

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 855**

51 Int. Cl.:

G01N 17/00 (2006.01)

G02B 5/08 (2006.01)

G01N 21/25 (2006.01)

G01N 21/84 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.01.2014 PCT/FR2014/050037**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.07.2014 WO14108644**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.01.2014 E 14703125 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019 EP 2943771**

54 Título: **Procedimiento de vigilancia de la degradación de un espejo**

30 Prioridad:

11.01.2013 FR 1350238

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

12.05.2020

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE ET
AUX ENERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment "Le Ponant D", 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**DELORD, CHRISTINE;
BOUQUET, CÉLINE;
COUTURIER, RAPHAËL y
RACCURT, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 759 855 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 vigilancia de la degradación de un espejo

5 La presente solicitud de patente reivindica la prioridad de la solicitud de patente francesa FR13/50238.

Campo

10 La presente solicitud se refiere a un procedimiento de vigilancia del envejecimiento y de la degradación de un espejo.

Exposición de la técnica anterior

15 Las centrales de producción de energía a partir de la radiación solar, generalmente, están previstas para concentrar la energía solar en un punto. La energía solar concentrada se puede transformar, a continuación, en calor, por ejemplo, concentrando la energía sobre un fluido para calentar o en electricidad, en concreto, en el caso de centrales solares de concentración.

20 En unas centrales de producción de energía a partir de la radiación solar, la energía solar se concentra por unos reflectores, constituidos, en concreto, por espejos concentradores. Se conocen unos numerosos tipos de espejos concentradores que presentan unas formas y/o unas estructuras distintas. Un tipo de espejo usado de manera común comprende una capa reflectante protegida en el lado de la cara delantera (en el lado de la reflexión de la luz) por una capa transparente, por ejemplo, de vidrio.

25 Generalmente, la capa reflectante está protegida en la cara trasera por al menos una capa de protección. Esta estructura es común a los espejos concentradores denominados de "primera generación", es decir, unos espejos en los que la estructura de protección en la cara trasera contiene plomo y/o cobre y los espejos concentradores denominados de "segunda generación", en los que el uso de plomo y/o de cobre en la estructura de protección en la cara trasera es reducido, incluso nulo.

30 Actualmente, la durabilidad de los espejos se caracteriza por su función primera, que es la reflectividad solar especular. Para caracterizar el envejecimiento de los espejos, la reflectividad especular se mide regularmente en el transcurso de los envejecimientos, por ejemplo, con la ayuda de un espectrofotómetro portátil. Un espejo, generalmente, se considera como defectuoso cuando su reflectividad ha caído en un 10 % con respecto a su reflectividad inicial.

35 Un inconveniente de un procedimiento de este tipo es que no permite ninguna anticipación de una bajada de reflectividad del espejo.

Resumen

40 Un modo de realización de la presente invención prevé un procedimiento de vigilancia de un espejo según la reivindicación 1.

Según un modo de realización, la segunda capa es una capa metálica.

45 Según un modo de realización, la tercera capa es de vidrio.

Según un modo de realización, la primera capa es una capa a base de una matriz polimérica.

50 Según un modo de realización, la primera capa es una capa a base de una matriz polimérica cargada.

Según un modo de realización, la etapa de medición se realiza, además, sobre al menos una segunda y una tercera pila idénticas a la primera pila, analizándose la evolución de las mediciones mientras que las primera, segunda y tercera pilas se colocan bajo unas condiciones exteriores distintas.

55 Según un modo de realización, las condiciones exteriores distintas son unas condiciones distintas de temperatura.

Según un modo de realización, la etapa de análisis comprende una etapa de determinación de una curva teórica asociada a la o a las evoluciones.

60 Según un modo de realización, la etapa de análisis comprende, además, una etapa de verificación del hecho de que las evoluciones de las mediciones corresponden a unos mecanismos idénticos de degradación.

Según un modo de realización, la etapa de verificación comprende una etapa de cálculo de la energía de activación para cada una de las evoluciones de las mediciones.

65 Según un modo de realización, la etapa de análisis comprende, además, una etapa de determinación de un tiempo

característico asociado a cada una de las evoluciones de las mediciones.

Según un modo de realización, la etapa de análisis comprende, además, una etapa de determinación del tiempo característico del mecanismo de degradación de la segunda capa para cualquier condición exterior.

5 Según un modo de realización, la etapa de análisis comprende, además, una etapa de determinación de la vida útil teórica de la pila para cualquier condición exterior.

10 Un modo de realización prevé, además, un procedimiento de anticipación de la degradación de una segunda capa de una pila de tres capas en uso, que comprende: realizar el procedimiento de más arriba en al menos una muestra de pila; medir el color de la primera capa de la pila en uso; y disparar una alerta cuando el color excede un umbral.

Breve descripción de los dibujos

15 Estas características y ventajas, así como otras, se expondrán en detalle en la siguiente descripción de modos de realización particulares hecha a título no limitativo en relación con las figuras adjuntas de entre las que:

la figura 1 representa, en vista en corte, una estructura de un espejo concentrador del que se busca vigilar el envejecimiento;

20 la figura 2 es una curva de la reflectividad de un espejo concentrador del tipo de la figura 1 en función del tiempo; la figura 3 ilustra un espejo degradado;

la figura 4 ilustra la norma denominada "Lab" de la Comisión Internacional de la Energía;

la figura 5 es un esquema bajo forma de bloques de un procedimiento según un modo de realización;

25 la figura 6 ilustra el resultado de mediciones de la evolución de la reflectividad de un ejemplo de espejo en función de la evolución de color de una capa de protección en la cara trasera del espejo durante envejecimientos del espejo bajo unas restricciones de temperatura diferentes;

la figura 7 ilustra una curva de la evolución de un parámetro ΔE que caracteriza el color de una capa de protección en la cara trasera de un ejemplo de espejo en función del tiempo durante envejecimientos del espejo bajo unas restricciones de temperatura diferentes;

30 la figura 8 ilustra la representación de Arrhenius para un ejemplo de espejo; y

la figura 9 es una curva de previsión obtenida con la ayuda de un procedimiento según un modo de realización que ilustra el tiempo de vida de un ejemplo de espejo en función de la temperatura de funcionamiento de este.

35 Por razones de claridad, unos mismos elementos se han designado por unas mismas referencias en las diferentes figuras.

Descripción detallada

40 En el conjunto de esta descripción, se señalará que las expresiones "vigilancia del envejecimiento de un espejo" o "vigilancia de la degradación de un espejo" se usarán tanto para cubrir unas etapas que permiten caracterizar teóricamente la vida útil del espejo, como unas etapas que permiten un seguimiento en el sitio de producción (en tiempo real) del estado de envejecimiento y de degradación del espejo.

45 La figura 1 representa, en vista en corte, la estructura de un espejo, por ejemplo, de una central de producción de energía a partir de la radiación solar, que se considera en el presente documento. Se señalará que, en la práctica, los espejos concentradores pueden tener un corte del tipo del de la figura 1, ya sean unos espejos concentradores planos o que presentan una forma general en porción de esfera o de parábola.

50 En la figura 1, el espejo comprende una capa reflectante 10, por ejemplo, metálica, protegida sobre la cara delantera (en la parte superior en la figura 1) por una capa de vidrio 12. A título de ejemplo, la capa 10 puede ser una capa de plata. La cara trasera de la capa reflectante 10 (en la parte inferior en la figura 1) está protegida, por su parte, por una capa de protección 14. De forma convencional, la capa de protección 14 puede comprender al menos una capa formada por una matriz polimérica eventualmente cargada, por ejemplo, con unas cargas metálicas, tales como el plomo o unas cargas de óxido (TiO_2 , ZnO , BaSO_4 ,...). La capa de protección puede estar constituida por una única
55 capa o por una pila multicapa. A título de ejemplo de pila multicapa, la capa de protección 14 puede comprender una matriz polimérica a base de alquidos-melaminas para la o las capas dispuestas cerca de la capa reflectora 10 y una capa de tipo acrílico para la capa externa destinada a estar en contacto con el entorno exterior. La capa de protección 14 puede estar constituida, igualmente, por un material compuesto, que comprende un material orgánico, tal como una matriz polimérica, así como un material inorgánico, siendo dicho material híbrido, entonces, depositado
60 ventajosamente por un procedimiento sol-gel. Este es el caso, por ejemplo, para los espejos de alta temperatura comercializados por la compañía Guardian Industries Corp ("EcoGuard® Solar Boost High Temperature concentrating mirrors", "Espejos concentradores de alta temperatura EcoGuard® Solar Boost"). Se señalará que las porciones perceptibles de la capa 10, sobre el contorno del espejo, en la práctica, pueden protegerse por una extensión de la capa de protección 14. Los espejos que se consideran en el presente documento son de segunda generación, es decir, que no comprenden o comprenden muy poco plomo.
65

Históricamente, los espejos estaban posicionados sobre unos soportes, permitiendo estos soportes, además de la orientación de los espejos, la protección de sus caras trasera. La aparición de espejos finos, tales como unos espejos de Fresnel y la voluntad de formar unos dispositivos ligeros, ha permitido la integración de espejos montados, por ejemplo, sobre unos brazos articulados. La cara trasera de estos espejos está, de este modo, en contacto directo con el entorno externo y está sometida a unas agresiones de este entorno. La intensidad de estas agresiones depende, en concreto, de la temperatura, del grado de humedad, de la cantidad de rayos ultravioleta, etc.

La figura 2 es una curva de la reflectividad de un espejo hemisférico constituido por una pila, tal como la de la figura 1 en función de la cantidad de rayos ultravioleta que recibe, es decir, en el transcurso del tiempo.

Se observa en la curva de la figura 2 que la reflectividad del espejo es relativamente constante durante una primera fase ($\phi 1$), antes de colapsar bruscamente en una segunda fase ($\phi 2$). Como se ha visto anteriormente, generalmente, se considera que un espejo concentrador ya no es rentable y, por lo tanto, para reemplazar, cuando pierde entre un 5 y un 15 % de reflectividad, generalmente, un 10 %.

Actualmente, la simple vigilancia de la reflectividad de los espejos en el sitio y en laboratorio no permite anticipar la degradación de los espejos, puesto que la fase $\phi 2$ de degradación de la reflectividad interviene relativamente de manera repentina y bruscamente.

La figura 3 ilustra la degradación de un espejo de segunda generación, tal como el de la figura 1 cuando está sometido a unas agresiones por la cara trasera.

Como se ve en esta figura, la capa de protección 14 formada sobre la cara trasera del espejo, que está en contacto con el entorno exterior, es atacada progresivamente desde su cara en contacto con el aire, lo que la transforma en una capa porosa 15. La capa 15 obtenida ya no desempeña, por lo tanto, su papel de barrera de protección contra la oxidación de la capa reflectante 10. Una vez degradada y reemplazada la capa 14 por una capa porosa 15, la capa reflectante 10 es, a su vez, atacada, lo que dispara la pérdida de reflectividad del espejo (fase $\phi 2$).

Se prevé, en el presente documento, un método que permite vigilar el envejecimiento de espejos, tales como el de la figura 1 y sometidos a unos ataques o unas agresiones desde la cara trasera. En concreto, este método permite determinar o estimar la vida útil de unos espejos de este tipo de forma acelerada y permite un seguimiento en tiempo real del grado de envejecimiento de estos.

Para conseguir este método, los inventores han señalado que la degradación de la capa de protección en la fase $\phi 1$ está directamente relacionada con la pérdida de reflectividad del espejo en la fase $\phi 2$, a las temperaturas habituales de explotación. Además, han observado que una degradación de la capa de protección, sea cual sea su estructura y, en concreto, cuando esta incluye al menos una capa a base de una matriz polimérica, puede estudiarse por colorimetría. De este modo, se puede evitar la pérdida de reflectividad del espejo por el estudio de la evolución del color de la capa de protección.

La figura 4 ilustra unos parámetros de colorimetría susceptibles de usarse en el procedimiento según un modo de realización.

De manera más particular, la figura 4 ilustra una norma de colorimetría conocida bajo el nombre "Lab", definida por la Comisión Internacional de la Energía (CIE). Esta norma permite caracterizar el color con la ayuda de tres parámetros, un parámetro L correspondiente a la luminancia y dos parámetros a y b que caracterizan la crominancia del color.

Como se describe esto en esta figura en tres dimensiones, la luminancia se representa según la dirección de un eje z (parámetro L) y la crominancia se caracteriza por dos coordenadas según los ejes x (parámetro a) e y (parámetro b). Los valores de L varían entre L = 0 para el negro y L = 100 para el blanco, los valores de a varían de un valor mínimo negativo para el verde a un valor máximo positivo para el rojo y los valores de b varían de un valor mínimo negativo para el azul a un valor máximo positivo para el amarillo.

En el presente documento, se prevé caracterizar la evolución de color de la capa de protección con la ayuda de un parámetro de variación de color ΔE definido por:

$$\Delta E = \sqrt{(L_{ref} - L)^2 + (a_{ref} - a)^2 + (b_{ref} - b)^2}$$

siendo L_{ref} y L, respectivamente, los valores inicial y actual de la luminancia de la capa de protección, siendo a_{ref} y a, respectivamente, los valores inicial y actual de la primera variable de crominancia a de la capa de protección y siendo b_{ref} y b, respectivamente, los valores inicial y actual de la segunda variable de crominancia b de la capa de protección.

Se señalará que la escala de colorimetría presentada en el presente documento no es más que un ejemplo y que se podrán usar otras escalas de medición de la colorimetría de la capa de protección como reemplazo de esta.

La figura 5 es un diagrama bajo forma de bloques de un procedimiento de vigilancia de la degradación de una capa según un modo de realización.

En el presente documento, se prevé caracterizar el envejecimiento de un espejo en función de la temperatura, parámetro que influye en este envejecimiento. En efecto, unos espejos concentradores de centrales solares están sometidos a unas variaciones de temperatura importantes en la jornada, lo que participa en el envejecimiento de los espejos. Se señalará que se podrán instaurar unos procedimientos similares al propuesto en el presente documento para estudiar la influencia de otros parámetros que aceleran la degradación de los espejos, por ejemplo, el grado de humedad o la dosis de ultravioleta recibida.

En una primera etapa 30 del procedimiento, que se puede implementar en paralelo con una medición real en el sitio, se prevé colocar diferentes muestras de estructuras idénticas a la del espejo que se va a considerar en el sitio en unas condiciones de entorno diferentes, en nuestro ejemplo detallado, bajo unas temperaturas diferentes. En el ejemplo representado en la figura 5, se prevén tres muestras, MUESTRA1, MUESTRA2 y MUESTRA3 que se colocan respectivamente en unos recintos a unas temperaturas distintas T1, T2 y T3 y, por otra parte, similares. De este modo, se pueden realizar las mediciones para dos de las tres muestras y realizar una extrapolación para la tercera muestra.

Para implementar este procedimiento, un mínimo de tres muestras, sometidas a unos envejecimientos acelerados a unas temperaturas distintas, es preferible. Se señalará que el uso de menos de tres muestras podrá permitir, igualmente, una estimación de características de la degradación de los espejos.

Igualmente, se podrán prever varias muestras de espejo para cada temperatura de envejecimiento acelerado T1, T2, T3, para asegurar una medición promedio y un comportamiento de degradación lo más precisos posible. Por ejemplo, se puede prever un conjunto de tres muestras para cada temperatura de envejecimiento acelerado.

Las temperaturas T1, T2 y T3 se elegirán para que los mecanismos de degradación de los materiales que constituyen el espejo sean similares a los encontrados en entorno natural. En particular, estas temperaturas se elegirán como que son inferiores a las temperaturas de transición vítrea de la parte orgánica y de descomposición de las cargas y pigmentos presentes en las pinturas o capas de protecciones, con el fin de obtener los mismos fenómenos de degradación que los obtenidos en las condiciones de explotación. Si se desconocen, estas temperaturas de degradación pueden determinarse por unas mediciones por Análisis Termogravimétrico (ATG) o Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

En una etapa 32, se prevé trazar, para cada una de las muestras MUESTRA1, MUESTRA2, MUESTRA3, el valor de la diferencia de color ΔE de la capa protectora en la cara trasera de la muestra, con respecto al color inicial, en función del tiempo ($\Delta E_1 = f_1(t)$, $\Delta E_2 = f_2(t)$ y $\Delta E_3 = f_3(t)$).

Como se verá a continuación, la determinación de varias evoluciones de color en el transcurso del tiempo permite obtener una fórmula genérica de la diferencia de color en función del tiempo (etapa 34, $\Delta E_T = f_T(t)$).

A continuación, se verifica que las curvas obtenidas sobre las diferentes muestras corresponden a unos fenómenos de degradación similares, por ejemplo, calculando la energía de activación de los fenómenos de degradación para cada una de las muestras. Si esta prueba se valida, la continuación del procedimiento continúa. Si al menos una prueba sobre una muestra no está relacionada con el mismo fenómeno de degradación que las otras pruebas, una nueva prueba, sobre una muestra a una temperatura inferior a la temperatura máxima de las primeras pruebas, puede revelarse necesaria.

Una vez realizadas la determinación de la ecuación en la etapa 34 y la validación de coherencia del fenómeno de degradación, se puede determinar una vida útil teórica σ de un espejo en función de la temperatura de uso ($\sigma = f(T)$, etapa 36), así como unas reglas de vigilancia del envejecimiento del espejo en tiempo real (REGLAS, etapa 38), como se describirá esto en detalle en un ejemplo ilustrativo a continuación.

En la continuación de la descripción, el procedimiento de la figura 5 se describirá en detalle en un ejemplo particular de espejo, a saber, el espejo comercializado por AGC bajo la denominación comercial "Sun Mirox". En este espejo, la capa reflectante 10 es de plata y está protegida en el lado de la cara trasera por una capa de protección 14 que comprende una pila de dos capas de pintura.

La figura 6 ilustra el resultado de mediciones del envejecimiento acelerado de un espejo de este tipo bajo unas restricciones de temperaturas diferentes. En esta figura se ilustra, para tres muestras del espejo, la evolución de la reflectividad especular a 8 (ρ_s) del espejo en función de la variación de color (ΔE) de la capa de protección. En particular, en esta figura se representa una primera curva 40 para un envejecimiento acelerado del espejo a una temperatura de 200 °C, una segunda curva 42 para un envejecimiento acelerado del espejo a una temperatura de 150 °C y una tercera curva 44 para un envejecimiento acelerado del espejo a una temperatura de 100 °C.

Como se puede ver en esta figura, al menos para las mediciones que se realizan a 150 °C y 200 °C, el color de la capa de protección en la cara trasera del espejo evoluciona de forma medible antes de la aparición de la bajada de

reflectividad. Esto es compatible con la hipótesis hecha de que el entorno exterior degrada en un primer momento la o las capas de protección 14, luego, degrada en un segundo momento, una vez fuertemente degradadas la o las capas de protección 14, la capa reflectante 10.

5 Se señalará que, en el ejemplo representado, la medición de la curva 44 a una temperatura de envejecimiento de 100 °C está incompleta por que la fase de degradación de la reflectividad del espejo todavía no está intervenida al final de trazado. Esto se debe a un período de medición insuficiente para llegar a la segunda etapa $\phi 2$ de degradación del espejo. Sin embargo, la medición a esta temperatura es utilizable para caracterizar el fenómeno de degradación que le está asociado.

10 La figura 7 ilustra una curva (etapa 32) de la evolución del color (ΔE) en función del tiempo t , en horas, para las mismas muestras que las usadas para el trazado de la figura 6. Una primera curva 46 ilustra, de este modo, la evolución de color para una temperatura de envejecimiento acelerado de 200 °C, una segunda curva 48 ilustra esta evolución para una temperatura de envejecimiento acelerado de 150 °C y una tercera curva 50 ilustra esta evolución para una temperatura de envejecimiento acelerado de 100 °C.

15 Analizando la forma de estas curvas, por ejemplo, con la ayuda de un software de reconocimiento de curvas adaptado (un software que asegura unas funciones de regresión de curvas, por ejemplo, Origen, propuesto por OriginLab, Kaleidagraph, Igor o también Matlab o Scilab), los inventores han determinado que la evolución de color ΔE en función del tiempo es de la forma:

$$\Delta E_T(t) = \Delta E_{\text{máx } T} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau(T)}\right) \right),$$

25 siendo $\Delta E_{\text{máx } T}$ una constante asociada a cada temperatura T , que corresponde al valor asintótico de la variable ΔE , siendo $\tau(T)$ una constante de tiempo que depende, igualmente, de la temperatura de envejecimiento acelerado.

30 Aplicando esta ecuación a las mediciones realizadas para la o las muestras sometidas a una temperatura de 100 °C y aprovechando las primeras mediciones realizadas sobre esta o estas muestras, se puede determinar el valor de $\Delta E_{\text{máx } 100 \text{ °C}}$, así como el valor de $\tau(100 \text{ °C})$. Los valores de $\Delta E_{\text{máx } 200 \text{ °C}}$, $\Delta E_{\text{máx } 150 \text{ °C}}$ y $\Delta E_{\text{máx } 100 \text{ °C}}$ se ilustran en la figura 6.

35 Para validar la hipótesis de que la degradación de los espejos proviene de un mismo fenómeno en las tres mediciones de prueba, los inventores han aproximado la ecuación de más arriba $\Delta E_T(t)$ en función del tiempo con una ecuación de difusión en un material, del tipo:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right),$$

40 siendo D el coeficiente de difusión, D_0 el coeficiente de difusión máximo, que depende de la frecuencia de vibración en las moléculas y de la movilidad de la especie difusora, siendo E_a la energía de activación de la reacción, k_B la constante de Boltzmann y T la temperatura.

45 En un fenómeno de difusión, el coeficiente de difusión D es directamente proporcional a la inversa de un tiempo característico de la reacción, representativo de una longitud de difusión. Por lo tanto, se puede reemplazar D por $1/\tau$ en la ecuación de más arriba, lo que permite obtener:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right).$$

50 Para las tres temperaturas de estudio, las curvas que representan la ley de difusión teórica reproducen de forma satisfactoria el aspecto de las curvas experimentales (figura 7).

55 La figura 8 ilustra una representación gráfica del logaritmo de $1/\tau$ en función de $1/T$, que corresponde a la representación de Arrhenius del mecanismo de difusión. Esta curva permite estimar la energía de activación E_a característica del mecanismo implicado para las tres mediciones de prueba. El valor encontrado en el caso de estudio presentado (0,7 eV) corresponde bien a un fenómeno de difusión y este mecanismo es común a las tres mediciones (en la figura 8, los tres puntos de medición están alineados). Por lo tanto, esta curva valida bien la hipótesis de un fenómeno de difusión que degrada la capa de protección en la cara trasera (y en un segundo momento la capa reflectante) y valida el uso de los resultados de las mediciones de prueba para caracterizar el envejecimiento en la práctica.

60 Se señalará que, si esta determinación no es concluyente, es decir, que se determina que al menos una de las mediciones de envejecimiento acelerado ha generado unos fenómenos distintos de los fenómenos implicados por las otras dos mediciones de envejecimiento acelerado, son posibles dos soluciones: ya sea se considera que las dos

mediciones a las temperaturas más bajas (las más cercanas al caso real) son coherentes con las mediciones que se realizan en el sitio y el mecanismo de degradación se caracteriza a partir de estas dos mediciones; o sea se realiza una nueva medición de prueba en una nueva muestra, a una temperatura inferior a la temperatura más importante del primer ensayo.

5 Para obtener la vida útil de un espejo ($\sigma = f(T)$, etapa 36), se puede estimar que el régimen estacionario de un mecanismo o reacción se alcanza para un tiempo muy superior al tiempo característico τ . Por ejemplo, en el presente documento, se puede prever tomar como hipótesis un tiempo de degradación de las pinturas igual a tres veces el valor del tiempo característico τ para estar bastante cercano a la asíntota de la curva.

10 La figura 9 ilustra la evolución de esta vida útil σ del espejo en función de la temperatura de envejecimiento. Esta representación, obtenida a partir de las mediciones realizadas en las muestras de prueba sometidas a un envejecimiento acelerado, permite estimar la vida útil del espejo para cualquier temperatura de envejecimiento.

15 Se señalará que la expresión "vida útil del espejo" corresponde a la duración durante la que la capa de protección protege la capa reflectante del espejo. Esta duración es del mismo orden de magnitud que la vida útil de la capa de protección, puesto que cuando se degrada, el oxígeno del aire degrada la reflectividad del espejo muy rápidamente (más rápidamente que la degradación de la capa de protección) y la reflectividad cae bruscamente.

20 Estas mediciones permiten, por ejemplo, predecir que la reflectividad de los espejos envejecidos a 100 °C comenzará a bajar al cabo de aproximadamente un año: a 100 °C, hace falta un año para que la o las capas de protección se degraden y para que el oxígeno del aire se difunde hasta la capa reflectante, que hace bajar la reflectividad del espejo.

25 Para anticipar una pérdida de reflectividad de los espejos, se puede prever, de este modo, reemplazar los espejos cuando han alcanzado su vida útil teórica (3τ), por ejemplo, a la temperatura promedio de uso sobre un período dado.

Se puede prever, igualmente, una vez terminada la fase de prueba en las muestras, hacer un seguimiento en tiempo real por colorimetría del grado de envejecimiento de espejos en el sitio de producción, es decir, en uso.

30 Como se ha visto anteriormente, las diferencias de color asíntóticas $\Delta E_{\text{máxT}}$ no son idénticas para todas las temperaturas de envejecimiento. De este modo, no se puede concluir directamente, a partir de una diferencia de color actual un grado de envejecimiento del espejo; habría que tener en cuenta el histórico de la temperatura experimentada por el espejo para hacer esta aproximación.

35 Para hacer el seguimiento en tiempo real en el sitio (etapa 36) y anticipar una pérdida de reflectividad del espejo con la ayuda de la información de la diferencia de color de la cara trasera del espejo, se pueden usar varios métodos.

40 En concreto, se puede prever trazar en tiempo real la curva de la evolución del color de la capa de protección del espejo en función del tiempo y estimar, a la vista de la expresión teórica de esta curva, los valores de $\Delta E_{\text{máx}}$ y de τ . En efecto, siendo la influencia de otros parámetros del entorno exterior menor que la del parámetro de temperatura, se puede asimilar la curva obtenida en el sitio a una curva teórica del tipo de la propuesta más arriba. La determinación de estos parámetros permite obtener una vida útil teórica del espejo, pero, igualmente, determinar, para el espejo, la curva de evolución de la reflectividad en función de la diferencia de color y, por lo tanto, anticipar el reemplazo de este cuando la diferencia de color con respecto al color inicial excede un umbral (antes de la bajada de reflectividad).

45 Igualmente, se puede prever trazar en tiempo real la curva de la evolución del color de la capa de protección del espejo en función del tiempo y prever la detección del punto de inflexión de esta curva, correspondiendo el tiempo transcurrido hasta este punto de inflexión a τ . Este método permite obtener una vida útil ($3 \cdot \tau$) del espejo en el sitio y los parámetros $\Delta E_{\text{máx}}$ y τ que relacionan diferencia de color y reflectividad.

50 Se han descrito unos modos de realización particulares. Diversas variantes y modificaciones serán evidentes para el experto en la técnica. En particular, se señalará que los modos de realización propuestos en el presente documento se aplican no solamente a los espejos de concentradores solares, sino, igualmente, a cualquier tipo de espejo de segunda generación que comprenda una capa reflectante protegida en el lado de la cara delantera por una capa transparente, por ejemplo, por una placa de vidrio y protegida en el lado de la cara trasera por una capa de protección, en el que se puede seguir el color de la capa de protección (cara trasera del espejo accesible) y para el que se busca determinar la vida útil y/o el seguir en tiempo real el envejecimiento. Más generalmente, los modos de realización propuestos en el presente documento se aplican al estudio de la degradación de una segunda capa de una pila por estudio colorimétrico de una primera capa de esta pila.

60 En concreto, el seguimiento de la pérdida de reflectividad del espejo podría ser sustituido por otras propiedades, para otras aplicaciones, tales como la conducción o la función de barrera electromagnética. En concreto, un procedimiento de este tipo podría aplicarse a unas pistas metálicas encapsuladas en un polímero o sumidas en un barniz de protección contra la oxidación: si el barniz se degrada, el seguimiento de su cambio de color puede ser un medio de anticipar el envejecimiento de la capa de metal subyacente y, por lo tanto, de modificar sus propiedades (conductividad, por ejemplo).

- Además, se señalará que, aunque se haya descrito un modo de realización preferido en el que el procedimiento prevé tres mediciones de referencia bajo unas condiciones de entorno distintas para caracterizar el envejecimiento y la degradación del espejo y, por lo tanto, de las capas de protección y reflectante, se podrá prever, igualmente, aprovechar una sola medición de referencia. En concreto, si esta medición se realiza a una temperatura superior, pero cercana a las temperaturas de uso, se podrá considerar directamente que el régimen de degradación del espejo de referencia es idéntico al régimen de degradación de los espejos en el sitio y aprovechar esta medición de referencia y las primeras mediciones en uso para obtener el conjunto de las informaciones del envejecimiento de los espejos (vida útil en función de la temperatura y relación entre colorimetría y envejecimiento para cualquier temperatura).
- Se han descrito más arriba diversos modos de realización con diversas variantes. Se señalará que el experto en la técnica podrá combinar diversos elementos de estos diversos modos de realización y variantes sin ser prueba de actividad inventiva.
- Por lo tanto, el procedimiento propuesto consiste ventajosamente en instaurar una metodología de caracterización simple y poco costosa que permita, en el sitio, como en laboratorio, anticipar la pérdida de reflectividad de los espejos y de manera más particular de los espejos solares de vidrio usados en las centrales solares de concentración. Esto se obtiene por una caracterización de otros fenómenos distintos de la pérdida de reflectividad especular del espejo y permite evaluar el estado de avance del envejecimiento y estimar la vida útil de los espejos desde el momento de los primeros signos de degradación de las capas de protección que intervienen antes de la de la reflectividad.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de vigilancia de un espejo que comprende una primera pila que comprende una primera capa (14), una segunda capa reflectante (10) que comprende una primera y segunda caras opuestas, reflejando la primera cara la luz y recubriendo la primera capa la segunda cara y una tercera capa transparente a la radiación solar (12) formada sobre la primera cara, comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas:
- 10 medir (32) el color de la primera capa (14); y
 analizar (34, 36, 38) la evolución de dicha medición para caracterizar la degradación de la segunda capa (10).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la segunda capa (10) es una capa metálica.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la tercera capa (12) es de vidrio.
- 15 4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la primera capa (14) es una capa a base de una matriz polimérica.
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la primera capa (14) es una capa a base de una matriz polimérica cargada.
- 20 6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la etapa de medición se realiza, además, sobre al menos una segunda y una tercera pila idénticas a la primera pila, analizándose la evolución de dichas medidas mientras que las primera, segunda y tercera pilas se colocan bajo unas condiciones exteriores distintas.
- 25 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que las condiciones exteriores distintas son unas condiciones distintas de temperatura (T1, T2, T3).
8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la etapa de análisis comprende una etapa de determinación de una curva teórica asociada a dicha o a dichas evoluciones.
- 30 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que la etapa de análisis comprende, además, una etapa de verificación del hecho de que dichas evoluciones de dichas mediciones corresponden a unos mecanismos idénticos de degradación.
- 35 10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que la etapa de verificación comprende una etapa de cálculo de la energía de activación para cada una de dichas evoluciones de dichas mediciones.
11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, en el que la etapa de análisis comprende, además, una etapa de determinación de un tiempo característico (i) asociado a cada una de dichas evoluciones de dichas mediciones.
- 40 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la etapa de análisis comprende, además, una etapa de determinación del tiempo característico del mecanismo de degradación de la segunda capa (10) para cualquier condición exterior.
- 45 13. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que la etapa de análisis comprende, además, una etapa de determinación de la vida útil teórica de dicha pila para cualquier condición exterior.
- 50 14. Procedimiento de anticipación de la degradación de una segunda capa de una pila de tres capas en uso, que comprende:
- 55 realizar el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 en al menos una muestra de dicha pila;
 medir el color de la primera capa de la pila en uso; y
 disparar una alerta cuando dicho color excede un umbral.

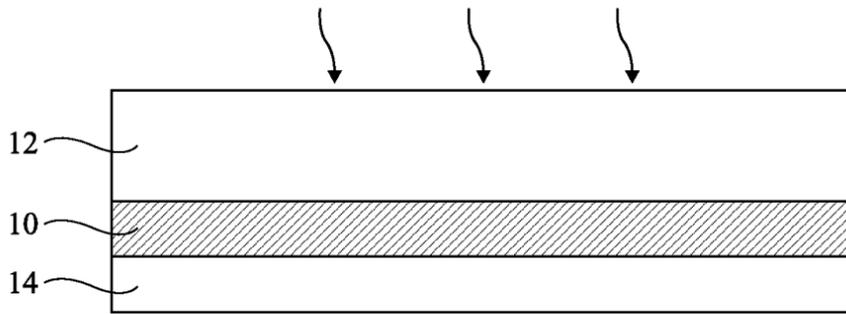


Fig 1

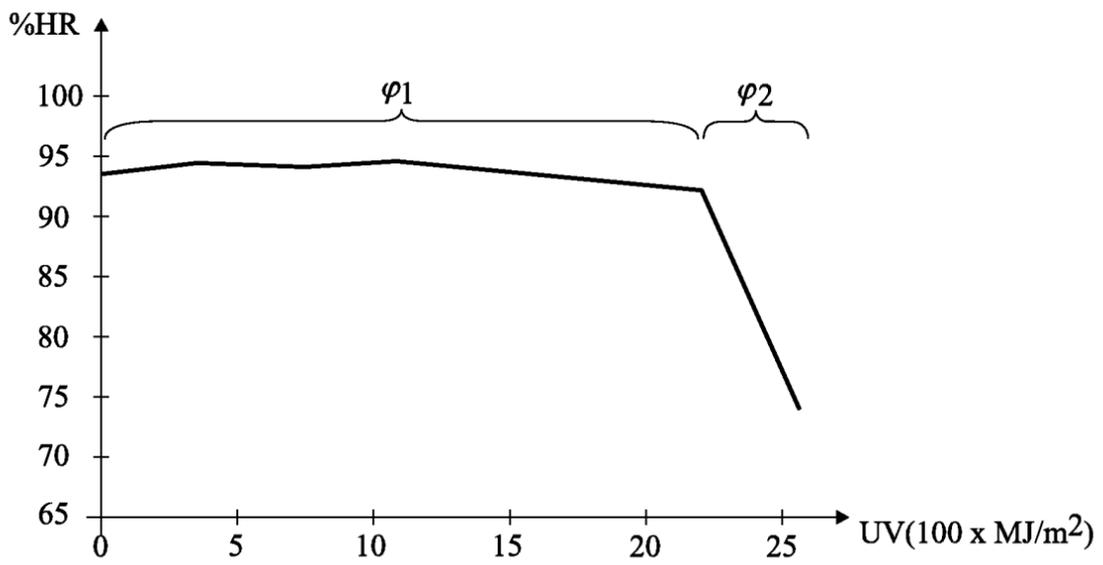


Fig 2

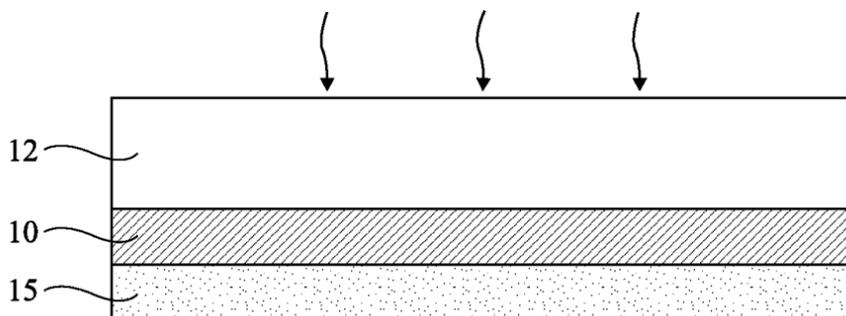


Fig 3

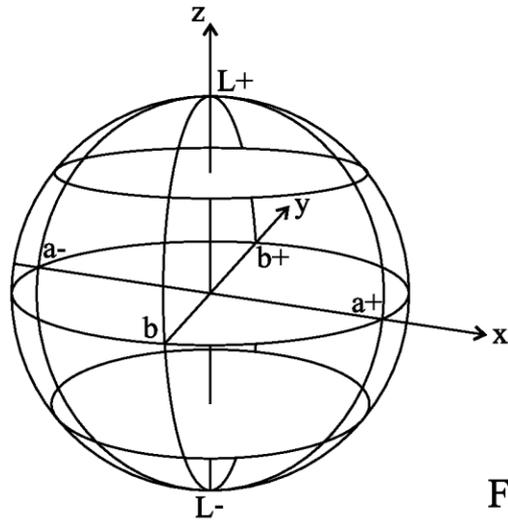


Fig 4

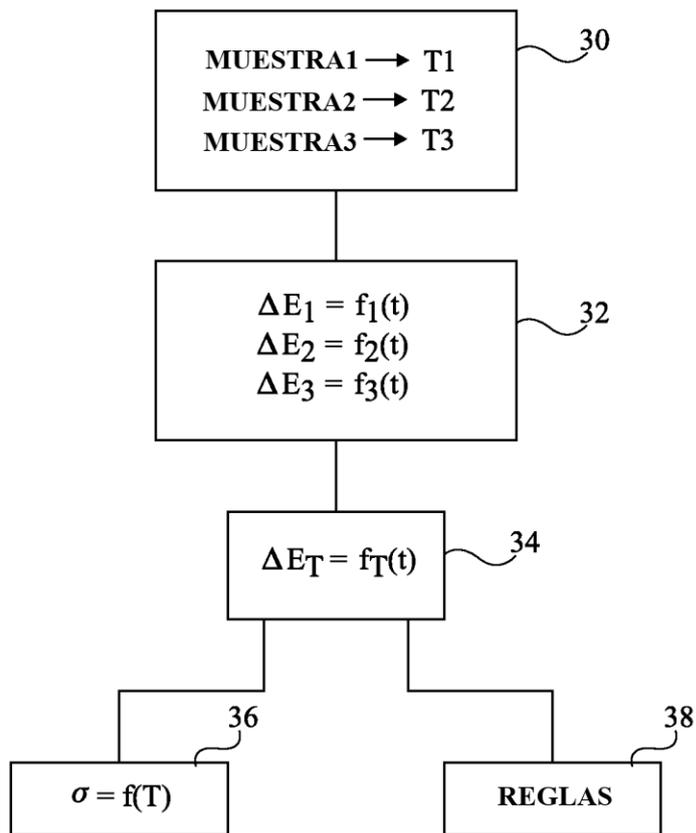


Fig 5

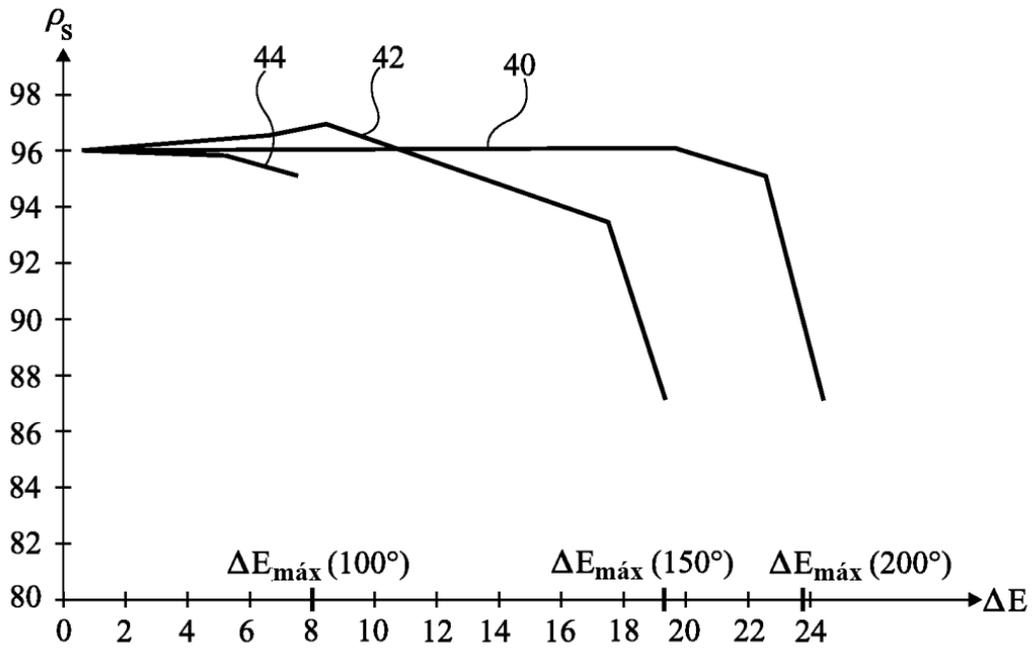


Fig 6

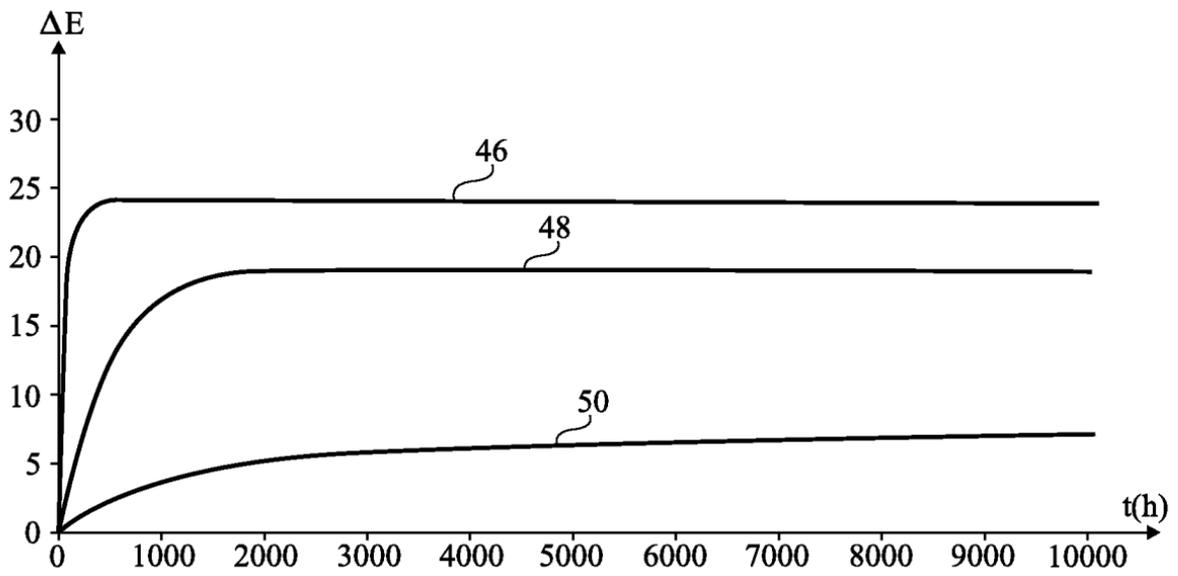


Fig 7

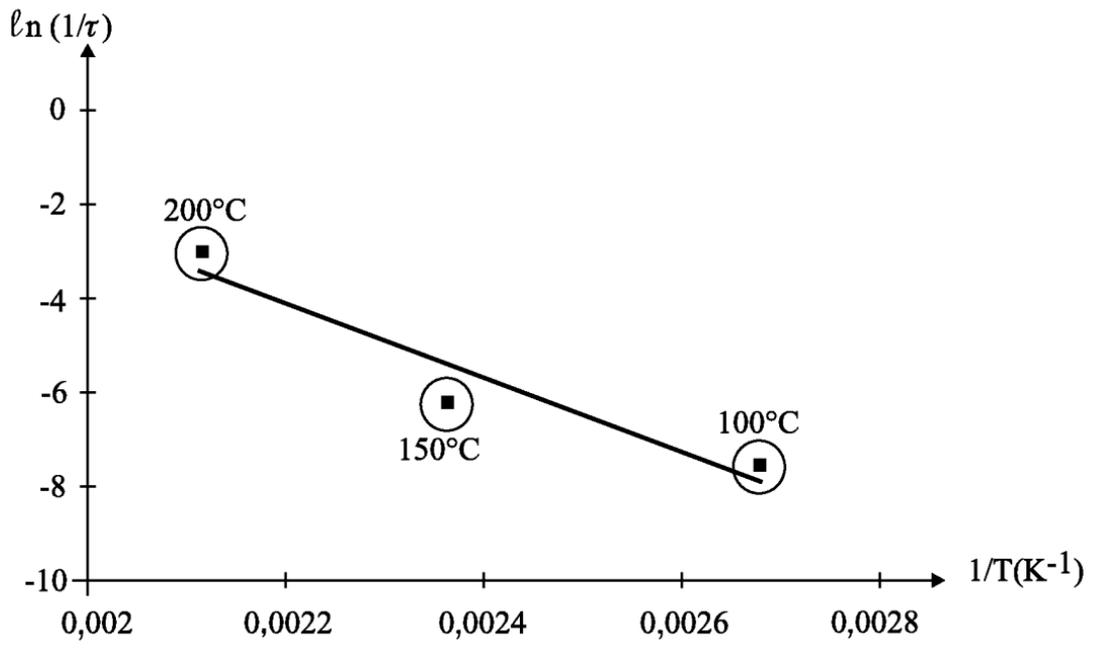


Fig 8

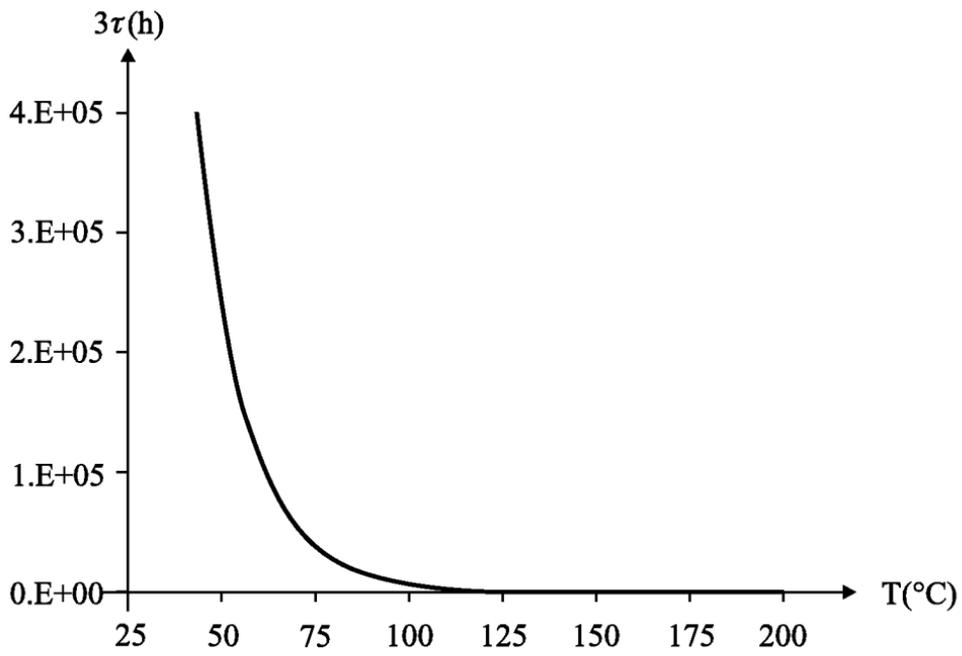


Fig 9