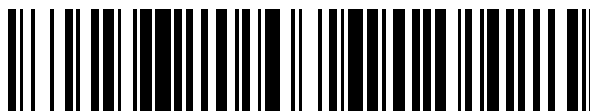


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 596 681**

51 Int. Cl.:

B21B 1/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2012** E 12199475 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2016** EP 2712685

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de un producto plano de acero con elevada capacidad de reflexión, producto plano de acero y elemento de espejo para concentradores solares**

30 Prioridad:

28.09.2012 DE 102012109287

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

11.01.2017

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG (50.0%)
Kaiser-Wilhelm-Strasse 100
47166 Duisburg, DE y
OUTOKUMPU NIROSTA GMBH (50.0%)**

72 Inventor/es:

**GLASS, ROMAN DR.;
KARSTEN, UTZ;
KAZMIERSKI, JÖRG;
KOLBE, NINA DR.;
KRAUTSCHICK, HANS- JOACHIM DIPL.PHYS.
DR. RER. NAT;
PULS, STEFAN PETER DR.;
SCHAUER-PASS, JANINE DR.;
SCHUHMACHER, BERND DR.;
WIEMER, DIRK DR. y
WÖRSTER, FRANK**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 596 681 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 para la fabricación de un producto plano de acero con elevada capacidad de reflexión, producto plano de acero y elemento de espejo para concentradores solares

5 La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de un producto plano de acero con una elevada capacidad de reflexión en la zona de radiación del sol, a un producto plano de acero creado correspondientemente y a un elemento de espejo para concentradores solares.

10 Cuando en el presente documento se habla de productos planos de acero, con ello se quiere decir, a menos que se indique de otro modo, cintas de acero o chapas de acero producidas a partir de acero al carbono, acero inoxidable o acero fino así como llantones, recortes y similares fabricados a partir de las mismas.

15 Los elementos de espejo en cuestión en el presente documento se emplean, por ejemplo, en la técnica termosolar para agrupar la luz solar que incide sobre los mismos y concentrar la misma en un tubo o similares que lleva a un medio caloportador. Mediante el empleo de estos denominados "concentradores solares" se puede conseguir una mayor eficiencia al aprovechar la energía solar. A este respecto, no sólo se plantea la exigencia de que los elementos de espejo presenten una capacidad óptima de reflexión en la zona de radiación de la luz solar, sino que tales elementos de espejo también deben ser robustos frente a los esfuerzos mecánicos que aparecen durante el uso y se deben poder producir de forma económica.

20 Los elementos de espejo en cuestión en el presente documento se aplican en la tecnología de centrales eléctricas tal como, por ejemplo, en centrales de canales parabólicos, de Fresnel, de Dish-Stirling y en torre. Todos estos sistemas tienen en común que se tiene que concentrar la radiación solar.

25 Actualmente, para concentradores solares se usan soportes de vidrio que por un lado tienen, aplicados por vaporización, plata, aluminio y otros constituyentes para la reflexión.

30 Como alternativa a esto, por ejemplo, por el documento US 5.912.777, se sabe que productos planos de acero que presentan incluso a temperaturas que ascienden a más de 500 °C todavía una elevada capacidad de reflexión se pueden producir al pulirse el respectivo sustrato de acero hasta que se haya alcanzado el reducido valor de rugosidad requerido para una elevada capacidad de reflexión.

35 Cuando en el presente documento se habla de "valor de rugosidad media aritmético Ra", con ello se quiere decir el valor determinado de acuerdo con la norma DIN EN ISO 4287. En una superficie de producto plano de acero pulida, el valor de rugosidad media aritmético Ra no presenta ninguna dirección preferente marcada. En lugar de esto, en la superficie del producto pulido se muestra una estructura superficial que está caracterizada por una orientación caótica de las huellas del mecanizado que se dejan tras el pulido.

40 La complejidad asociada al pulido de una superficie de producto plano de acero es considerable, ya que para esto no sólo se deben emplear máquinas preparadas de forma especial, sino que también se tiene que asumir una duración del mecanizado muy larga.

45 Por tanto, se han realizado distintos intentos para generar superficies de acero de alto brillo sin pulido. Así, por ejemplo, en el documento JP 7155809 A, el documento JP 199876109 A o el documento JP 1992340706 A, en cada caso, se ha propuesto laminar en frío las chapas mediante el uso de cilindros de trabajo pulidos con alto brillo, cuya rugosidad media Ra se encuentra en el intervalo de 0,01 - 0,06 µm. Sin embargo, los valores de superficie que se pueden generar por esta vía en un producto plano de acero alcanzan, en el mejor de los casos, realizaciones de Ra = 0,05 µm. Por norma general, el brillo y la capacidad de reflexión que ello conlleva de una superficie de tal naturaleza no son suficientes para cumplir las elevadas exigencias que actualmente se plantean a los elementos de espejo generados a partir de tales productos planos de acero.

50 Aparte del estado de la técnica que se ha explicado anteriormente, por el documento EP 0 694 620 A1 se conoce un procedimiento para la fabricación de una chapa de acero inoxidable con un brillo superficial excelente. A este respecto, en una o varias cajas de un laminador tándem se lleva a cabo un proceso de laminación en frío con un cilindro de trabajo que presenta un módulo de elasticidad que se encuentra entre 25.000 y 70.000 kg/mm². El cilindro de trabajo puede componerse de una aleación de metal duro basada en carburo de tungsteno y presentar un diámetro que asciende a 150 - 400 mm. El diámetro de un cilindro de trabajo en la última caja del tren en tándem debería ser menor o igual al diámetro de un cilindro de trabajo en el puesto precedente y la reducción del espesor conseguida en la última etapa de laminación en frío debe ascender a del 25 % al 60 %.

60 Además, por el documento DE 195 05 324 A1 se conoce un procedimiento con el que se pueden producir cintas de acero laminadas en frío, en particular cintas de acero fino, en un proceso continuo de tratamiento sin almacenamientos temporales de bobinas de forma económica de tal manera que presentan las propiedades requeridas en cada caso en relación con su planicidad, limpieza, rugosidad superficial y brillo. Para esto, este procedimiento conocido prevé que en la fabricación de cintas de acero laminadas en frío, una cinta de laminación en

caliente en un proceso continuo de tratamiento se enderece por flexión y estiramiento, se someta a chorreo de granalla a ambos lados y/o se cepille, se decape, se lamine en frío hasta el espesor final de cinta, se recueza bajo gas protector, se acabe y se enderece en plano. A esto le puede seguir un rebordeo, una separación y un enrollado hasta dar bobinas.

5 Por el documento US 3.556.874 A se conoce otro procedimiento con el que se pueden producir productos planos de acero fino con una naturaleza superficial ajustada de forma específica. Para esto, en primer lugar la respectiva cinta de acero fino se lamina en frío hasta el espesor deseado, ajustándose elevados grados de conformación para conseguir una superficie con elevado brillo. Después, la cinta de laminación en frío se somete a un recocido y, a
10 continuación de esto, a un acabado por laminación. Durante el acabado por laminación se emplean cilindros de trabajo cuyas superficies perimetrales que se ponen en contacto con la cinta de acero fino están estructuradas de tal manera que gofran en la superficie de la cinta de acero fino la estructura superficial deseada.

15 Por el documento US 5.986.205 A se conoce una chapa de acero inoxidable que está prevista como sustrato para una celda solar de semiconductor. La chapa de acero tiene pequeñas ondas con ondulaciones a lo largo de la dirección de laminación en la que se ha laminado la chapa de acero y una rugosidad superficial Rz en el intervalo de 0,3 - 1,4 μm así como un valor de R_{máx} de 0,5 - 1,7 μm . Para producir una chapa de este tipo se lamina en frío una cinta de acero inoxidable con una relación de reducción de al menos el 20 % con una velocidad de laminación de al menos 400 m/min. En la última etapa de la laminación en frío se usan cilindros de trabajo cuyas superficies están
20 pulidas con una determinada rugosidad minimizada. A continuación, la cinta obtenida se recuece en una atmósfera al aire y después se decapa electrolíticamente en una solución de ácido nítrico.

25 Por el documento EP 0 597 169 A1 se conoce, finalmente, un procedimiento para la laminación en frío de materiales de metal con el que se debe otorgar brillo a las superficies de una chapa de metal. Este procedimiento conocido comprende las etapas: laminación en frío de la chapa de metal mediante un procedimiento de laminación transversal con cilindros con un cilindro de trabajo superior y un cilindro de trabajo inferior que se cruzan entre sí en un plano de forma paralela con respecto a la chapa de metal para ejercer, por ello, una deformación de cizalla sobre las superficies de la chapa de metal en la dirección en anchura o transversal de la misma debido a una diferencia
30 relativa de velocidad en la dirección transversal de la chapa de metal que se genera entre las superficies de los cilindros de trabajo que se cruzan entre sí y la chapa de metal y dejar la influencia de la deformación por cizalla en la superficies de la chapa de metal después del proceso de laminación.

35 Ante el trasfondo del estado de la técnica que se ha explicado anteriormente, el objetivo de la invención consistía en indicar un procedimiento con el que fuese posible, de forma económica, generar un producto plano de acero que presente en el estado terminado de laminar, es decir, sin un mecanizado fino adicional tal como pulido o rectificando, una capacidad de reflexión que hiciese el producto plano de acero generado correspondientemente adecuado para la fabricación de concentradores solares u otras aplicaciones en las que se requiere una elevada capacidad de reflexión para luz solar. Así mismo se debía indicar un producto plano de acero creado correspondientemente y un uso particularmente rentable de un producto plano de acero de este tipo.

40 En relación con el procedimiento, la solución de acuerdo con la invención de este objetivo consiste en que en la fabricación de un producto plano de acero con una elevada capacidad de reflexión se recorren las etapas de trabajo indicadas en la reivindicación 1.

45 Un producto plano de acero de acuerdo con la invención que logra el objetivo que se ha mencionado anteriormente presenta las características indicadas en la reivindicación 10, cabiendo destacar que estas características están presentes en el producto plano de acero terminado de relaminado, es decir, ya no sometido a una mecanización fina mecánicamente. Para la fabricación de un producto plano de acero de este tipo es adecuado, en particular, el procedimiento de acuerdo con la invención

50 Se puede aprovechar de forma rentable óptimamente un producto plano de acero de acuerdo con la invención para la fabricación de concentradores solares, cabiendo destacar también en este caso que el uso de acuerdo con la invención del producto plano de acero de acuerdo con la invención se realiza en el estado terminado de relaminar, es decir, ya no mecanizado mecánicamente de forma adicional, en particular no pulido.

55 La invención parte del conocimiento de que una superficie de producto plano de acero presenta una reflexión muy dirigida cuando la correspondiente superficie presenta una rugosidad superficial extremadamente baja, cuya rugosidad media aritmética Ra es mucho menor que 0,1 μm .

60 Para generar una superficie tan lisa que alcanza elevados valores de brillo, la invención propone una estrategia de laminación que se puede llevar a cabo en cajas de laminación convencionales y que, a pesar de esto, conduce a un producto adecuado de manera óptima. A este respecto, el procedimiento de acuerdo con la invención es adecuado para el procesamiento de productos planos de acero de acero al carbono o acero inoxidable del mismo modo.

65 En la primera etapa de trabajo a) del procedimiento de acuerdo con la invención se facilita un producto plano de acero laminado en caliente o en frío de forma óptima de hasta 2,5 mm de espesor en el que al menos una de las

superficies presenta un valor de rugosidad media aritmético Ra de menos de 2,5 µm.

El material precursor de tal naturaleza, suministrado en particular como bobina, se lamina en frío a continuación en la etapa de trabajo b) teniendo en cuenta al menos las siguientes condiciones:

- 5
- La laminación en frío se realiza en varios pasos, es decir, en varias pasadas de laminación. La cantidad de las pasadas de laminación recorridas a este respecto se encuentra en función del espesor de partida y el espesor final en cada caso requerido. Normalmente, al llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención se requieren al menos diez pasadas de laminación, llevándose a cabo por lo general al menos doce pasadas de laminación.
- 10
- El índice de conformación total conseguido a través de la laminación en frío asciende al 75 - 90 %. Partiendo de un espesor de partida típico de, por ejemplo, 2,5 mm, el espesor de la cinta obtenida después de la laminación en frío, por consiguiente, se encuentra en el intervalo de 0,625 - 0,25 mm. A este respecto, los productos planos de acero previstos para la conformación hasta dar elementos de espejo para concentradores solares se laminan en frío de tal manera que tienen un espesor, por ejemplo, de hasta 0,4 mm en el estado terminado de laminar.
- 15
- El índice de conformación conseguido durante la laminación en frío disminuye de pasada de laminación a pasada de laminación. Por tanto, la laminación en frío comienza en la primera pasada de laminación con un elevado índice de conformación que asciende, en particular, al menos al 20 %. En cada posterior pasada de laminación se ajusta entonces un menor índice de conformación que en la respectivamente precedente. A este respecto, de forma óptima, el índice de conformación disminuye en cada caso el 5 - 10 % de pasada de laminación a pasada de laminación. Es decir, el índice de conformación en la respectiva pasada de laminación se corresponde con el 90 - 95 % del índice de conformación de la pasada de laminación anterior. En la última pasada de laminación, el producto plano de acero se lamina en frío entonces con el menor índice de conformación que asciende en particular a menos del 10 %.
- 20
- 25

A este respecto, el índice de conformación e conseguido en la respectiva pasada de laminación n se calcula del siguiente modo:

30

$$e_n [\%] = (D_e - D_a) / D_e$$

con D_e = espesor del producto plano de acero antes de la entrada en la pasada de laminación n y

35 D_a = espesor del producto plano de acero después de la respectiva pasada de laminación n

Por consiguiente, con la conformación total e_g se indica la diferencia conseguida a lo largo de todo el proceso de laminación entre el espesor D_e del producto plano de acero antes de la laminación en frío y el espesor D_a después de finalizar la laminación en frío en relación con el espesor D_a .

- 40
- La presión de laminación se ajusta dependiendo de la resistencia del material procesado de tal manera que asciende en la primera pasada de laminación a 200 - 800 MPa y en la última pasada de laminación a 1000 - 4000 MPa. Por ejemplo, con un índice de conformación total del 84 % en un producto plano de acero que está fabricado a partir de un acero con el número de material 1.4301, la presión de laminación en la primera pasada de laminación asciende a 400 MPa y en la última pasada de laminación, a 1600 MPa.
- 45
- La laminación en frío se realiza añadiendo un aceite de laminación cuya viscosidad asciende a 5 - 10 mm²/s a 40 °C.
- 50
- La velocidad de laminación durante la laminación en frío es mayor de 200 m/min. De este modo, durante la respectiva pasada de laminación en frío se conserva una película de aceite uniforme entre los cilindros de trabajo y el producto plano de acero.

Para otorgar al producto plano de acero la rugosidad superficial minimizada requerida, finalmente se lleva a cabo la laminación en frío al menos en la última pasada de laminación, de forma óptima en las cuatro últimas pasadas de laminación, con un cilindro de trabajo cuya superficie perimetral que se pone en contacto con el material de laminación presenta un valor de rugosidad media aritmético Ra que se encuentra por debajo del valor de rugosidad media requerido para la respectiva superficie del producto plano de acero, normalmente asciende a menos de 0,01 µm. A este respecto, se pueden reemplazar varias veces los cilindros de trabajo. Así, puede ser apropiado reemplazar los cilindros de trabajo en la penúltima y antepenúltima pasada por cilindros de trabajo preparados especialmente con un valor de rugosidad medio Ra de ≤ 0,01 µm. El valor de rugosidad media aritmético Ra de los cilindros de trabajo empleados antes del cambio de los cilindros se puede encontrar, por ejemplo, en alrededor de 0,08 µm o por debajo.

65 En la práctica se puede llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención en una caja convencional de 20 rodillos.

En la etapa de trabajo c), la cinta de laminación en frío obtenida se somete, para el ablandamiento, a un tratamiento de recocido de cinta de laminación en frío que se lleva a cabo, por ejemplo, en una instalación convencional de recocido brillante. A este respecto, el recocido se realiza en una atmósfera de gas protector con una parte de hidrógeno de más del 50 % en volumen. En el caso de que el producto plano de acero esté compuesto de un acero inoxidable que presenta un contenido de Cr de más del 10,5 % en peso, a este respecto, la relación de presión parcial de vapor de agua a hidrógeno debería ascender a $p(\text{H}_2\text{O})/P(\text{H}_2) < 10^{-4}$, mientras que con un contenido de Cr del acero de hasta el 10,5 % en peso es suficiente una relación de presión parcial $(\text{H}_2\text{O})/P(\text{H}_2) < 10^{-3}$.

En la etapa de trabajo d), el producto plano de acero recocido y laminado en frío de acuerdo con la invención se relamina, por ejemplo, en un laminador dúo en una o varias, en particular dos pasadas de laminación. El grado de conformación conseguido durante esta relaminación asciende al 0,5 - 2 %. Tal como habitualmente, la relaminación sirve para eliminar un límite de estiramiento marcado que existe después del tratamiento de recocido y que puede causar las denominadas "líneas de Lüder". A este respecto, la relaminación se realiza en seco para conseguir este efecto con los reducidos grados de conformación. Los cilindros dúo están pre-rectificados y presentan en su superficie que se pone en contacto con el material de laminación, normalmente, un valor de rugosidad media aritmético Ra de menos de 0,03 μm .

El producto plano de acero laminado en frío de la forma de acuerdo con la invención posee, como tal, en el estado terminado de relaminar en al menos una de sus superficies un valor de rugosidad media aritmético Ra de menos de 0,03 μm , en particular menos de 0,02 μm . A este respecto, una característica esencial de un producto plano de acero de acuerdo con la invención es que el valor de rugosidad medio Ra presenta una dirección preferente marcada que está orientada en paralelo con respecto a la dirección de laminación de la laminación en frío. Así, en un producto plano de acero terminado de relaminar de acuerdo con la invención se pueden identificar inequívocamente las direcciones de laminación mediante tomas de topografía.

Sorprendentemente se ha mostrado que se puede generar con la invención un producto plano de acero que posee ya después de la relaminación un brillo establecido según la norma DIN 67530 de más de 1.200 unidades de brillo y una reflexión rígida de más del 60 %, consiguiéndose en la práctica, por lo general, una reflexión dirigida de más del 80 %, en particular más del 90 %. Los productos planos de acero de acuerdo con la invención presentan, por tanto, una capacidad de reflexión que es al menos igual a la capacidad de reflexión de productos planos de acero generados de forma convencional y pulidos.

Otra diferencia significativa entre un producto plano de acero de acuerdo con la invención y un producto plano de acero laminado en frío de forma convencional y pulido a continuación consiste en que la superficie pulida del producto plano de acero es, inequívocamente, más dura que la superficie de un producto plano de acero de acuerdo con la invención. Así, los productos planos de acero de acuerdo con la invención presentan en su superficie reflectante, normalmente, una dureza superficial de menos de 4 GPa, en particular menos de 3,5 GPa. Esta mayor superficie de productos planos de acero pulidos de forma convencional se puede explicar con una solidificación en frío causada por el proceso de pulido de la superficie, ya que el pulido no tiene lugar hasta después del recocido de recristalización.

Para aumentar adicionalmente la capacidad de reflexión se puede aplicar sobre el producto plano de acero generado y creado de acuerdo con la invención un sistema de capas reflectante.

La aplicación del revestimiento se puede aplicar, por ejemplo, mediante procedimientos de metalización al vacío, en particular en procedimientos de revestimiento de paso continuo. A este respecto, el revestimiento se compone de al menos una capa reflectante que se compone, por ejemplo, de uno o varios de los elementos "Al, Ag, Sn". Así, la chapa se puede revestir con una aleación de Al-Ag, con Sn, con una aleación de Sn-Al o una aleación de Sn-Ag. Como procedimientos de aplicación por vaporización se pueden aplicar procesos de PVD, bombardeo con magnetrón, vaporización de haz de electrones y similares.

Para proteger la superficie que sirve de área de reflexión del producto plano de acero creado de acuerdo con la invención en caso necesario con estabilidad a largo plazo frente a la corrosión, como alternativa o de forma complementaria a un revestimiento que aumenta la capacidad de reflexión se puede aplicar un revestimiento orgánico o inorgánico sobre el producto plano de acero ("capa superior").

Como revestimientos inorgánicos con efecto de barrera se pueden emplear, por ejemplo, SnO_2 , In_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , aunque también sistemas de capas amorfos tales como vidrios compuestos, por ejemplo, por vidrios de borosilicato $\text{SiO}_2/\text{B}_2\text{O}_3$, vidrios de silicofosfato $\text{SiO}_2/\text{P}_2\text{O}_5$ o vidrios de borofosfato $\text{B}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5$. También aquí se puede realizar la aplicación mediante procedimientos de PVD, preferentemente mediante bombardeo o deposición de capa atómica, pero también mediante procedimientos de química húmeda, tal como el revestimiento de Sol-Gel mediante revestimiento por rotación (*spin*) o por inmersión (*dip*).

Así mismo, se consideran como capas de protección sistemas de vidrio *spin-on* como capa superior, en los que se aplican compuestos de organosilicio u organoboro en primer lugar mediante revestimiento *spin* o *dip* y después, en un ciclo posterior, se descompone térmicamente hasta dar capas densas de vidrio. Este procedimiento ofrece

ventajas en un revestimiento potencial continuo mediante revestimiento de bobina.

Además, pueden ser adecuados también sistemas de capas híbridos tales como capas de Si:O:C:H (polímeros de plasma), que se pueden aplicar mediante procedimientos de CVD.

5 Los sistemas de capas de capa superior orgánicos que están compuestos por barnices transparentes ofrecen, así mismo, la posibilidad de un revestimiento continuo.

10 La capa superior creada y aplicada de la forma que se ha descrito anteriormente protege no sólo frente a la corrosión, sino al mismo tiempo frente a desgaste por abrasión.

A continuación se explica con mayor detalle la invención mediante ejemplos de realización. Muestran:

15 la Figura 1, un diagrama en el que para tres muestras de producto plano de acero está aplicada la reflexión dirigida en el intervalo espectral solar a lo largo de la longitud de onda;

la Figura 2, la topografía de superficie de una muestra de producto plano de acero laminado de acuerdo con la invención;

20 la Figura 3, la topografía de superficie de una muestra de producto plano de acero pulido;

la Figura 4, un diagrama en el que para una muestra de producto plano de acero laminado en frío de acuerdo con la invención está aplicada la reflexión dirigida en el intervalo espectral solar a lo largo de la longitud de onda en el estado laminado en frío puro y después de la aplicación de un revestimiento;

25 la Figura 5, un diagrama en el que está representado, esquemáticamente, el plan de pasadas de la laminación en frío atravesada durante la generación de productos planos de acero de acuerdo con la invención.

30 Para la generación de un producto plano de acero presente como cinta de acero, destinado a la fabricación de elementos de espejo para un concentrador solar, se ha empleado un material precursor en forma de bobina en cuyo caso se trataba de una cinta de laminación en caliente desoxidada, laminada en caliente. El material precursor de 2,5 mm de espesor estaba compuesto de un acero normalizado con el número de material 1.4301 y tenía un valor de rugosidad media aritmético Ra determinado de acuerdo con la norma DIN EN ISO 4287 de menos de 2,4 µm.

35 El material precursor se ha laminado en una caja de 20 rodillos en doce pasos hasta un espesor final de 0,4 mm. La conformación total eg conseguida a través de la laminación en frío ascendía, por consiguiente, a $eg = (2,4-2)/2,4 = 83 \%$.

40 En la primera pasada de laminación se laminó con una deformación e_1 de más del 20 %. En las once pasadas de laminación llevadas a cabo a continuación, la conformación se redujo de pasada a pasada relativamente entre el 5 % y el 10 % de tal manera que en la última pasada de laminación de la laminación en frío se laminó con una conformación e_{12} de menos del 10 % (Figura 5).

45 Los cilindros de trabajo en las ocho primeras pasadas de laminación tenían, en su superficie perimetral que se ponía en contacto con el producto plano de acero que se debía laminar en frío, un valor de rugosidad media aritmético Ra de 80 nm. Para la novena, décima, undécima y duodécima pasada de laminación, los cilindros de trabajo de la caja de 20 rodillos se reemplazaron por cilindros de trabajo preparados especialmente, cuyo valor de rugosidad media aritmético Ra era menor de 10 nm.

50 La presión de laminación ascendió como promedio a 1600 MPa durante las doce pasadas de laminación en frío.

55 Cada una de las etapas de laminación en frío se llevó a cabo con adición de un aceite de laminación cuya viscosidad ascendía a 8 mm²/s a 40 °C. Para conservar una película de aceite suficiente entre los cilindros de trabajo y el producto plano de acero se laminó con una velocidad de laminación de más de 200 m/min.

60 El producto plano de acero laminado en frío obtenido de este modo se sometió en una instalación de recocido de acero en bruto en atmósfera de gas protector con una parte de hidrógeno mayor al 50 % a un tratamiento de recocido de cinta de laminación en frío, siendo la relación de presión parcial de vapor de agua a hidrógeno $p(H_2O)/p(H_2)$ era menor de 10⁻⁴.

65 Finalmente, la cinta de laminación en frío recocida se relaminó en un laminador dúo en dos pasadas con una fuerza de laminación de 150 t en seco, es decir, sin aceite o emulsión de laminación. Los cilindros dúo tenían, en sus superficies perimetrales que se ponían en contacto con el producto plano de acero, un valor de rugosidad media aritmético Ra de 20 nm.

En la Tabla 1, para dos muestras de producto plano de acero, E1, E2 de acuerdo con la invención, procesadas de la anterior forma, están indicados los valores de rugosidad establecidos mediante microscopía de fuerza atómica, los valores de rugosidad establecidos mediante interferometría de luz blanca y la reflexión dirigida en el estado obtenido tras la relaminación. Así mismo, en la Tabla 1 están indicados para la comparación los valores correspondientes para una muestra comparativa V generada de forma convencional y pulida en su superficie examinada.

Tabla 1

	Rugosidad Ra [μm]	Rugosidad Ra [μm]	Reflexión dirigida
	Interferometría de luz blanca	Microscopía de fuerza atómica	Sin revestimiento
E1	0,023	0,012	63,3
E2	0,015	0,012	64,4
V	-	0,004	65,4

El resultado de la medición de la reflexión dirigida en el intervalo espectral solar está mostrado en particular en la Figura 1 (muestra E1: línea continua, muestra E2: línea discontinua, muestra comparativa V: línea continua). Se muestra que las muestras generadas de acuerdo con la invención poseen ya tras la relaminación en el estado no pulido laminado en frío una capacidad de reflexión que en esencia es igual a la capacidad de reflexión de la muestra comparativa generada con una complejidad considerablemente mayor en primer lugar mediante técnica de laminación y después pulida.

Se pudieron constatar claras diferencias entre los productos planos de acero laminados de acuerdo con la invención y la muestra pulida con alto brillo a la que se había recurrido para la comparación en relación con la rugosidad. Mediante tomas de topografía (véase la Figura 2) se pueden identificar inequívocamente las direcciones de laminación en las que se ha laminado en frío el respectivo producto plano de acero. Así, en la Figura 2 se puede comprobar inequívocamente una dirección preferente de la rugosidad caracterizada por una configuración en forma de línea. En la muestra V pulida a la que se ha recurrido para la comparación, por el contrario, no existe una dirección preferente de este tipo (Figura 3).

Para examinar cómo se puede aumentar adicionalmente la capacidad de reflexión de las muestras de producto plano de acero generadas de acuerdo con la invención mediante aplicación de un revestimiento, la muestra de producto plano de acero E1 de acuerdo con la invención se ha provisto de una capa de plata de 90 - 100 nm de espesor mediante vaporización de haz de electrones. Gracias a este revestimiento aumentó la reflexión dirigida en el intervalo espectral solar a aproximadamente el 93 % y, por tanto, alcanza el orden de magnitudes de espejos de vidrio convencionales. En la Figura 4 está representada la capacidad de reflexión de la muestra E1 de acuerdo con la invención antes del revestimiento mediante una línea discontinua, mientras que la capacidad de reflexión después del revestimiento está reproducida mediante una línea continua.

Finalmente se ha examinado todavía en una medición de nanoindentador la dureza de las superficies reflectantes de las muestras E1, E2 y V. Aquí se mostró una dureza inequívocamente mayor en la muestra comparativa pulida. Los resultados de las mediciones están resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2

Muestra	Dureza [GPa]	Módulo de elasticidad reducido [GPa]
E1	3,8 +/- 0,6	179 +/- 26
E2	3,6 +/- 0,3	171 +/- 15
V	5,0 +/- 0,2	202 +/- 8

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de un producto plano de acero con elevada capacidad de reflexión en el que al menos una superficie presenta un valor de rugosidad media aritmético Ra de menos de 0,03 μm , que comprende las siguientes etapas de trabajo:
- 5
- a) facilitar un producto plano de acero en el que al menos una de las superficies presenta un valor de rugosidad media aritmético Ra de menos de 2,5 μm ;
- 10 b) laminación en frío que se realiza en varias pasadas de laminación del producto plano de acero,
- ascendiendo el índice de conformación total conseguido a través de la laminación en frío al 75 - 90 %,
- disminuyendo el índice de conformación de pasada de laminación a pasada de laminación;
- ascendiendo la presión de laminación en la primera pasada de laminación a 200 - 800 MPa y la presión de laminación en la última pasada de laminación a 1000 - 4000 MPa;
- 15 - realizándose la laminación en frío con adición de un aceite de laminación cuya viscosidad asciende a 5 - 10 mm^2/s a 40 °C;
- siendo la velocidad de laminación durante la laminación en frío mayor de 200 m/min;
- realizándose la laminación en frío al menos en la última pasada de laminación con un cilindro de trabajo cuya superficie perimetral que entra en contacto con el material de laminación presenta un valor de rugosidad media aritmético Ra de menos de 0,01 μm ;
- 20
- c) recocido del producto plano de acero laminado en frío obtenido, en una atmósfera de gas protector con un contenido de hidrógeno de más del 50 % en volumen;
- 25 y
- d) relaminación que se realiza en seco del producto plano de acero recocido con un grado de relaminación del 0,5 - 2 %;
- e) opcionalmente, revestimiento que se realiza después de la relaminación del producto plano de acero, que se encuentra en el estado relaminado, con un revestimiento reflectante.
- 30 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el espesor del producto plano de acero facilitado en la etapa de trabajo a) asciende como máximo a 2,5 mm.
3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el espesor del producto plano de acero obtenido después de la laminación en frío asciende como máximo a 0,4 mm.
- 35 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la laminación en frío en la etapa de trabajo b) se lleva a cabo en al menos diez pasos.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la etapa de trabajo b) disminuye el índice de conformación de pasada de laminación a pasada de laminación, en cada caso, un 5 - 10 %.
- 40 6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la etapa de trabajo b) el índice de conformación en la primera pasada de laminación de la laminación en frío asciende al menos al 20 %.
- 45 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la etapa de trabajo b) el índice de conformación en la última pasada de laminación de la laminación en frío asciende a menos del 10 %.
- 50 8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la etapa de trabajo d) la relaminación se realiza con un cilindro de trabajo, cuya superficie que entra en contacto con el material de laminación presenta un valor de rugosidad media aritmético Ra de menos de 0,03 μm .
- 55 9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** en la etapa de trabajo e) llevada a cabo opcionalmente se aplica el revestimiento sobre el producto plano de acero mediante un procedimiento de aplicación por vaporización al vacío.
- 60 10. Producto plano de acero con elevada capacidad de reflexión, que presenta en el estado terminado de relaminado en al menos una de sus superficies
- un valor de rugosidad media aritmético Ra de menos de 0,03 μm con una dirección preferente dirigida en paralelo con respecto a la dirección de laminación de la laminación en frío,
- un brillo determinado según la norma DIN 67530 de > 1.200 unidades de brillo y
- 65 - una reflexión dirigida de > 60 %.

11. Producto plano de acero de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado por que** posee en la al menos una superficie un valor de rugosidad media aritmético de menos de 0,02 μm .
- 5 12. Producto plano de acero de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizado por que** presenta en la al menos una superficie una dureza superficial de < 4 GPa.
13. Producto plano de acero de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se ha fabricado mediante aplicación del procedimiento configurado de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9.
- 10 14. Producto plano de acero de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado por que** se ha fabricado a partir de un acero inoxidable con un contenido de Cr de al menos el 10,5 % en peso.
- 15 15. Elemento de espejo para concentradores solares, fabricado a partir de un producto plano de acero configurado de acuerdo con una de las reivindicaciones 11 a 14.

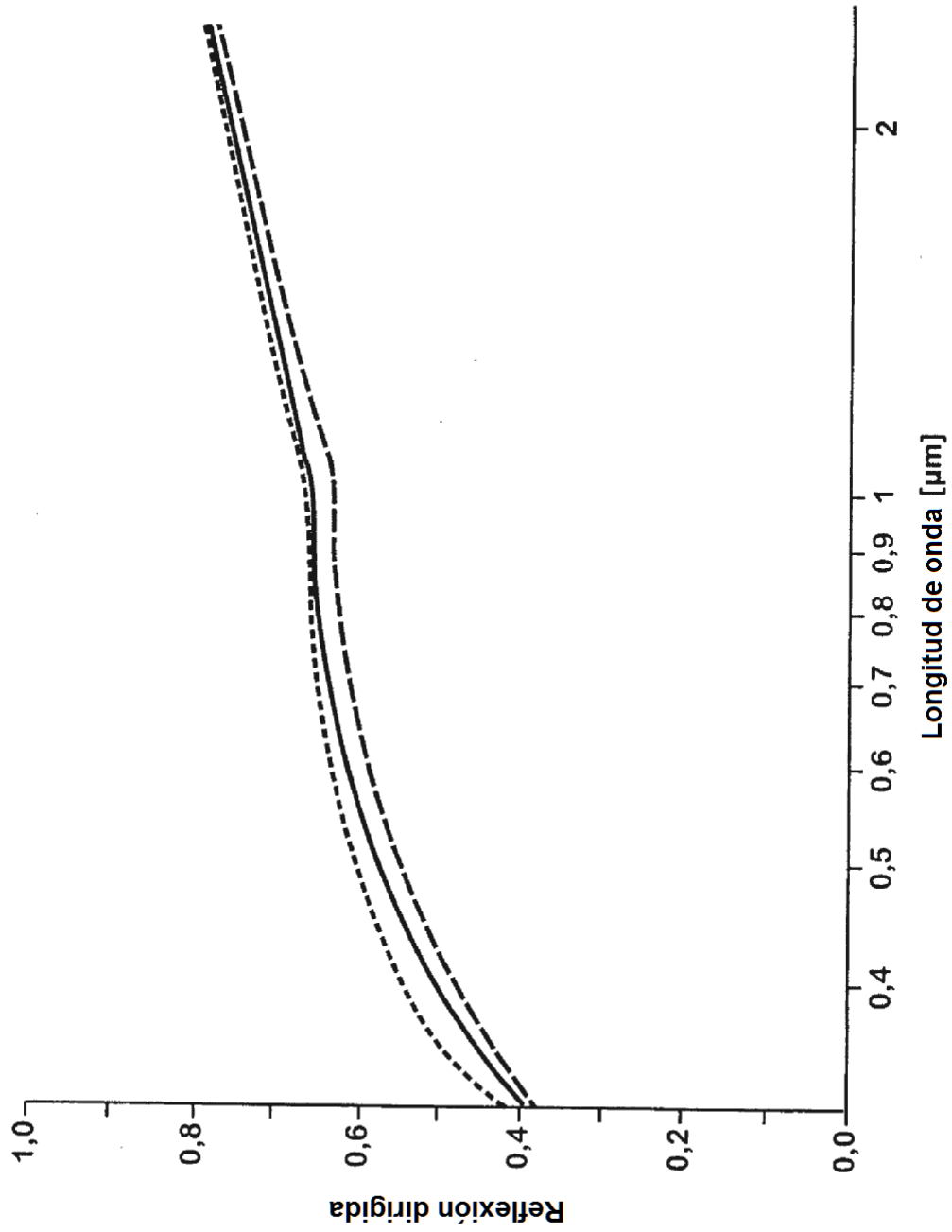


Fig. 1

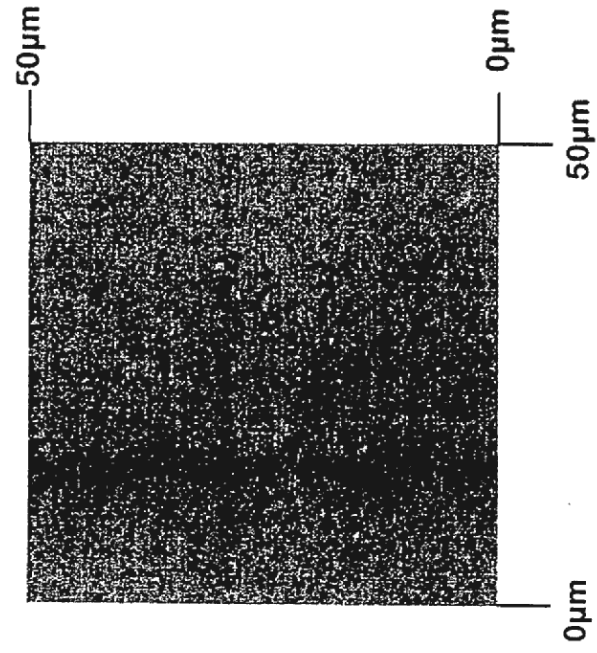


Fig. 3

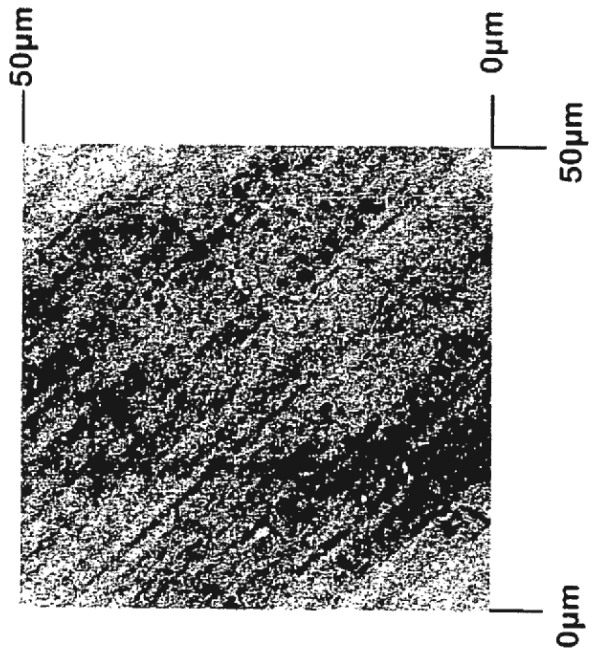


Fig. 2

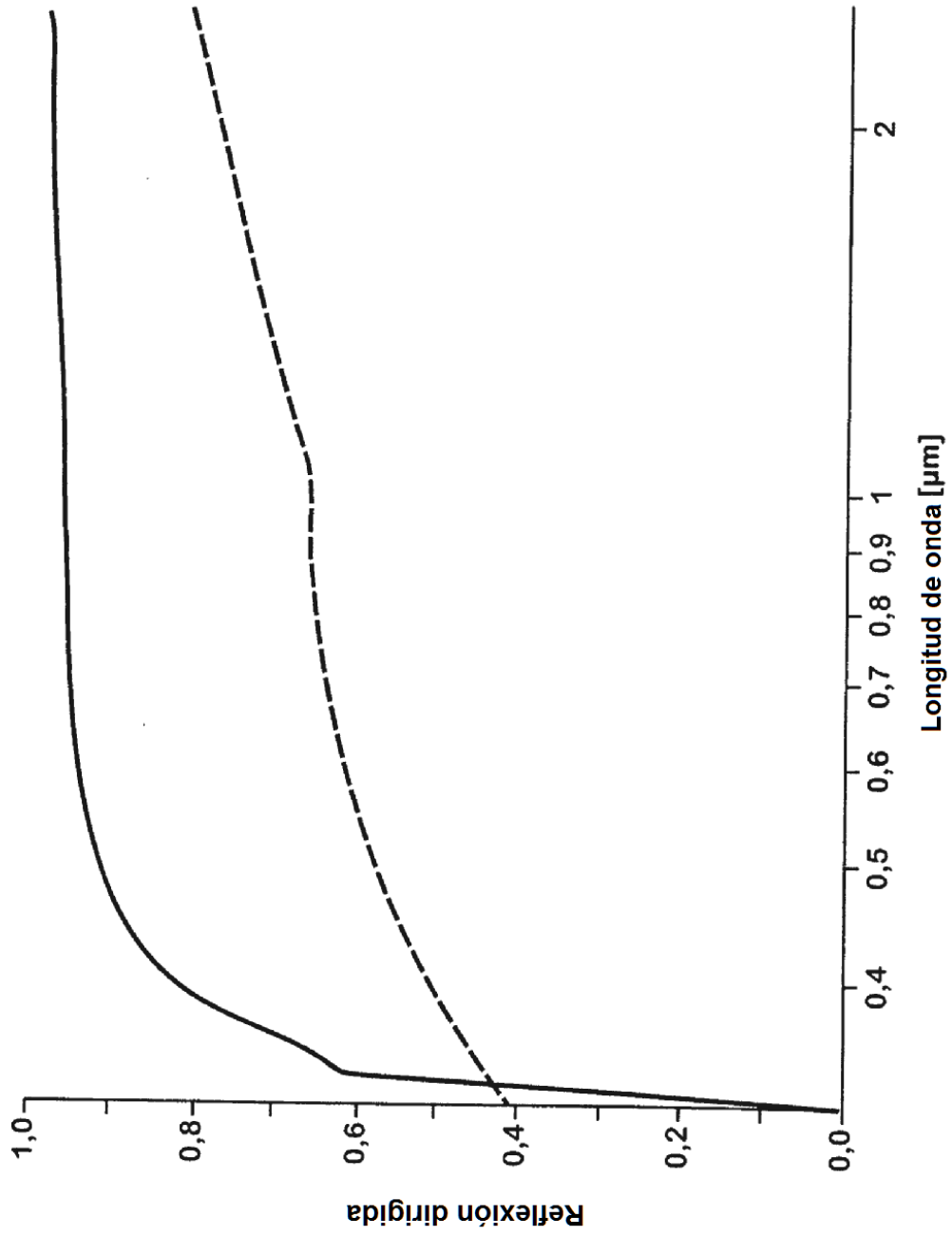


Fig. 4

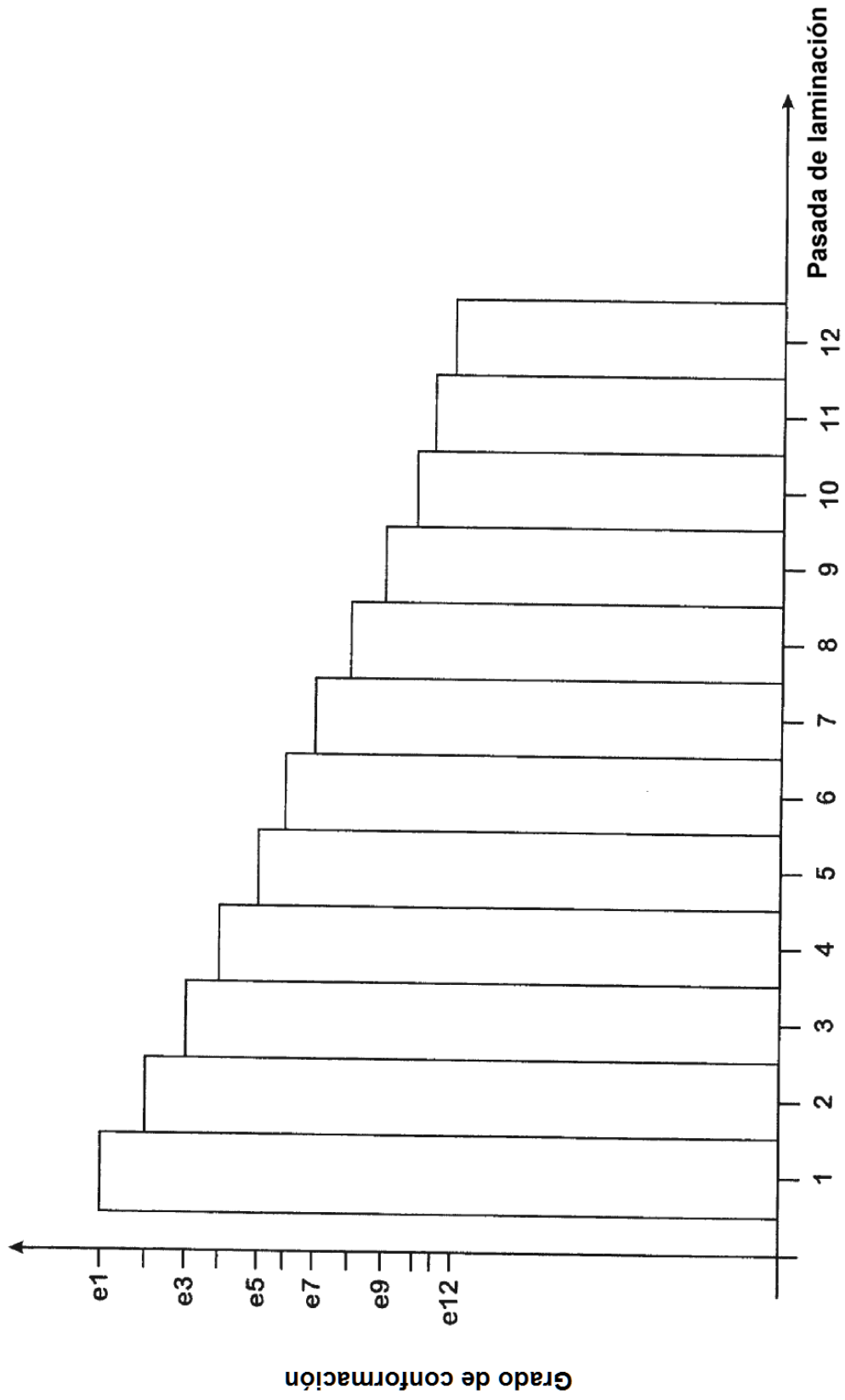


Fig. 5