

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 912 879**

51 Int. Cl.:

F24S 40/50 (2008.01)

F24S 70/225 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.01.2019 PCT/EP2019/050676**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.08.2019 WO19145166**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.01.2019 E 19700489 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2022 EP 3743661**

54 Título: **Material compuesto para un colector solar**

30 Prioridad:

26.01.2018 DE 102018101770

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

30.05.2022

73 Titular/es:

ALANOD GMBH & CO. KG (100.0%)

Egerstr. 12

58256 Ennepetal, DE

72 Inventor/es:

PEROS, DIMITRIOS

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 912 879 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

Material compuesto para un colector solar

5 La presente invención se refiere a un material compuesto para un colector solar que comprende un soporte compuesto de aluminio, con una capa intermedia situada en un lado del soporte y con un sistema multicapa ópticamente eficaz aplicado sobre la capa intermedia, que comprende al menos dos capas dieléctricas y/o de óxido, concretamente una capa superior y una capa adicional situada por debajo, a continuación: "capa de absorción de luz", con la función primaria de una absorción de luz, en particular en el rango espectral solar, siendo la capa superior una capa dieléctrica con un índice de refracción $n \leq 2,0$, y estando dispuesta una capa metálica directamente sobre la capa intermedia por debajo de las al menos dos capas dieléctricas y/o de óxido.

Los colectores solares se emplean de manera conocida para generar energía a partir de la radiación solar.

15 El espectro del sol puede describirse de manera amplia por el de un denominado "cuerpo negro" de una temperatura de aproximadamente 5800 K. Sin embargo, el espectro que llega realmente a la superficie terrestre se caracteriza por una multitud de absorciones en la atmósfera, por lo que la pérdida de intensidad que se produce depende del ángulo de incidencia de los rayos solares, es decir, de la posición en la esfera terrestre. Por tanto, se introdujo el denominado "coeficiente de masa de aire AM" normalizado como indicación normalizada, en la que el recorrido real de la radiación a través de la atmósfera se establece en relación con el recorrido más corto posible de la radiación a través de la atmósfera, es decir, con incidencia perpendicular. A este respecto, un coeficiente de masa de aire AM = 1,5 corresponde a las condiciones del espectro solar en Europa Central.

25 Normalmente, mediante el espectro solar incidente se alcanzan temperaturas de hasta 100°C en colectores planos durante el funcionamiento normal. En caso de que la capa fuera un "cuerpo negro" (en inglés: "black body") ideal, entonces emitiría un espectro cuya distribución sería similar a la de la luz incidente, aunque estando su máximo en el rango de la radiación térmica. Esto significa que una parte de la energía térmica generada anteriormente mediante absorción y calentamiento vuelve a perderse en forma de radiación térmica.

30 En general, en un objeto sobre el que incide una radiación, esta radiación se divide en una parte reflejada, una absorbida y una transmitida, que se determinan por la reflectancia (reflectividad) R, la absorbancia (capacidad de absorción) A y el grado de transmisión (transmitancia) T del objeto. A este respecto, en el caso de un sustrato opaco la transmisión es igual a cero, de modo que ya sólo es relevante la suma de absorción y reflexión, es decir, $R+A = 100$ por ciento.

35 A este respecto, la cuantificación de absorción y reflexión en el rango de 250 nm a 2500 nm se produce de acuerdo con la norma EN 410:2011 "Vidrio para la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos", según la cual puede determinarse una reflectancia total, a partir del cual, en ausencia de transmisión, se obtiene la absorbancia como complemento al 1 o al 100 por ciento. En este sentido, el espectro solar AM 1,5 según la norma ASTM G173-03 se utiliza como radiación incidente para determinar la reflectancia total hemisférica ponderada solar.

45 Para evitar las pérdidas de calor por radiación, para los casos de aplicación de materiales compuestos de absorbedor del tipo mencionado al principio en el rango de longitudes de onda solares (300 nm a 2500 nm, en particular en el rango de 360 nm a 1800 nm) es necesaria una absorbancia máxima y en el rango de la radiación térmica (por encima de aproximadamente 2500 nm, en particular por encima de 3000 nm) una reflectancia máxima.

50 Por tanto, el ideal de un absorbedor selectivo de este tipo, que no se da en la naturaleza, es considerado por los expertos como un absorbedor que absorbe el 100 por cien del espectro solar por debajo de una determinada longitud de onda de salto de, por ejemplo, 2500 nm (2,5 μm) y refleja el 100 por cien por encima de esta longitud de onda. Entonces, la absorción y, por tanto, también la emisividad térmica serían igual a cero.

55 En cuanto a la evaluación de su calidad, los materiales absorbentes técnicos se miden, entre otras cosas, por la medida en que se aproximan a esta función de salto ideal en sus características de absorción-reflexión. Se consideran mejores cuanto más pronunciado es el aumento de la reflexión en la transición del rango de longitudes de onda solares al rango de la radiación térmica y cuanto mayor es el nivel de reflectividad en este último rango.

60 Para la determinación cuantitativa de la emisividad térmica en el rango espectral de 2500 nm a 19000 nm (4000 cm^{-1} a 526 cm^{-1}) se recurre a las disposiciones de la norma EN 12898:2001-4 "Vidrio para la edificación. Determinación de la emisividad".

65 Por el documento EP 2 336 811 B1 se conoce un material compuesto similar al del tipo mencionado al principio, en el que la operación de acabado del soporte de aluminio está formada, en particular, por dos procesos diferentes, pudiendo hacerse funcionar ambos de manera continua, concretamente por la generación de una capa intermedia compuesta por óxido de aluminio en un proceso químico en húmedo, que en resumen se denomina anodizado y comprende el pulido electrolítico así como una oxidación anódica, y por la aplicación del sistema multicapa

5 ópticamente eficaz en vacío. A este respecto, en el caso de las capas del sistema multicapa óptico se trata en general de capas dieléctricas, constituyendo el uso de capas de óxido, como por ejemplo óxido de aluminio u óxido de titanio como capa superior y dióxido de silicio como capa intermedia, un caso especial preferido. En este material compuesto la capa intermedia presenta un grosor de no más de 30 nm, estando aplicada la capa inferior de absorción de luz directamente sobre la capa intermedia y situándose la capa intermedia directamente sobre el soporte.

10 Por el documento EP 1 217 394 A1 se conoce un material compuesto del tipo mencionado al principio, que comprende un soporte compuesto de aluminio, una capa intermedia situada en un lado del soporte y un sistema multicapa ópticamente eficaz aplicado sobre la capa intermedia. A este respecto, la capa intermedia está compuesta preferiblemente por aluminio oxidado anódicamente o pulido electrolíticamente y oxidado anódicamente, que se forma a partir del material de soporte. El sistema multicapa ópticamente eficaz está compuesto por tres capas, siendo las dos capas superiores capas dieléctricas y/o de óxido, y siendo la capa inferior una capa metálica aplicada sobre la capa intermedia, que no presenta ninguna transmisión y exclusivamente actúa de manera reflectante. En este sentido está previsto que la capa superior del sistema multicapa óptico sea una capa dieléctrica, preferiblemente una capa de 15 óxido, fluoruro o nitruro con la composición química MeO_a , MeF_b , MeN_c , con un índice de refracción $n < 1,8$ y que la capa intermedia del sistema multicapa óptico sea una capa de óxido de cromo con la composición química CrO_z , y que la capa inferior del sistema multicapa óptico esté compuesta de oro, plata, cobre, cromo, aluminio y/o molibdeno, designando los índices a, b, c y z una relación estequiométrica o no estequiométrica en los óxidos, fluoruros o nitruros. En particular la capa compuesta por oro, plata, cobre, cromo, aluminio y/o molibdeno puede estar compuesta por 20 varias capas parciales y presentar un grosor preferido en el rango de hasta 500 nm. Un material compuesto de este tipo, en el que la capa inferior del sistema multicapa óptico está formada por una capa doble, compuesta por una capa de cromo superior y una capa de aluminio inferior, se encuentra en el mercado en el momento de la solicitud bajo la marca Mirotherm®.

25 En el documento EP 1 217 394 A1 se describe que en el caso de los colectores solares se distingue entre colectores de baja temperatura con temperaturas de funcionamiento de hasta 100°C y colectores de alta temperatura con temperaturas de funcionamiento sobre 100°C, pudiendo ascender en el caso de las denominadas instalaciones de torre, que sirven para proporcionar calor de proceso, la temperatura del absorbedor a hasta 1200°C.

30 La denominada temperatura de equilibrio, de parada o de estancamiento se indica a menudo como un valor característico para un colector solar debiendo entender la temperatura de uso máxima, teóricamente posible del colector, a la que el material está en equilibrio térmico con el entorno. Cuando por ejemplo el colector solar funciona en funcionamiento normal, el medio de transferencia de calor circula por el mismo y se disipa la energía absorbida por la absorción. La temperatura de funcionamiento ajustada puede situarse, por ejemplo, en el rango de por debajo de 35 100°C hasta 120°C. Sin embargo, si se detiene el paso del medio de transferencia de calor que actúa produciendo un enfriamiento en el colector, por ejemplo, de manera deseada porque se ha alcanzado la temperatura necesaria del consumidor, o de manera no deseada, porque falla una bomba de transferencia de calor, entonces ya no se produce una disipación continua de energía y aumenta la temperatura del colector solar. A este respecto, con una potencia solar irradiada de aproximadamente 1 kW/m², como es característico en Europa en un día soleado, pueden alcanzarse 40 valores de por ejemplo 220°C a 250°C. A este respecto, una parte del medio de enfriamiento líquido permanece en la tubería.

45 Todo colector debe estar diseñado para esta temperatura de estancamiento porque en estos rangos de temperatura, que son superiores a la temperatura de funcionamiento, existe el riesgo para los fluidos de transferencia de calor utilizados, como las mezclas de agua y glicol, así como para los sustratos y los recubrimientos del colector, de que se produzca una descomposición, una evaporación parcial, una desgasificación, un aumento no deseado de la presión y, como mínimo, una disminución del rendimiento del elemento colector relativamente a corto plazo. En consecuencia, la temperatura de estancamiento determina los requisitos térmicos que deben soportar los materiales utilizados para los absorbedores, lo que puede suponer un elevado coste de los materiales. Por tanto, existe la necesidad técnica de 50 mantener bajas las temperaturas de estancamiento de los colectores solares.

Para conseguir esto, el documento WO 2012/069718 A1 prevé un material multicapa que comprende una capa con morfología superficial variable que, de manera reversible, varía en función de la temperatura y que presenta un parámetro de rugosidad de superficie, que es mayor que un primer valor de rugosidad, cuando la temperatura es menor que una temperatura umbral, y que es menor que un segundo valor de rugosidad, cuando la temperatura es mayor que la temperatura umbral, siendo el segundo valor de rugosidad menor que el primer valor de rugosidad, y estando recubierta la capa con la morfología superficial variable con una capa absorbente. Con este material multicapa puede conseguirse que la temperatura de estancamiento no aumente por encima de 180°C, porque las diferentes rugosidades por debajo y por encima de la temperatura umbral también conllevan un comportamiento de absorción 60 diferente. Sin embargo, a escala industrial ha resultado complejo fabricar este tipo de capas con morfología superficial variable.

65 El documento US 9.671.137 B2 describe una solución técnica alternativa a este respecto. También en este caso en el material compuesto se utiliza un comportamiento diferente por debajo y por encima de una temperatura umbral, sin embargo este comportamiento se produce por una combinación especial de óxidos de vanadio termocrómicos en una capa selectiva. Con esta combinación de óxidos existe un grado de transmisión elevado de más del 85 por ciento por

debajo de una temperatura umbral en el rango de longitudes de onda de 6 μm a 10 μm y existe un grado de transmisión bajo en el rango entre el 20 y 50 por ciento por encima de la temperatura umbral. A este respecto, por encima de la temperatura umbral, en comparación con un óxido de vanadio de fórmula VO_2 utilizado habitualmente se alcanza una menor reflectividad y así una mayor radiación, lo que produce una disminución de la temperatura de estancamiento.

5 El documento WO 2013/105032 A1 describe un recubrimiento selectivo para colectores solares, que en el rango de la radiación térmica presenta una mayor emisividad que los recubrimientos selectivos habituales.

La presente invención se basa en el objetivo de proporcionar un material compuesto del tipo descrito al principio con una idoneidad particular para absorbedores con temperaturas de funcionamiento en el rango de baja temperatura, con un esfuerzo tecnológico comparativamente reducido, en particular evitando el uso de constituyentes de capa, que presentan cambios bruscos de propiedades relacionados con la temperatura. Según la invención esto se consigue porque la capa intermedia y el sistema multicapa ópticamente eficaz se seleccionan con respecto a sus propiedades ópticas y las capas se dimensionan de tal modo que, con una absorción solar de al menos el 92 por ciento, la radiación solar se refleja en un rango de longitudes de onda de 1500 nm a 5000 nm en no más del 20 por ciento al 35 por ciento, y en un rango de longitudes de onda de 5000 nm a 10000 nm en del 25 por ciento al 90 por ciento, produciéndose en el rango de longitudes de onda de 5000 nm a 10000 nm más allá de todo el rango de longitudes de onda de la radiación un aumento continuo de una reflectancia dependiente de las longitudes de onda, del material compuesto con la longitud de onda.

20 En una realización preferida de la invención puede estar previsto que la capa intermedia y el sistema multicapa ópticamente eficaz se seleccionen con respecto a sus propiedades ópticas, en particular con respecto a la refracción y extinción de las capas, y que las capas estén dimensionadas de tal modo que se refleje la radiación incidente en un rango de longitudes de onda mayor/igual a 5200 nm en al menos el 30 por ciento, preferiblemente en al menos el 40 por ciento, y en un rango de longitudes de onda mayor/igual a 6500 nm en al menos el 55 por ciento, preferiblemente en al menos el 60 por ciento.

La invención rompe con la idea convencional de que la calidad de un material compuesto de absorbedor es mejor cuanto más se aproxime su característica de absorción-reflexión a la función de salto ideal de un "cuerpo negro" relacionado únicamente con una determinada temperatura de funcionamiento, teniendo en cuenta la dinámica térmica que se produce tras la parada del colector.

El enfoque según la invención se basa en que el máximo de emisión de un "cuerpo negro" cambia con la temperatura, en particular durante la transición de una temperatura de funcionamiento a una temperatura de estancamiento, y que la característica de absorción-reflexión dependiente de la longitud de onda se diseña considerando la temperatura de funcionamiento y la temperatura de estancamiento.

35 Así, por ejemplo, el máximo de emisión de un "cuerpo negro" de una temperatura de 80°C, que puede describir una temperatura de funcionamiento habitual del rango de baja temperatura, se sitúa a una longitud de onda de aproximadamente 8200 nm, mientras que este máximo a una temperatura de 200°C, que constituye una temperatura de estancamiento habitual de este tipo de materiales absorbentes habituales, se sitúa sólo en 6124 nm. Mientras que los materiales absorbentes habituales a esta longitud de onda presentan valores de reflectancia de más del 90 por ciento, según la invención a esta longitud de onda la reflectancia es significativamente menor, por ejemplo, sólo la mitad del valor mencionado. Esto significa que la radiación térmica a esta temperatura es mucho mayor, de modo que se establece un equilibrio entre absorción y emisión solar cuando se interrumpe la disipación del calor útil ya a temperaturas comparativamente menores.

Según la invención esto puede llevar ventajosamente a una reducción de la temperatura de estancamiento de un colector plano de 40 K y más, algo que con respecto a los fluidos de transferencia de calor, sustratos y recubrimientos del colector minimiza considerablemente el riesgo de que se produzcan descomposiciones, una evaporación, desgasificaciones, aumentos no deseados de la presión, una disminución del rendimiento del elemento colector, etc., es decir, proporciona un remedio con respecto a todos los fenómenos desventajosos mencionados anteriormente asociados con las altas temperaturas de parada. A este respecto, puede prescindirse ventajosamente del uso de materiales, basados en un cambio brusco de las propiedades relacionado con la temperatura.

55 A este respecto, el sistema multicapa óptico según la invención puede aplicarse ventajosamente de una manera probada con respecto a la tecnología. Así, las al menos dos capas dieléctricas y/o de óxido del sistema multicapa óptico, la capa metálica y/o la capa intermedia pueden ser capas de pulverización catódica, en particular capas producidas por pulverización catódica reactiva, capas de CVD o PECVD o capas producidas por evaporación, en particular por bombardeo de electrones o por fuentes térmicas, de modo que ventajosamente se trata de capas aplicadas en secuencia de vacío en un procedimiento continuo. En el caso de la capa intermedia sobre el soporte se trata también de una capa compuesta por óxido de aluminio, que preferiblemente está formada por un material de soporte oxidado anódicamente o pulido electrolíticamente y oxidado anódicamente.

65 A este respecto, la capa de absorción de luz puede contener un óxido mixto de titanio y aluminio y/o un nitruro mixto de titanio y aluminio y/o un oxinitruro mixto de titanio y aluminio con la composición química $\text{TiAl}_q\text{O}_x\text{N}_y$, designando los índices q, x e y en cada caso una relación estequiométrica o no estequiométrica.

Ventajosamente también puede estar previsto que la capa de absorción de luz del sistema multicapa óptico contenga óxido de cromo con la composición química CrO_z y/o nitruro de cromo con la composición química CrN_v y/o carburo de cromo CrC_p y/u oxinitruro de cromo con la composición química CrO_zN_v y/u oxicarburo de cromo CrO_zC_p y/u oxicarbonitruro de cromo $\text{CrO}_z\text{C}_p\text{N}_v$, designando los índices z , v y p en cada caso una relación estequiométrica o no estequiométrica.

En el caso de la capa superior puede tratarse preferiblemente de una capa de óxido de silicio con la composición química SiO_w , designando el índice w a su vez una relación estequiométrica o no estequiométrica en la composición de óxido. Esta capa tiene un efecto antirreflectante y presenta una elevada transmitancia, con lo que se aumenta la proporción de los valores de radiación que pueden absorberse en la capa de absorción de luz en el rango solar.

A este respecto, los procedimientos mencionados permiten ventajosamente no sólo ajustar la composición química de las capas con respecto a los índices p , q , v , w , x , y y z a determinados valores discretos, sino que también permiten variar la relación estequiométrica o no estequiométrica en cada caso dentro de determinados límites de manera fluida. A este respecto, las relaciones estequiométricas o no estequiométricas p , q , v , w , x , y , z pueden situarse en el rango $0 < p$ y/o q y/o v y/o x y/o y y/o $z < 3$ y/o $1 \leq w \leq 2$. De este modo, por ejemplo, puede ajustarse de manera específica el índice de refracción de la capa superior de reducción de reflexión, que también produce un aumento de los valores para la capacidad de carga mecánica (medida según la norma DIN ISO 9211-4:2008-06), y la absorbancia de la capa de absorción de luz, disminuyendo por ejemplo la capacidad de absorción según aumenta el valor de los índices x y/o z . Así, también pueden controlarse las respectivas proporciones del óxido mixto, nitruro mixto y/u oxinitruro mixto de titanio y aluminio o las proporciones de los compuestos de cromo correspondientes en la capa de absorción de luz.

La característica de absorción-reflexión dependiente de la longitud de onda modificada según la invención con respecto al estado de la técnica también prevé a la temperatura de funcionamiento una disminución de la reflectancia en comparación con los materiales absorbentes habituales. Sin embargo, la eficiencia ligeramente inferior resultante sólo provoca una reducción significativamente desproporcionada en el rendimiento anual de energía térmica de como máximo un 5 por ciento en comparación con las ventajas conseguidas, lo que muestra un efecto de sinergia de la invención en un análisis de costes y beneficios.

En cuanto al ajuste de la característica de absorción-reflexión dependiente de la longitud de onda según la invención, según la invención está previsto que la capa metálica sea semitransparente al menos en un rango de longitudes de onda de 300 nm a 2500 nm, en particular en el rango de 360 nm a 1800 nm, es decir, que en particular presente un grado de transmisión en el rango del 30 por ciento al 80 por ciento, preferiblemente del 40 por ciento al 60 por ciento, pudiendo estar compuesta la capa metálica en particular por un metal base, en particular por un metal de transición, compuesto preferiblemente de titanio o cromo o un metal de tierras raras o de una aleación de los mismos. A este respecto, la capa metálica presenta un grosor muy reducido en el rango de 3 nm a 14 nm, en particular en el rango de 5 nm a 12 nm, y en particular está configurada de una sola capa.

En las reivindicaciones dependientes y en la descripción detallada a continuación se incluyen realizaciones ventajosas adicionales de la invención.

Mediante ejemplos de realización ilustrados mediante los dibujos adjuntos se explicará la invención en más detalle.

A este respecto muestran:

la figura 1, una representación esquemática de la intensidad relativa dependiente de la longitud de onda de una reflectancia total hemisférica con ponderación solar y un "cuerpo negro" así como de la reflectividad dependiente de la longitud de onda de un material absorbente selectivo que suele considerarse ideal,

la figura 2, una representación similar a la de la figura 1, indicándose en lugar de la reflectividad dependiente de la longitud de onda del material absorbente selectivo considerado ideal como ejemplos comparativos las reflectividades dependientes de la longitud de onda de tres materiales compuestos habituales en el mercado,

la figura 3, una representación similar a la de las figuras 1 y 2, que muestra la reflectividad simulada dependiente de la longitud de onda de un material compuesto habitual en el mercado de la figura 2 en comparación con una realización típica representada de manera idealizada de un material compuesto según la invención,

la figura 4, una representación de la dependencia de la densidad de energía espectral de un "cuerpo negro" de la longitud de onda y la temperatura,

la figura 5, una representación de la estructura en capas de un material compuesto según la invención,

la figura 6, el resultado de un análisis de perfil de profundidad en una representación esquemática de la concentración de átomos de elementos a lo largo de un tiempo de eliminación de capa para una realización preferida de un material compuesto según la invención,

la figura 7, una representación esquemática del espectro de reflexión medido en el rango espectral solar de dos realizaciones preferidas de un material compuesto según la invención,

5 la figura 8, una representación esquemática del espectro de reflexión medido en el rango espectral infrarrojo de las dos realizaciones preferidas de un material compuesto según la invención,

la figura 9, una representación esquemática del desarrollo típico de la emisividad de las dos realizaciones preferidas de un material compuesto según la invención en función de la temperatura,

10 la figura 10, una representación esquemática de la reflectancia dependiente de la temperatura del material compuesto según la invención antes y después de un envejecimiento.

15 Con respecto a la descripción a continuación, se subraya expresamente que la invención no se limita a los ejemplos de realización y, por tanto, tampoco se limita a todas o varias características de las combinaciones de características descritas.

20 En las diferentes figuras del dibujo las mismas partes también están dotadas siempre de los mismos números de referencia, de modo que generalmente también se describirán en cada caso sólo una vez.

25 La representación esquemática de la intensidad relativa dependiente de la longitud de onda del espectro solar y del "cuerpo negro" en la figura 1 muestra en el lado izquierdo, en el rango solar, el espectro solar normalizado AM1,5 según la norma ASTM G173-03, que ya se ha explicado en la introducción. El lado derecho del diagrama muestra la densidad de distribución espectral del "cuerpo negro" BB a una temperatura de 100°C (normalizada). Además, la figura 1 muestra la reflectividad dependiente de la longitud de onda de un material absorbente IA selectivo, que suele considerarse ideal y que absorbe casi el 100% del espectro solar en un rango por debajo de una determinada longitud de onda de salto SL de, por ejemplo, 2500 nm (2,5 μm) y refleja el 100% en un rango por encima de esta longitud de onda. La invención se aleja de esta imagen ideal de un absorbedor.

30 La figura 2 muestra, para tres de los materiales compuestos del solicitante que se encontraban en el mercado en el momento de la solicitud, cómo la reflectividad R dependiente de la longitud de onda (reflexión total en porcentaje) se aproxima realmente a la característica de absorción-reflexión selectiva considerada ideal. Estos materiales se ofrecen bajo las marcas comerciales Eta plus®, mirotherm® y mirosol® TS en el momento de la solicitud y son sistemas de capas de absorbedor selectivos para colectores solares. En el momento de la solicitud, los sistemas de capas eta plus® y mirotherm® se depositan de forma continua mediante vapor en un procedimiento de PVD en un proceso denominado "aire-aire". A este respecto, se consiguen absorbancias de hasta el 95% con al mismo tiempo una baja emisión ε de como máximo el 5%. Esto lo ilustran en particular las curvas $\varepsilon(\lambda)$ a partir de una longitud de onda λ de aproximadamente 4,0 μm , alcanzando las curvas en cada caso una meseta en la que sólo cambian ligeramente. La respectiva longitud de onda de salto SL de las curvas de reflexión se encuentra en un rango λ de aproximadamente 1,2 μm a 1,8 μm (1200 nm a 1800 nm).

45 En el momento de la solicitud en el caso del material mirosol® TS se trata de un sistema con una laca de absorción selectiva, que se aplica en un procedimiento denominado "coil-coating" (producción de rollo a rollo). Esta laca selectiva es ventajosamente hidrófoba en el sentido de una alta protección de la superficie contra la contaminación e insensible a las huellas dactilares, pero provoca un mínimo de reflexión local a aproximadamente 10 μm .

50 Los materiales compuestos de absorbedor mencionados anteriormente se aplican en diferentes tipos de colectores térmicos solares. En la mayoría de los casos, los tubos de cobre o aluminio se sueldan en la parte posterior de los absorbedores como conductores del calor. En este sentido, la soldadura láser se ha establecido como la tecnología de unión óptima. Los materiales compuestos mencionados han demostrado su eficacia en la práctica, con lo que se ha conseguido un ahorro de CO₂ producido al año del orden del millón de toneladas.

55 De las reflectividades R dependientes de la longitud de onda representadas en la figura 2, la figura 3 muestra sólo la del material mirotherm® mencionado anteriormente en comparación con una realización típica representada de manera idealizada de un material compuesto V según la invención. Puede observarse que la longitud de onda de salto SL del material compuesto V según la invención se desplaza a un rango de longitud de onda más largo en comparación con el material mencionado anteriormente.

60 Además puede observarse que el material compuesto V según la invención, y como todavía se explicará más abajo, en particular con referencia a las figuras 5 a 8, en particular su capa intermedia 2 situada sobre el soporte 1 así como el sistema multicapa 3 ópticamente eficaz aplicado sobre la misma, con respecto a sus propiedades ópticas se han seleccionado de tal modo y las capas 2, 4, 5, 6 se han dimensionado de tal modo que existe una absorbancia α solar de al menos el 92 por ciento. En un rango de longitudes de onda λ de 1500 nm a 5000 nm la radiación incidente se refleja en no más del 20 por ciento al 35 por ciento, y en un rango de longitudes de onda λ de 5000 nm a 10000 nm

en del 25 por ciento al 90 por ciento. A este respecto, en este rango puede observarse un aumento continuo, en particular casi lineal, de la reflectancia R con la longitud de onda λ .

En una realización preferida la capa intermedia 2 y el sistema multicapa 3 ópticamente eficaz del material compuesto V según la invención con respecto a sus propiedades ópticas, en particular con respecto a la refracción y extinción de las capas 2, 4, 5, 6 se ha seleccionado de tal modo y las capas 2, 4, 5, 6 se han dimensionado de tal modo que la radiación incidente en un rango de longitudes de onda λ por encima de 5200 nm se refleja en al menos el 30 por ciento, preferiblemente en al menos el 40 por ciento, y en un rango de longitudes de onda λ por encima de 6500 nm en al menos el 55 por ciento, preferiblemente en al menos el 60 por ciento, como también se ilustra en la representación a modo de ejemplo en la figura 3.

En una realización preferida de la invención en el rango de longitudes de onda λ de 4200 nm a 6600 nm, preferiblemente en el rango de 5000 nm a 6200 nm, existe un aumento medio de la reflectancia por la longitud de onda $\Delta R / \Delta \lambda$ en el rango del 21 por ciento por μm al 25 por ciento por μm .

En el rango de longitudes de onda λ de 6200 nm a 10000 nm, preferiblemente en el rango de 6600 nm a 9000 nm, este aumento medio de la reflectancia por la longitud de onda $\Delta R / \Delta \lambda$ puede situarse preferiblemente en el rango del 5 por ciento por μm al 10 por ciento por μm .

A diferencia de los materiales absorbentes conocidos, cuyo diseño constructivo, como muestra la figura 1, se refiere a la emisión del "cuerpo negro" a una temperatura normalizada de 100°C, la invención tiene en cuenta el desplazamiento dependiente de la temperatura del máximo de emisión del "cuerpo negro" sobre la longitud de onda λ en su característica original de absorción-emisión. A este respecto, la representación de la dependencia de la densidad de energía espectral de un "cuerpo negro" con respecto a la longitud de onda λ (en la abscisa) y a la temperatura T (como parámetros de las curvas) en la figura 4 ilustra cómo el máximo de radiación del "cuerpo negro" en el rango de 273 K a 453 K se desplaza a longitudes de onda λ inferiores con el aumento de la temperatura T, aumentando el valor absoluto del máximo de radiación. Esto se ilustra con la línea de puntos "max". A cada temperatura de absorción T se le puede asignar una longitud de onda λ en la que se produce la máxima emisión y viceversa para determinar la característica de absorción-emisión según la invención.

A este respecto, el material compuesto V según la invención está diseñado de tal modo que si la temperatura del absorbedor T aumenta cuando se interrumpe la disipación del calor útil, la emisión térmica, es decir, la emisividad ϵ , también aumenta al mismo tiempo. De este modo, el material compuesto V según la invención cumple ventajosamente una función autorreguladora, en el sentido de que a una temperatura más alta, la emisión más fuerte también da lugar automáticamente a un enfriamiento más fuerte, porque el valor Epsilon en el rango de temperatura relevante, en particular en el rango de 80°C a 200°C, aumenta continuamente.

A este respecto, el valor de la emisividad ϵ se sitúa por ejemplo a una temperatura de 30°C al 20%, es decir, a menos del 25%, lo que tiene en cuenta una temperatura de radiación máxima inferior a 50°C. A 80°C, el máximo de emisión del "cuerpo negro" se sitúa en una longitud de onda λ de aproximadamente 8200 nm. En esta longitud de onda, la reflexión del material mencionado anteriormente mirotherm® es de aproximadamente el 95%, la del material compuesto V según la invención, por ejemplo, de aproximadamente el 80%, presentando ambas curvas la misma absorción de luz solar α . Si se toma como base una temperatura de la superficie del absorbedor de 200°C, el máximo de emisión se desplaza a una longitud de onda de aproximadamente 6124 nm. Mientras que la reflexión del material mirotherm® mencionado anteriormente permanece prácticamente sin cambios, a este respecto, prácticamente no se influye en el valor ϵ , la reflexión del material compuesto V según la invención desciende a aproximadamente un 55%. Como resultado, la superficie del absorbedor irradia mucho más a esta temperatura, lo que conduce a una reducción de la temperatura, es decir, a una temperatura de estancamiento más baja. A este respecto, la diferencia en el rango de longitudes de onda λ por encima de la longitud de onda de salto SL del material mirotherm® mencionado anteriormente está marcada en la figura 3 por una superficie F sombreada. Según la invención se absorbe la parte de radiación reflejada de manera conocida en esta superficie F.

La figura 5 muestra que el material compuesto V según la invención está compuesto en cada caso por un soporte 1 de aluminio, en forma de banda y, en particular, que puede deformarse, encontrándose en un lado del soporte 1 una capa intermedia 2 y estando aplicado a su vez sobre la capa intermedia 2 un sistema multicapa 3 ópticamente eficaz.

El material compuesto V según la invención puede estar configurado preferiblemente como bobina con una anchura de hasta 1600 mm, preferiblemente de 1250 mm, y con un grosor D de aproximadamente 0,1 mm a 1,5 mm, preferiblemente de aproximadamente 0,2 mm a 0,8 mm. A este respecto, el soporte 1 puede tener preferiblemente un grosor D1 de aproximadamente 0,1 mm a 0,7 mm. El aluminio del soporte 1 puede presentar en particular una pureza superior al 99,0 por ciento, con lo que se favorece la conductividad térmica.

La capa intermedia 2 sobre el soporte 1 es una capa compuesta por óxido de aluminio que preferiblemente puede estar formada por un material de soporte oxidado anódicamente o pulido electrolíticamente y oxidado anódicamente. Presenta un grosor D2 en el rango de 100 nm a 250 nm, preferiblemente en el rango de 130 nm a 180 nm.

El sistema multicapa 3 según la invención comprende dos capas individuales 4, 5, estando dispuesta directamente sobre la capa intermedia 2 por debajo de estas dos capas 4, 5 una capa 6 metálica correspondiente también al sistema multicapa 3 óptico.

5 La capa 4 superior del sistema multicapa 3 óptico es una capa dieléctrica con un índice de refracción $n \leq 2,0$ y puede ser, en particular, una capa de óxido de silicio con la composición química SiO_w . La capa 5 inferior es una capa de absorción de luz, que preferiblemente contiene un óxido mixto de titanio y aluminio y/o un nitruro mixto de titanio y aluminio y/o un oxinitruro mixto de titanio y aluminio con la composición química $\text{TiAl}_q\text{O}_x\text{N}_y$. Alternativa o
10 adicionalmente y/o en una capa parcial separada esta capa 5 también puede contener óxido de cromo con la composición química CrO_z y/o nitruro de cromo con la composición química CrN_v y/u oxinitruro de cromo con la composición química CrO_zN_v . A este respecto, los índices q, v, x, y, z designan en cada caso una relación estequiométrica o no estequiométrica de la sustancia oxidada o nitrada con respecto al oxígeno en los óxidos o en el oxinitruro o del aluminio con respecto al titanio. Las relaciones estequiométricas o no estequiométricas pueden situarse
15 preferiblemente en el rango $0 < q \text{ y/o } v \text{ y/o } x \text{ y/o } y \text{ y/o } z < 3$, mientras que la relación estequiométrica o no estequiométrica puede asumir w valores en el rango $1 \leq w \leq 2$.

Como según la invención las dos capas 4, 5 del sistema multicapa 3 óptico pueden ser capas de pulverización catódica, en particular capas producidas por pulverización catódica reactiva, capas de CVD o PECVD o capas producidas por
20 evaporación, en particular por bombardeo de electrones o por fuentes térmicas, es posible ajustar las relaciones q, v, w, x, y, z de manera no escalonada (es decir, también a valores no estequiométricos de los índices), con lo que pueden variarse las respectivas propiedades de capa y las capas también pueden formarse como capas de gradiente con índices q, v, w, x, y, z que aumentan y/o disminuyen por el grosor de capa.

25 Con respecto a una eficiencia suficiente para la función de una disminución de la reflexión, por ejemplo un valor límite superior del grosor de capa D4 de la capa 4 superior del sistema multicapa 3 óptico se sitúa en 500 nm. Un rango preferido del grosor D4 se extiende de 60 nm a 250 nm y un rango particularmente preferido de 100 nm a 150 nm.

30 Un valor óptimo para la capa 5 de absorción de luz del sistema multicapa 3 óptico según la invención desde dichos puntos de vista es un grosor D5 mínimo mayor/igual a 100 nm, de como máximo $1 \mu\text{m}$, en particular un valor en el rango de 150 nm a 500 nm, de manera particularmente preferida en el rango de 200 nm a 300 nm.

35 Según la invención la capa 6 metálica es semitransparente al menos en un rango de longitudes de onda de 300 nm a 2500 nm, en particular en el rango de 360 nm a 1800 nm, es decir, presenta en particular un grado de transmisión en el rango del 30 por ciento al 80 por ciento, preferiblemente del 40 por ciento al 60 por ciento. Preferiblemente puede estar compuesta por un metal base, en particular por un metal de transición, como de manera particularmente preferida por titanio o por cromo o por un metal de tierras raras o por una aleación de los mismos. La capa metálica presenta un grosor D6 en el rango de 3 nm a 14 nm, en particular en el rango de 5 nm a 12 nm, estando configurada en particular
40 de una sola capa. También la capa 6 metálica puede ser una capa de pulverización catódica o una capa producida por evaporación, en particular por bombardeo de electrones o por fuentes térmicas.

45 La figura 6 representa el resultado de un análisis realizado por medio de espectroscopia de fotoelectrones (XPS). A este respecto, para la eliminación de capas continua pueden utilizarse, por ejemplo, iones de pulverización catódica de argón acelerados con una fuente de 4 keV, como en el caso del dispositivo "Quantum 2000" de PHI Physical Electronics, que se basa en la excitación con radiación Al-Ka, utilizado para el análisis.

50 En la figura 6 los tiempos de eliminación (tiempos de pulverización catódica) indicados en minutos se asocian a una constitución particularmente preferida de las distintas capas 1, 2, 4, 5 y 6 del sistema compuesto según la invención con respecto a su composición y relaciones de grosor, y también se indica cómo resulta la respectiva capa 8 o el sistema multicapa 3 óptico.

A la izquierda en la figura 6 puede verse en primer lugar la capa 4 superior del sistema multicapa 3 óptico, que es una capa de óxido de silicio y que en la superficie presenta una proporción insignificante de carbono. El grosor D4 de la capa es de aproximadamente 120 nm. La relación de las concentraciones atómicas de silicio (Si) con respecto a oxígeno (O) asciende aproximadamente al 33,3 por ciento con respecto al 66,6 por ciento en la composición química total, lo que indica la existencia de una capa de dióxido de silicio (SiO_2) compuesta de manera estequiométrica. Por tanto, el índice w de la capa de óxido de silicio con la composición química SiO_w es 2.

60 Más a la derecha en la figura 6 sigue la capa 5 de absorción de luz, en la que el contenido en oxígeno (O) disminuye de manera continua y el contenido en cromo (Cr) aumenta de manera continua. El grosor D5 de la capa es de aproximadamente 268 nm. La proporción de otros elementos es insignificante, teniendo en cuenta dicha imprecisión en los límites de las capas. Llamen la atención en la curva los momentos de los tiempos de pulverización catódica, etiquetados como I, II y III en el gráfico. En el momento I, la relación de las concentraciones atómicas de cromo (Cr) con respecto al oxígeno (O) son de aproximadamente el 33,3 por ciento con respecto al 66,6 por ciento en la composición química total, lo que ilustra en este punto la presencia de una capa de óxido de cromo (CrO_2) con una composición estequiométrica superior a la del cromo trivalente. El índice z de la capa de óxido de cromo de
65

composición química general CrO_z es aquí de aproximadamente 2. En el momento II hay una relación de las concentraciones atómicas de cromo (Cr) con respecto al oxígeno (O) de aproximadamente el 40,0 por ciento con respecto al 60,0 por ciento en la composición química total, lo que ilustra en este punto la presencia de una capa de óxido de cromo (Cr_2O_3) de composición estequiométrica con respecto al cromo trivalente. El índice z de la capa de óxido de cromo de la composición química general CrO_z es aquí de aproximadamente 1,5. Con el aumento de la profundidad, la relación Cr-O de la capa 5 se vuelve entonces subestequiométrica, por lo que en el momento III de la eliminación pudo determinarse una relación de las concentraciones atómicas de cromo (Cr) con respecto al oxígeno (O) de aproximadamente el 50,0% al 50,0% en la composición química general, lo que en este punto indica la presencia de una capa de óxido de cromo de la composición CrO . El índice z de la capa de óxido de cromo de la composición química general CrO_z es aquí de aproximadamente 1,0 y se hace más pequeño que 1,0 con el aumento de la profundidad de la capa. Dado que el punto II ya se alcanzó después de aproximadamente el 10 por ciento del tiempo que fue necesario en total para la pulverización catódica de la capa 5 de absorción de luz, la capa 5 consiste, por tanto, en aproximadamente el 90 por ciento de su profundidad en compuestos Cr-O subestequiométricos en comparación con el cromo trivalente.

En la capa 6 metálica compuesta por cromo la curva debería aumentar en teoría hasta el 100 por ciento atómico de cromo y el contenido en oxígeno debería disminuir hasta el 0 por ciento atómico. Debido a dichas imprecisiones y al pequeño grosor de capa D6 de 3 a 6 nm, este no es el caso, pero el pico de cromo IV que se produce en este intervalo del tiempo de pulverización catódica, así como el mínimo de oxígeno asociado al mismo, es suficientemente significativo para la detección de la capa de cromo 6 metálica.

En el caso de la capa intermedia 2 representada en la figura 6, como ya se ha mencionado, se trata de una capa compuesta por óxido de aluminio (Eloxal) sobre el soporte de aluminio 1, lo que se expresa por una relación media de las concentraciones atómicas del 33,3 por ciento de aluminio (Al) con respecto al 66,6 por ciento de oxígeno (O), pasando entonces la capa intermedia 2 finalmente al aluminio puro del soporte 1. La capa tiene un grosor D2 de aproximadamente 173 nm.

Según la invención el material compuesto V está en contraste con el estado de la técnica, en el que la capa metálica conocida no es semitransparente, sino reflectante. De este modo la capa intermedia conocida y el soporte conocido no presentan funciones conocidas. En su lugar, según la invención ventajosamente el sistema multicapa 3 óptico es ópticamente activo así como la capa intermedia 2 y el soporte 1.

El sistema multicapa 3 ópticamente eficaz según la invención actúa según la invención como trampa de luz, por lo que en el rango de longitudes de onda λ , en el que los materiales absorbentes convencionales ya han dejado atrás el salto SL en la reflectividad ε que se produce durante la transición a longitudes de onda λ más altas, se sigue produciendo una absorción α comparativamente alta según la invención, tal y como se expresa por la superficie F en la figura 3.

Mediante las figuras 7 a 10 se visualizan resultados de ensayos a modo de ejemplo obtenidos con el material compuesto V según la invención construido como se muestra en la figura 6. Como ya se ha mencionado, a este respecto se trata de representaciones esquemáticas iniciales de la reflectancia R dependiente de la longitud de onda para el rango solar e infrarrojo de dos realizaciones preferidas de un material compuesto V (figuras 7 y 8) ("posición 1" y "posición 2"). Los resultados en cada caso representan los valores medios de las mediciones realizadas en al menos tres lugares diferentes de las muestras.

Para la determinación de la absorción solar, se utilizó un espectrómetro UV-Vis "Lambda 950" de Perkin Eimer de acuerdo con la norma mencionada, con un estándar de espectralón trazable que sirve de referencia para los absorbentes solares. Para determinar la emisión térmica, se utilizó un espectrómetro FT-IR "Spektrum 400" con una esfera de integración recubierta de oro de PIKE de acuerdo con la norma mencionada, con un espejo de oro trazable que sirve de referencia para los absorbentes solares. El uso de muestras de referencia certificadas para estas mediciones garantiza un alto nivel de reproducibilidad.

Con respecto a la figura 8 en particular, cabe señalar que el valor recíproco de la longitud de onda λ se traza en la abscisa debido a la transformación de Fourier dentro del dispositivo, por lo que los valores numéricos más grandes indicados en cm^{-1} a la izquierda corresponden a valores de longitud de onda λ más pequeños que los valores más grandes indicados en cm^{-1} a la derecha, por ejemplo, el valor de 2500 cm^{-1} corresponde a una longitud de onda de $4 \mu\text{m}$ y el valor de 1000 cm^{-1} a una longitud de onda de $10 \mu\text{m}$. Ventajosamente en el sentido de la representación, el eje de abscisas se comprime hiperbólicamente por este hecho en el rango de ondas IR más largas, donde los cambios de la reflectancia R son sólo pequeños. Los resultados experimentales coinciden, casi congruentemente, con la representación de la curva idealizada de la figura 3.

Además, la reflectancia R de un material compuesto V según la invención en función de la temperatura se muestra a modo de ejemplo, en primer lugar en la figura 9 como curva típica de las dos realizaciones preferidas y en segundo lugar en la figura 10 antes y después del envejecimiento.

En relación con las figuras 9 y 10, la tabla 1 a continuación muestra los resultados individuales obtenidos del espectro de reflexión infrarroja medido de un material compuesto V según la invención. A este respecto, la “posición 1” se refiere a un material compuesto 7 según la invención en el que el cromo de la capa 6 metálica tenía un grosor D6 de 5,7 nm, mientras que este grosor D6 para la “posición 2” era de 10 a 12 nm. Las mediciones se llevaron a cabo a temperatura ambiente (25°C), por lo que los valores relevantes para el rendimiento de un absorbedor entre 30°C y 80°C y los valores por encima de éste para el estancamiento se calcularon según la ley de radiación de Planck. A este respecto, los valores para 30°C corresponden a la representación gráfica de la figura 9.

Tabla 1: emisividad ϵ en porcentaje en función de la temperatura con una absorbancia α en el rango del 93,6% al 94,7%

Posición	30°C	80°C	100°C	150°C	200°C	250°C
1	23.0	26.3	29.4	34.0	38.5	42.7
2	22.6	25.1	27.9	32.0	36.0	39.8

A este respecto, para la emisividad ϵ y la absorbancia α son importantes las ecuaciones siguientes:

$$\epsilon = \frac{\int_{2,5\mu m}^{25\mu m} (1 - R(\lambda)) * I_{BB}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{BB}(\lambda) d\lambda}$$

y

$$\alpha = \frac{\int_{300nm}^{2500nm} (1 - R(\lambda)) * I_{AM\ 1,5}(\lambda) d\lambda}{\int_{300nm}^{2500nm} I_{AM\ 1,5}(\lambda) d\lambda}$$

Aquí $R(\lambda)$ es la reflectancia dependiente de la longitud de onda, $I_{BB}(\lambda)$ la intensidad dependiente de la longitud de onda de la radiación de un “cuerpo negro” e $I_{AM1,5}(\lambda)$ la intensidad del espectro solar, que por naturaleza también es dependiente de la longitud de onda y, como se describió anteriormente, se ha normalizado según la norma ASTM G173-03.

El material compuesto V según la invención se cargó bajo dos regímenes de temperatura, una vez durante 300 horas a 200°C y otra vez durante 72 horas a 250°C. Tras las cargas, se midieron los espectros de reflexión y se calcularon los valores alfa y épsilon.

En la tabla 2 siguiente se muestran los valores de la absorción α antes y después de la carga de temperatura, así como el cambio $\Delta\alpha$ que se produjo durante la carga de temperatura. Los valores antes de la carga de temperatura (“posición 1”: $\alpha = 93,8\%$; “posición 2”: $\alpha = 94,4\%$) corresponden a la representación gráfica de la figura 7.

Tabla 2: absorbancia α solar antes y después de la carga de temperatura

Posición	Alfa en porcentaje			Delta-alfa en porcentaje	
	antes	-300 h@200°C	72 h@250°C	300 h@200°C	72 h@250°C
1	93.8	93.5	93.2	-0.3	-0.5
2	94.5	94.9	94.5	0.3	0.0

Las tablas 3 y 4 indican los valores de reflexión ϵ establecidos después de la carga de temperatura para los valores contenidos en la tabla 1 y se corresponden con el gráfico en la figura 10 para la “posición 2” en el mismo.

Tabla 3: emisividad ϵ en porcentaje tras 300 horas a 200°C

Posición	30°C	80°C	100°C	150°C	200°C	250°C
1t	22.5	25.4	28.3	32.7	37.0	41.2
2	21.7	24.0	26.7	30.6	34.5	38.3

Tabla 4: emisividad ϵ en porcentaje tras 72 horas a 250°C

Posición	30°C	80°C	100°C	150°C	200°C	250°C
1	20.9	23.6	26.5	30.7	35.1	39.2
2	22.2	24.3	26.9	30.6	34.4	38.1

Por las tablas 1 a 4 así como por los gráficos correspondientes puede deducirse que las propiedades ópticas del material compuesto V según la invención prácticamente no cambian a consecuencia de la carga de temperatura.

La tabla 5 muestra las temperaturas de estancamiento T_{st} que se obtienen con los valores medidos de un cálculo de modelo comparativo y las eficiencias η de un colector típico con un material compuesto V según la invención en comparación con el material mirotherm® mencionado anteriormente.

5 Tabla 5: temperaturas de estancamiento T_{st} y eficiencias η en comparación (simulación)

Temperatura de salida del colector	mirotherm®	invención
	eficiencia η	
35°C	0.77	0.75
50°C	0.71	0.68
75°C	0.60	0.56
	$T_{st} = 210^{\circ}\text{C}$	$T_{st} = 163^{\circ}\text{C}$

De ello se desprende fácilmente que una reducción ventajosamente grande de la temperatura de estancamiento T_s de 57°C por el material compuesto V según la invención se ve compensada por sólo una caída muy pequeña, desproporcionadamente pequeña, del rendimiento de un máximo de sólo 0,04 puntos a una temperatura de salida del colector de 75°C.

Símbolos de referencia

- 1 soporte
- 15 2 capa intermedia
- 3 sistema multicapa óptico
- 4 capa superior de 3
- 5 capa de absorción de luz de 3
- 6 capa metálica
- 20 A rayo incidente y saliente en 5 (figura 7)
- AM 1,5 espectro solar normalizado, figuras 1, 2
- B1 rayo de reflexión de 6/2 (figura 7)
- B2 rayo de reflexión de 2/1 (figura 7)
- C1 rayo de superposición de A y B1 (figura 7)
- 25 C2 rayo de superposición de C1 y B2 (figura 7)
- BB curva: "cuerpo negro (*black body*)", figuras 1, 2
- D grosor total de V
- D1 grosor de 1
- D2 grosor de 2
- 30 D4 grosor de 4
- D5 grosor de 5
- D6 grosor de 6
- DI interferencia destructiva (figura 7)
- KI interferencia constructiva (figura 7)
- 35 n_2 índice de refracción de 2
- n_5 índice de refracción de 5
- n_6 índice de refracción de 6
- IA curva absorbedor ideal, figura 1
- R reflectancia
- 40 SL longitud de onda de salto
- T temperatura
- V material compuesto

- ε emisividad
- 45 λ longitud de onda
- $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ ángulos de radiación (figura 7)

REIVINDICACIONES

1. Material compuesto (V) que comprende un soporte (1) compuesto de aluminio, con una capa intermedia (2) situada en un lado del soporte (1), compuesta de óxido de aluminio, y con un sistema multicapa (3) ópticamente eficaz aplicado sobre la capa intermedia (2), que comprende al menos dos capas (4, 5) dieléctricas y/o de óxido, concretamente una capa (4) superior y una capa (5) de absorción de luz situada por debajo, siendo la capa (4) superior una capa dieléctrica con un índice de refracción $n \leq 2,0$, y estando dispuesta una capa (6) metálica directamente sobre la capa intermedia (2) por debajo de las al menos dos capas (4, 5) dieléctricas y/o de óxido,
- 5
- 10 seleccionándose la capa intermedia (2) y el sistema multicapa (3) ópticamente eficaz con respecto a sus propiedades ópticas y dimensionándose las capas (2, 4, 5, 6) de tal modo que con una absorción (α) solar de al menos el 92 por ciento la radiación solar se refleja en un rango de longitudes de onda (λ) de 1500 nm a 5000 nm en no más del 20 por ciento al 35 por ciento, y en un rango de longitudes de onda (λ) de 5000 nm a 10000 nm en del 25 por ciento al 90 por ciento, produciéndose en el rango de longitudes de onda (λ) de 5000 nm a 10000 nm más allá de todo el rango de
- 15 longitudes de onda (λ) un aumento continuo de una reflectancia (R) dependiente de las longitudes de onda, del material compuesto (V) con la longitud de onda (λ), presentando la capa (6) metálica un grosor (D6) en el rango de 3 nm a 14 nm y siendo semitransparente al menos en un rango de longitudes de onda de 300 nm a 2500 nm, es decir, que presenta un grado de transmisión en el rango del 30 por ciento al 80 por ciento, presentando la capa intermedia (2) sobre el soporte (1) un grosor (D2) en el rango de 100 nm a 250 nm, y presentando la capa (5) de absorción de luz del sistema multicapa (3) óptico un grosor (D5) de más de 50 nm y de como máximo 1 μm .
- 20
2. Material compuesto (V) según la reivindicación 1, caracterizado por que la capa intermedia (2) y el sistema multicapa (3) ópticamente eficaz con respecto a sus propiedades ópticas, en particular con respecto a la refracción y extinción de las capas (2, 4, 5, 6), se selecciona y las capas (2, 4, 5, 6) se dimensionan de tal modo que se refleja la radiación incidente en un rango de longitudes de onda (λ) mayor/igual a 5200 nm en al menos el 30 por ciento, preferiblemente en al menos el 40 por ciento, y en un rango de longitudes de onda (λ) mayor/igual a 6500 nm en al menos el 55 por ciento, preferiblemente en al menos el 60 por ciento.
- 25
3. Material compuesto (V) según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la capa (6) metálica es semitransparente en el rango de 360 nm a 1800 nm, es decir, en particular presenta un grado de transmisión en el rango del 30 por ciento al 80 por ciento, preferiblemente del 40 por ciento al 60 por ciento.
- 30
4. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la capa (6) metálica está compuesta por un metal base, en particular por un metal de transición, como preferiblemente por titanio o por cromo o por un metal de tierras raras, o por una aleación de los mismos.
- 35
5. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la capa (6) metálica presenta un grosor (D6) en el rango de 5 nm a 12 nm y en particular está configurada de una sola capa.
- 40
6. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la capa intermedia (2) sobre el soporte (1) es una capa compuesta por óxido de aluminio, que preferiblemente está formada por un material de soporte oxidado anódicamente o pulido electrolíticamente y oxidado anódicamente.
- 45
7. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la capa intermedia (2) presenta un grosor (D2) en el rango de 130 nm a 180 nm.
- 50
8. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que el índice de refracción (n_2) de la capa intermedia (2) en el rango de longitudes de onda solares y dado el caso también en un rango de longitudes de onda (λ) de 1500 nm a 5000 nm es menor que el índice de refracción (n_6) de la capa (6) metálica, seleccionándose los materiales de la capa intermedia (2) y de la capa (6) metálica preferiblemente de tal modo que un ángulo límite de la reflexión total de la radiación solar en la capa intermedia (2) se sitúe en el rango de 35° a 63°.
- 55
9. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por un aumento medio de la reflectancia por la longitud de onda ($\Delta R / \Delta \lambda$) en el rango de longitudes de onda (λ) de 4200 nm a 6600 nm, preferiblemente en el rango de 5000 nm a 6200 nm, en el rango de 21 por ciento por μm al 25 por ciento por μm .
- 60
10. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por un aumento medio de la reflectancia por la longitud de onda ($\Delta R / \Delta \lambda$) en el rango de longitudes de onda (λ) de 6200 nm a 10000 nm, preferiblemente en el rango de 6600 nm a 9000 nm, del 5 por ciento por μm al 10 por ciento por μm .
- 65
11. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que la capa (5) de absorción de luz del sistema multicapa (3) óptico contiene un óxido mixto de titanio y aluminio y/o un nitruro mixto de titanio y aluminio y/o un oxinitruro mixto de titanio y aluminio con la composición química $\text{TiAl}_q\text{O}_x\text{N}_y$, designando los índices q, x e y en cada caso una relación estequiométrica o no estequiométrica o por que la capa (5) de absorción de luz del sistema multicapa (3) óptico contiene óxido de cromo con la composición química CrO_z y/o nitruro de cromo con la

- 5 composición química CrN_v y/o carburo de cromo CrC_p y/o oxinitruro de cromo con la composición química CrO_zN_v y/o oxicarburo de cromo CrO_zC_p y/o oxicarbonitruro de cromo $\text{CrO}_z\text{C}_p\text{N}_v$, designando los índices z , v y p en cada caso una relación estequiométrica o no estequiométrica, situándose las relaciones estequiométricas o no estequiométricas p , q , v , x , y , z en el rango $0 < p$ y/o q y/o v y/o x y/o y y/o $z < 3$, presentando la capa (5) de absorción de luz del sistema multicapa (3) óptico preferiblemente un grosor (D5) en el rango de 70 nm a 350 nm, de manera particularmente preferida en el rango de 200 nm a 270 nm.
- 10 12. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que la capa (4) superior del sistema multicapa (3) óptico es una capa de óxido de silicio con la composición química SiO_w , designando el índice w una relación estequiométrica o no estequiométrica, que se sitúa en el rango $1 \leq w \leq 2$.
- 15 13. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que las al menos dos capas (4, 5) dieléctricas y/o de óxido del sistema multicapa (3) óptico, la capa (6) metálica y/o la capa intermedia (2) son capas de pulverización catódica, capas de CVD o PECVD o capas producidas por evaporación, estando compuesta en particular la capa intermedia (2) y/o el sistema multicapa (3) óptico por capas aplicadas en secuencia de vacío en un procedimiento continuo.
- 20 14. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por que la capa (4) superior del sistema multicapa (3) óptico presenta un grosor (D4) de como máximo 500 nm, situándose este grosor (D4) en particular en el rango de 60 nm a 250 nm, preferiblemente en el rango de 100 nm a 150 nm.
- 25 15. Material compuesto (V) según una de las reivindicaciones 1 a 14, preferiblemente según la reivindicación 11 o 12, caracterizado por que las capas (2, 4, 5) del sistema multicapa (3) ópticamente eficaz, preferiblemente al menos la capa (5) de absorción de luz, está/n configurada/s como capa/s de gradiente, en la/s que cambia de manera continua en particular al menos uno de los índices q , v , w , x , y o z y/o la proporción, preferiblemente indicada en porcentaje atómico, de un elemento no indexado, contenido en la respectiva capa (2, 4, 5).

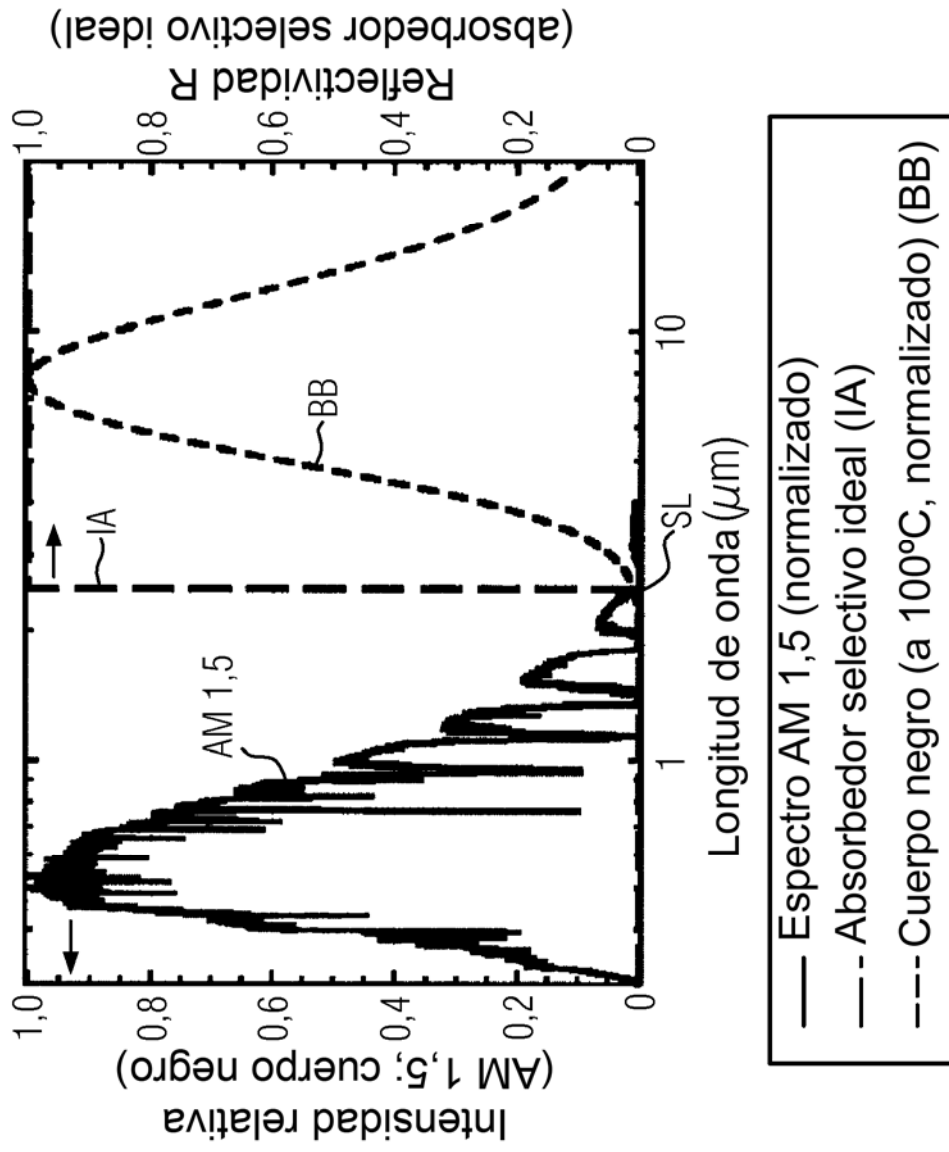


FIG. 1

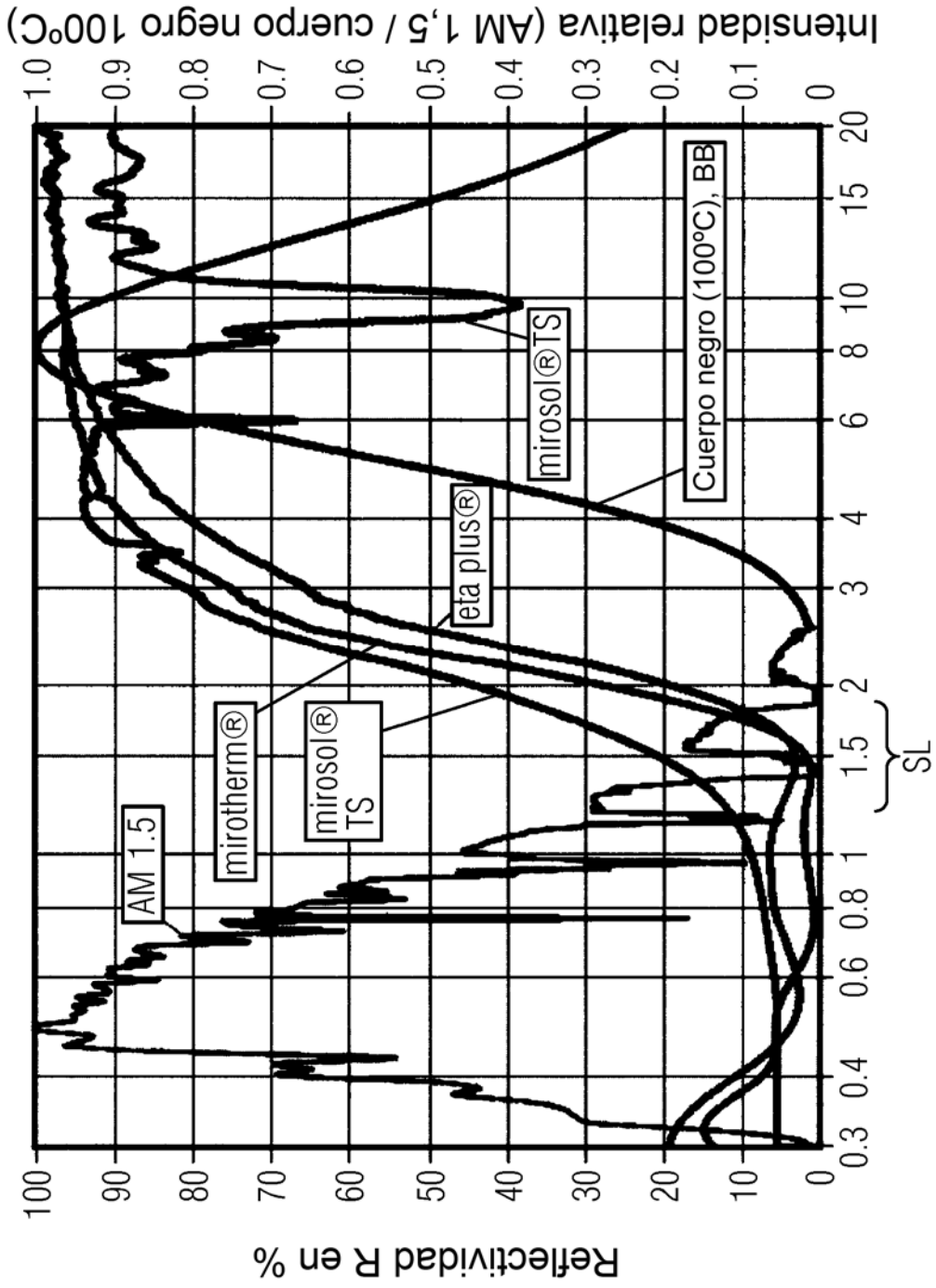
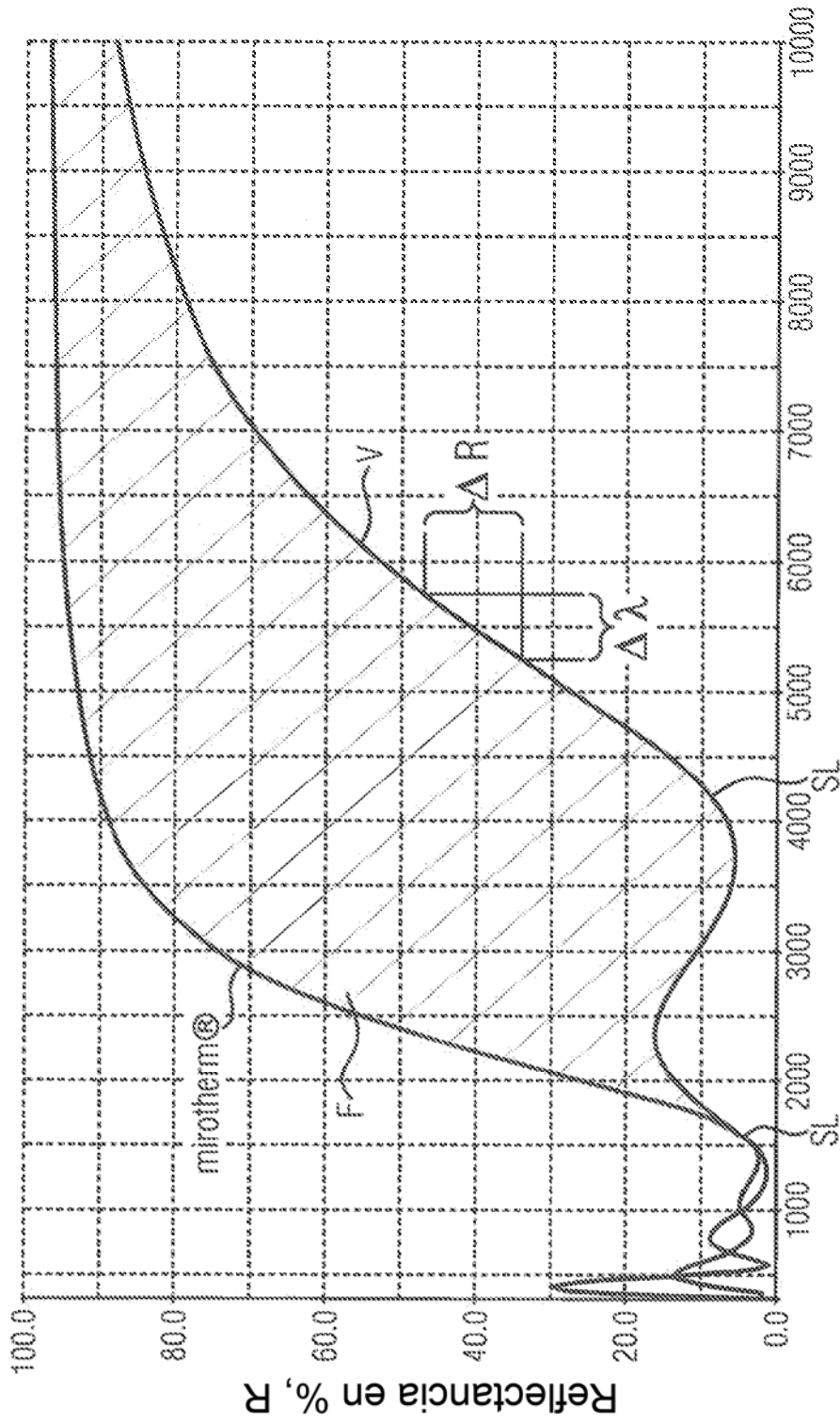


FIG. 2
Longitud de onda (μm)



Longitud de onda λ en nm

FIG. 3

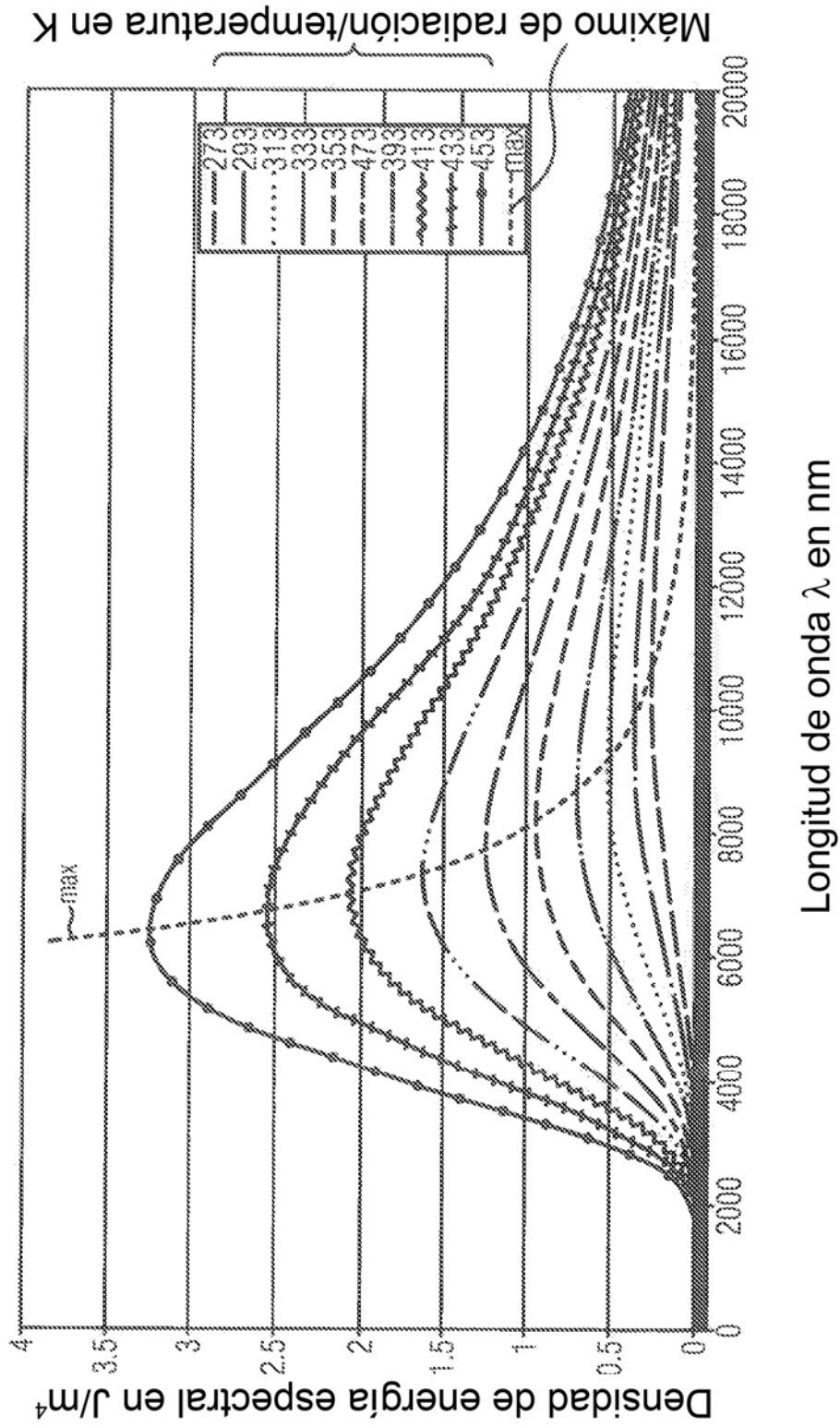


FIG. 4

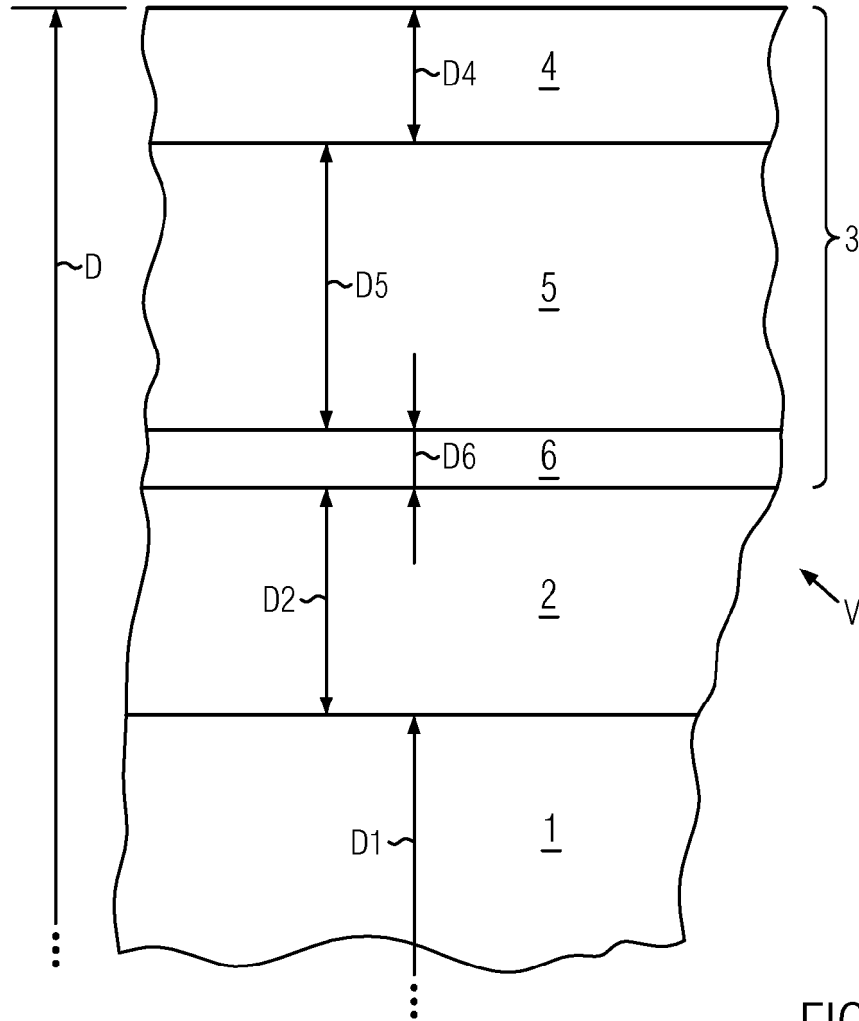


FIG. 5

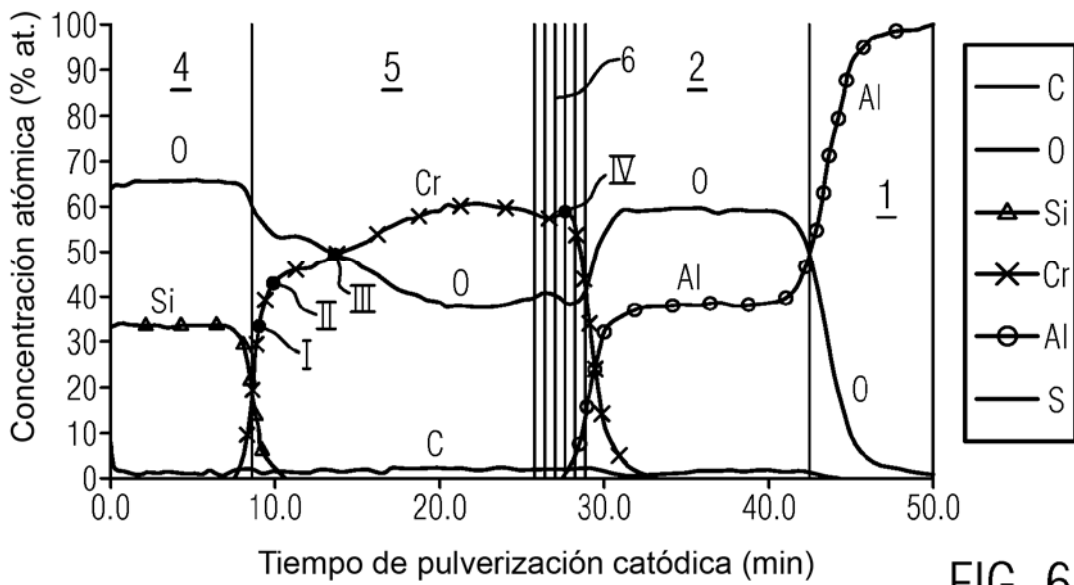


FIG. 6

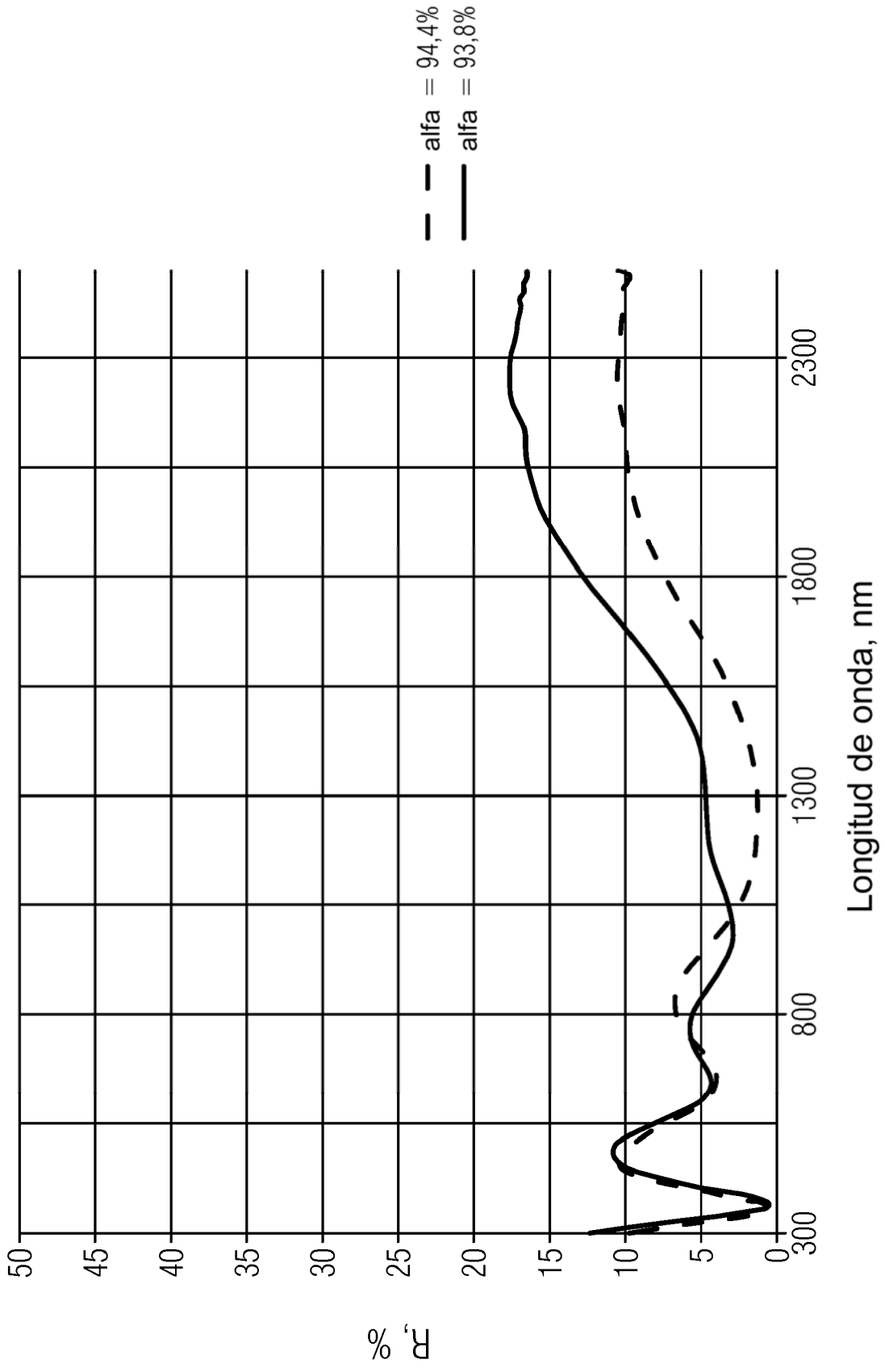
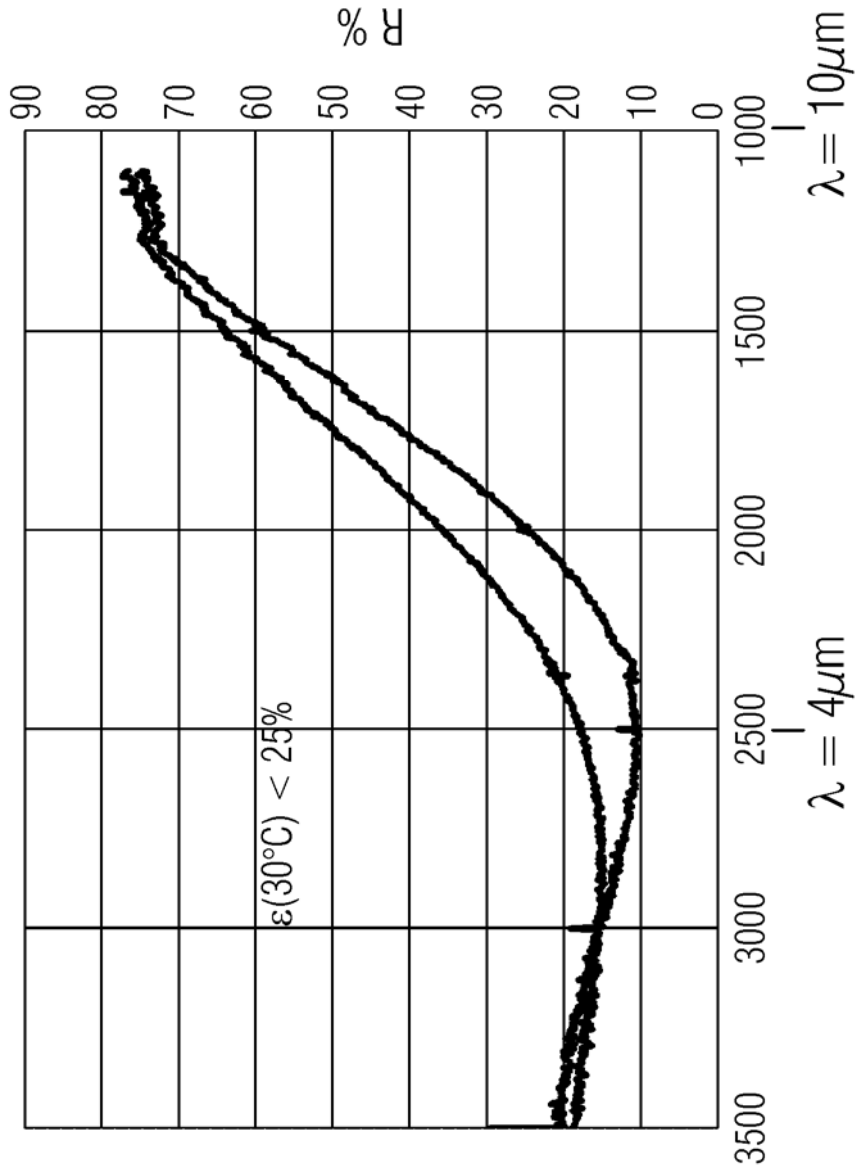


FIG. 7



Valor recíproco de longitud de onda, λ FIG. 8

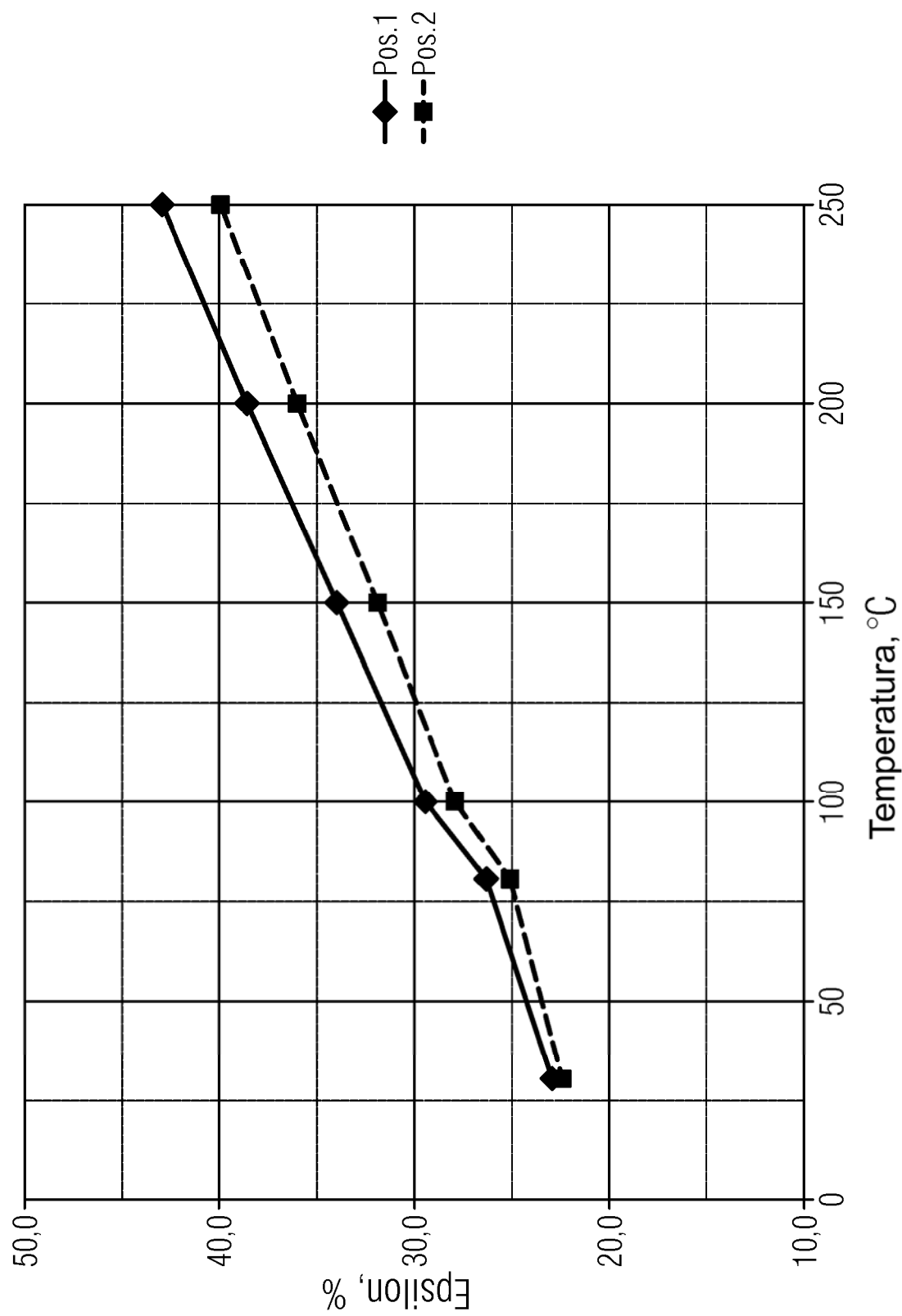


FIG. 9

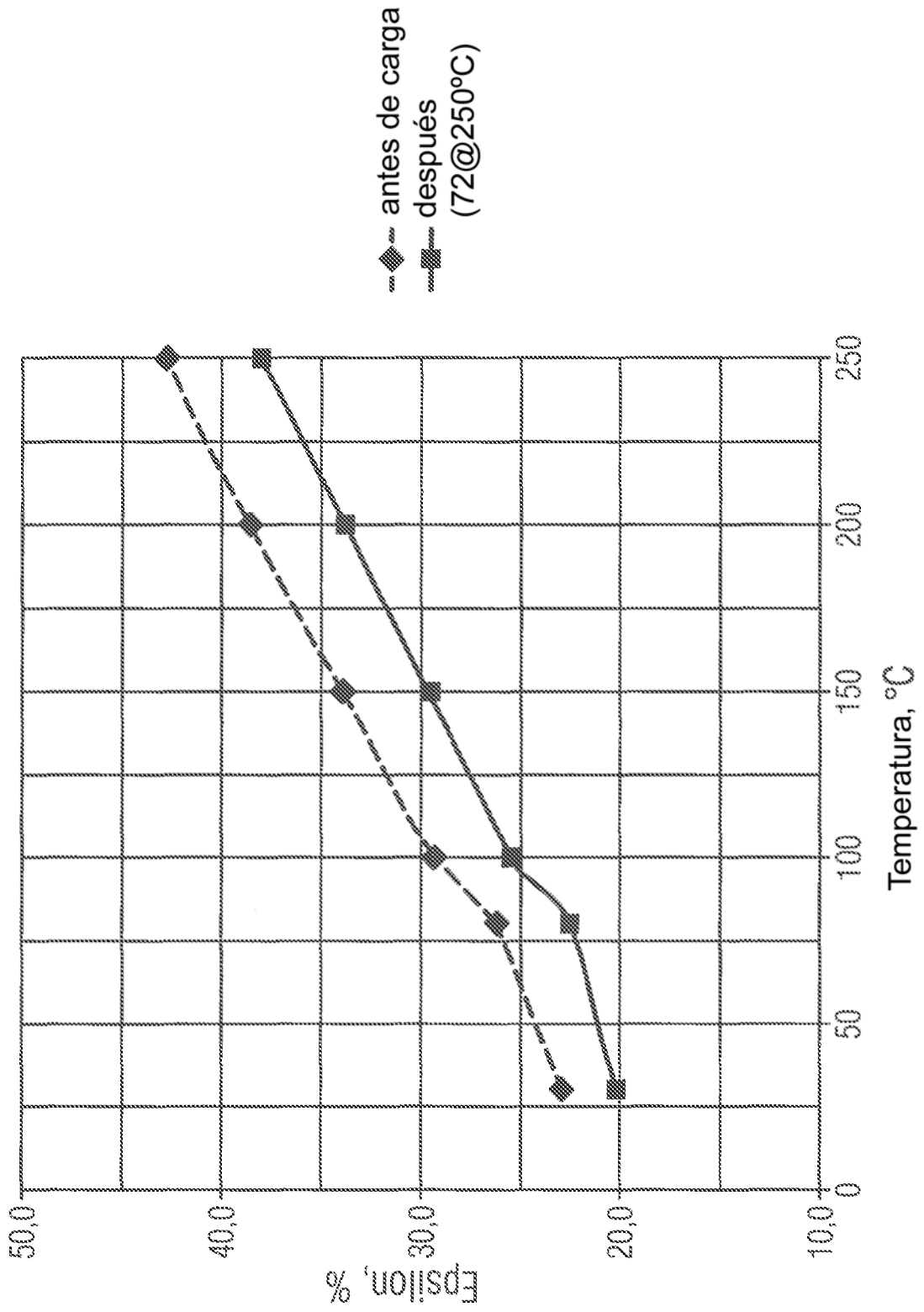


FIG. 10