

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 026 711**

51 Int. Cl.:

G01B 11/06 (2006.01)
G01J 3/18 (2006.01)
G01J 3/02 (2006.01)
G01N 21/84 (2006.01)
G01N 21/95 (2006.01)
G01N 21/89 (2006.01)
G01N 21/952 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.07.2018** **PCT/US2018/041541**
87 Fecha y número de publicación internacional: **17.01.2019** **WO19014289**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.07.2018** **E 18831626 (9)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.04.2025** **EP 3652498**

54 Título: **Procedimientos y sistemas para la medición en tiempo real, en proceso, de recubrimientos sobre sustratos metálicos mediante el uso de sistemas ópticos**

30 Prioridad:

12.07.2017 US 201762531484 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.06.2025

73 Titular/es:

SENSORY ANALYTICS, LLC (100.00%)
405 Pomona Drive
Greensboro, NC 27407, US

72 Inventor/es:

KOMARAGIRI, VIVEK C. y
FRISBY, GREG

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 3 026 711 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

Procedimientos y sistemas para la medición en tiempo real, en proceso, de recubrimientos sobre sustratos metálicos mediante el uso de sistemas ópticos

Referencia cruzada a las solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica la prioridad de La solicitud de patente provisional de los Estados Unidos núm. 62/531,484 titulada "Methods and Systems for Real-Time, In-Process Measurement of Coatings on Metal Substrates Using Optical Systems" presentada el 12 de julio de 2017.

Antecedentes de la descripción

La presente descripción generalmente se refiere a procedimientos y sistemas para medir el grosor de recubrimientos transparentes y pigmentados aplicados sobre diversos sustratos metálicos, más específicamente adaptados a los productos de la industria de recubrimiento en bobinas. Las realizaciones incluyen procedimientos y sistemas para la medición en tiempo real, en el proceso, del grosor de recubrimiento de imprimación y/o capa superior aplicada, y más particularmente procedimientos y sistemas para la medición en tiempo real, en el proceso, del grosor de recubrimiento de una combinación de una o más capas sobre un sustrato estático o en movimiento.

En la industria del recubrimiento de bobinas, la mayoría de los productos se fabrican mediante la aplicación de una o dos o más capas de recubrimientos pigmentados aplicados en ambos lados de una bobina de metal. Estos productos recubiertos pueden usarse en una amplia gama de industrias, tales como construcción, automotriz, aeroespacial, electrodomésticos, etc. El recubrimiento se aplica sobre un sustrato de metal a una velocidad relativamente alta de aproximadamente 500 a 1.000 pies por minuto. Existen varias técnicas alternativas para medir el grosor del recubrimiento en una inspección fuera de línea, pero no existen procedimientos de contacto o no destructivos, no radiactivos para medir el grosor de la pintura en tiempo real en el sustrato de metal en movimiento durante el proceso de recubrimiento. La técnica ampliamente usada actualmente para medir el grosor, y de esta manera controlar la calidad, es un procedimiento de inspección destructiva fuera de línea que mide el grosor del recubrimiento de aproximadamente un área de 1 mm² en una bobina que tiene un área de varios miles de metros cuadrados. En este procedimiento, se supone simplemente que el grosor del recubrimiento en el resto de la bobina es similar o idéntico al área de muestra medida. Los procedimientos actuales son lentos y proporcionan muy pocos datos significativos para las mejoras del control de calidad y del proceso. Otros procedimientos alternativos incluyen mediciones lentas y tediosas del peso de la pintura en base al despojado del recubrimiento sobre un área superficial elegida con la diferencia de pesos antes y después de que se retire el recubrimiento, lo que proporciona el peso del recubrimiento sobre un área.

El proceso de recubrimiento de bobinas generalmente implica múltiples capas de recubrimiento que comienzan con un pretratamiento seguido de una imprimación y un recubrimiento superior. Es importante monitorear continuamente el recubrimiento aplicado con precisión, ya que cualquier aplicación insuficiente del recubrimiento generalmente da como resultado un rendimiento deficiente del producto y los costos de reparación o reemplazo de bobinas recubiertas aplicadas insuficientemente son sustanciales. Actualmente no existen herramientas confiables para medir con precisión el grosor de estos recubrimientos en tiempo real directamente en la bobina de metal misma durante el proceso de recubrimiento. Las capas de imprimación y de acabado suelen estar pigmentadas y la mayoría de las herramientas ópticas se limitan a medir recubrimientos transparentes o ligeramente pigmentados y, aun eso, se limita a mediciones fuera de línea en la mayoría de los casos. Los únicos procedimientos alternativos para medir el grosor del recubrimiento en tiempo real implican mediciones indirectas de la pintura en el aplicador de recubrimiento en lugar de mediciones directas de la bobina recubierta en sí misma. En el mejor de los casos, las mediciones indirectas del aplicador de recubrimiento son aproximaciones de los recubrimientos que eventualmente pueden transferirse a la bobina de metal. Además, aunque existen varias herramientas y técnicas de medición óptica que pueden medir el grosor de las capas transparentes o semitransparentes, no existen herramientas o tecnologías existentes que puedan medir directamente el grosor de las capas fuertemente pigmentadas (con un nivel de pigmentación del 40 % o más) en bobinas de metal de cualquier variedad hasta 75 micras. El documento US 7365860 B2 (en adelante denominado "D1") analiza un sistema que incluye un monitor de grosor de recubrimiento que determina de manera no destructiva el grosor de recubrimiento en un producto, mientras que al mismo tiempo tiene la capacidad de controlar el sistema de anodizado. El sistema D1 permite la determinación del grosor de un recubrimiento anodizado mediante un monitor de grosor de recubrimiento incluye al menos uno de usar un color, usar un patrón de interferencia, usar una cantidad de radiación absorbida, usar una relación de intensidades de una longitud de onda de radiación reflejada mínima y una longitud de onda de radiación reflejada máxima, y usar una Transformada Rápida de Fourier (FFT) de la radiación capturada. El documento US 7304744 B1 (en adelante denominado "D2") analiza un aparato y un procedimiento de medición del grosor de película delgada que puede medir el grosor de una película delgada cultivada de un sustrato inmediatamente después del crecimiento de la película. El aparato de medición del grosor de película delgada descrito en D2 incluye fibras ópticas para dirigir la luz desde una fuente de luz sustancialmente perpendicular a un sustrato y para recibir la luz reflejada desde el sustrato, y un obturador para bloquear selectivamente la luz reflejada recibida por al menos una de las fibras ópticas. El documento US 6111634 A (en adelante denominado "D3") analiza un procedimiento y aparato para el monitoreo in situ del grosor mediante el uso de un espectrómetro de múltiples

longitudes de onda durante el pulido químico mecánico (CMP) de un sustrato mediante el uso de una herramienta de pulido y un monitor de grosor de película. El monitor de grosor de película enseñado en D3 incluye un espectrómetro de múltiples longitudes de onda que responde a dos longitudes de onda de radiación óptica reflejada desde un sustrato a través de un canal de monitoreo durante una operación de pulido para proporcionar una indicación del grosor de una película transportada por el sustrato.

Por lo tanto, persiste la necesidad de procedimientos y sistemas para la medición óptica directa de recubrimientos pigmentados en bobinas de metal estáticas o en movimiento en tiempo real.

Sumario de la invención

La presente invención se refiere a la medición y el monitoreo del grosor de recubrimiento preciso de recubrimientos fuertemente pigmentados sobre sustratos metálicos tales como aluminio y acero con pretratamiento mediante el uso de los espectros de reflectancia que se obtienen mediante el uso de un sistema óptico de amplio intervalo espectral con detector de matriz cuando el grosor del recubrimiento está entre 1 y 75 micras. El grosor medido podría ser una sola capa de recubrimiento pigmentado, múltiples recubrimientos pigmentados o una combinación de recubrimientos transparentes y pigmentados en metales. La presente invención se refiere a medir específicamente el grosor de la imprimación y la capa superior en tiempo real a velocidades de línea de producción en uno o ambos lados de la bobina simultáneamente.

En una realización, la presente invención proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1.

En otra realización, la presente invención proporciona un sistema de acuerdo con la reivindicación 8.

En aún otra realización, las ondas de luz de longitudes de onda variables pueden estar entre aproximadamente 1.000 nm y aproximadamente 2.500 nm.

En otra realización más, la fuente de luz puede ser parte de un cable de fibra óptica bifurcado.

En otra realización más, el colector de luz puede ser parte de un cable de fibra óptica bifurcado.

En otra realización más, la rejilla puede coincidir con la respuesta espectral en un intervalo de longitud de onda específico adecuado para la muestra.

En aún otra realización, la frecuencia de la curva espectral de reflectancia resultante puede ser directamente proporcional al grosor del recubrimiento.

En otra realización más, un aplicador de recubrimiento en comunicación con el procesador puede configurarse para recibir el grosor calculado del recubrimiento y ajustar la cantidad de recubrimiento aplicado al sustrato en tiempo real.

Breve descripción de las Figuras

Estos y otros objetos, características y rasgos serán más evidentes para los expertos en la técnica a partir de un estudio de la siguiente Descripción Detallada junto con las reivindicaciones y Figuras adjuntas, todos los cuales forman parte de esta descripción. Si bien las Figuras acompañantes incluyen ilustraciones de varias realizaciones, las Figuras no pretenden limitar la materia reivindicada.

La Figura 1 es un diagrama de una línea de recubrimiento de bobinas de la técnica anterior.

La Figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema para medir el grosor de los recubrimientos sobre sustratos metálicos de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 3 es un diagrama de un módulo de detección de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento para medir el grosor de los recubrimientos sobre sustratos metálicos de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 5 es un gráfico de la respuesta espectral de una fuente de luz de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción detallada

La presente descripción de la invención se presenta con suficientes detalles para proporcionar una comprensión de una o más realizaciones particulares de materias inventivas más amplias. Las descripciones se exponen y ejemplifican características particulares de esas realizaciones particulares sin limitar las materias inventivas a las realizaciones y características descritas explícitamente. Las consideraciones en vista de estas descripciones probablemente darán lugar a realizaciones y características adicionales y similares sin apartarse del alcance de la presente descripción. El alcance de la invención se define por las reivindicaciones.

A menos que se defina de cualquier otra manera, todos los términos técnicos y científicos usados en la presente descripción tienen el mismo significado que el que se entiende comúnmente por un experto en la técnica a la que se refiere la materia de la presente descripción. Aunque cualquier procedimiento, dispositivo y material similar o equivalente a los descritos en la presente descripción pueden usarse en la práctica o prueba de la materia de la presente descripción, ahora se describen procedimientos, dispositivos y materiales representativos.

De acuerdo con la convención de la ley de patentes de larga data, los términos "un", "una" y "el/la" se refieren a "uno o más" cuando se usan en la descripción de la invención, incluidas las reivindicaciones. Por lo tanto, por ejemplo, la referencia a "una fuente de luz" puede incluir una pluralidad de tales fuentes de luz, etcétera.

A menos que se indique de cualquier otra manera, todos los números que expresan cantidades de componentes, condiciones, etcétera usados en la descripción y reivindicaciones deben entenderse como modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". En consecuencia, a menos que se indique lo contrario, los parámetros numéricos establecidos en la presente descripción y reivindicaciones adjuntas son aproximaciones que pueden variar en dependencia de las propiedades deseadas que se buscan obtener mediante la materia presentada.

Como se usa en la presente, el término "aproximadamente", cuando se refiere a un valor o a una cantidad de masa, peso, tiempo, volumen, concentración y/o porcentaje puede abarcar variaciones de, en algunas realizaciones +/-20 %, en algunas realizaciones, +/-10 %, en algunas realizaciones +/-5 %, en algunas realizaciones +/-1 %, en algunas realizaciones +/-0,5 %, y en algunas realizaciones, +/-0,1 %, de la cantidad especificada, ya que tales variaciones son apropiadas en los productos y procedimientos descritos.

Con referencia ahora a la Figura 1, se muestra una línea de recubrimiento de bobinas de la técnica anterior 1. Una línea de recubrimiento de bobinas típica 1 puede consistir en un acumulador de entrada 11 que proporciona un depósito de sustrato de metal no bobinado recibido del desbobinador 10. El acumulador de entrada 11 puede ser seguido por un pretratamiento de un aparato de recubrimiento de limpieza y conversión 12 seguido de la aplicación de recubrimientos de imprimación de un recubrimiento de imprimación 13 en ambos lados de la bobina. El recubrimiento de imprimación se cura en el horno de curado 14 antes de que el recubrimiento superior (o recubrimiento de acabado) sea aplicado por el recubrimiento superior 15 sobre la imprimación en ambos lados de la bobina de metal. A continuación, el sustrato metálico con el recubrimiento puede acabarse en el horno de acabado 16 y rebobinarse mediante el rebobinador 17. Todos los aspectos de la línea de recubrimiento de bobinas 1, que incluyen la velocidad del sustrato de bobina y la cantidad de recubrimiento aplicado, pueden controlarse típicamente con un ordenador (no mostrada).

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, los sistemas y procedimientos de la presente invención pueden estar en comunicación con el ordenador que controla la línea de recubrimiento de bobinas, el ordenador configurado para recibir el grosor calculado del recubrimiento y ajustar la cantidad de recubrimiento aplicado al sustrato en tiempo real. Debido a que el tiempo de respuesta de la medición del sistema de medición en proceso en la presente invención es en milisegundos, puede haber una retroalimentación en tiempo real sobre el grosor del recubrimiento aplicado. Debido a la retroalimentación en tiempo real, la aplicación del recubrimiento puede controlarse por la máquina de recubrimiento de manera que el recubrimiento no solo sea uniforme en el ancho de la bobina, sino que tampoco se aplique en exceso, lo que da como resultado un ahorro significativo de recubrimiento cuando se considera la producción a escala industrial. Por otro lado, la presente invención también puede ayudar a eliminar la aplicación insuficiente del recubrimiento, lo que da como resultado un ahorro significativo para los fabricantes de recubrimientos de bobinas en la reducción del desperdicio y en evitar costosas reclamaciones de calidad.

Con referencia ahora a la Figura 2, se muestra un sistema para medir el grosor de los recubrimientos sobre sustratos metálicos de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema incluye un procesador 20 y una fuente de luz 21 en comunicación con el procesador 20, la fuente de luz 21 configurada para iluminar una muestra que comprende un sustrato y un recubrimiento con ondas de luz de longitudes de onda variables. El sistema incluye un módulo de detección 23 en comunicación con el procesador 20 que comprende: un colector de luz 22 configurado para recibir ondas de luz reflejadas por la muestra, una rejilla configurada para difractar las ondas de luz en una pluralidad de longitudes de onda de componentes, y un conjunto de detectores configurado para detectar las intensidades de luz de cada una de la pluralidad de longitudes de onda de componentes. El sistema incluye además una memoria 24 en comunicación con el procesador 20, en el que la memoria 24 comprende un código de programa informático ejecutable por el procesador 20. El código del programa informático se configura para: generar una curva espectral de reflectancia mediante el uso de las intensidades de luz detectadas para cada una de la pluralidad de longitudes de onda de componentes, calcular el grosor del recubrimiento a partir de las curvas espectrales de reflectancia de las longitudes de onda de componentes, y mostrar el grosor calculado del recubrimiento en tiempo real.

El procesador 20 puede recibir señales de entrada y generar señales de instrucciones para el controlador de aplicador de recubrimiento de bobina 26 para procesar lecturas de sensores para medir o ajustar el grosor de los recubrimientos en tiempo real. El procesador 20 también puede comunicar estos datos a una pantalla 27, lo que permite a los operadores observar los datos en tiempo real. El procesador 20 está en comunicación con una memoria 24. El procesador 20 puede ejecutar además instrucciones de programa ejecutables por ordenador almacenadas en la memoria 24. El procesador 20 puede comprender un microprocesador, un procesador de señales digitales (DSP), un

circuito integrado de aplicación específica (ASIC), una o más matrices de puertas programables en campo (FPGA) o máquinas de estado. El procesador 20 puede comprender además un dispositivo electrónico programable tal como un PLC, un controlador de interrupción programable (PIC), un dispositivo lógico programable (PLD), una memoria de solo lectura programable (PROM), una memoria de solo lectura programable electrónicamente (EPROM o EEPROM), u otro dispositivo similar.

La memoria 24 puede comprender un medio legible por ordenador que puede almacenar instrucciones, que, cuando son ejecutadas por el procesador 20, hacen que este realice varias etapas, tales como las descritas en la presente descripción. Las realizaciones de medios legibles por ordenador pueden comprender, pero no se limitan a, y un dispositivo de almacenamiento o transmisión electrónico, óptico magnético u otro capaz de proporcionar al procesador 20 instrucciones legibles por ordenador. Otros ejemplos de medios comprenden, pero no se limitan a, un disquete, CD-ROM, disco magnético, chip de memoria, ROM, RAM, ASIC, procesador configurado, todos los medios ópticos, todas las cintas magnéticas u otros medios magnéticos, o cualquier otro medio desde el cual un procesador informático pueda leer. Además, varios otros dispositivos pueden incluir medios legibles por ordenador, tales como un enrutador, red privada o pública, u otro dispositivo de transmisión.

De acuerdo con algunas realizaciones, un cable de fibra óptica bifurcado 25 puede usarse para transmitir la luz de la fuente de luz y también para detectar la luz que regresa de la muestra de luz. El tramo de fuente de luz del cable de fibra óptica bifurcada 25 puede consistir en 6 fibras iluminadoras y el segundo tramo del cable de fibra óptica bifurcada 25 puede consistir en una fibra de detección. En realizaciones preferidas, las ondas de luz pueden proporcionarse mediante una fuente de luz de halógeno de tungsteno de banda ancha u otra fuente de luz de banda ancha adecuada con respuesta de energía adecuada en el intervalo de longitud de onda de operación y la respuesta espectral mostrada en la Figura 5.

Con referencia ahora a la Figura 3, se muestra un módulo de detección 30 de acuerdo con una realización de la presente invención. El módulo de detección 30 puede comprender varios componentes ópticos. El tramo de detección del cable de fibra óptica puede unirse a un conector SMA 31, seguido de una hendidura de entrada fija 32 (que determina la resolución óptica de la configuración del detector). La luz que pasa a través de la hendidura de entrada fija 32 puede iluminarse en un espejo de colimación 33 y reflejarse desde el espejo de colimación 33 como un haz colimado hacia la rejilla 34.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, la rejilla 34 puede coincidir con la respuesta espectral en un intervalo de longitud de onda específico adecuado para la muestra. La rejilla 34 puede ser un componente óptico dispersivo que divide y difracta la luz en diferentes componentes de longitud de onda. La rejilla 34 puede elegirse cuidadosamente para que coincida con la respuesta espectral en un intervalo de longitud de onda específico que es adecuado para diferentes composiciones químicas y colores de pintura usados para la industria de recubrimiento de bobinas de acuerdo con el procedimiento conocido en la técnica. Los diferentes haces de luz de la rejilla 34 pueden dirigirse entonces a un espejo de enfoque 35 y el espejo de enfoque 35 puede enfocar los espectros de primer orden en el conjunto de detectores 36. El conjunto de detectores 36 puede tener al menos 256 elementos que recogen los datos de reflectancia a 256 longitudes de onda discretas.

Con referencia ahora a la Figura 4, se muestra un procedimiento para medir el grosor de los recubrimientos sobre sustratos metálicos de acuerdo con una realización de la presente invención. El procedimiento incluye en la etapa 40 iluminar una muestra que comprende un sustrato y un recubrimiento con ondas de luz de longitudes de onda variables de una fuente de luz. El procedimiento incluye además en la etapa 41 recibir las ondas de luz reflejadas por la muestra en un colector de luz. El procedimiento incluye además en la etapa 42 difractar las ondas de luz en una pluralidad de longitudes de onda componentes con una rejilla. El procedimiento incluye además en la etapa 43 detectar las intensidades de luz de la pluralidad de longitudes de onda de componentes en un conjunto de detectores. El procedimiento incluye además en la etapa 44 generar una curva espectral de reflectancia mediante el uso de intensidades de luz detectadas para cada una de la pluralidad de longitudes de onda de componentes. El procedimiento incluye además en la etapa 45 calcular el grosor del recubrimiento a partir de las curvas espectrales de reflectancia de las longitudes de onda componentes.

La muestra se mueve continuamente. La medición del grosor del recubrimiento en tiempo real requiere la consideración del aleteo de la trama en la bobina de metal de la muestra. Como la bobina de metal se recubre a altas velocidades, puede haber una cierta cantidad de aleteo de la trama (movimiento hacia arriba y hacia abajo a través del ancho de la bobina). Esto plantea un desafío significativo para la mayoría de las herramientas ópticas porque las herramientas ópticas tradicionales usan valores reales de reflectancia para calcular el grosor del recubrimiento y el movimiento hacia arriba y hacia abajo de la bobina tendrá un impacto tan significativo en el valor de reflectancia real que hace que las mediciones sean muy poco confiables en el proceso.

El procedimiento incluye además en la etapa 46 detectar cambios en la distancia entre la muestra y la fuente de luz. Cuando la muestra se mueve demasiado cerca del colector de luz de fibra óptica o cuando la muestra se aleja demasiado del colector de luz de fibra óptica, las intensidades de luz detectadas estarán más allá de un intervalo aceptable. Cuando se detectan tales intensidades de luz, los sistemas de acuerdo con la presente invención pueden

compensar el cambio de distancia como se describe más detalladamente en la presente descripción. El sistema puede calibrarse para predefinir intervalos aceptables de intensidades de luz.

La iluminación de la muestra incluye en la etapa 47 variar la intensidad de las ondas de luz en base a la distancia entre la muestra y la fuente de luz. Al controlar la intensidad de la luz en tiempo real, pueden mitigarse los efectos del aleo de la trama. Si la muestra se acerca al sensor, la intensidad de la luz incidente puede reducirse y, de manera similar, si la muestra se aleja del sensor, la intensidad de la luz incidente puede aumentarse. Después de calcular el grosor del recubrimiento, si se determina que la distancia entre la muestra y la fuente de luz ha cambiado debido al aleo de la trama, la intensidad de la luz puede cambiarse antes de que se tome la siguiente medición.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, las ondas de luz de longitudes de onda variables pueden estar entre aproximadamente 1.000 nm y aproximadamente 2.500 nm. En realizaciones preferidas, las ondas de luz en este intervalo de longitud de onda pueden proporcionarse mediante una fuente de luz de halógeno de tungsteno de banda ancha u otra fuente de luz adecuada con respuesta de energía adecuada en el intervalo de longitud de onda de operación y la respuesta espectral mostrada en la Figura 5.

Una porción de las ondas de luz que se iluminan en la muestra recubierta se reflejan desde la parte superior del recubrimiento y una porción de las ondas de luz pasa a través del recubrimiento y se refleja desde la parte inferior de la parte superior del sustrato. Los valores de reflectancia pueden recogerse en todas las longitudes de onda discretas en un intervalo de tiempo de aproximadamente 50 milisegundos o menos. Las dos ondas de luz reflejadas se superponen matemáticamente para generar una curva espectral de reflectancia resultante. La curva espectral tomará la forma de una forma de onda periódica. La frecuencia de la onda periódica resultante puede ser directamente proporcional al grosor del recubrimiento medido. La curva espectral resultante tendrá componentes polarizados p- y s- de reflectancia que generalmente satisfacen las siguientes ecuaciones:

$$R_p = \left| \frac{n_1 \cos \theta_t - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \right|^2 = \left| \frac{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2} - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2} + n_2 \cos \theta_i} \right|^2$$

$$R_s = \left| \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right|^2 = \left| \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2}}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2}} \right|^2$$

En las ecuaciones anteriores, n_1 = índice de refracción complejo del recubrimiento, n_2 = índice de refracción complejo del sustrato, θ_i = ángulo de incidencia, θ_t = ángulo de transmisión, R_p = componente de reflectancia polarizada p-polarizada, y R_s = componente de reflectancia polarizada s. Los componentes de reflectancia polarizada p y s son una función de la longitud de onda y tienen un valor de reflectancia en cada longitud de onda.

De acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención, la frecuencia de la curva espectral de reflectancia puede ser directamente proporcional al grosor del recubrimiento.

El cálculo del grosor del recubrimiento se produce en tiempo real. Un experto en la técnica apreciará que el término "tiempo real" se refiere a la capacidad de realizar mediciones y calcular el grosor a partir de dichas mediciones con un retardo mínimo del orden de 100 milisegundos o menos.

Sistema ilustrativo 1

Dado que la imprimación y la capa superior se aplican secuencialmente en dos etapas diferentes en ambos lados de la bobina, un sistema de medición general completa en tiempo real puede consistir en la siguiente combinación de sistemas individuales en línea: un sistema de medición en proceso que mide el lado frontal de la bobina donde se aplica la imprimación, un sistema de medición en proceso para medir el lado trasero de la bobina donde se aplica la imprimación, un tercer sistema para medir el grosor total de la imprimación y la capa superior en el lado frontal de la bobina donde se aplica la capa superior sobre la imprimación ya aplicada, un sistema de medición en proceso para medir el grosor total de la imprimación y la capa de acabado en el lado trasero de la bobina donde se aplica la capa trasera sobre la imprimación ya aplicada.

Los sistemas de medición en el lado frontal de la imprimación y la capa superior pueden vincularse y comunicarse entre sí, y el grosor de la capa superior puede obtenerse mediante la sustracción dinámica del grosor total del lado frontal de la bobina y el grosor de la imprimación del lado frontal de la bobina.

Los sistemas de medición en el lado posterior de la imprimación y el lado posterior de la etapa de acabado pueden vincularse y comunicarse entre sí, y el grosor de la capa posterior puede obtenerse mediante la sustracción dinámica del grosor total en el lado posterior de la bobina y el grosor de la imprimación en el lado posterior de la bobina.

5 Sistema ilustrativo 2

La presente invención funciona igualmente bien para medir recubrimientos húmedos en proceso con una ligera modificación. Algunos fabricantes pueden preferir la medición del recubrimiento húmedo en comparación con un recubrimiento seco para obtener comentarios sobre la cantidad de recubrimiento aplicado y la consistencia del recubrimiento antes en el proceso antes de pasar por el horno de acabado. Los siguientes componentes pueden incluirse en un sistema de medición húmedo de múltiples etapas: un sistema de medición en proceso que mide el recubrimiento húmedo antes de que entre en el horno en el lado frontal de la bobina donde se aplica la imprimación, un sistema en proceso para medir el recubrimiento húmedo antes de que entre en el horno en el lado trasero de la bobina donde se aplica la imprimación, un sistema en proceso para medir el grosor total de la imprimación y la capa superior húmeda en el lado frontal de la bobina donde se aplica la capa superior sobre la imprimación ya aplicada, un sistema en proceso para medir el grosor total de la imprimación seca y la capa de acabado húmeda en el lado trasero de la bobina donde se aplica la capa trasera sobre la imprimación ya aplicada.

El grosor en seco de la imprimación puede calcularse a partir del grosor húmedo de la imprimación en ambos lados de la bobina en base al porcentaje de sólidos por volumen en la imprimación proporcionado por el fabricante de la imprimación.

Los sistemas de medición en el lado frontal de la imprimación y la capa superior pueden vincularse y comunicarse entre sí, y el grosor de la capa superior puede obtenerse mediante la sustracción dinámica de la imprimación seca calculada del grosor total de la capa superior húmeda y la imprimación seca. De manera similar, el grosor de la capa superior seca puede calcularse a partir del grosor húmedo de la capa superior en base al porcentaje de sólidos por volumen en la capa superior proporcionado por el fabricante de la capa superior.

Los sistemas de medición en el lado posterior de la imprimación y la capa posterior pueden vincularse y comunicarse entre sí, y el grosor de la capa posterior puede obtenerse mediante la sustracción dinámica de la imprimación seca calculada del grosor total de la capa posterior húmeda y la imprimación seca. De manera similar, el grosor de la capa posterior seca puede calcularse a partir del grosor húmedo de la capa posterior en base al porcentaje de sólidos por volumen en la capa posterior proporcionado por el fabricante de la capa posterior.

Los expertos en la técnica reconocerán mejoras y modificaciones a las realizaciones de la presente descripción.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para medir el grosor de los recubrimientos sobre sustratos metálicos que comprende:
5 iluminar una muestra que comprende un sustrato y un recubrimiento con ondas de luz de longitudes de onda variables de una fuente de luz (21);
recibir las ondas de luz reflejadas por una superficie superior del recubrimiento de la muestra en un colector de luz (22);
10 recibir las ondas de luz reflejadas por una superficie inferior del recubrimiento sobre la muestra en el colector de luz (22);
difractar las ondas de luz en una pluralidad de longitudes de onda componentes con una rejilla (34);
detectar las intensidades de luz de la pluralidad de longitudes de onda componentes en un conjunto de detectores (36);
15 en el que el procedimiento comprende además:
generar una curva espectral de reflectancia resultante mediante la superposición matemática de las intensidades de luz detectadas de la superficie superior e inferior para cada una de la pluralidad de longitudes de onda de componentes, la curva espectral de reflectancia resultante tiene un patrón de onda periódico;
20 calcular el grosor del recubrimiento a partir de una frecuencia del patrón de onda periódico de la curva espectral de reflectancia resultante de las longitudes de onda componentes; y
detectar cambios en la distancia entre la muestra y la fuente de luz (21) y variar la intensidad de las ondas de luz en tiempo real en base a la distancia entre la muestra y la fuente de luz (21);
25 en el que la muestra se mueve continuamente; y
en el que el cálculo del grosor del recubrimiento se produce en tiempo real.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que las ondas de luz de longitudes de onda variables están entre aproximadamente 1.000 nm y aproximadamente 2.500 nm.
- 30 3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la fuente de luz (21) es parte de un cable de fibra óptica bifurcado (25).
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el colector de luz (22) es parte de un cable de fibra óptica bifurcado (25).
- 35 5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la rejilla (34) coincide con la respuesta espectral en un intervalo de longitud de onda específico adecuado para la muestra.
6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la frecuencia del patrón de onda periódico de la curva espectral de reflectancia resultante es directamente proporcional al grosor del recubrimiento.
- 40 7. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además ajustar la cantidad de recubrimiento aplicado al sustrato en tiempo real en base al grosor calculado del recubrimiento.
- 45 8. Un sistema para medir el grosor de los recubrimientos sobre sustratos metálicos que se mueven continuamente que comprende:
un procesador (20);
50 una fuente de luz (21) en comunicación con el procesador (20), la fuente de luz (21) configurada para iluminar una muestra que comprende un sustrato y un recubrimiento con ondas de luz de longitudes de onda variables;
un módulo de detección (23) en comunicación con el procesador que comprende:
un colector de luz configurado para recibir ondas de luz reflejadas por una superficie superior y una
55 superficie inferior del recubrimiento en la muestra;
una rejilla (34) configurada para difractar las ondas de luz en una pluralidad de longitudes de onda componentes;
un conjunto de detectores (36) configurado para detectar las intensidades de luz de cada una de la pluralidad de longitudes de onda componentes;
60 una memoria (24) en comunicación con el procesador (20), en la que la memoria comprende un código de programa informático ejecutable por el procesador configurado para:
mostrar un grosor calculado del recubrimiento en tiempo real,
65 generar una curva espectral de reflectancia resultante mediante la superposición matemática de las intensidades de luz detectadas de la superficie superior e inferior para cada una de la pluralidad de

longitudes de onda de componentes, la curva espectral de reflectancia resultante tiene un patrón de onda periódico;

- 5 calcular el grosor del recubrimiento a partir de una frecuencia del patrón de onda periódico de la curva espectral de reflectancia resultante de las longitudes de onda componentes;
 detectar cambios en la distancia entre la muestra y la fuente de luz (21);
 en el que el cálculo del grosor del recubrimiento se produce en tiempo real; y
 en el que el sistema está dispuesto para variar la intensidad de las ondas de luz en tiempo real en base a la distancia entre la muestra y la fuente de luz (21).
- 10 9. El sistema de la reivindicación 8, en el que las ondas de luz de longitudes de onda variables están entre aproximadamente 1.000 nm y aproximadamente 2.500 nm.
- 15 10. El sistema de la reivindicación 8, en el que la fuente de luz es parte de un cable de fibra óptica bifurcado (25).
11. El sistema de la reivindicación 8, en el que el colector de luz es parte de un cable de fibra óptica bifurcado (25).
12. El sistema de la reivindicación 8, en el que la rejilla (34) coincide con la respuesta espectral en un intervalo de longitud de onda específico adecuado para la muestra.
- 20 13. El sistema de la reivindicación 8, en el que la frecuencia del patrón de onda periódico de la curva espectral de reflectancia resultante es directamente proporcional al grosor del recubrimiento.
- 25 14. El sistema de la reivindicación 8, que comprende además un ordenador que controla un aplicador de recubrimiento de bobina configurado para recibir el grosor calculado del recubrimiento y ajustar la cantidad de recubrimiento aplicado al sustrato en tiempo real.

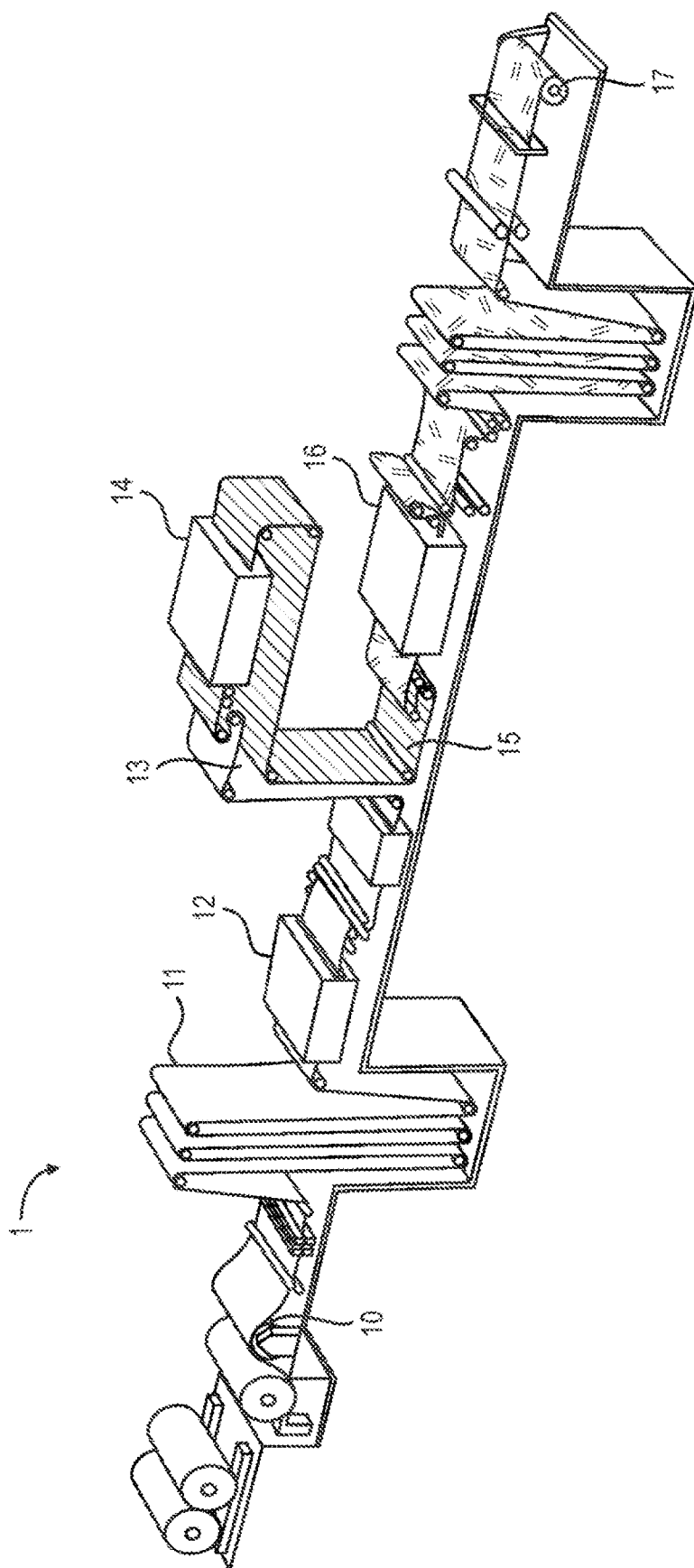


Figura 1

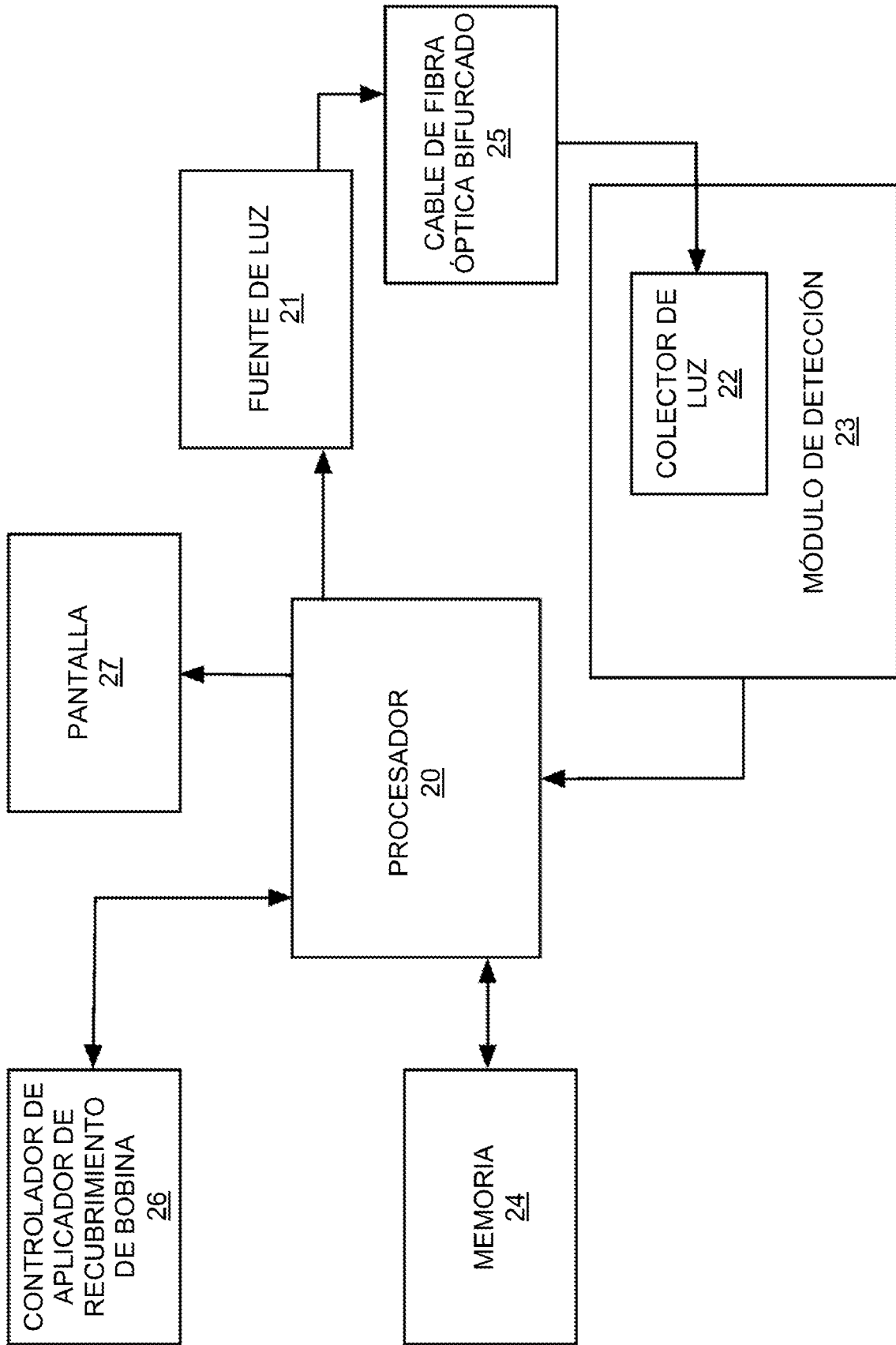


Figura 2

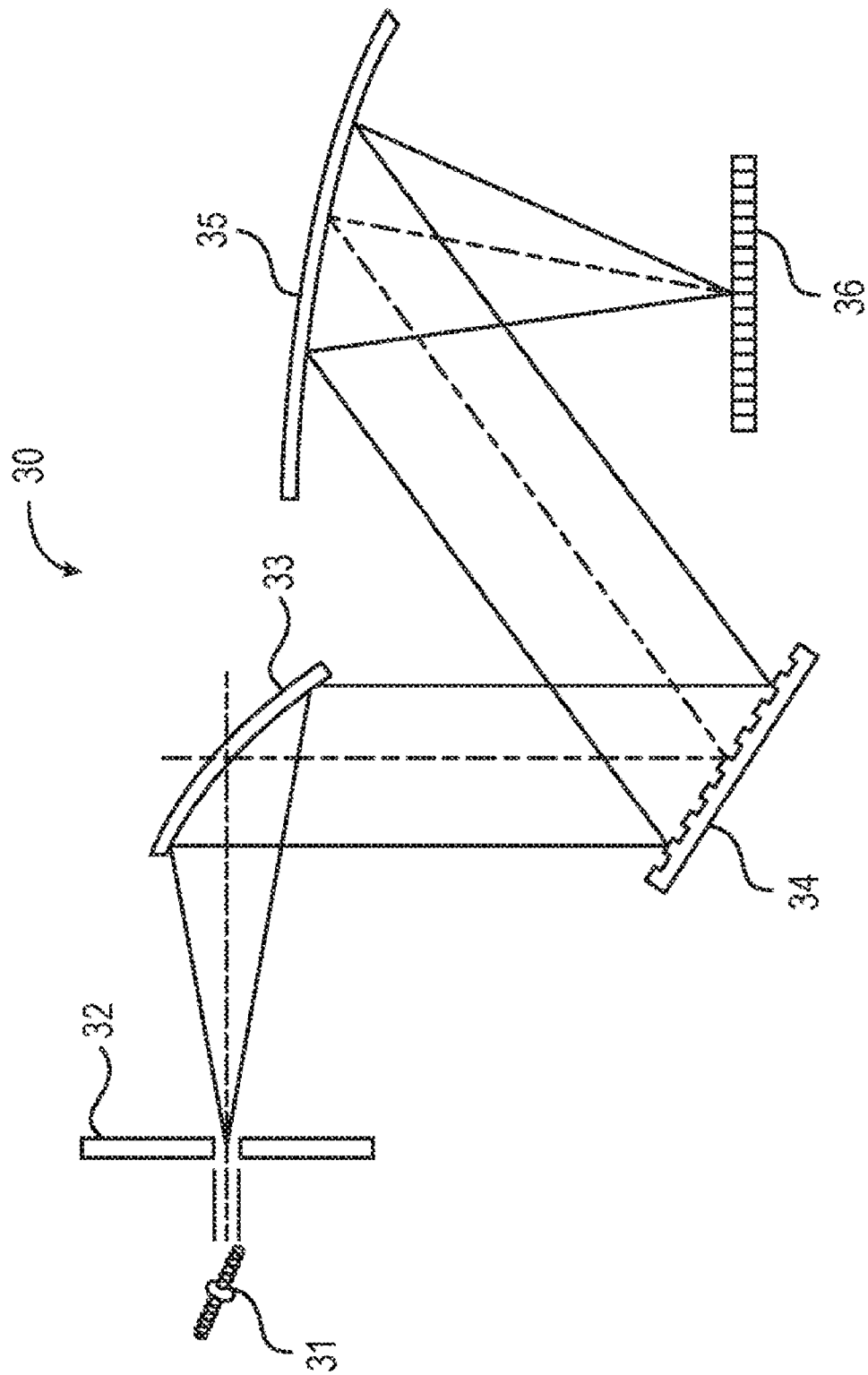


Figura 3

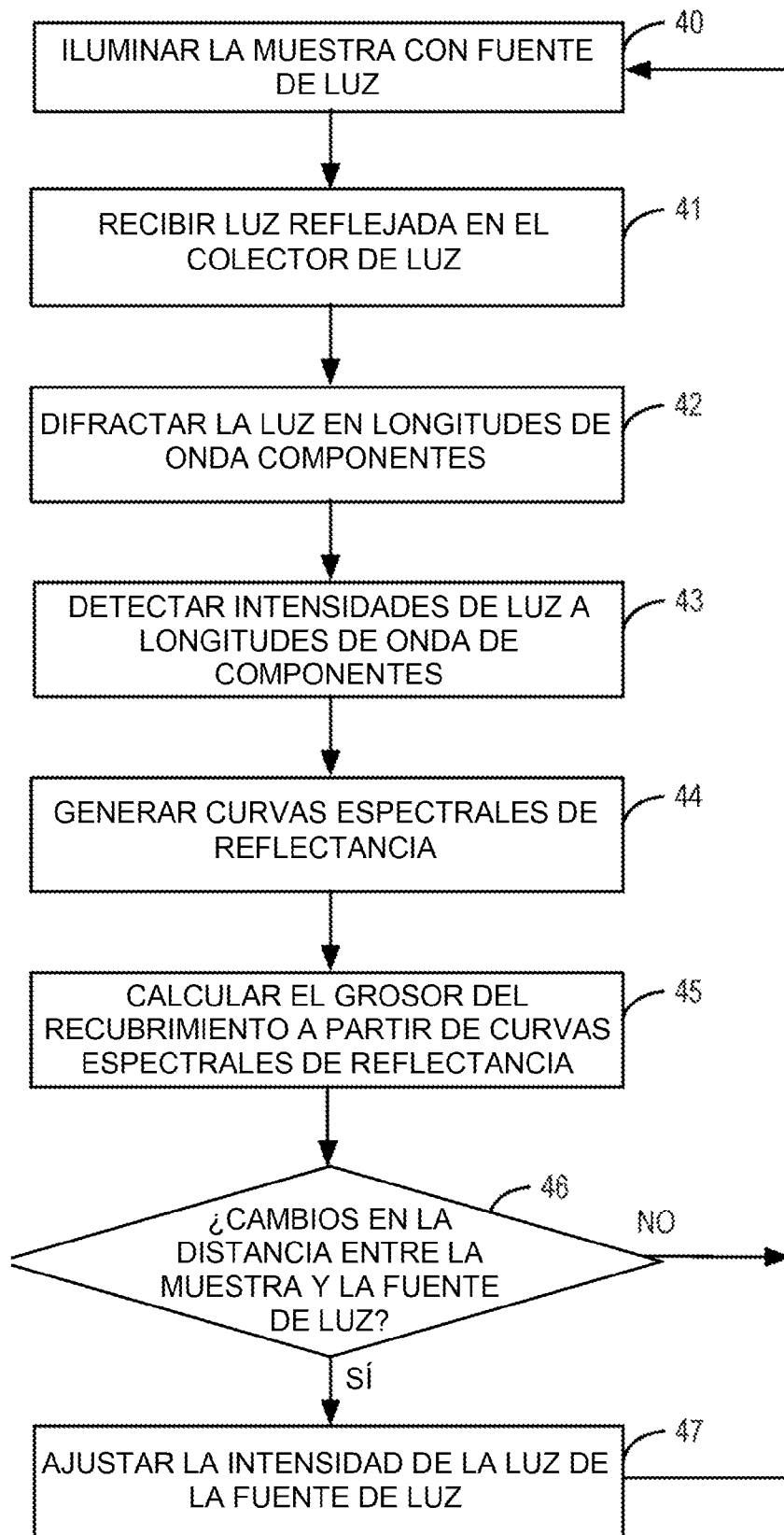


Figura 4

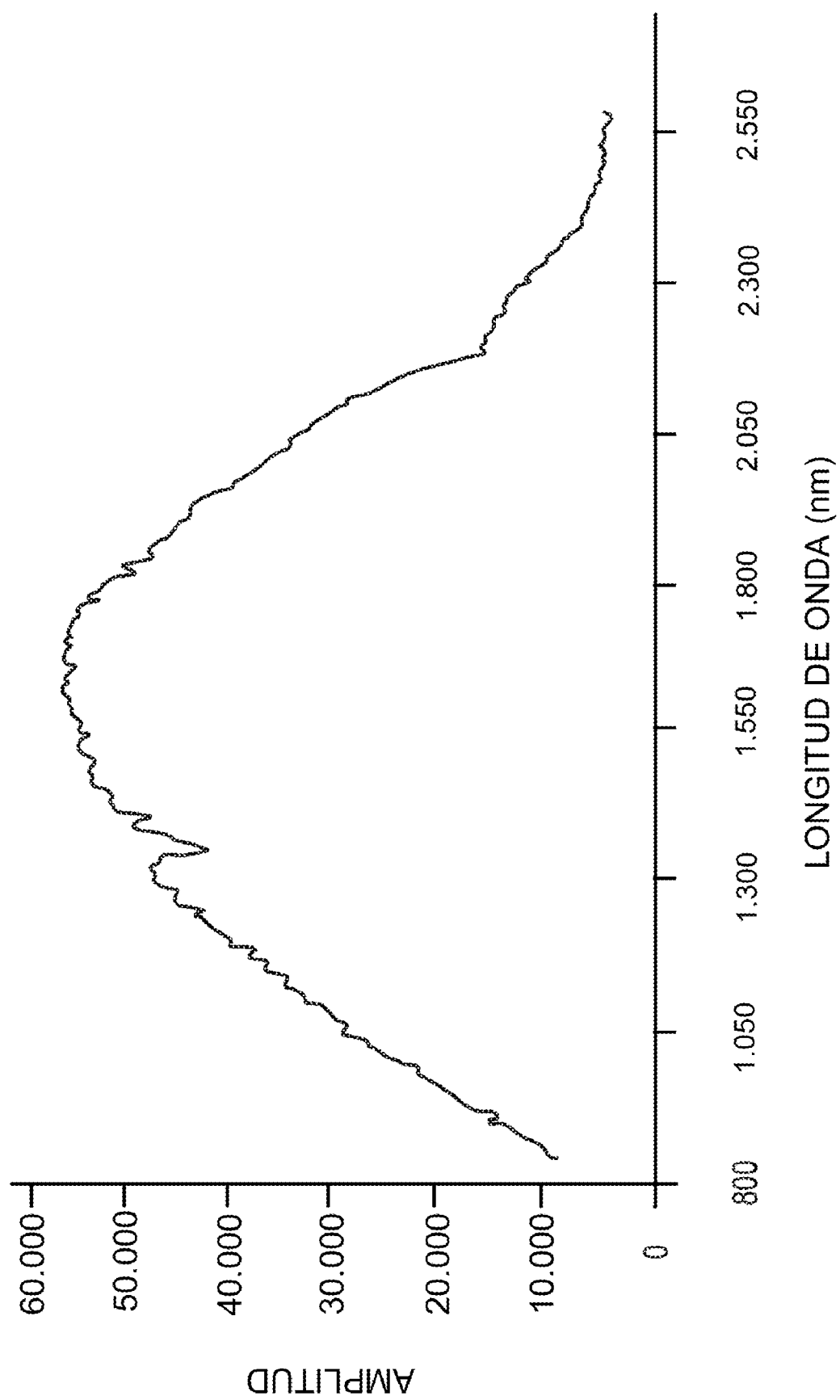


Figura 5