

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 519 541**

51 Int. Cl.:

B32B 17/10 (2006.01)

C03C 27/12 (2006.01)

G01N 3/32 (2006.01)

H01L 31/048 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2010 E 10726525 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.08.2014 EP 2448756**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de un elemento de acristalamiento laminado**

30 Prioridad:

30.06.2009 FR 0954466

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

07.11.2014

73 Titular/es:

**SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE (100.0%)
18, avenue d'Alsace
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**NUGUE, JEAN-CLÉMENT;
LEVASSEUR, FABIEN y
DECOURCELLE, ROMAIN**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 519 541 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fabricación de un elemento de acristalamiento laminado

5 La presente invención trata de un procedimiento de fabricación de un elemento de acristalamiento laminado que incluye al menos un sustrato en funciones de vidrio y al menos una capa de intercalario polimérico. La invención trata asimismo de un elemento de acristalamiento laminado optimizado.

En el sentido de la invención, se entiende por acristalamiento laminado cualquier estructura de acristalamiento que comprende al menos un sustrato en funciones de vidrio y al menos una capa de intercalario, incluyendo una estructura que comprende un único sustrato y una única capa de intercalario asociados entre sí.

10 Sabido es que las leyes de comportamiento viscoelástico de los intercalarios poliméricos destinados a la fabricación de acristalamientos laminados influyen en el comportamiento mecánico de estos acristalamientos laminados cuando se ven sometidos a una carga estática o cuasiestática. Para validar el dimensionamiento de un elemento de acristalamiento laminado, conviene cerciorarse de que su resistencia a la carga es compatible con su aplicación. Conviene cerciorarse, por ejemplo, de que un acristalamiento de fachada de un edificio es apto para resistir a una determinada carga de viento, o de que un módulo fotovoltaico destinado a ser instalado en el tejado de un edificio es apto para resistir a una determinada carga de nieve. En concreto, en la fabricación del elemento de acristalamiento laminado, la intensidad y el modo de distribución de la carga previsible sobre un elemento de acristalamiento laminado, así como el margen de tiempos y de temperaturas característicos de esa carga, son parámetros que han de considerarse.

20 Un método tradicional de determinación de la resistencia a la carga de un elemento de acristalamiento laminado, en unas condiciones de presión y de carga determinadas, consiste en utilizar un modelo analítico, en el que se equipara el acristalamiento laminado a un acristalamiento sin intercalario, y la participación del intercalario en la transferencia de la cizalladura al elemento de acristalamiento laminado es representada mediante un coeficiente de transferencia ϖ , comprendido entre 0 y 1. La contribución del intercalario a las prestaciones mecánicas del acristalamiento laminado es tanto mayor cuanto más aumenta el coeficiente de transferencia ϖ . En la práctica, el coeficiente de transferencia ϖ es utilizado para definir un espesor equivalente del elemento de acristalamiento laminado, a partir del cual se pueden calcular magnitudes representativas de la resistencia a la carga del elemento, según fórmulas análogas a las aplicables a los elementos de acristalamiento monolíticos.

A título de ejemplo, en este método tradicional, el espesor equivalente para el cálculo de la flecha de una placa de acristalamiento laminado viene dado por la ecuación:

30
$$h_{ef;w} = \sqrt[3]{(1-\varpi)\sum_i h_i^3 + \varpi\left(\sum_i h_i\right)^3} \quad (I),$$

y el espesor equivalente para el cálculo de la tensión máxima sobre el sustrato en funciones de vidrio i de una placa de acristalamiento laminado viene dado por la ecuación:

$$h_{ef;\sigma;i} = \sqrt{\frac{(h_{ef;w})^3}{(h_i + 2\varpi h_{m;i})}} \quad (II),$$

donde h_i es el espesor del o de cada sustrato en funciones de vidrio de la placa de acristalamiento laminado, y

35 $h_{m;i}$ es la distancia entre el plano medio del sustrato en funciones de vidrio i y el plano medio del acristalamiento laminado, sin tener en cuenta los espesores de las capas de intercalario utilizadas en el acristalamiento laminado.

Sin embargo, en la bibliografía no se encuentra disponible ningún método que permita la determinación precisa del coeficiente de transferencia ϖ para un elemento de acristalamiento laminado dado. Además, en el método tradicional, el espesor equivalente viene expresado en función del coeficiente de transferencia ϖ del intercalario y del espesor del o de cada sustrato del elemento de acristalamiento laminado, sin tener en cuenta el espesor de intercalario en el acristalamiento laminado. Ahora bien, en los casos en que el intercalario contribuye de manera no desdeñable a las prestaciones mecánicas del elemento de acristalamiento laminado, la ausencia de dependencia del espesor equivalente frente al espesor de intercalario puede conducir a una aproximación demasiado notable del comportamiento mecánico de la estructura. En concreto, en el método tradicional, no se establece distinción alguna entre un elemento de acristalamiento laminado que incluye una única hoja de intercalario de espesor estándar, dispuesta entre dos sustratos de vidrio, y un elemento de acristalamiento laminado que incluye dos hojas de espesor estándar del mismo intercalario, dispuestas entre los dos mismos sustratos de vidrio. La consecuencia en la implantación de prescripciones para el dimensionamiento de un elemento de acristalamiento laminado es una tendencia a sobrestimar los espesores necesarios de los sustratos de vidrio, mientras que para cumplir con los criterios de dimensionamiento, podría bastar un aumento del espesor de intercalario. En consecuencia, el coste y la masa de los elementos de acristalamiento laminado obtenidos en el contexto del método tradicional no están

optimizados.

Esos son los inconvenientes que la invención se propone subsanar de manera más particular, preconizando un procedimiento de fabricación de un elemento de acristalamiento laminado que garantiza la obtención de un elemento de acristalamiento laminado optimizado a la vez en términos de masa y de resistencia a la carga.

5 A tal efecto, la invención tiene por objeto un procedimiento de fabricación de un elemento de acristalamiento laminado para que resista a una carga predeterminada correspondiente a un margen de tiempos y a un margen de temperaturas característicos, incluyendo el elemento de acristalamiento laminado al menos un sustrato en funciones de vidrio y al menos una capa de intercalario polimérico, caracterizado por que comprende unas etapas en las cuales:

- 10 - se obtiene la ley de comportamiento viscoelástico del material constitutivo del intercalario en los márgenes de tiempos y de temperaturas característicos de la carga predeterminada;
- se calcula el valor máximo de al menos una magnitud representativa de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado sometido a la carga predeterminada, utilizando - un modelo analítico en el que la participación del intercalario en la transferencia de la cizalladura al elemento de acristalamiento laminado está representada por un coeficiente de transferencia, y - una ecuación que expresa el coeficiente de transferencia en función del módulo de Young del intercalario, de la carga aplicada al elemento de acristalamiento laminado y de las dimensiones del elemento de acristalamiento laminado;
- 15 - se ajustan las dimensiones del elemento de acristalamiento laminado de manera tal que el valor máximo calculado de la magnitud representativa de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado es menor o igual que un valor máximo admisible;
- 20 - se prepara y se ensambla el sustrato y la capa de intercalario del elemento de acristalamiento laminado a las dimensiones ajustadas.

En el sentido de la invención, se entiende por dimensiones del elemento de acristalamiento laminado no sólo sus dimensiones periféricas, por ejemplo, en el caso de una placa rectangular de acristalamiento laminado, su ancho y su largo, sino también los espesores de su o sus sustratos y de su o sus capas de intercalario constitutivos.

De acuerdo con otras características ventajosas de un procedimiento de fabricación de un elemento de acristalamiento laminado según la invención, consideradas aisladamente o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

- 30 - Para la determinación de la ley de comportamiento del material constitutivo del intercalario, se mide el módulo de Young sobre una muestra del intercalario con ayuda de un viscoanalizador, haciendo variar la frecuencia y la temperatura e imponiendo un desplazamiento dinámico constante, y se utiliza la ley de equivalencia frecuencia/temperatura establecida por el método WLF.
- Se determina la ley de comportamiento del material constitutivo del intercalario para un margen de frecuencias comprendidas entre $5 \cdot 10^{-7}$ Hz y $3 \cdot 10^{-1}$ Hz y un margen de temperaturas comprendidas entre -20 °C y 60 °C.
- 35 - Se calcula, como magnitudes representativas de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado:
- o la flecha del elemento de acristalamiento laminado, a partir del espesor equivalente $h_{ef,w}$ del acristalamiento laminado, tal que:

40
$$h_{ef,w} = \sqrt[3]{(1-\varpi) + \left(\sum_i h_i^3 + \sum_j h_{int j}^3\right) + \varpi \left(\sum_i h_i + \sum_j h_{int j}\right)^3} \quad (III),$$

y/o

- o la tensión máxima sobre el o cada sustrato en funciones de vidrio del elemento de acristalamiento laminado, a partir del espesor equivalente $h_{ef,\sigma,i}$ del acristalamiento laminado, tal que:

$$h_{ef,\sigma,i} = \sqrt{\frac{(h_{ef,w})^3}{(h_i + 2\varpi h_{m,i})}} \quad (IV),$$

45 donde

h_i : espesor del o de cada sustrato en funciones de vidrio,

h_{intj} : espesor de la o de cada capa de intercalario,

$h_{m,i}$: distancia entre el plano medio del sustrato en funciones de vidrio i y el plano medio del acristalamiento laminado.

- 5 - Se determina la ecuación que expresa el coeficiente de transferencia, válida para cualquier elemento de acristalamiento laminado que incluye al menos un sustrato en funciones de vidrio y al menos una capa de intercalario polimérico, según las siguientes etapas:
- 10 ▪ se obtiene la ley de comportamiento viscoelástico del material constitutivo del intercalario del elemento de acristalamiento laminado;
 - 15 ▪ se realiza un modelo numérico mediante elementos finitos en flexión del elemento de acristalamiento laminado, utilizando la ley de comportamiento del material constitutivo del intercalario para definir las propiedades mecánicas del intercalario;
 - 20 ▪ se comparan los resultados obtenidos, con el modelo numérico, por una parte y, por otra, con un modelo analítico en el que la participación del intercalario en la transferencia de la cizalladura está representada por un coeficiente de transferencia, y se ajusta el valor del coeficiente de transferencia hasta la convergencia de estos resultados;
 - 25 ▪ se construye, mediante sucesivas iteraciones, una función de transferencia representativa de la evolución del coeficiente de transferencia en función del módulo de Young del intercalario;
 - 30 ▪ se traslada a ecuación la función de transferencia de manera tal que el coeficiente de transferencia viene expresado en función del módulo de Young del intercalario, de la carga aplicada al elemento de acristalamiento laminado y de las dimensiones del elemento de acristalamiento laminado;
 - 35 ▪ se determinan empíricamente los parámetros de la ecuación que expresa el coeficiente de transferencia en función del módulo de Young del intercalario, de la carga aplicada al elemento de acristalamiento laminado y de las dimensiones del elemento de acristalamiento laminado.
- 40 - El elemento de acristalamiento laminado es una placa rectangular, siendo las dimensiones del elemento de acristalamiento laminado que intervienen en la ecuación que expresa el coeficiente de transferencia el ancho y el largo de la placa, el espesor del o de cada sustrato en funciones de vidrio y el espesor de la o de cada capa de intercalario.

30 La invención tiene asimismo por objeto un soporte de grabación de información que incluye instrucciones para la puesta en práctica de las etapas de cálculo de un procedimiento de fabricación tal y como se ha descrito anteriormente, cuando esas instrucciones son ejecutadas por una unidad de cálculo electrónica, donde las instrucciones comprenden una instrucción de cálculo del valor máximo de al menos una magnitud representativa de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado sometido a la carga predeterminada, utilizando - un modelo analítico en el que la participación del intercalario en la transferencia de la cizalladura al elemento de acristalamiento laminado está representada por un coeficiente de transferencia, y - una ecuación que expresa el coeficiente de transferencia en función del módulo de Young del intercalario, de la carga aplicada al elemento de acristalamiento laminado y de las dimensiones del elemento de acristalamiento laminado.

40 De acuerdo con una forma de realización, las instrucciones comprenden, a continuación de la instrucción de cálculo del valor máximo de al menos una magnitud representativa de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado sometido a dicha carga predeterminada, una instrucción de cálculo de valores ajustados de dimensiones del elemento de acristalamiento laminado de manera tal que el valor máximo calculado de la magnitud representativa es menor o igual que un valor máximo admisible de esa magnitud representativa.

Finalmente, la invención está orientada a un elemento de acristalamiento laminado obtenido por un procedimiento de fabricación tal y como se ha descrito anteriormente.

45 La invención está orientada asimismo a un elemento de acristalamiento laminado destinado a ser instalado en un sitio correspondiente a una carga máxima predeterminada aplicada sobre el elemento, incluyendo este elemento de acristalamiento laminado al menos un sustrato en funciones de vidrio y al menos una capa de intercalario polimérico, teniendo este elemento de acristalamiento laminado un espesor de intercalario y/o un espesor de sustrato reducidos con relación, respectivamente, al espesor de intercalario y al espesor de sustrato de un elemento de acristalamiento laminado nominal correspondiente, conservándose las demás dimensiones del elemento de acristalamiento laminado iguales a las del elemento de acristalamiento laminado nominal correspondiente, donde el elemento de acristalamiento laminado nominal correspondiente es un elemento de acristalamiento laminado fabricado para resistir a la carga máxima predeterminada mediante un método de fabricación en el que el espesor equivalente del elemento de acristalamiento laminado, a partir del cual se calculan magnitudes representativas de la resistencia a la carga de elemento según fórmulas análogas a las aplicables a los elementos de acristalamiento monolíticos, es independiente del espesor de la capa de intercalario.

De acuerdo con otras características ventajosas de un elemento de acristalamiento laminado fabricado según la invención:

- 5 - El elemento de acristalamiento laminado es un acristalamiento de edificio que incluye al menos dos sustratos en funciones de vidrio y al menos una capa de intercalario polimérico, estando dispuesta la o cada capa de intercalario entre dos sustratos en funciones de vidrio.
- El elemento de acristalamiento laminado es un módulo fotovoltaico que incluye un sustrato anterior en funciones de vidrio y al menos una célula fotovoltaica, intercalándose entre el sustrato anterior y la célula fotovoltaica una capa de intercalario de estructura laminada polimérica.

10 Las características y ventajas de la invención se irán poniendo de manifiesto en la descripción que sigue de varias formas de realización de un procedimiento de fabricación y de un elemento de acristalamiento laminado según la invención, dada únicamente a título de ejemplo y hecha con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La figura 1 es una vista en perspectiva esquemática de una placa de acristalamiento laminado que incluye dos sustratos en funciones de vidrio y un intercalario polimérico;

15 la figura 2 es una sección parcial por el plano II de la figura 1;

la figura 3 es una curva representativa de la evolución del coeficiente de transferencia en función del módulo de Young del intercalario;

20 la figura 4 es un gráfico que muestra la evolución de la flecha máxima de una placa rectangular de acristalamiento laminado en función de la carga de viento aplicada sobre la placa, obtenida respectivamente mediante una medida experimental, mediante estimación en el contexto de un procedimiento de fabricación de acristalamiento laminado del estado de la técnica y mediante estimación en el contexto del procedimiento de fabricación de acristalamiento laminado conforme a la invención, para una placa que tiene un ancho de 2 m y un largo de 3 m y que incluye dos sustratos de vidrio de 4 mm de espesor cada uno de ellos y dos hojas de intercalario estándar, es decir, una capa de intercalario de 0,76 mm de espesor;

25 la figura 5 es un gráfico que muestra la evolución de la flecha máxima de una placa rectangular de acristalamiento laminado en función de la carga de viento aplicada sobre la placa, obtenida respectivamente mediante una medida experimental, mediante estimación en el contexto de un procedimiento de fabricación de acristalamiento laminado del estado de la técnica y mediante estimación en el contexto del procedimiento de fabricación de acristalamiento laminado conforme a la invención, para una placa que tiene un ancho de 2 m y un largo de 3 m y que incluye dos sustratos de vidrio de 4 mm de espesor cada uno de ellos y una o dos hojas de intercalario estructural, es decir, una capa de intercalario de 0,38 mm o 0,76 mm de espesor;

30 la figura 6 es un gráfico en tres dimensiones, representativo del espesor equivalente de una placa rectangular de acristalamiento laminado, en función a la vez de la carga de viento aplicada sobre la placa y de la relación $\lambda = a/b$ del ancho al largo de la placa, para una placa que tiene un largo de 3 m y que incluye dos sustratos de vidrio de 4 mm de espesor cada uno de ellos y dos hojas de intercalario estructural, es decir, una capa de intercalario de 0,76 mm de espesor, respectivamente para una placa de acristalamiento laminado conforme a la invención y para una placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente del estado de la técnica;

35 la figura 7 es un gráfico en tres dimensiones deducido a partir de la figura 6, representativo de la ganancia en términos de espesor equivalente de la placa de acristalamiento laminado conforme a la invención considerada en la figura 6, con relación al espesor equivalente de una placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente del estado de la técnica, en función a la vez de la carga de viento aplicada sobre la placa y de la relación $\lambda = a/b$ del ancho al largo de la placa;

40 la figura 8 es un gráfico análogo al gráfico de la figura 7, representativo de la ganancia en términos de espesor equivalente de una placa rectangular de acristalamiento laminado, en función a la vez de la carga de viento aplicada sobre la placa y de la relación $\lambda = a/b$ del ancho al largo de la placa, para una placa que tiene un largo de 3 m y que incluye dos sustratos de vidrio de 4 mm de espesor cada uno de ellos y dos hojas de intercalario estándar, es decir, una capa de intercalario de 0,76 mm de espesor, respectivamente para una placa de acristalamiento laminado conforme a la invención y para una placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente del estado de la técnica;

45 la figura 9 es un gráfico análogo al gráfico de la figura 7, representativo de la ganancia en términos de espesor equivalente de una placa rectangular de acristalamiento laminado, en función a la vez de la carga de viento aplicada sobre la placa y de la relación $\lambda = a/b$ del ancho al largo de la placa, para una placa que tiene un largo de 3 m y que incluye dos sustratos de vidrio de 4 mm de espesor cada uno de ellos y dos hojas de intercalario acústico, es decir, una capa de intercalario de 0,76 mm de espesor, respectivamente para una placa de acristalamiento laminado conforme a la invención y para una placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente del estado de la técnica; y

la figura 10 es una sección análoga a la figura 2 para una placa de acristalamiento laminado que incluye tres sustratos en funciones de vidrio y dos capas de intercalario polimérico, dispuestas cada una de ellas entre dos sustratos.

5 En la figura 1 se representa una placa de acristalamiento laminado 1 de forma rectangular, que incluye dos sustratos de vidrio 2 y 4 entre los cuales se halla dispuesta, de manera solidaria, una capa de intercalario 3 a base de polivinilbutil (PVB). Como variante, la capa de intercalario 3 puede estar constituida mediante cualquier material viscoelástico de propiedades adaptadas que no sea el PVB. Se señala con a y b , respectivamente, el ancho y el largo de la placa 1, h_1 y h_2 , los espesores de los sustratos 2 y 4 y, h_{int1} , el espesor de la capa de intercalario 3. De conformidad con el procedimiento de fabricación según la invención, se pretende dimensionar la placa de acristalamiento laminado 1 para que resista a una carga predeterminada F_0 , tal como una carga de nieve en la primera forma de realización, o una carga de viento en la segunda forma de realización ilustrada en las figuras 4 a 9.

10 Una etapa previa, decisiva para la implantación del procedimiento de fabricación conforme a la invención, es la determinación de una ecuación que expresa el coeficiente de transferencia ω del intercalario de una placa de acristalamiento laminado en función del módulo de Young E_{int} del intercalario, de la carga F aplicada a la placa y de las dimensiones a , b , h_1 , h_{int1} de la placa de acristalamiento laminado. Esta ecuación, válida para cualquier placa de acristalamiento laminado que incluya al menos un sustrato en funciones de vidrio y al menos una capa de intercalario polimérico, se determina según las etapas que a continuación se describen.

15 En primer lugar, se determina experimentalmente la ley de comportamiento viscoelástico $E_{int}(t, T)$ del material constitutivo del intercalario de la placa de acristalamiento laminado. La evolución del módulo de Young E_{int} en función de la frecuencia y de la temperatura está determinada por un margen de frecuencias $f = 1/t$ comprendidas entre $5 \cdot 10^{-7}$ Hz y $3 \cdot 10^{-1}$ Hz y un margen de temperaturas T comprendidas entre -20 °C y 60 °C. Estos márgenes de frecuencias y de temperaturas corresponden a los márgenes característicos de las cargas estáticas o cuasiestáticas aplicadas a los elementos de acristalamiento laminado, por ejemplo cuando estos equipan edificios. En particular, la duración característica t de una carga de viento es del orden de 3 segundos, con un margen de temperaturas T correspondientes comprendidas entre 0 °C y 20 °C, mientras que la duración característica t de una carga de nieve es del orden de 3 semanas, con un margen de temperaturas T correspondientes comprendidas entre -20 °C y 20 °C.

20 Para determinar la ley de comportamiento $E_{int}(t, T)$, se mide el módulo de Young E_{int} en una muestra del intercalario con ayuda de un viscoanalizador, por ejemplo el viscoanalizador VA400 comercializado por la compañía METRAVIB, haciendo variar la frecuencia y la temperatura e imponiendo un desplazamiento dinámico constante. A título de ejemplo, el desplazamiento dinámico se fija a $1 \cdot 10^{-6}$ m. El viscoanalizador METRAVIB tan sólo proporciona valores en el dominio de frecuencias de 1 a 400 Hz. Para los valores de frecuencias y de temperaturas para los cuales no es posible realizar una medida con ayuda del viscoanalizador, se utiliza, de manera conocida, la ley de equivalencia frecuencia/temperatura establecida por el método WLF (Williams-Landel-Ferry).

25 A continuación se realiza un modelo numérico mediante elementos finitos en flexión de la placa de acristalamiento laminado, con el fin de calcular la resistencia a la carga de la placa de acristalamiento laminado sometida a una determinada carga. Las propiedades mecánicas del intercalario se definen, en el contexto de ese modelo numérico, utilizando la ley de comportamiento determinada con anterioridad $E_{int}(t, T)$. A título de ejemplo, este modelo numérico se puede realizar con ayuda del soporte lógico de cálculo de la marca COSMOS-M, en el que se integra un modelo no lineal de placa de acristalamiento laminado que lleva incorporado el intercalario, con presiones simples en cada uno de los cuatro lados de la placa y una carga uniforme.

30 Se comparan entonces los resultados del cálculo numérico con los obtenidos mediante fórmulas analíticas, en las cuales la participación del intercalario en la transferencia de la cizalladura a la placa de acristalamiento laminado está representada por el coeficiente de transferencia ω . Estas fórmulas analíticas pueden permitir, por ejemplo, calcular la flecha w_{max} de la placa de acristalamiento laminado y la tensión máxima σ_{maxi} sobre el sustrato en funciones de vidrio i de la placa de acristalamiento laminado:

$$w_{max} = k_4 \frac{A^2}{h_{ef,w}^3} \frac{F}{E_{int}} \quad (V) \quad \text{y} \quad \sigma_{max i} = k_1 \frac{A}{h_{ef,\sigma,i}^2} F \quad (VI),$$

35 donde $h_{ef,w}$ es el espesor equivalente para el cálculo de la flecha w_{max} según está definido en la referida expresión (I), $h_{ef,\sigma,i}$ es el espesor equivalente para el cálculo de la tensión máxima σ_{maxi} según está definido en la referida expresión (II), F es la carga aplicada sobre la placa de acristalamiento laminado, E_{int} es el módulo de Young del intercalario de la placa de acristalamiento laminado, A es igual al producto ab del ancho a y el largo b de la placa de acristalamiento laminado, k_1 y k_4 son coeficientes cuyos valores vienen dados en el anexo B del proyecto de norma europea prEN 13474.

40 Como variante, con el fin de tener en cuenta el espesor de intercalario en la placa de acristalamiento laminado, es posible formular de nuevo las expresiones del espesor equivalente, para el cálculo de la flecha y de la tensión

máxima según las fórmulas (V) y (VI), como sigue:

$$h_{ef;w} = \sqrt[3]{(1-\varpi) + \left(\sum_i h_i^3 + \sum_j h_{intj}^3\right) + \varpi \left(\sum_i h_i + \sum_j h_{intj}\right)^3} \quad (III),$$

$$h_{ef;\sigma;i} = \sqrt{\frac{(h_{ef;w})^3}{(h_i + 2\varpi h_{m,i})}} \quad (IV),$$

donde h_i es el espesor del o de cada sustrato en funciones de vidrio de la placa de acristalamiento laminado,

5 h_{intj} es el espesor de la o cada capa de intercalario de la placa de acristalamiento laminado,

$h_{m,i}$ es la distancia entre el plano medio del sustrato en funciones de vidrio i y el plano medio del acristalamiento laminado, teniendo en cuenta los espesores de las capas de intercalario utilizadas en el acristalamiento laminado, según se muestra en las figuras 1 y 10.

10 A partir de la comparación de los resultados obtenidos, por el modelo numérico, por una parte y, por otra, por las fórmulas analíticas, se ajusta el valor del coeficiente de transferencia ϖ hasta obtener una convergencia de los resultados. Se construye así, mediante sucesivas iteraciones, una función de transferencia representativa de la evolución del coeficiente de transferencia ϖ en función del módulo de Young E_{int} del intercalario. La curva representativa de tal función de transferencia $\varpi = f(E_{int})$ se muestra en la figura 3.

15 Se traslada entonces a ecuación la función de transferencia mediante una fórmula empírica, en orden a expresar el coeficiente de transferencia ϖ en función no sólo de las propiedades del intercalario, sino también de la carga F aplicada a la placa y de parámetros físicos de la placa de acristalamiento laminado. Este paso a ecuación constituye una etapa clave de la invención, pudiendo a continuación ser utilizada de manera sistemática la ecuación del coeficiente de transferencia ϖ para obtener un elemento de acristalamiento laminado optimizado en términos de masa y de resistencia a la carga.

20 A partir de la curva representativa de la función de transferencia anteriormente obtenida, de la cual se muestra un ejemplo en la figura 3, se ha corroborado que la ecuación característica de la función de transferencia $\varpi = f(E)$ es de la forma

$$\varpi = \frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{G}},$$

donde

25 α es una constante,

β es una agrupación de parámetros físicos y geométricos de la placa,

G es el módulo de cizalladura del intercalario, que puede ser deducido a partir del coeficiente de Poisson ν y del módulo de Young E_{int} del intercalario según la ecuación $E_{int} = 2(1 + \nu)G$.

30 Los presentes inventores han determinado empíricamente los parámetros de la ecuación de la función de transferencia, basándose en resultados experimentales dimanados de medidas de flechas máximas de placas de acristalamiento laminado, en ensayos con viento, así como basándose en resultados de cálculos numéricos dimanados de un modelo con elementos finitos en flexión de placas de acristalamiento laminado. Más exactamente, los presentes inventores han estudiado la sensibilidad del coeficiente de transferencia ϖ frente a varios parámetros. En primera aproximación, el coeficiente de transferencia ϖ depende del ancho a y del largo b de la placa, del espesor h_i del o de cada sustrato de vidrio de la placa de acristalamiento laminado, del espesor h_{intj} de la o cada capa de intercalario de la placa de acristalamiento laminado, de la carga F uniformemente distribuida aplicada sobre la placa, del módulo de Young E_v del vidrio (70 GPa) y del módulo de Young E_{int} del intercalario.

35 Se ha corroborado que el coeficiente de transferencia ϖ evoluciona linealmente en función de la carga aplicada a la placa de acristalamiento laminado, cualesquiera que sean el espesor y el tipo de intercalario utilizado. En efecto, la intensidad de la carga rige la energía de deformación por flexión del ensamble y, así, en cierto modo, los esfuerzos cortantes transmitidos de un sustrato de vidrio a otro de la placa de acristalamiento laminado. Cuanto más se deforme la placa de acristalamiento laminado por efecto de la carga, más solicitado se verá el intercalario y más disminuirá su capacidad de transferencia. De ello se deriva la siguiente formulación de tipo afín en función de la carga F aplicada sobre la placa de acristalamiento laminado:

$$\varpi = \varphi F + \frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{G}},$$

donde el valor de la pendiente φ se fija a $-5e^{-5}$ por interpolación de los datos experimentales y numéricos de flexión de placas de acristalamiento laminado. La relación $\frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{G}}$ pasa entonces a ser la ordenada en el origen, que califica la rigidez potencial del ensamble sin acciones exteriores.

- 5 Estas consideraciones conducen a la siguiente formulación para el coeficiente de transferencia ϖ de una placa de acristalamiento polilaminado que incluye al menos un sustrato en funciones de vidrio y al menos una capa de intercalario polimérico:

$$\varpi = -5e^{-5}F + \frac{1}{1.3 + \frac{0.6E_v \sum h_{intj} \sum h_i}{\sqrt{abE_{int} h_{tot} \lambda}}} \quad (VII),$$

donde

- 10 λ es la relación a/b ,

h_{tot} es el espesor total de la placa de acristalamiento laminado,

con i variando de 1 a n y j , de 1 a $n-1$, representando n el número de sustratos en funciones de vidrio de la placa de acristalamiento laminado.

- 15 En el contexto del procedimiento de fabricación conforme a la invención, se hace uso de esta ecuación (VII) que expresa el coeficiente de transferencia ϖ de una placa de acristalamiento laminado de la manera que seguidamente se describe e ilustra, a título de ejemplo, en las formas de realización primera y segunda que siguen.

- 20 Cuando se desea fabricar una placa de acristalamiento laminado, por ejemplo la placa de acristalamiento laminado 1 de la figura 1, para que esta resista a una carga predeterminada F_0 correspondiente a un margen de tiempos t y a un margen de temperaturas T característicos, se determina en primer lugar la ley de comportamiento viscoelástico $E_{int}(t, T)$ del material constitutivo del intercalario, abarcando al menos los márgenes de tiempos y de temperaturas característicos de la carga F_0 . La ley de comportamiento $E_{int}(t, T)$ se determina según se ha descrito anteriormente, con ayuda de un viscoanalizador, haciendo variar la frecuencia y la temperatura e imponiendo un desplazamiento dinámico constante y, para los valores de frecuencias y de temperaturas para los cuales no es posible realizar una medida con ayuda del viscoanalizador, utilizando la ley de equivalencia frecuencia/temperatura establecida por el método WLF (Williams-Landel-Ferry). A efectos prácticos, la ley de comportamiento $E_{int}(t, T)$ se determina una vez para cada composición de intercalario y se memoriza en una base de datos en orden a poder ser reutilizada en el procedimiento de fabricación de cualquier placa de acristalamiento laminado que incorpore esa composición de intercalario.

- 30 Se calcula a continuación el valor máximo de al menos una magnitud representativa de la resistencia a la carga de la placa de acristalamiento laminado sometida a la carga predeterminada F_0 , tal como la flecha w_{max} de la placa de acristalamiento laminado y/o la tensión máxima σ_{maxi} sobre el o cada sustrato en funciones de vidrio de la placa. A tal efecto, se utiliza la ecuación (VII) que expresa el coeficiente de transferencia ϖ de la placa de acristalamiento laminado, en conjunción con fórmulas analíticas, por ejemplo las fórmulas (V) y (VI) de cálculo de la flecha y de la tensión máxima y las fórmulas (III) y (IV) del espesor equivalente que hacen intervenir el espesor de intercalario en la placa de acristalamiento laminado.

- 35 Se ajustan entonces las dimensiones a , b , h_i , h_{intj} de la placa de acristalamiento laminado, de manera tal que el valor máximo calculado de la o cada magnitud w_{max} , σ_{maxi} representativa de la resistencia a la carga de la placa de acristalamiento laminado es menor o igual que un valor máximo admisible, definido por ejemplo por una norma. El valor máximo de la o cada magnitud w_{max} , σ_{maxi} calculada es el valor máximo en los márgenes de tiempos y de temperaturas característicos de la carga F_0 . En la práctica, el valor máximo de la tensión máxima σ_{maxi} calculada es el valor máximo en el margen de tiempos característicos de la carga F_0 , ya que la tensión máxima no está influida por la temperatura en los márgenes de temperaturas considerados.

- 40 Una vez que se han determinado las dimensiones a , b , h_i , h_{intj} ajustadas, se prepara el o cada sustrato y la o cada capa de intercalario de la placa de acristalamiento laminado con los espesores h_i , h_{intj} ajustados, y se ensamblan en orden a conformar la placa de acristalamiento laminado de ancho a y largo b también ajustados.

45

Las etapas de cálculo antes descritas del procedimiento de fabricación según la invención se pueden realizar por medio de una unidad de cálculo, programada con un algoritmo de procesamiento de datos de entrada, donde el algoritmo hace intervenir la ecuación (VII) que expresa el coeficiente de transferencia ω , así como fórmulas analíticas de cálculo de la resistencia a la carga de una placa de acristalamiento laminado, en particular las fórmulas (V), (VI) de cálculo de la flecha y de la tensión máxima y las fórmulas (III), (IV) del espesor equivalente. La unidad de cálculo está realizada a partir de un computador programable convencional, apto para ejecutar instrucciones grabadas en un soporte de grabación de información. Este soporte incluye instrucciones para la ejecución del algoritmo anteriormente descrito, cuando esas instrucciones, que corresponden a las etapas de cálculo del procedimiento de fabricación según la invención, son ejecutadas por la unidad de cálculo. El conjunto de las instrucciones para la ejecución del algoritmo se integran en un programa o un soporte lógico de dimensionamiento de acristalamiento laminado, que ventajosamente comprende una interfaz gráfica simplificada que permite a un usuario tener una respuesta rápida y fiable acerca de un problema de dimensionamiento.

De acuerdo con un primer enfoque, los datos de entrada para el algoritmo pueden ser la ley de comportamiento $E_{int}(t, T)$ del intercalario de la placa de acristalamiento laminado, la carga predeterminada F_0 aplicada a la placa de acristalamiento laminado y las dimensiones a, b, h_i, h_{intj} de la placa. La unidad de cálculo está prevista entonces para proporcionar, a su salida, los valores calculados de magnitudes representativas de la resistencia a la carga de la placa de acristalamiento laminado en cuestión, en particular la flecha de la placa y/o la tensión máxima sobre cada sustrato de vidrio i del elemento. Este primer enfoque permite cerciorarse de que una placa de acristalamiento laminado de dimensiones dadas está dimensionada correctamente para una aplicación. Con este primer enfoque, cabe también la posibilidad de ajustar mediante iteraciones, modificando paso a paso las dimensiones a, b, h_i, h_{intj} de la placa proporcionadas como datos de entrada para el algoritmo, las dimensiones de la placa de manera tal que el valor máximo calculado de la o cada magnitud w_{max}, σ_{maxi} representativa de la resistencia a la carga de la placa de acristalamiento laminado es menor o igual que un correspondiente valor máximo admisible, definiéndose este valor máximo admisible, por ejemplo, mediante una norma.

De acuerdo con un segundo enfoque, desde una perspectiva de optimización directa del dimensionamiento de la placa de acristalamiento laminado, los datos de entrada para el algoritmo pueden ser la ley de comportamiento $E_{int}(t, T)$ del intercalario de la placa de acristalamiento laminado, la carga predeterminada F_0 aplicada a la placa de acristalamiento laminado, el valor máximo admisible de una o varias magnitudes representativas de la resistencia a la carga de la placa de acristalamiento laminado, en particular la flecha de la placa y/o la tensión máxima sobre cada sustrato de vidrio i del elemento, y algunas de entre las dimensiones a, b, h_i o h_{intj} de la placa de acristalamiento laminado. Los valores máximos admisibles de magnitudes representativas de la resistencia a la carga de la placa de acristalamiento laminado se definen, por ejemplo, mediante una norma. La unidad de cálculo está prevista entonces para proporcionar, a su salida, valores ajustados de las demás dimensiones a, b, h_i o h_{intj} de la placa de acristalamiento laminado que no se habían proporcionado como datos de entrada para el algoritmo, adaptándose estos valores ajustados de manera tal que el valor máximo calculado de la o cada magnitud w_{max}, σ_{maxi} representativa de la resistencia a la carga de la placa de acristalamiento laminado es menor o igual que el correspondiente valor máximo admisible proporcionado como entrada.

De acuerdo con un primer ejemplo de realización práctica del procedimiento de fabricación según la invención, se pretende dimensionar la placa de acristalamiento laminado 1 representada en la figura 1. La placa 1 está destinada ser posicionada en horizontal sobre el techado de un edificio y a ser sometida a una carga de nieve de 650 Pa. En este ejemplo, la placa 1 tiene un ancho a y un largo b de 1,5 m, y los dos sustratos de vidrio 2 y 4 tienen respectivos espesores h_1 de 6 mm y h_2 de 4 mm. La capa de intercalario 3 es una capa de intercalario llamado estructural, cuyo espesor h_{int1} se desea determinar para cumplir criterios de admisibilidad en cuanto a resistencia a la carga de la placa 1.

En este tipo de utilización, se presta un más particular interés al valor de la tensión máxima σ_{maxi} en los sustratos de vidrio 2 y 4, que es el criterio más limitante habida cuenta de la fatiga estática del vidrio bajo una carga prolongada, como es el caso de una carga de nieve.

La tabla 1 que sigue presenta los resultados obtenidos por cálculo en el contexto del método tradicional de determinación de la resistencia a la carga de un elemento de acristalamiento laminado sin tener en cuenta el espesor de intercalario. El valor del coeficiente de transferencia ω considerado es el valor aproximado propuesto en el proyecto de norma europea prEN 13474 para los intercalarios llamados estructurales y para una carga de nieve.

Tabla 1

	Estado límite último	Estado límite de servicio
Carga	1127 Pa	885 Pa
Criterio normativo	tensión máxima admisible para el vidrio 10,1 MPa	flecha admisible de la placa 15 mm
Resultado	tensión calculada para el de 6 mm 11,2 MPa	flecha calculada 6,5 mm
	tensión calculada para el de 4 mm 8,5 MPa	

5 De la tabla 1 se desprende que la tensión en el sustrato de vidrio 2 que tiene un espesor de 6 mm supera el criterio admisible, y ello cualquiera que sea el espesor del intercalario, puesto que en el método tradicional, el espesor del intercalario no se toma en cuenta en la formulación del espesor equivalente. Así, con el método tradicional, se revela necesario aumentar el espesor de vidrio en la placa de acristalamiento laminado para que esta cumpla los criterios de admisibilidad en cuanto a resistencia a la carga.

10 La tabla 2 subsiguiente presenta los resultados obtenidos por cálculo en el contexto del procedimiento de fabricación conforme a la invención, para una placa de acristalamiento laminado 1 que incluye los dos sustratos de vidrio 2 y 4 con respectivos espesores h_1 de 6 mm y h_2 de 4 mm y una capa de intercalario 3 estructural con espesor h_{int1} de 0,76 mm, adosada de manera solidaria a los sustratos 2 y 4. La placa 1 se denomina entonces una placa de tipo "64-2", ya que incluye dos sustratos de vidrio de 6 mm y 4 mm de espesor respectivamente y dos hojas de intercalario.

Tabla 2

	Estado límite último	Estado límite de servicio
Carga	1127 Pa	885 Pa
Criterio	tensión máxima admisible para el vidrio 10,1 MPa	flecha admisible de la placa 15 mm
Resultado	tensión calculada para el de 6 mm 9,5 MPa	flecha calculada 5,6 mm
	tensión calculada para el de 4 mm 7,4 MPa	

15 Según se muestra en la tabla 2, al tomar en cuenta el espesor de intercalario en la placa de acristalamiento laminado, así como el cálculo del coeficiente de transferencia τ según la ecuación (VII), se llega a un dimensionamiento con arreglo a los criterios.

20 De esta primera forma de realización se desprende que, al tomar en cuenta el espesor de intercalario en el dimensionamiento de los elementos de acristalamiento laminado, tal y como está previsto en el contexto del procedimiento de fabricación conforme a la invención, se puede prever una composición de vidrio más fina en el elemento de acristalamiento laminado, que obedece a los criterios de admisibilidad en cuanto a resistencia a la carga.

25 En la segunda forma de realización ilustrada particularmente en las figuras 4 y 5, se pretende comprobar la resistencia mecánica de la placa de acristalamiento laminado 1 representada en la figura 1, que tiene un ancho a de 2 m y un largo b de 3 m, sometida a una carga de viento comprendida entre 0 y 1200 Pa. Los sustratos de vidrio 2 y 4 de la placa 1 tienen ambos un espesor h_1, h_2 de 4 mm.

30 La figura 4 muestra la evolución de la flecha máxima w_{max} de la placa 1, en función de la carga de viento aplicada sobre la placa, cuando la placa 1 incluye una capa de intercalario 3 estándar con espesor h_{int1} de 0,76 mm, adosada de manera solidaria a los sustratos de vidrio 2 y 4. La placa 1 es entonces una placa llamada de tipo "44-2", ya que incluye dos sustratos de vidrio de 4 mm de espesor cada uno de ellos y dos hojas de intercalario. La figura 4 muestra los resultados obtenidos respectivamente mediante una medida experimental (44-2 exp), por cálculo en el contexto del método tradicional de determinación de la resistencia a la carga de un elemento de acristalamiento laminado sin tener en cuenta el espesor de intercalario en el acristalamiento laminado (44-i calc) y por cálculo en el contexto del procedimiento de fabricación conforme a la invención (44-2 calc).

35 La figura 5 muestra la evolución de la flecha máxima w_{max} de la placa 1, en función de la carga de viento aplicada sobre la placa, cuando la placa 1 incluye una capa de intercalario 3 estructural adosada de manera solidaria a los sustratos de vidrio 2 y 4 de 4 mm de espesor cada uno de ellos, teniendo la capa 3 un espesor h_{int1} bien de 0,38 mm, correspondiente a una hoja de intercalario, o bien de 0,76 mm, correspondiente a dos hojas de intercalario. En el

primer caso, la placa 1 es llamada de tipo “44-1” y, en el segundo caso, es llamada de tipo “44-2”, al igual que anteriormente. La figura 5 muestra los resultados obtenidos respectivamente mediante una medida experimental (44-1 exp, 44-2 exp), por cálculo en el contexto del método tradicional de determinación de resistencia a la carga de un elemento de acristalamiento laminado sin tener en cuenta el espesor de intercalario en el acristalamiento laminado (44-i calc) y por cálculo en el contexto del procedimiento de fabricación conforme a la invención (44-1 calc, 44-2 calc).

De la comparación de los resultados mostrados en las figuras 4 y 5 se desprende que, merced a haber tomado en cuenta el espesor de intercalario en la placa de acristalamiento laminado, las predicciones de la flecha máxima son más precisas en el contexto del procedimiento de fabricación conforme a la invención. Los ejemplos de las figuras 4 y 5 ilustran así el valor añadido del procedimiento según la invención, que es resultado de una mejor evaluación de la función mecánica desempeñada por el intercalario.

Todavía en el contexto de esta segunda forma de realización, en la figura 6 se ha representado un gráfico en tres dimensiones, representativo del espesor equivalente para el cálculo de la flecha de una placa rectangular de acristalamiento laminado de tipo “44-2”, en función a la vez de la carga de viento F aplicada sobre la placa, a la que debe resistir la placa, y de la relación $\lambda = a/b$ del ancho al largo de la placa. En este ejemplo, la placa de acristalamiento laminado tiene un largo de 3 m e incluye dos sustratos de vidrio de 4 mm de espesor cada uno de ellos y dos hojas de intercalario estructural, es decir, una capa de intercalario de 0,76 mm de espesor. La figura 6 muestra el espesor equivalente de la placa requerido para cumplir los criterios de admisibilidad en cuanto a resistencia a la carga de la placa, respectivamente para una placa de dimensiones ajustadas de acuerdo con la invención (h_{e1}) y para una placa nominal correspondiente del estado de la técnica (h_{e2}).

En el sentido de la invención, se entiende por placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente a una placa de acristalamiento laminado conforme a la invención, una placa de acristalamiento laminado fabricada para resistir a la misma carga F que la placa conforme a la invención, pero por un método tradicional de fabricación en el que el espesor equivalente de la placa de acristalamiento laminado, a partir del cual se calculan magnitudes representativas de la resistencia a la carga de la placa, por ejemplo según las citadas fórmulas (V) y (VI), es independiente del espesor h_{int1} de la capa de intercalario 3 de la placa.

La figura 6 ilustra perfectamente que, debiendo resistir la placa a una misma carga F , la placa de acristalamiento laminado conforme a la invención tiene un espesor equivalente requerido h_{e1} que es mayor o igual que el espesor equivalente requerido h_{e2} de la placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente del estado de la técnica. En consecuencia, tal como se desprende de la fórmula (III) del espesor equivalente, para una misma carga F aplicada sobre la placa, la placa de acristalamiento laminado conforme a la invención puede tener un espesor de intercalario h_{intj} y/o un espesor de sustrato h_i reducidos con relación, respectivamente, al espesor de intercalario y al espesor de sustrato de la placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente, conservándose las demás dimensiones de la placa de acristalamiento laminado, a saber, su ancho a y su largo b , así como ocasionalmente aquella de entre su espesor de intercalario o su espesor de sustrato que no es reducida, iguales a las propias de la placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente.

Como consecuencia de ello, la masa de una placa de acristalamiento laminado según la invención, destinada a resistir a una carga predeterminada, es inferior a la de una placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente del estado de la técnica, destinada a resistir a la misma carga predeterminada. En el caso en que la placa de acristalamiento laminado es multilaminar, se entiende por espesor de intercalario la suma de los espesores de las capas de intercalarios de la placa de acristalamiento laminado y, por espesor de sustrato, la suma de los espesores de los sustratos en funciones de vidrio de la placa de acristalamiento laminado.

Las figuras 7 a 9 ilustran la ganancia Δh_e en términos de espesor equivalente, con relación al espesor equivalente de una placa de acristalamiento laminado nominal correspondiente del estado de la técnica y en función, a la vez, de la carga de viento aplicada sobre la placa y de la relación $\lambda = a/b$ del ancho al largo de la placa, respectivamente:

- en la figura 7, para la placa de acristalamiento laminado conforme a la invención considerada en la figura 6,
- en la figura 8, para una placa de acristalamiento laminado conforme a la invención que difiere de la placa considerada en la figura 6 únicamente en que incluye dos hojas de intercalario estándar en lugar de dos hojas de intercalario estructural, y
- en la figura 9, para una placa de acristalamiento laminado conforme a la invención que difiere de la placa considerada en la figura 6 únicamente en que incluye dos hojas de intercalario acústico en lugar de dos hojas de intercalario estructural.

De estos grafos se desprende que el espesor equivalente de un elemento de acristalamiento laminado conforme a la invención, cualquiera que sea la composición de su o sus capas de intercalario, es mayor o igual que el espesor equivalente de un elemento de acristalamiento laminado nominal correspondiente, lo cual hace posible una reducción de la masa del elemento de acristalamiento laminado según la invención, destinado a resistir a una carga predeterminada, con relación al elemento de acristalamiento laminado nominal correspondiente.

Claro está que el aumento del espesor equivalente de un elemento de acristalamiento laminado según la invención, si bien se ilustra en el ejemplo específico de una placa de acristalamiento laminado de tipo "44-2" de 3 m de largo, es extrapolable a otros elementos de acristalamiento laminado, en particular elementos de acristalamiento laminado de dimensiones a , b , h_i , h_{inj} diferentes.

5 Tal como se desprende de las formas de realización primera y segunda antes descritas, el procedimiento de fabricación conforme a la invención permite obtener un elemento de acristalamiento laminado que tiene a la vez una resistencia a la carga y unas dimensiones óptimas. En el sentido de la invención, unas dimensiones óptimas del elemento de acristalamiento laminado corresponden a una composición optimizada de sustrato de vidrio y de intercalario, de modo que la estructura del elemento de acristalamiento laminado se puede aligerar con relación a la de elementos de acristalamiento laminado fabricados según un método tradicional que no tiene en cuenta el espesor de intercalario en el acristalamiento laminado. Semejante aligeramiento de la estructura de elementos de acristalamiento laminado conformes a la invención es particularmente ventajoso para aplicaciones en techados.

10 El procedimiento según la invención permite evaluar rápidamente el comportamiento a flexión de un elemento de acristalamiento laminado, cualesquiera que sean el margen de tiempos y el margen de temperaturas característicos de la carga aplicada al elemento de acristalamiento laminado. En efecto, una vez que se ha determinado, a partir de medidas realizadas por medio de un viscoanalizador y de la ley de equivalencia frecuencia/temperatura establecida por el método WLF, la ley de comportamiento viscoelástico del material constitutivo del intercalario, la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado se calcula fácilmente utilizando la ecuación del coeficiente de transferencia α , en conjunción con fórmulas analíticas. En concreto, el procedimiento según la invención ofrece la posibilidad de evaluar fácil y rápidamente el rendimiento de nuevos materiales de intercalario, tras haberlos caracterizado mediante una simple medida con el viscoanalizador, sin que sea necesario pasar por un costoso ensayo.

15 Según se ha descrito anteriormente, las instrucciones para la puesta en práctica de las etapas de cálculo del procedimiento de fabricación según la invención pueden estar inscritas en un soporte de grabación. El procedimiento conforme a la invención puede integrarse entonces en el seno de una interfaz gráfica simplificada que permite a un usuario tener una respuesta rápida y fiable acerca de un problema de dimensionamiento de acristalamiento laminado.

20 La invención no queda limitada a los ejemplos descritos y representados. En concreto, el procedimiento según la invención puede ser llevado a la práctica para la fabricación de una placa de acristalamiento laminado que incluye varias láminas, tal como se ilustra mediante la placa 10 de la figura 10. Esta placa 10 incluye tres sustratos en funciones de vidrio 12, 14, 16 y dos capas de intercalario 13, 15, dispuestas cada una de ellas de manera solidaria entre dos sustratos.

25 Además, en los anteriores ejemplos, las placas de acristalamiento laminado consideradas incluyen sustratos de vidrio y capas de intercalario de PVB. De manera más general, el procedimiento según la invención se puede utilizar para la fabricación de placas de acristalamiento laminado que incluyen sustratos en funciones de vidrio de cualquier tipo, en particular constituidos mediante vidrio o mediante plástico, y para la fabricación de placas de acristalamiento laminado que incluyen capas de intercalario constituidas mediante cualquier material viscoelástico de propiedades adaptadas, en particular de tipo polímeros acrílicos o resinas de acetal. Conviene adaptar entonces los parámetros de los materiales en la ecuación del coeficiente de transferencia.

30 Igualmente, la invención se ha descrito en el contexto de la fabricación de placas de acristalamiento laminado. No obstante, el procedimiento conforme a la invención puede ser llevado a la práctica para la fabricación de cualquier elemento de acristalamiento laminado, particularmente de elementos de acristalamiento laminado que se materializan en una forma diferente a la de una placa, debiendo adaptarse entonces consecuentemente las fórmulas analíticas de cálculo de la resistencia a la carga.

45

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de un elemento de acristalamiento laminado (1; 10) para que resista a una carga predeterminada (F_0) correspondiente a un margen de tiempos (t) y a un margen de temperaturas (T) característicos, incluyendo el elemento de acristalamiento laminado (1; 10) al menos un sustrato en funciones de vidrio (2, 4; 12, 14, 16) y al menos una capa de intercalario polimérico (3; 13, 15), **caracterizado por** comprender unas etapas en las que:

- se obtiene la ley de comportamiento viscoelástico del material constitutivo del intercalario ($E_{int}(t, T)$) en los márgenes de tiempos y de temperaturas característicos de la carga predeterminada (F_0);
- se calcula el valor máximo de al menos una magnitud ($w_{max}; \sigma_{max}$) representativa de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado (1; 10) sometido a dicha carga predeterminada (F_0), utilizando - un modelo analítico en el que la participación del intercalario en la transferencia de la cizalladura al elemento de acristalamiento laminado está representada por un coeficiente de transferencia (ϖ), y - una ecuación que expresa el coeficiente de transferencia (ϖ) en función del módulo de Young (E_{int}) del intercalario, de la carga (F) aplicada al elemento de acristalamiento laminado y de las dimensiones (a, b, h_i, h_{intj}) del elemento de acristalamiento laminado;
- se ajustan las dimensiones (a, b, h_i, h_{intj}) del elemento de acristalamiento laminado (1; 10) de manera tal que el valor máximo calculado de la magnitud ($w_{max}; \sigma_{max}$) representativa de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado (1; 10) es menor o igual que un valor máximo admisible;
- se prepara y se ensambla el sustrato (2, 4; 12, 14, 16) y la capa de intercalario (3; 13, 15) del elemento de acristalamiento laminado (1; 10) a dichas dimensiones (a, b, h_i, h_{intj}) ajustadas.

2. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 1, **caracterizado por que**, para la determinación de la ley de comportamiento ($E_{int}(t, T)$) del material constitutivo del intercalario, se mide el módulo de Young (E_{int}) en una muestra del intercalario con ayuda de un viscoanalizador, haciendo variar la frecuencia ($f = 1/t$) y la temperatura (T) e imponiendo un desplazamiento dinámico constante, y se utiliza la ley de equivalencia frecuencia/temperatura establecida por el método WLF (Williams-Landel-Ferry).

3. Procedimiento de fabricación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado por que** se determina la ley de comportamiento ($E_{int}(t, T)$) del material constitutivo del intercalario (3) para un margen de frecuencias ($f = 1/t$) comprendidas entre $5 \cdot 10^{-7}$ Hz y $3 \cdot 10^{-1}$ Hz y un margen de temperaturas (T) comprendidas entre -20 °C y 60 °C.

4. Procedimiento de fabricación según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado por que** se calcula, como magnitudes representativas de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado (1; 10):

- o la flecha (w_{max}) del elemento de acristalamiento laminado (1; 10), a partir del espesor equivalente $h_{ef,w}$ del acristalamiento laminado, tal que:

$$h_{ef,w} = \sqrt[3]{(1 - \varpi) + \left(\sum_i h_i^3 + \sum_j h_{intj}^3 \right) + \varpi \left(\sum_i h_i + \sum_j h_{intj} \right)^3},$$

y/o

- o la tensión máxima (σ_{max}) sobre el o cada sustrato en funciones de vidrio del elemento de acristalamiento laminado (1; 10), a partir del espesor equivalente $h_{ef,\sigma;i}$ del acristalamiento laminado, tal que:

$$h_{ef,\sigma;i} = \sqrt{\frac{(h_{ef,w})^3}{(h_i + 2\varpi h_{m,i})}}$$

donde

h_i : espesor del o de cada sustrato en funciones de vidrio (2, 4; 12, 14, 16),

h_{intj} : espesor de la o de cada capa de intercalario (3; 13, 15),

$h_{m,i}$: distancia entre el plano medio del sustrato en funciones de vidrio i y el plano medio del acristalamiento laminado (1; 10).

5. Procedimiento de fabricación según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado por que** se determina dicha ecuación que expresa el coeficiente de transferencia ($\varpi = f(E_{int}, F, a, b, h_i, h_{intj})$), válida para

cualquier elemento de acristalamiento laminado que incluye al menos un sustrato en funciones de vidrio y al menos una capa de intercalario polimérico, según las siguientes etapas:

- se obtiene la ley de comportamiento viscoelástico ($E_{int}(t, T)$) del material constitutivo del intercalario del elemento de acristalamiento laminado;
 - 5 - se realiza un modelo numérico mediante elementos finitos en flexión del elemento de acristalamiento laminado, utilizando la ley de comportamiento ($E_{int}(t, T)$) del material constitutivo del intercalario para definir las propiedades mecánicas del intercalario;
 - se comparan los resultados obtenidos, con el modelo numérico, por una parte y, por otra, con un modelo analítico en el que la participación del intercalario en la transferencia de la cizalladura está representada por un coeficiente de transferencia (ϖ), y se ajusta el valor del coeficiente de transferencia (ϖ) hasta la convergencia de estos resultados;
 - 10 - se construye, mediante sucesivas iteraciones, una función de transferencia representativa de la evolución del coeficiente de transferencia (ϖ) en función del módulo de Young (E_{int}) del intercalario;
 - se traslada a ecuación la función de transferencia de manera tal que el coeficiente de transferencia (ϖ) viene expresado en función del módulo de Young (E_{int}) del intercalario, de la carga (F) aplicada al elemento de acristalamiento laminado y de las dimensiones (a, b, h_i, h_{intj}) del elemento de acristalamiento laminado;
 - 15 - se determinan empíricamente los parámetros de la ecuación que expresa el coeficiente de transferencia (ϖ) en función del módulo de Young (E_{int}) del intercalario, de la carga (F) aplicada al elemento de acristalamiento laminado y de las dimensiones (a, b, h_i, h_{intj}) del elemento de acristalamiento laminado.
- 20 6. Procedimiento de fabricación según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado por que** el elemento de acristalamiento laminado (1; 10) es una placa rectangular, siendo las dimensiones del elemento de acristalamiento laminado (1; 10) que intervienen en dicha ecuación que expresa el coeficiente de transferencia ($\varpi = f(E_{int}, F, a, b, h_i, h_{intj})$) el ancho (a) y el largo (b) de la placa, el espesor (h_i) del o de cada sustrato en funciones de vidrio (2, 4; 12, 14, 15) y el espesor (h_{intj}) de la o de cada capa de intercalario (3; 13, 15).
- 25 7. Soporte de grabación de información, **caracterizado por** incluir instrucciones para la puesta en práctica de las etapas de cálculo de un procedimiento de fabricación de un elemento de acristalamiento laminado según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones cuando estas instrucciones son ejecutadas por una unidad de cálculo electrónica, comprendiendo dichas instrucciones una instrucción de cálculo del valor máximo de al menos una magnitud ($w_{max}; \sigma_{maxl}$) representativa de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado (1; 10) sometido a dicha carga predeterminada (F_0), utilizando - un modelo analítico en el que la participación del intercalario en la transferencia de la cizalladura al elemento de acristalamiento laminado está representada por un coeficiente de transferencia (ϖ), y - una ecuación que expresa el coeficiente de transferencia (ϖ) en función del módulo de Young (E_{int}) del intercalario, de la carga (F) aplicada al elemento de acristalamiento laminado y de las dimensiones (a, b, h_i, h_{intj}) del elemento de acristalamiento laminado.
- 30
- 35 8. Soporte de grabación de información según la reivindicación 7, **caracterizado por que** dichas instrucciones comprenden, a continuación de la instrucción de cálculo del valor máximo de al menos una magnitud ($w_{max}; \sigma_{maxl}$) representativa de la resistencia a la carga del elemento de acristalamiento laminado (1; 10) sometido a dicha carga predeterminada (F_0), una instrucción de cálculo de valores ajustados de dimensiones (a, b, h_i, h_{intj}) del elemento de acristalamiento laminado (1; 10) de manera tal que el valor máximo calculado de la magnitud representativa ($w_{max}; \sigma_{maxl}$) es menor o igual que un valor máximo admisible de esa magnitud representativa ($w_{max}; \sigma_{maxl}$).
- 40

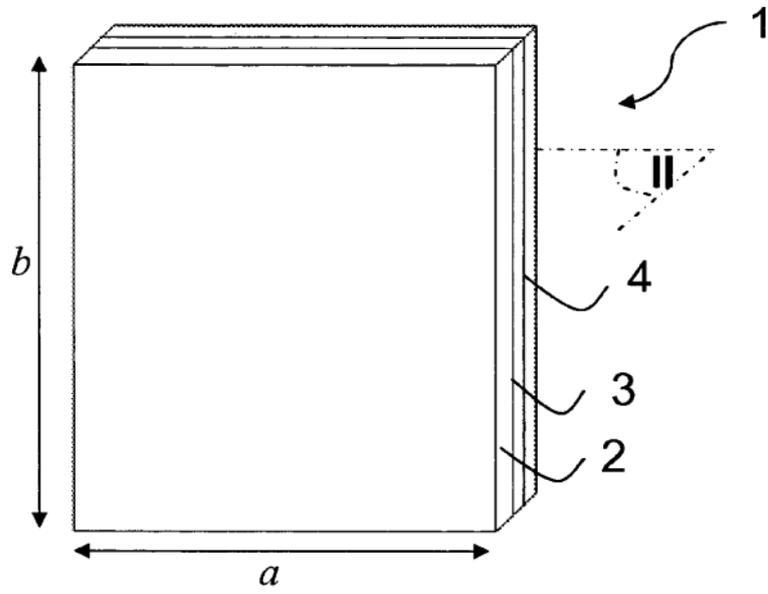


Fig. 1

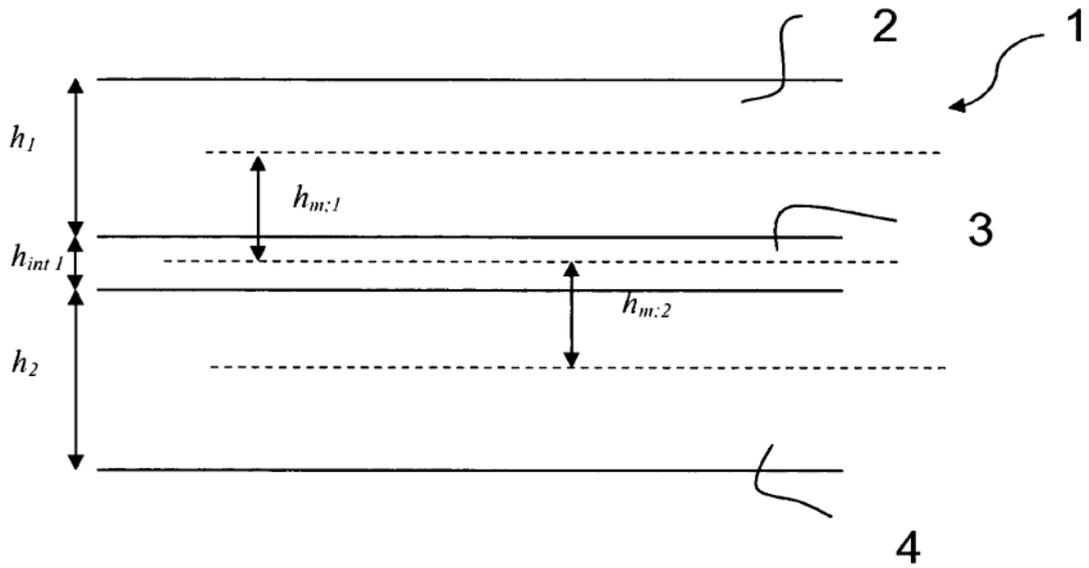


Fig. 2

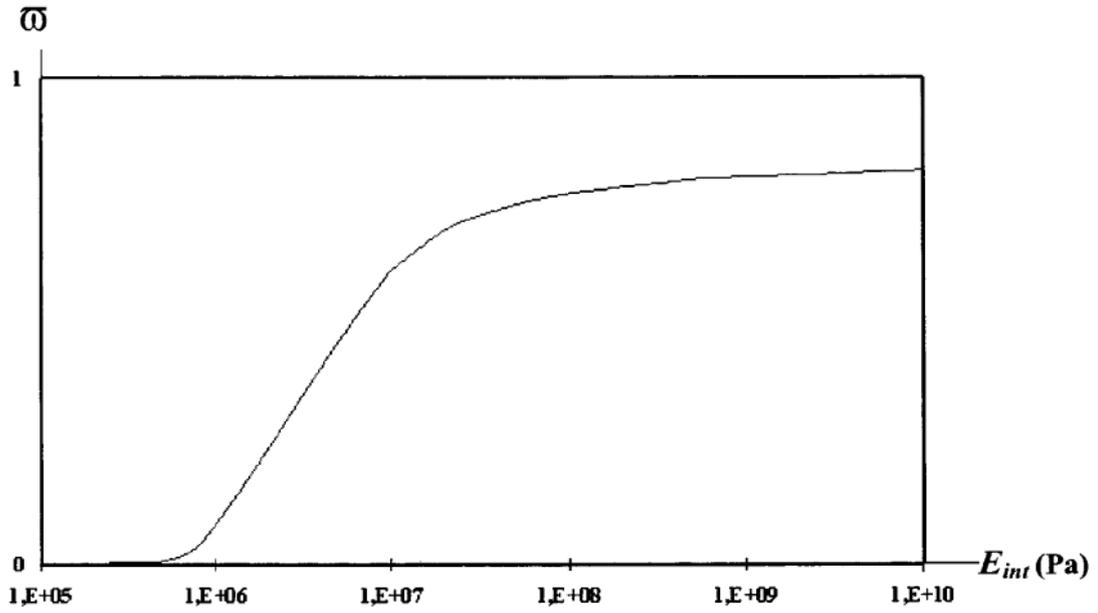


Fig. 3

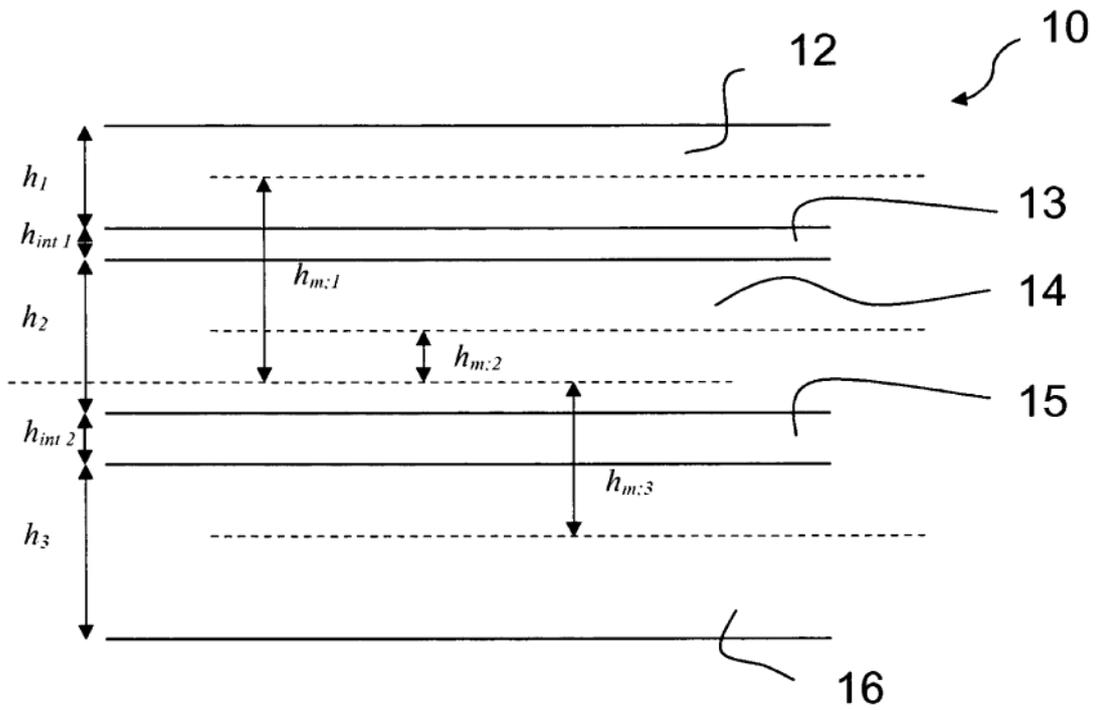


Fig. 10

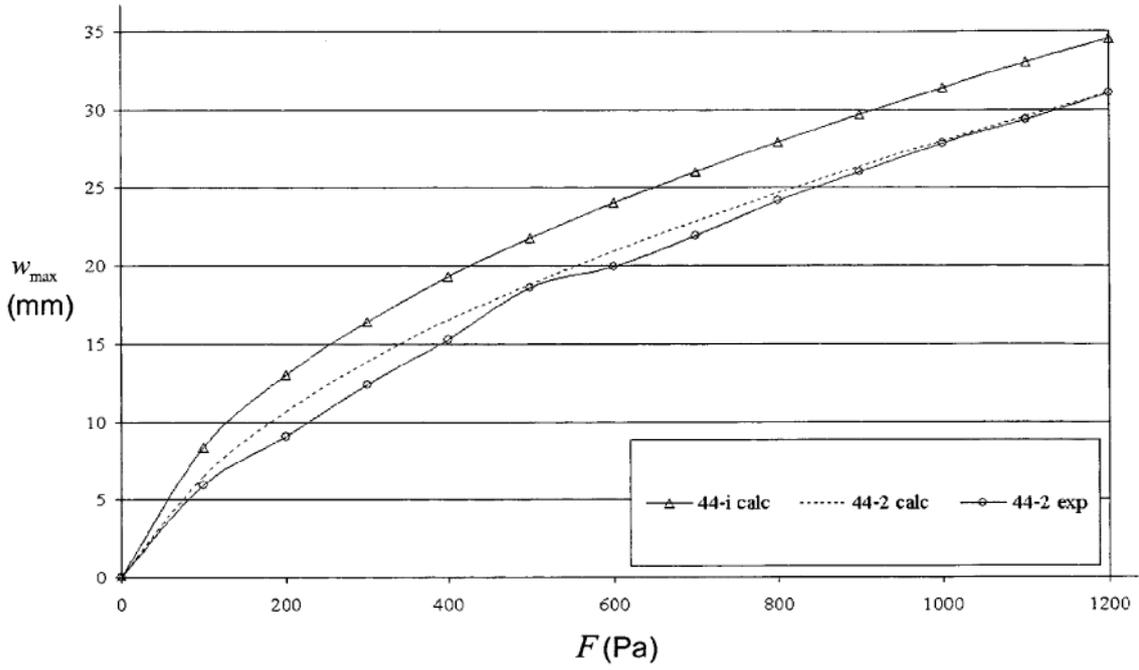


Fig. 4

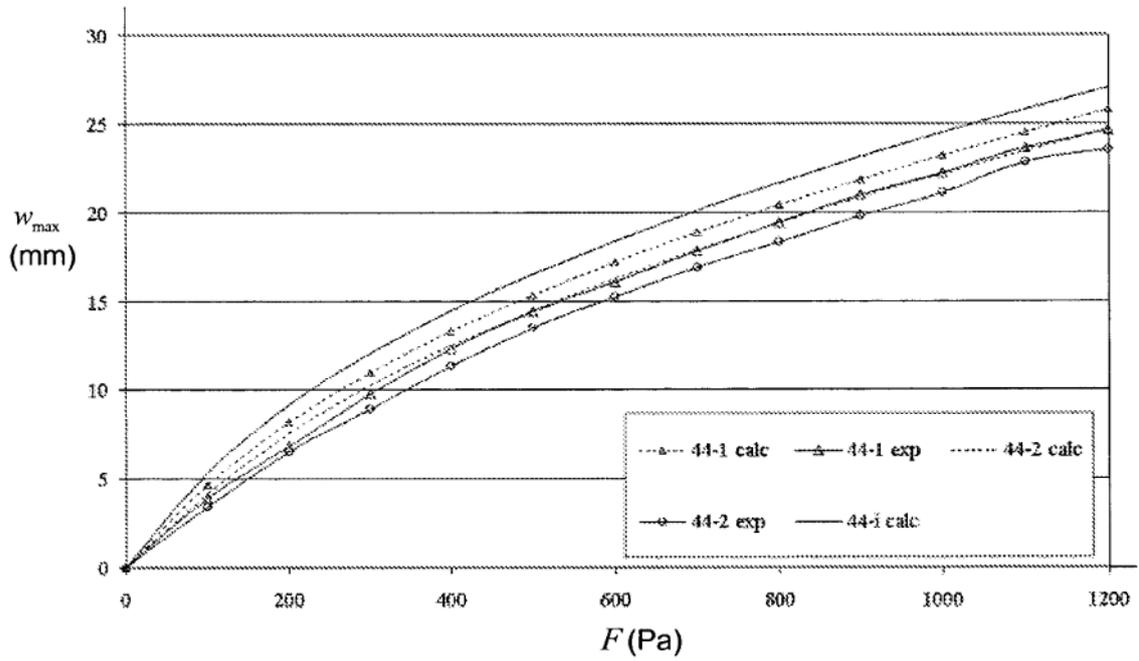


Fig. 5

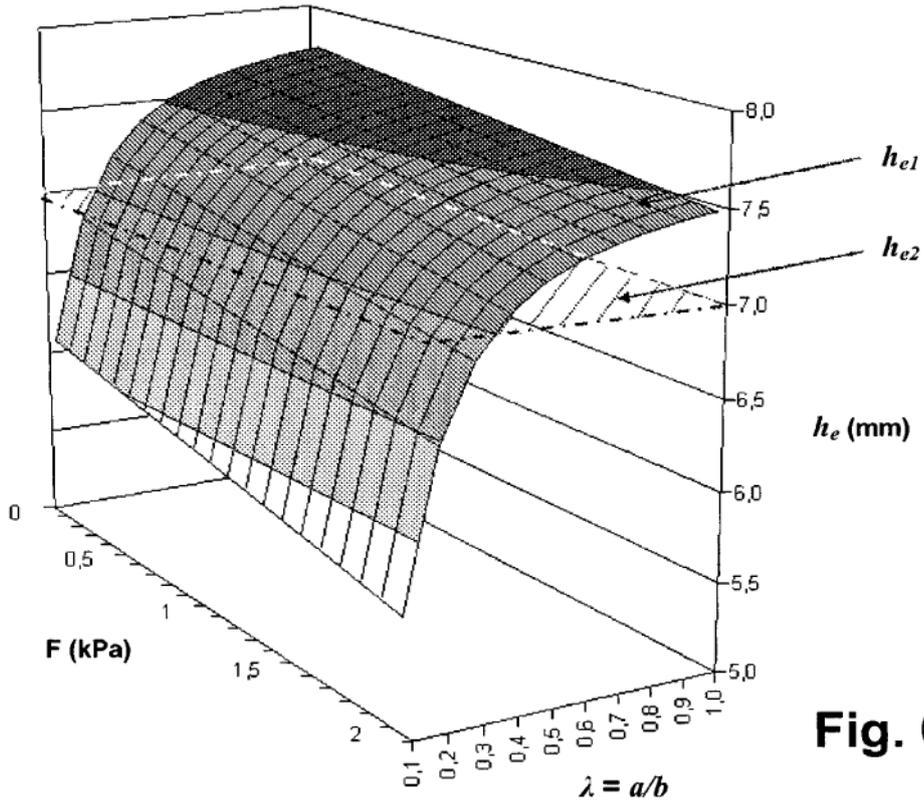


Fig. 6

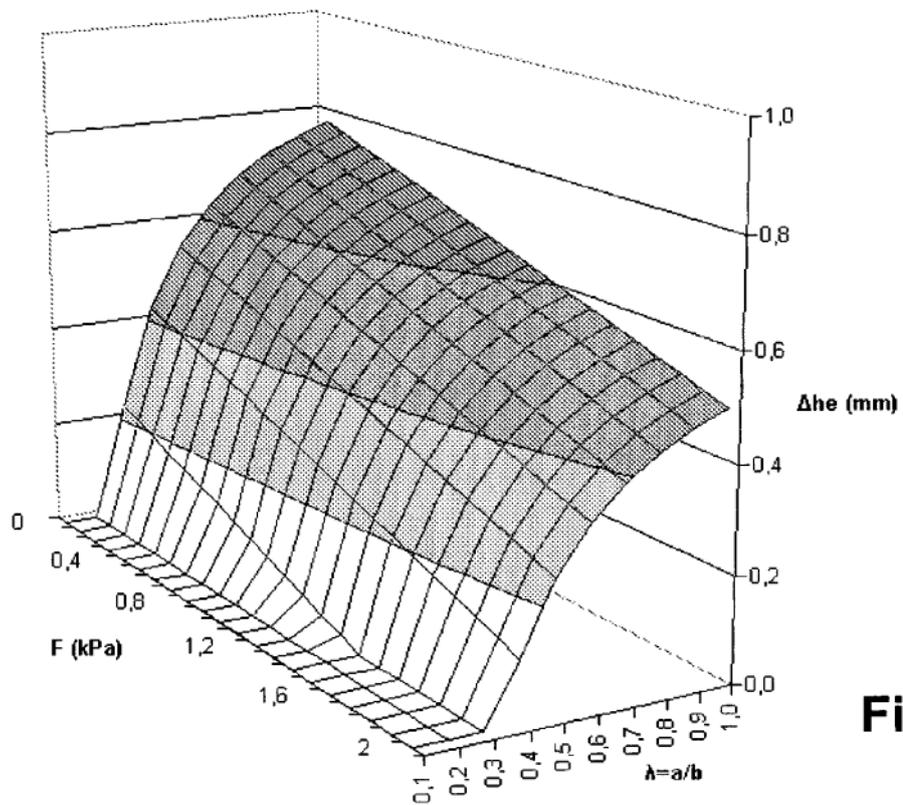


Fig. 7

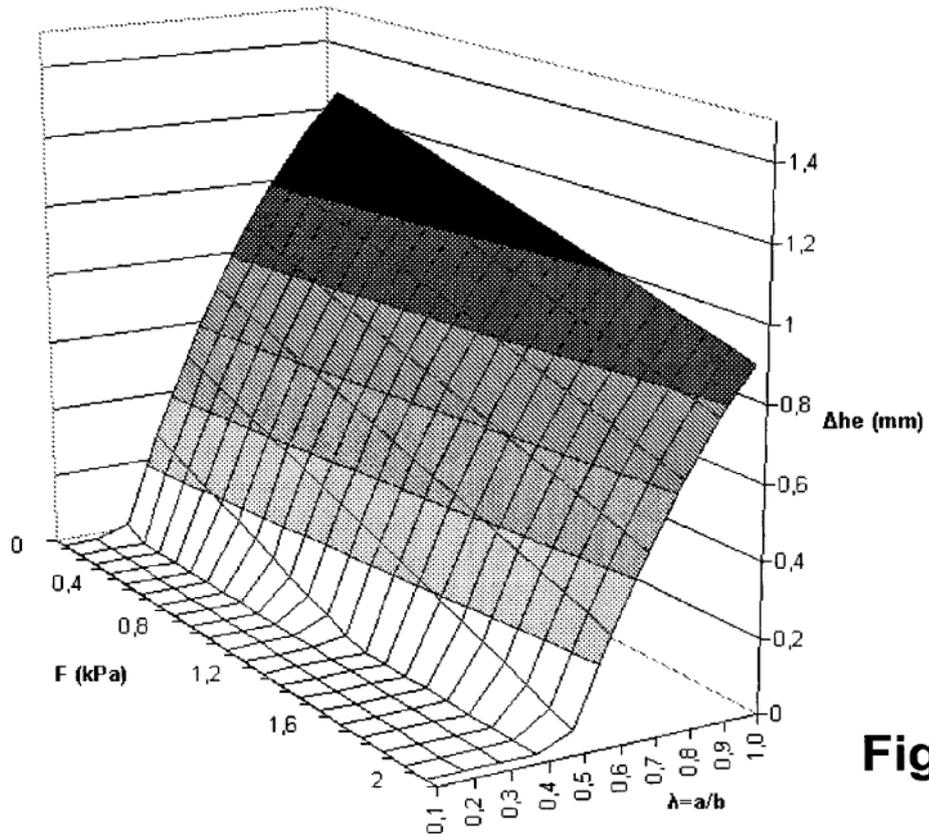


Fig. 8

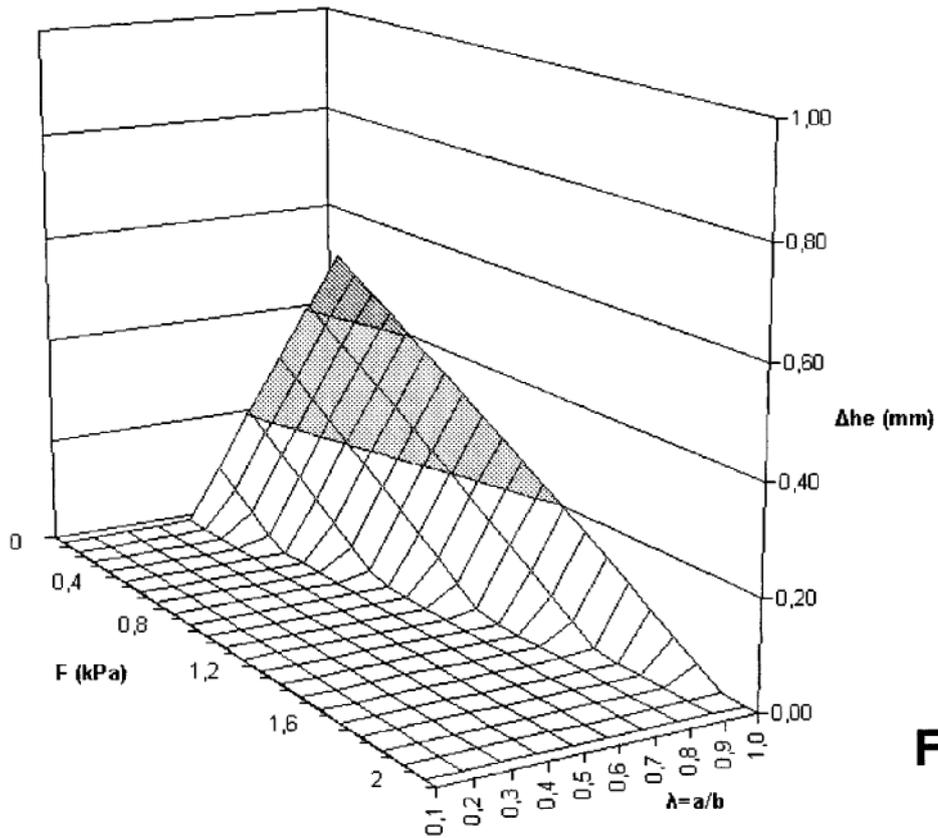


Fig. 9