(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 766 381**

(51) Int. CI.:

G01N 21/25 (2006.01)
G01J 3/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.03.2011 PCT/ES2011/000047**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **01.09.2011 WO11104401**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2011 E 11746894 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019 EP 2541232**

(54) Título: **Espectrofotómetro portátil y método de caracterización de tubos de colectores solares**

(30) Prioridad:

25.02.2010 ES 201000230

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.06.2020

(73) Titular/es:

ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES, S.A. (100.0%)
Avda. de la Buhaira 2
41018 Sevilla, ES

(72) Inventor/es:

ALONSO ESTEBAN, RAFAEL;
HERAS VILA, CARLOS;
SALINAS ÁRIZ, IÑIGO;
IZQUIERDO NUÑEZ, DAVID;
GOMEZ POLO, JESUS;
GIMENO MELENDO, ALBERTO;
VILLUENDAS YUSTE, FRANCISCO y
MARTINEZ SANZ, NOELIA

(74) Agente/Representante:

GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro María

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

Espectrofotómetro portátil y método de caracterización de tubos de colectores solares

Sector técnico de la invención

La presente invención se encuadra dentro de la tecnología de equipos o instrumentos ópticos de medida.

Más concretamente se refiere a un equipo portátil para la caracterización espectral y en campo de los coeficientes de reflexión y transmisión de los tubos utilizados en colectores para la obtención de energía termosolar. Este equipo incluye todos los componentes necesarios para realizar esta medida, incluyendo el procesado de los datos y su envío mediante conexión inalámbrica a un ordenador para su almacenamiento.

Antecedentes de la invención

La captación de la energía solar, en su vertiente de captación térmica, cada vez está tomando más importancia tecnológica y económica tanto desde el punto de vista de producción de agua caliente, calefacción o refrigeración a nivel doméstico, como para producción de energía eléctrica en centrales termoeléctricas solares.

Estos sistemas requieren un máximo de absorción de la energía solar y las menores pérdidas energéticas posibles. Con este fin, están configurados en forma de tubos de vacío o estructuras similares que disminuyen las pérdidas por conducción y convección y poseen recubrimientos con gran poder absorbente de la energía solar, así como características de baja emisividad para disminuir las pérdidas energéticas por radiación térmica en el infrarrojo lejano.

En consecuencia, tanto en la vertiente doméstica como en la de producción de energía eléctrica, los recubrimientos absorbentes selectivos juegan un papel esencial y de su adecuado funcionamiento depende en gran parte el rendimiento de este tipo de sistemas. Esto hace que sea de vital importancia el disponer de un método adecuado de caracterización en campo de las características ópticas de dichos recubrimientos. En el caso de las instalaciones de producción de energía eléctrica, debido al gran número de tubos absorbentes a caracterizar, es además conveniente que la medida pueda realizarse de forma rápida y sencilla.

Dadas las características ópticas de este tipo de tubos (máxima absorción de energía y mínimas pérdidas energéticas), el equipo deberá ser capaz de medir con precisión valores extremos de los coeficientes de reflexión y transmisión (cercanos a cero o a la unidad), generalmente en condiciones ambientales desfavorables ya que, lógicamente, la luz ambiente será casi siempre de alta intensidad.

Puesto que estos coeficientes de reflexión y transmisión dependen fuertemente de la longitud de onda de la luz utilizada, es indispensable realizar una caracterización espectral de los mismos. Un equipo que realiza una medida de este tipo se denomina espectrofotómetro.

En un espectrofotómetro clásico se utiliza una fuente de luz de espectro ancho y un elemento de filtrado variable, como puede ser una red de difracción móvil seguida de una rendija estrecha, que permita seleccionar secuencialmente distintas longitudes de onda. Esta opción permite variar la longitud de onda de manera prácticamente continua, pero a cambio resulta un sistema más complejo y delicado y con bajo rango dinámico de medida, ya que la potencia de luz de entrada que se consigue es muy baja.

La patente US4687329 describe un equipo que utiliza una fuente de espectro ancho, en este caso ultravioleta, y varios filtros en posiciones fijas para realizar una medida espectral en un determinado número de puntos discretos.

También existen antecedentes de espectrofotómetros en los que se utiliza como fuente de luz una colección de fuentes de diferentes longitudes de onda. En la patente US2008/0144004 se utilizan varios diodos emisores de luz (LED) simultáneamente para realizar una medida de transmisión para la detección de distintos analitos en sangre. Sin embargo, no se realiza una verdadera medida espectral, sino varias medidas simultáneas en unas pocas longitudes de onda distintas. Además, no existe ninguna protección contra la luz ambiente ni es posible realizar medidas de reflexión ni de referencia.

Algo similar ocurre en la invención de la patente US4286327, donde sí se realiza una medida secuencial a distintas longitudes de onda (en el infrarrojo), pero en este caso los LEDs utilizados son idénticos y la selección espectral se realiza mediante filtros fijos de distinta longitud de onda central. Tampoco existe ningún mecanismo de recuperación de la señal frente a luz ambiente, ni posibilidad de realizar medidas ni en reflexión ni de referencia.

Ninguno de los equipos citados ni otros similares cumplen los requisitos necesarios para la medida en campo de los tubos absorbentes para colectores solares, ya sea por rango, sensibilidad y/o configuración mecánica.

Descripción de la invención

La presente invención toma en consideración las características específicas del problema indicadas anteriormente, con un diseño que reúne requisitos como portabilidad, rapidez en la medida, sensibilidad y rango dinámico adecuados. Este objetivo se logra con el espectrofotómetro de acuerdo con la reivindicación 1 y el método de caracterización de acuerdo con la reivindicación 9.

Para conseguir un sistema sencillo y robusto, la iluminación del vidrio se realizará mediante diodos emisores de luz (LED) que cubran el rango de longitudes de onda en el que se desea obtener la caracterización. Esto permite disponer de una fuente de luz barata y de gran durabilidad y estabilidad. La existencia de LEDs comerciales de gran cantidad de longitudes de onda en el rango de 300 a 2500 nm (ultravioleta a infrarrojo cercano) permite realizar la medida espectral con la resolución que se desee, sin más que seleccionar el número de LEDs adecuado en función de las características específicas de cada problema. Con los requisitos habituales para la caracterización espectral de una instalación de producción de energía termosolar, puede ser suficiente con disponer de alrededor de una decena de longitudes de onda de medida.

Con el objetivo de conseguir una medida suficientemente rápida, el equipo realiza de manera simultánea la medida de los coeficientes de transmisión y reflexión de cada tubo de vidrio, además de una medida de referencia que permite independizar la medida del valor instantáneo de potencia óptica emitida por las fuentes. Esto exige la instalación de cuatro fotodetectores y dos emisores LED por cada longitud de onda caracterizada, además de una configuración mecánica del equipo que permita realizar estas cuatro medidas sin necesidad de realizar ningún tipo de ajuste de posición.

Para obtener una medida con alta sensibilidad, que permita resolver con precisión valores de los coeficientes de reflexión y transmisión muy pequeños o muy cercanos a la unidad, es necesario que el sistema de adquisición disponga de una relación señal a ruido suficientemente grande. Dado que la señal óptica de fondo proviene principalmente de la luz solar ambiente, es decir, se trata de una señal de gran intensidad, es indispensable realizar algún tipo de tratamiento a dicha señal que permita lograr que la relación señal/ruido sea elevada. Lo más indicado en este caso es el procesamiento digital de la señal mediante la aplicación de algún algoritmo de extracción como la detección síncrona o *lock-in*. Para realizar un tratamiento de este tipo, es necesario que la señal a medir pueda distinguirse fácilmente del fondo de ruido, algo que habitualmente se consigue mediante la aplicación de algún tipo de modulación a la misma.

Otra de las características indispensables en un equipo de este tipo es la posibilidad de exportación de los datos de manera cómoda y flexible a un ordenador personal, donde puedan tratarse y almacenarse de la forma que se considere más conveniente. En el caso de la presente invención, esto se resuelve mediante comunicación inalámbrica con un protocolo de red convencional, algo que proporciona flexibilidad adicional al sistema.

El esquema general del dispositivo de medida es el siguiente:

- Varios diodos emisores de luz o LEDs, que cubren el rango de longitudes de onda en que desean caracterizarse los tubos absorbentes, en una realización preferente se utilizaría una pareja de LEDs por cada longitud de onda.
- Cuatro fotodetectores por cada pareja de LEDs utilizados, para obtener las señales de reflexión, transmisión y referencia para cada una de las longitudes de onda.
- Un circuito digital, que realiza las funciones de adquisición y conversión analógico/digital de las señales de interés.
- Una tarjeta de procesado digital, para extraer la señal del posible fondo de ruido óptico y eléctrico ambiental. Esta tarjeta puede encargarse también, en caso necesario, de aplicar la modulación elegida a las fuentes LED.
- Un sistema de comunicación inalámbrica con cualquier ordenador personal que disponga del *software* de medida adecuado.
- Una unidad central de proceso, que controla el funcionamiento global del sistema, seleccionando los componentes electrónicos correspondientes al canal utilizado en cada momento y gobernando las comunicaciones internas y externas.
- Una carcasa que proporcione el aislamiento adecuado de los componentes electrónicos y ópticos del sistema, permita transportarlo con facilidad y acoplarlo de manera sencilla y repetitiva a los tubos a medir.
- El software a instalar en el ordenador que va a utilizarse con el equipo, necesario para llevar a cabo la comunicación con el mismo y el tratamiento posterior de la información adquirida.

Una de las ventajas y avances que aporta la invención es el hecho de que el sistema sea capaz de realizar medidas con luz ambiente y en campo, sin necesidad de condiciones especiales de oscuridad o protección.

Otro avance muy importante respecto a lo conocido en el estado de la técnica, consiste en que el sistema de la presente invención sea capaz de realizar simultáneamente medidas en transmisión y reflexión, sin ningún tipo de ajuste entre ellas.

Descripción de los dibujos

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, acompañan a esta memoria descriptiva una serie de figuras donde, con carácter meramente indicativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La Figura 1 representa un esquema del sistema óptico correspondiente a una longitud de onda de medida, que incluye los emisores para reflexión y transmisión, los cuatro detectores asociados y su disposición espacial respecto al tubo a medir.

La Figura 2 representa la carcasa mecánica donde se incluyen los componentes optoelectrónicos del sistema y su ajuste a un tubo para su caracterización.

La Figura 3 representa el esquema completo de la realización propuesta, incluyendo el sistema óptico y los componentes electrónicos, así como la tarjeta de procesado digital de señal (DSP) que realiza las funciones de modulación, control y detección síncrona.

La Figura 4 representa el ejemplo concreto de una medida de un tubo absorbente de colector cilíndrico-parabólico.

En cuanto a las referencias utilizadas en las figuras:

(1) Tubo a caracterizar (1') Tubo interno (1'') Tubo externo
(2) Pieza que contiene los emisores y detectores para la medida de reflexión
(3) Pieza que contiene los detectores para la medida de transmisión
(4) Emisor de haz de LED para la medida de transmisión
(5) Emisor de haz de LED para la medida de reflexión
(6) Detector de transmisión
(7) Detector de reflexión
(8) Detector de referencia de transmisión
(9) Detector de referencia de reflexión
(10) Lámina parcialmente reflejante
(11) Lámina parcialmente reflejante
(12) Sistema de adquisición y tratamiento de datos
(13) Ordenador
(14) Tarjeta de procesado digital de señal (DSP)
(15) Enrutador inalámbrico
(16) Comandos
(17) Datos
(18) Señales de modulación de los LEDs
(19) Control mediante salidas digitales
(20) Señales eléctricas analógicas medidas
(21) Amplificadores

Realizaciones preferentes de la invención

El sistema óptico es una sección clave del equipo propuesto, pues debe posibilitar la realización de una medida simultánea de los tubos en transmisión y reflexión, con la precisión y comodidad requeridas. Para lograrlo, se propone una realización preferente según la disposición de la Figura 1, donde de cada uno de los emisores se obtiene una señal de referencia gracias a un divisor de haz.

Los tubos (1) para colectores cilindro-parabólicos están compuestos habitualmente de dos tubos concéntricos (1', 1''), también representados en la Figura 1. El tubo interno (1') debe poseer un coeficiente de reflexión muy bajo en el espectro solar (alta absorbancia) y alto en la zona espectral del infrarrojo térmico (baja emisividad), para que la absorción de calor sea lo más alta posible. Por otra parte, el tubo externo (1'') debe dejar pasar la mayor cantidad de luz posible, lo que equivale a un coeficiente de transmisión cercano a la unidad.

La medida de transmisión se obtiene después de que el haz de luz del emisor de transmisión de haz de LED (4) atraviese dos veces el tubo externo (1''). La medida resultante y correspondiente a la transmisión la realiza el detector de transmisión (6).

Para el caso de la reflexión, el coeficiente de reflexión se obtiene a partir de la medida que realiza el detector de reflexión (7) después de que el haz generado por el emisor de reflexión de LED (5), atraviese dos veces el tubo externo (1'') y se refleje en el tubo interno (1'). Para obtener la reflexión de este tubo (1'), se descontará la medida de transmisión del tubo externo (1'') obtenida previamente.

El sistema obtiene una señal de referencia, ya sea para transmisión (RT) o para reflexión (RR), de la potencia emitida por los LEDs, a partir de la medida de una parte de la luz emitida por dichos LEDs obtenida por láminas parcialmente reflejantes (10, 11), mediante los detectores (8, 9).

En la Figura 2 puede verse el aspecto externo de la realización, incluyendo la carcasa que sirve de protección de los componentes y que también permite un anclaje repetitivo del sistema óptico sobre el tubo a caracterizar (1). Puede distinguirse también la pieza que contiene los emisores y detectores para la medida en reflexión (2) y la pieza que contiene los detectores para la medida de transmisión (3). En el lado opuesto del equipo se encuentran los emisores para la medida de transmisión y los detectores para la medida de referencia en transmisión. Las piezas de soporte están diseñadas de manera que el equipo pueda colocarse y retirarse del tubo con sencillez y rapidez, simplemente separando la mitad inferior de la superior. El peso del equipo hace que el alineamiento se realice simplemente por gravedad y se utilicen siempre los mismos puntos de contacto, posibilitando que la medida se realice en condiciones controladas.

En la Figura 3 puede observarse el esquema completo incluyendo el sistema de adquisición y tratamiento de datos (12), tanto para el módulo de transmisión (T) como para el de reflexión (R). Para lograr que la medida pueda realizarse sin influencia de la luz ambiente, el sistema de adquisición y tratamiento de datos consta de una señal de los emisores (4, 5) que se modula variando sinusoidalmente la corriente de alimentación de los LEDs (cada uno de ellos a una frecuencia diferente). Esta modulación permite extraer la señal de interés en los detectores (6, 7), filtrando todas las componentes frecuenciales salvo la correspondiente al LED que se quiere utilizar en cada caso. Este filtrado se realiza mediante la programación de un algoritmo de amplificación síncrona (*lock-in*) en una tarjeta de procesado digital de señal (DSP) (14). Esa misma tarjeta genera las señales de modulación de los LED's (18), lo que facilita la realización del filtrado. También se encarga de la adquisición y conversión digital de las señales eléctricas analógicas medidas (20) que provienen de los fotodetectores (6, 7), así como del control mediante salidas digitales (19) de la alimentación de las placas de emisores (4, 5) y detectores (6, 7).

En la forma preferente de realización se han elegido 12 LED's con longitudes de onda de 405, 470, 525, 588, 650, 780, 870, 1050, 1300, 1550, 1700 y 2300 nm, que cubren la zona de interés del espectro.

Además, los fotodetectores (6, 7) están seguidos de dos etapas de amplificación (21) cuya ganancia depende del valor de las resistencias que incluyen. Una de esas resistencias puede ser un potenciómetro digital cuyo valor se puede controlar vía software, lo que permite ajustar la ganancia de cada canal en cualquier momento utilizando las salidas de la tarjeta DSP (14).

El sistema se comunica con un ordenador (13) externo convencional a través de una red inalámbrica. Esta red se crea mediante un enrutador inalámbrico (15) o cualquier sistema equivalente conectado al equipo. Un programa instalado en el ordenador externo (13) permite utilizar los comandos (16) programados en la tarjeta (14) para realizar todas las funciones necesarias en el proceso de medida, entre ellos el de lectura de los datos obtenidos (17) para su posterior tratamiento y almacenaje. Un ejemplo concreto de tubo absorbedor de un colector cilíndrico-parabólico se muestra en la Figura 4.

El método de funcionamiento del equipo comprende las siguientes etapas para la obtención de los coeficientes de reflexión y transmisión de los tubos:

1. Posicionar el equipo de manera que apoye establemente sobre el tubo.
2. Encender y apagar secuencialmente los distintos emisores (4, 5) del equipo, al tiempo que se mide la señal que reciben los detectores correspondientes (6, 7).
3. Los datos obtenidos en los detectores de reflexión (7) y transmisión (6) se normalizan con sus medidas de referencia respectivas, para eliminar la influencia de las variaciones en la intensidad producida por los emisores.
4. Posteriormente, se obtiene el coeficiente de transmisión del tubo externo (1"), relacionando el valor de transmisión normalizada obtenido con el que se obtiene al medir un patrón conocido.
5. Para obtener el valor del coeficiente de reflexión de tubo interno (1') es necesario descontar el efecto de atravesar dos veces el tubo externo (1"), dividiendo por el cuadrado del coeficiente de transmisión calculado previamente (con la corrección de ángulo necesaria). El valor final del coeficiente se obtiene también por referencia a un patrón conocido.
6. Los valores correspondientes al patrón se almacenan en el equipo tras una calibración previa, que requiere la utilización de un tubo con coeficientes de reflexión conocidos (la transmisión se calibra al valor unidad del aire). Esta calibración se realiza siguiendo los tres primeros pasos de este mismo procedimiento.

La aplicación principal de esta invención es el uso del equipo para el control *in situ* de las características ópticas de tubos absorbedores en colectores cilindro-parabólicos de centrales termoeléctricas solares, no se descarta su extensión a otros campos de la industria que requieran un equipo de medida de características similares.

REIVINDICACIONES

1. Espectrofotómetro portátil para caracterización de tubos de colectores solares (1) formado por un tubo interno (1') y un tubo externo (1'') **caracterizado por que** comprende:

- un módulo (R) que realiza la medida del coeficiente de reflexión del tubo interno (1');
- un módulo (T) que realiza la medida del coeficiente de transmisión del tubo externo (1'');
- un sistema electrónico de adquisición y tratamiento de datos (12);
- un sistema de comunicación inalámbrico para:
    - comunicación con un ordenador externo (13) para el control del espectrofotómetro y
    - para enviar los datos medidos (17) al ordenador externo (13);

en el que cada uno de los módulos comprende diodos emisores de luz (4, 5) como fuentes ópticas y un conjunto de fotodetectores (6, 7) sensibles a las longitudes de onda adecuadas y tras los diodos emisores de luz (4, 5) se sitúan otros detectores (8,9) mediante los cuales se obtiene una señal de referencia de la potencia de emisión para transmisión (RT) y para reflexión (RR).

2. Espectrofotómetro portátil según la reivindicación 1 **caracterizado por que** el número de diodos emisores de luz está comprendido entre 6 y 24 y dentro del rango espectral entre 300 y 2500 nm correspondiente al espectro solar.

3. Espectrofotómetro portátil según la reivindicación 1 caracterizado por que se utilizan dos diodos emisores de luz (4,5) por cada longitud de onda a medir.

4. Espectrofotómetro portátil según la reivindicación 1 **caracterizado por que** el sistema de adquisición de datos consta de dos etapas de amplificación para cada fotodetector.

5. Espectrofotómetro portátil según la reivindicación 4 **caracterizado por que** al menos una de las dos etapas de amplificación puede tener una ganancia que puede variarse mediante comandos software.

6. Espectrofotómetro portátil según la reivindicación 1 **caracterizado por que** se incluye una tarjeta tipo DSP con un sistema de procesado de señal tipo lock-in.

7. Espectrofotómetro portátil según la reivindicación 6 **caracterizado por que** el procesado lock-in de la señal y la señal que realiza el procesado para modular los LEDs que actúan como fuentes ópticas se implementa utilizando la misma tarjeta tipo DSP.

8. Espectrofotómetro portátil según la reivindicación 1 **caracterizado por que** tiene una carcasa que protege los componentes ópticos y electrónicos y posibilita la portabilidad del sistema y permite acoplarlo con facilidad y rapidez al tubo cilíndrico que se desea medir.

9. Método de caracterización de tubos de colectores solares haciendo uso del espectrofotómetro portátil de reivindicaciones anteriores **caracterizado por que** la medida de los coeficientes de reflexión y transmisión de los tubos comprende las siguientes etapas:

1. Posicionar el espectrofotómetro de manera que se apoye establemente sobre el tubo.
2. Encender y apagar secuencialmente los distintos emisores del espectrofotómetro, al tiempo que se mide la señal que reciben los detectores correspondientes.
3. Normalizar los datos obtenidos en los detectores de reflexión y transmisión con sus medidas de referencia respectivas, para eliminar la influencia de las variaciones en la intensidad producida por los emisores.
4. Posteriormente, obtener el coeficiente de transmisión del tubo externo, relacionando el valor de transmisión normalizada obtenido con el que se obtiene al medir un patrón conocido.
5. Obtener el valor del coeficiente de reflexión de tubo interno considerando la deducción del efecto de atravesar dos veces el tubo externo, dividiendo por el cuadrado del coeficiente de transmisión calculado previamente, con la corrección de ángulo necesaria, en el que el valor final del coeficiente se obtiene también por referencia a un patrón conocido, en el que
6. Los valores correspondientes al patrón se almacenan en el equipo tras una calibración previa al valor unidad del aire, que requiere la utilización de un tubo con coeficientes de reflexión conocidos, realizándose esta calibración siguiendo los tres primeros pasos de este mismo procedimiento.

10. Método de caracterización de tubos colectores solares según la reivindicación 9, **caracterizado por que** se utilizan dos diodos emisores de luz (4,5) para cada longitud de onda a medir y se obtienen simultáneamente coeficientes de reflexión y transmisión para el tubo interno y el tubo externo, respectivamente.

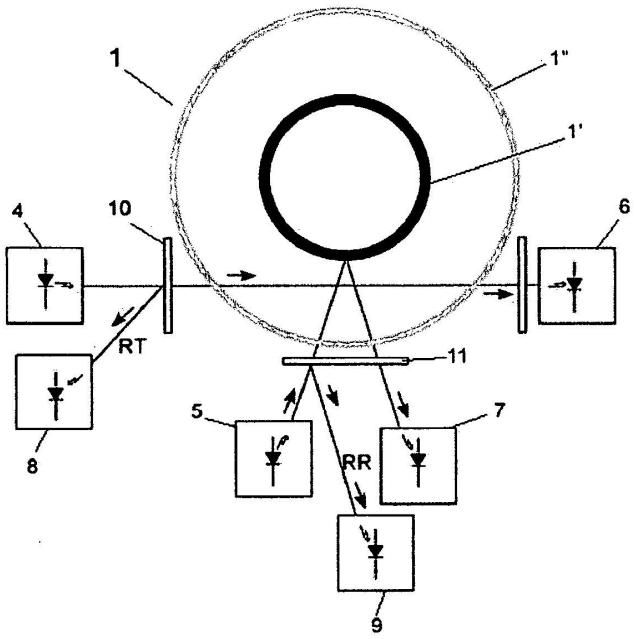

FIGURA 1

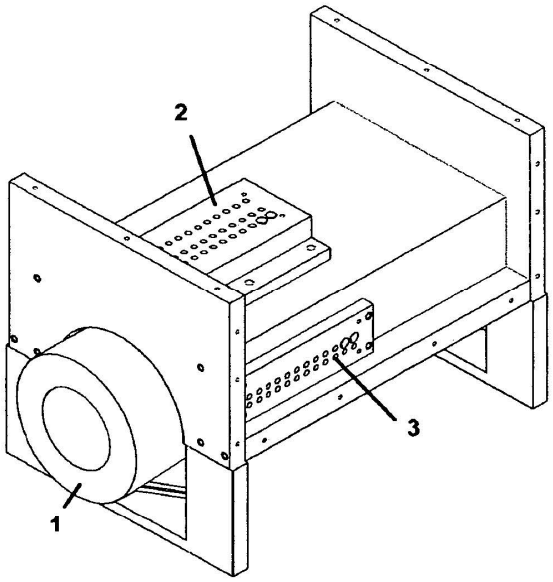

FIGURA 2

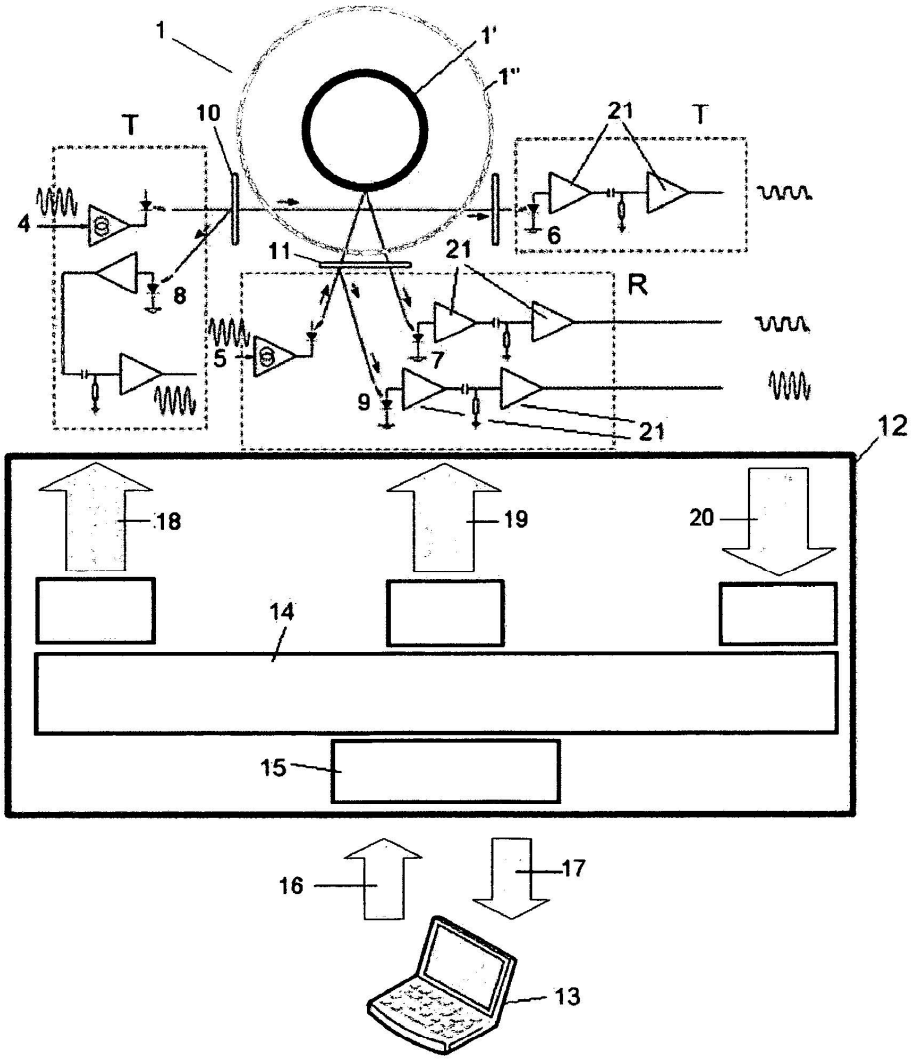

FIGURA 3

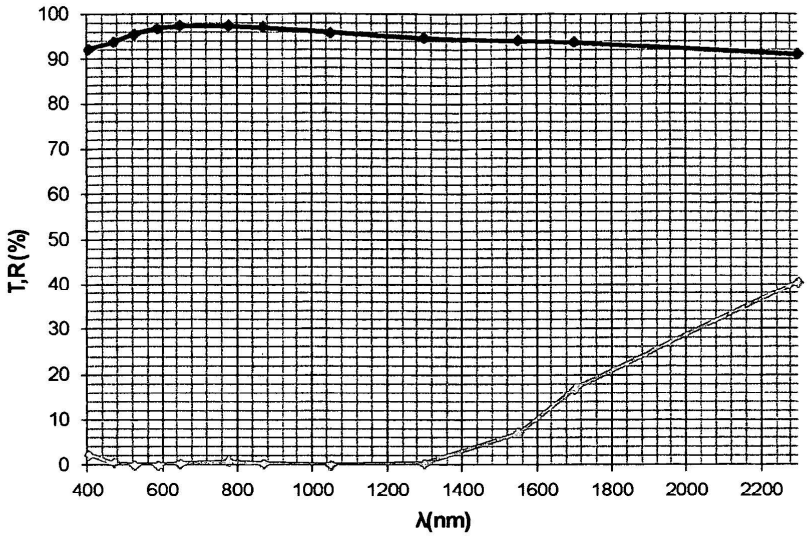
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
T,R(%)
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
2200
λ(nm)

FIGURA 4