserto no afecte a toda la estructura, sino solo a un área muy limitada de la misma (siempre que sea suficiente para contener el sensor). Con todas estas consideraciones, se puede concluir que la humedad en porcentaje contenida en las superficies 11a y 12a es prácticamente igual a la contenida en la parte restante de la totalidad de las superficies de interfaz de las capas 11, 12 del laminado [4].

Por lo tanto, una medición de la humedad en fase gaseosa preformada con el sensor de humedad ambiental 20 tiene correlación directa con la humedad absorbida en el nivel de la interfaz entre las capas 11 y 12 del panel (a continuación: "interfaz 11-12") correspondiente a la colocación del sensor 20; más precisamente, la

5 humedad absorbida por el panel en la fase sólida a nivel de la interfaz 11-12 es igual a la absorbida por el material compuesto en la saturación en un ambiente a un 100 % de humedad relativa, expresada como  $\Delta\text{peso/peso} \cdot \text{humedad en porcentaje multiplicado por la humedad relativa medida en la zona del inserto}$ . Para dar un ejemplo numérico, si el valor  $\Delta\text{peso/peso}$  de agua de un material compuesto en un ambiente saturado con agua en el equilibrio es de un 2 %, si el sensor 20 mide un 50 % de humedad relativa, significa que la absorción de agua en el material compuesto a nivel de la interfaz 11-12  $\Delta\text{peso/peso}$  es de un  $2\% \cdot 50/100 = 1\%$ .

10 Ventajosamente, también es posible el uso de cavidades con sensores colocados en diferentes puntos del espesor del material compuesto para averiguar un perfil de humedad dentro del material compuesto. Para situaciones en las que a la misma profundidad es posible que la humedad absorbida varíe como una función de la posición sobre la superficie, se puede concebir la colocación de cavidades con sensores también en diferentes posiciones topológicas de las superficies de interfaz del material compuesto.

15 Naturalmente, permaneciendo el principio de la invención sin cambios, los modos de realización y los detalles de implementación se podrían variar ampliamente en comparación con lo que ha sido descrito e ilustrado puramente a modo de ejemplo no limitante, sin apartarse por ello del alcance protegido de la invención definida en las reivindicaciones adjuntas.

## 20 **Referencias de la literatura**

1. G. Mensitieri/M. Iannone, "Modeling accelerate ageing in polymer composites", capítulo 9 de: "Ageing of Composites" Woodhead Publishing Limited, septiembre de 2008.

25 2. M. Iannone - Composite Materials for Aeronautical Applications en Encyclopedia of Composites, John Wiley and Sons, segunda edición (2012).

3. J. Rouchon, "Certification of large airplane composite structures, recent progress and new trends in compliance philosophy", 17º Congreso de ICAS, Estocolmo, 1990.

30 4. D. Larobina, G. Mensitieri, A. Aldi, E. Calvi, M. Iannone, F. Manzi and L. Nicolais, "An Integrated Approach to Analyze Long-term Moisture Transport in Honeycomb-core Sandwich Panels", Journal of Composite Materials, Vol. 44, nº 21/2010 2473-24 86.

35 5. M.E.Tuttle, "Moisture ingress in honeycomb sandwich composites due to exposure to humidity", proceedings international SAMPE symposium and exhibition, 1 de enero de 2012.

40 6. Thomas Carlsson, "Method for characterization of moisture ingress at laminated glass/ polymerencapsulant interfaces", 21º European photovoltaic solar energy conference, Dresde, Alemania, 4 - 8 de september de 2006.

7. S.H. Myhre "Moisture problems in advanced composite structural repair", Composites, vol. 13, nº 3, 1 de julio de 1982, páginas 289-297.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema para medir la humedad absorbida en un material compuesto, comprendiendo el sistema:

5 un artículo (1) de material compuesto que comprende una pluralidad de capas de material consolidadas a través de la acción de presión y calor, en el que cada capa de material se forma a partir de una matriz de resina reforzada con un material de fibra,

10 estando el sistema caracterizado porque comprende además un inserto (13) embebido en dicho material compuesto, que está colocado entre una primera y una segunda (11, 12) de dichas capas de material, en una zona de interfaz limitada (15), fuera de la cual dichas primera y segunda capas de material son mutuamente contiguas, estando formada al menos una cavidad (17) en dicho inserto, en comunicación fluida con dichas primera y segunda capas de material, y

15 un sensor de humedad ambiental (20) colocado dentro de dicha cavidad, y que puede proporcionar una señal que indica el contenido de humedad en la atmósfera presente dentro de dicha cavidad.

2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dicho inserto tiene una estructura alveolar, estando constituida dicha cavidad por una o más celdas de la estructura alveolar.

20 3. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque comprende además una unidad de procesamiento (30) conectada operativamente a dicho sensor de humedad ambiental, y que puede determinar el contenido de humedad absorbida en el material compuesto a nivel de dicha zona de interfaz, como una función del contenido de humedad presente dentro de dicha cavidad.

25 4. Método para medir la humedad absorbida en un material compuesto, caracterizado porque incluye las siguientes etapas:

30 proporcionar un artículo (1) de material compuesto que comprende una pluralidad de capas de material consolidadas a través de la acción de presión y calor, en el que cada capa de material se forma a partir de una matriz de resina reforzada con un material de fibra, estando caracterizado el método porque hay un inserto (13) embebido en dicho material compuesto, que se coloca entre una primera y una segunda (11, 12) de dichas capas de material, en una zona de interfaz limitada (15), fuera de la cual dichas primera y segunda capas de material son mutuamente contiguas, formándose al menos una cavidad (17) en dicho inserto, en comunicación fluida con dichas primera y segunda capas de material, dentro de la cual se coloca un sensor de humedad ambiental (20) ,

35 por medio de dicho sensor de humedad ambiental, proporcionar una señal que indica el contenido de humedad en la atmósfera presente dentro de dicha cavidad, y

40 determinar el contenido de humedad absorbida en el material compuesto a nivel de dicha zona de interfaz, como una función del contenido de humedad presente dentro de dicha cavidad.

45 5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque dicho inserto tiene una estructura alveolar, estando constituida dicha cavidad por una o más celdas de la estructura alveolar.

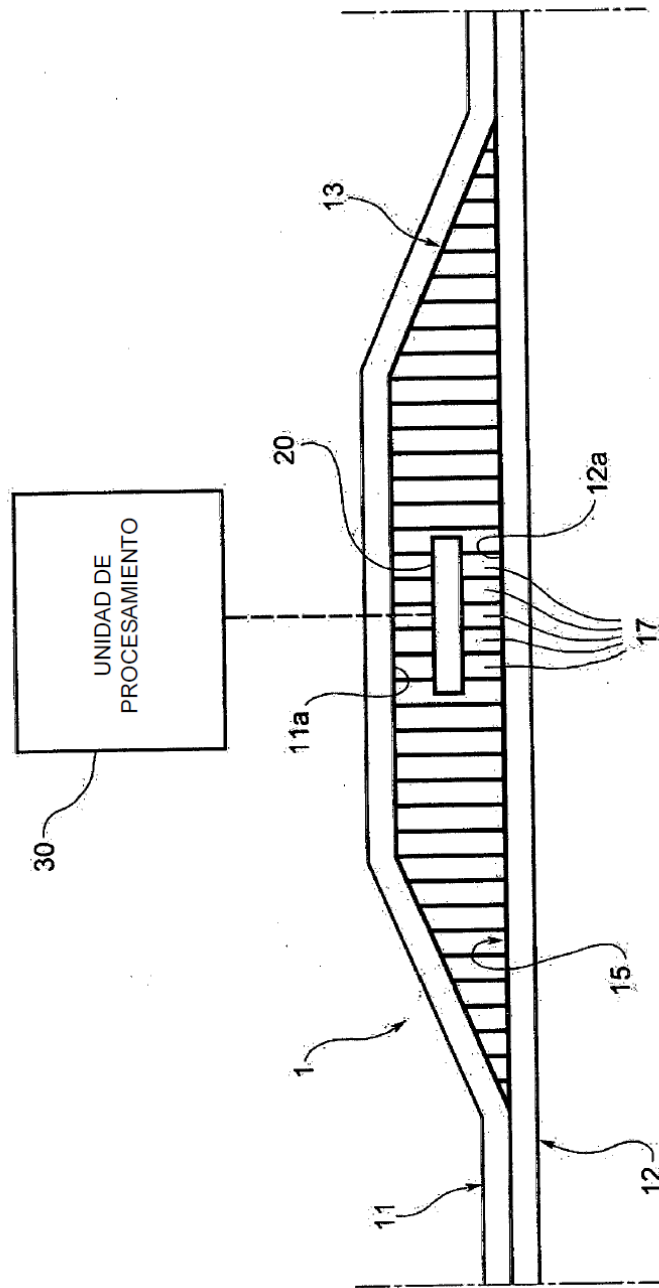


FIG. 1