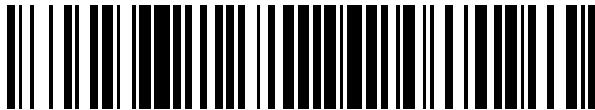


(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **3 014 233**

(21) Número de solicitud: 202430952

(51) Int. Cl.:

G02B 5/30 (2006.01)

G01M 11/02 (2006.01)

(12)

SOLICITUD DE PATENTE

A1

(22) Fecha de presentación:

15.11.2024

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

21.04.2025

(71) Solicitantes:

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID (100.00%)
Avenida de Séneca, 2
28040 Madrid (Madrid) ES

(72) Inventor/es:

DEL HOYO MUÑOZ, Jesús;
SÁNCHEZ BREA, Luis Miguel;
ALDA SERRANO, Javier;
ANDRÉS PORRAS, Joaquín y
SORIA GARCÍA, Ángela

(54) Título: **DISPOSITIVO Y PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR SIMULTÁNEAMENTE LOS COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN MÍNIMA Y MÁXIMA Y LA RETARDANCIA DE UN POLARIZADOR LINEAL**

(57) Resumen:

Dispositivo y procedimiento para determinar simultáneamente los coeficientes de transmisión mínima y máxima y la retardancia de un polarizador lineal.

La invención se refiere a un dispositivo para determinar simultáneamente los coeficientes de transmisión mínima y máxima y la retardancia de un polarizador lineal que incluye: una fuente de luz (1), un sistema de control de la polarización (2), un sistema rotatorio (4) donde se aloja el polarizador que se va a medir (3), un retardador (5) alojado en un sistema rotatorio (4) o bien un conjunto de retardadores (6) con, al menos, dos retardadores con ángulos diferentes, un polarizador auxiliar (7), un sistema de detección de luz (8) y un sistema de control y procesamiento de datos (9).

La invención también se refiere a un procedimiento para determinar simultáneamente los coeficientes de transmisión mínima y máxima y la retardancia de un polarizador lineal utilizando el dispositivo de la invención.

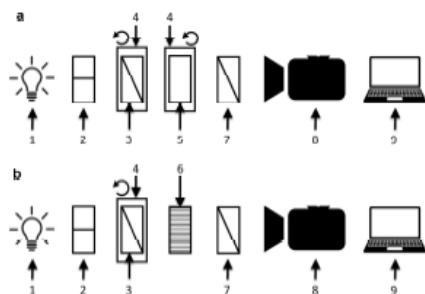


Figura 1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento para determinar simultáneamente los coeficientes de transmisión mínima y máxima y la retardancia de un polarizador lineal

Antecedentes de la invención

Dentro de las aplicaciones ópticas, uno de los elementos más utilizados son los polarizadores [1], también denominados diatenuadores. Estos elementos pueden ser, entre otros: láminas de cristal dicroico, películas delgadas dicroicas depositadas sobre vidrio, películas delgadas colocadas sobre vidrio que dividen un haz en dos dependiendo de su polarización, microhilos metálicos paralelos, etc. Se caracterizan porque su coeficiente de transmisión depende del estado de polarización de la luz incidente. Este coeficiente varía entre un valor máximo, normalmente cercano a 1, para un estado de polarización al que se le denomina estado de transmisión, y un valor mínimo, normalmente cercano a 0, para otro estado de polarización al que se le denomina estado de extinción. Cuando estos dos autoestados son ortogonales se denomina al polarizador como polarizador homogéneo. Cuando los estados de transmisión y extinción son estados de polarización lineal, al polarizador se le denomina polarizador lineal. En ese caso, a los estados de transmisión y extinción se les denomina eje de transmisión y extinción respectivamente, y al ángulo del eje de transmisión respecto a un sistema de referencia se le denomina ángulo de giro o acimut del polarizador. Cuando el coeficiente de transmisión mínima es 0, independientemente del estado de polarización de entrada, la luz a la salida del polarizador siempre tiene el mismo estado de polarización, el estado de transmisión. La mayoría de polarizadores son polarizadores homogéneos lineales, y quedan definidos por tres parámetros: coeficiente de transmisión máxima, coeficiente de transmisión mínima y ángulo de giro. Se suele utilizar un parámetro auxiliar, el coeficiente de extinción, que se define como el cuadrado del cociente del coeficiente de transmisión máxima entre el coeficiente de transmisión mínima, para comparar los polarizadores.

35 Además, los polarizadores reales presentan un parámetro adicional, el desfase que introduce entre dos estados de polarización, normalmente el estado de transmisión y el de extinción. A este parámetro se le denomina retardancia, y normalmente se desprecia debido a que el coeficiente de transmisión mínima es muy pequeño, pero puede ser importante en aplicaciones
40 que requieran una gran precisión.

Existe un método sencillo para caracterizar los tres parámetros principales de un polarizador homogéneo lineal, basado en la ley de Malus [2]. Este método requiere un polarizador auxiliar que debe estar completamente caracterizado o tener un coeficiente de transmisión mínima mucho menor que el del polarizador que se va a caracterizar. Sin embargo, este método tiene dos desventajas. La primera es que requiere usar un detector con un rango dinámico muy grande, ya que requiere medir intensidades muy altas y muy bajas. La segunda desventaja es que la medida del coeficiente de transmisión mínima es muy sensible a una medida errónea del ruido de fondo que llega al detector que no proviene de la fuente de luz del dispositivo, o que es causada por reflexiones no deseadas o dispersión de la fuente de luz.

Existen otros métodos, también basados en la ley de Malus, que tratan de solventar estos problemas. En [3] y [4] se utilizan varias medidas a diferentes ángulos de giro del polarizador que se va a medir para aumentar la precisión de la medida, pero sin solventar ninguno de los problemas principales. En [5] se utiliza un sistema de medidas de ángulos de gran precisión para

5 solventar el problema del detector con gran rango dinámico, pero se mantiene el problema de la sensibilidad al ruido de fondo. En [6] se usan diferentes filtros neutros y tiempos de adquisición de los detectores, de nuevo solventando el problema del rango dinámico, pero no del ruido de fondo.

10 La solicitud de patente CN112577716A utiliza haces no colimados y detectores con resolución espacial para realizar la medida de la ley de Malus con múltiples ángulos de incidencia de la luz, lo cual aumenta la precisión de la medida, pero con el inconveniente de usar detectores con resolución espacial que tienen menor precisión, y no se solventan ninguno de los dos problemas principales de la técnica.

15 La solicitud de patente EP 1389730A 1 utiliza un método basado en la ley de Malus en el que se minimiza el número de medidas para simplificar el proceso, con el inconveniente de reducir la precisión de la medida. Además, este método está implementado para polarizadores de fibra óptica.

20 Existen otros métodos de caracterización no basados en la ley de Malus. La polarímería de Mueller [8] permite determinar las características polarimétricas completas de un polarizador, es decir, sus tres parámetros principales y la retardancia Sin embargo, al ser una técnica de propósito general, tiene una precisión baja en la caracterización de estos parámetros, además de una complejidad elevada y tiempos de medición mucho más largos.

25 La patente CN 109708852B y la solicitud de patente CN102183360A utilizan un sistema interferométrico para determinar los tres parámetros principales de un polarizador lineal. Sin embargo, esta técnica presenta una complejidad elevada al requerir sensores con resolución espacial para medir con precisión las franjas de interferencia.

30 Para superar algunas de las deficiencias que presentan los dispositivos del estado de la técnica, presentamos un dispositivo que es capaz de medir simultáneamente y con precisión el coeficiente de transmisión mínima y la retardancia de un polarizador óptico lineal. Este dispositivo tiene varias ventajas respecto a los descritos en el estado de la técnica: mayor precisión, insensibilidad al error del ruido de fondo y evita la necesidad de usar detectores con un gran rango dinámico.

Referencias:

- 40 1. J. J. Gil, R. Ossikovski, "Polarized light and the Mueller matrix approach", CRC Press (2016).
- 45 2. M. Bass, "Handbook of Optics. Vol 2, Devices, Measurements, and Properties", McGraw-Hill, 1995
3. S.-M. F. Nee, C. Yoo, T. Cole, D. Burge, "Characterization for imperfect polarizers under imperfect conditions, Applied Optics 37 (1998) 54-64.
4. Y. Fan, R. Zhang, J. Chu, Z. Zhang, H. Yu, "High-precision measurement on the extinction ratio of linear polarizers", Journal of Modern Optics 69 (2022) 1142-1148
doi: 10.1080/09500340.2022.2159086
- 50 5. Y. Takubo, N. Takeda, J. H. Huang, K. Muroo, M. Yamamoto, "Precise measurement of the extinction ratio of a polarization analyser", Meas. Sci. Technol 9 (1998) 20-23.

6. M. Kraemer, T. G. Baur, "Extinction ratio measurements on high purity linear polarizers", SPIE-Intl Soc Optical Eng, 2018, p. 1065505.
7. J. del Hoyo, L. M. Sanchez-Brea, J. A. Gomez-Pedrero, "High precision calibration method for a four-axis mueller matrix polarimeter", Optics and Lasers in Engineering 5 132 (2020).

Explicación de la invención

10 Dispositivo y procedimiento para determinar simultáneamente los coeficientes de transmisión mínima y máxima y la retardancia de un polarizador lineal.

15 El primer aspecto de la presente invención se refiere a un dispositivo optoelectrónico que permite medir las características de un polarizador óptico. En particular, permite medir simultáneamente y con precisión el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador óptico lineal.

20 En esta memoria descriptiva, se entiende por "polarizador óptico" o "polarizador" cualquier elemento óptico cuya transmitancia óptica, es decir, el porcentaje de intensidad luminosa que atraviesa el dispositivo, dependa del estado de polarización de la luz incidente. Se entiende por "eje de transmisión" al estado de polarización lineal que presenta un mayor coeficiente de transmisión, y por "ángulo de giro" del polarizador al ángulo comprendido entre el eje de transmisión y un sistema de referencia. Se entiende por "retardador" cualquier elemento óptico fabricado usando al menos un material cuyo índice de refracción dependa del estado de polarización de la

25 luz incidente.

30 Un esquema del dispositivo optoelectrónico que se describe aquí para determinar los coeficientes de transmisión mínima y máxima y la retardancia de un polarizador comprende: una fuente de luz, un sistema de control de la polarización de la luz, un sistema rotatorio donde se aloja el polarizador que se va a medir, un retardador que se aloja en un sistema rotatorio o montura rotatoria, o un conjunto de al menos dos retardadores con ángulos diferentes, un polarizador auxiliar, un sistema detector de luz y un sistema de control y procesamiento de datos.

35 La fuente de luz es un dispositivo capaz de emitir radiación electromagnética, tal como la procedente de una fuente de haz láser, diodo láser, diodo LED, etc. El haz de luz emitido puede estar colimado o no. Puede ser monocromático o policromático. Dicho haz puede tener cualquier estado de polarización: puro, parcialmente polarizado, e incluso puede ser un haz despolarizado. El sistema para controlar la polarización de la fuente de luz debe permitir generar luz circularmente polarizada y linealmente polarizada, puede estar formado por varios polarizadores 40 y/o retardadores, por ejemplo, una combinación de un polarizador lineal y un retardador de cuarto de onda extraíble rotado 45° respecto al polarizador.

45 La luz atraviesa el polarizador que se va a medir, que debe estar montado en un sistema rotatorio para poder cambiar su ángulo de giro, por ejemplo, un sistema motorizado o una montura rotatoria manual. A continuación, atraviesa un retardador, que también debe estar montado en un sistema rotatorio, o un conjunto de al menos dos retardadores con ángulos de giro diferentes. Después, atraviesa un polarizador auxiliar que puede ser o no acromático. Finalmente, se mide la intensidad de la luz usando un sistema de detección, por ejemplo, un fotodetector monolítico, un espectrofotómetro, una cámara fotográfica o un conjunto de al menos dos detectores.

50 El procedimiento de medida es el siguiente. En primer lugar, hay que alinear el eje del polarizador que se va a medir con el del polarizador auxiliar y medir su coeficiente de transmisión máximo.

- Hay diversas maneras de lograrlo, por ejemplo, basándose en la ley de Malus, que se explica más adelante. A continuación, se manipula el sistema de control de polarización de la fuente de luz para generar luz circularmente polarizada o bien luz linealmente polarizada con un ángulo de 45° o 135° respecto al eje de transmisión de los polarizadores. Entonces, el retardador se rota al menos 180° mientras se mide la intensidad para identificar los dos puntos de intensidad mínima
- 5 Despues, se manipula el sistema de control de la polarización de la fuente para producir el otro tipo de polarización (linealmente polarizada si primero se generó circularmente polarizada y viceversa), y se vuelve a rotar el retardador al menos 180° para identificar de nuevo dos mínimos de intensidad. Todo este proceso está total o parcialmente controlado por un sistema de control
- 10 y procesamiento de datos como un ordenador o una placa electrónica, una vez recogida la luz mediante un sistema de detección de luz. Finalmente, a partir del coeficiente de transmisión máximo y de las cuatro intensidades mínimas obtenidas, el sistema de control y procesamiento de datos calcula el coeficiente de transmisión mínima y la retardancia del polarizador que se desea medir.
- 15 La explicación del proceso de cálculo de los coeficientes es la siguiente. En primer lugar, escogemos una referencia de origen de ángulos. De acuerdo a la ley de Malus, cuando se tiene una fuente de luz circularmente polarizada o totalmente despolarizada, un polarizador A con un ángulo de giro de 0° y un polarizador B con un ángulo de giro θ , la intensidad de la luz a la salida
- 20 del polarizador B es

$$I(\theta) = I_{min} + (I_{max} - I_{min}) \cos^2 \theta, \quad (\text{Ec. 1})$$

25 donde

$$I_{min} = \frac{I_0}{2} (p_{1A}^2 p_{2B}^2 + p_{2A}^2 p_{1B}^2), \quad (\text{Ec. 2})$$

$$30 \quad I_{max} = \frac{I_0}{2} (p_{1A}^2 p_{1B}^2 + p_{2A}^2 p_{2B}^2), \quad (\text{Ec. 3})$$

- 35 I_0 es la intensidad de la fuente de luz, y p_1 y p_2 son los coeficientes de transmisión máxima y mínima de los polarizadores respectivamente. Se obtiene la intensidad máxima cuando los ejes de los polarizadores están alineados, y la mínima cuando están ortogonales entre sí. De esta manera, conociendo los parámetros de uno de los polarizadores, podemos caracterizar el otro. Además, puesto que p_2 es muy pequeño, se ve que I_{min} , que es proporcional a p_2^2 , es todavía más pequeño, por lo que aparece el requisito del detector con gran rango dinámico. También ilustra que cualquier pequeño error de medida en I_{min} , como en el ruido de fondo, produce un gran error en el resultado de p_2 .

- 40 Como ejemplo para nuestro análisis matemático, vamos a usar una fuente de luz circularmente polarizada a derechas, el polarizador A, que es el que se va a medir, a 0°, un retardador de cuarto de onda con ángulo de giro θ , un polarizador auxiliar B a 0°, y un detector de luz. El vector de Jones de la fuente de luz circularmente polarizada es

$$45 \quad \vec{E}_{ini} = \sqrt{\frac{I_0}{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix}, \quad (\text{Ec. 4})$$

La matriz de Jones de los polarizadores $\alpha=A_1B$ a 0° , cuando el eje de transmisión está alineado con el eje X, es

5

$$P_\alpha = \begin{pmatrix} p_{1\alpha} & 0 \\ 0 & p_{2\alpha} \end{pmatrix}, \quad (\text{Ec. 5})$$

10 La matriz del retardador cuarto de onda, un retardador cuya retardancia Δ_R es 90° , en función de su ángulo de giro es

$$R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos^2\theta - i \sin^2\theta & (1+i) \cos\theta \sin\theta \\ (1+i) \cos\theta \sin\theta & \sin^2\theta - i \cos^2\theta \end{pmatrix}, \quad (\text{Ec. 6})$$

15

Entonces, el vector de Jones de la luz que llega al sistema de detección de luz se obtiene por multiplicación secuencial de las matrices de Jones de los diferentes elementos al vector de Jones de la fuente de luz,

20

$$\vec{E} = P_B R(\theta) P_A \vec{E}_{ini}, \quad (\text{Ec. 7})$$

que, sustituyendo las matrices de Jones y realizando el cálculo matricial, resulta en

25

$$E_x = \sqrt{\frac{I_0}{2}} [p_{1B} p_{1A} (\cos^2\theta - i \sin^2\theta) + p_{1B} p_{2A} \cos\theta \sin\theta], \quad (\text{Ec. 8})$$

30

$$E_y = \sqrt{\frac{I_0}{2}} [p_{2B} p_{1A} (1+i) \cos\theta \sin\theta + p_{2B} p_{2A} (\cos^2\theta - i \sin^2\theta)], \quad (\text{Ec. 9})$$

La intensidad de cada componente se puede calcular como el cuadrado del valor absoluto, resultando en

35

$$I_x = \frac{I_0}{4} p_{1B}^2 [p_{1A}^2 (1 + \cos^2 2\theta) + p_{2A}^2 \sin^2 2\theta - 2p_{1A} p_{2A} \sin 2\theta], \quad (\text{Ec. 10})$$

$$I_y = \frac{I_0}{4} p_{2B}^2 [p_{2A}^2 (1 + \cos^2 2\theta) + p_{1A}^2 \sin^2 2\theta + 2p_{1A} p_{2A} \sin 2\theta], \quad (\text{Ec. 11})$$

40

La intensidad medida por el sistema de detección de luz es la suma de las intensidades de cada componente. Se pueden encontrar los máximos y mínimos de la intensidad total calculando la derivada respecto a θ e igualando a 0, resultando en

$$\frac{\partial I_x}{\partial \theta} = I_0 p_{1B}^2 \cos 2\theta [(p_{2A}^2 - p_{1A}^2) \sin 2\theta - p_{1A} p_{2A}], \quad (\text{Ec. 12})$$

5 $\frac{\partial I_y}{\partial \theta} = I_0 p_{2B}^2 \cos 2\theta [(p_{1A}^2 - p_{2A}^2) \sin 2\theta + p_{1A} p_{2A}], \quad (\text{Ec. 13})$

Dos soluciones a estas ecuaciones son $\theta=45^\circ$ y $\theta=135^\circ$. Calculando su derivada segunda, se comprueba que su signo es negativo, por lo que corresponden a mínimos.

10 Si calculamos el valor de la intensidad para estos ángulos, obtenemos

15 $I(45^\circ) = \frac{I_0}{4} [p_{1B}^2 (p_{1A} - p_{2A})^2 + p_{2B}^2 (p_{1A} + p_{2A})^2], \quad (\text{Ec. 14})$

15 $I(135^\circ) = \frac{I_0}{4} [p_{1B}^2 (p_{1A} + p_{2A})^2 + p_{2B}^2 (p_{1A} - p_{2A})^2], \quad (\text{Ec. 15})$

y la diferencia entre ellas es

20 $\delta I = I(135^\circ) - I(45^\circ) = I_0 (p_{1B}^2 - p_{2B}^2) p_{1A} p_{2A}, \quad (\text{Ec. 16})$

25 Por último, puesto que p_2 es muy inferior a p_1 , para la mayoría de los polarizadores, podemos aproximar la diferencia de intensidades como

30 $\delta I \approx I_0 p_{1B}^2 p_{1A} p_{2A}, \quad (\text{Ec. 17})$

35 Esto significa que, si conocemos los parámetros p_i de los polarizadores, por ejemplo, usando la ley de Malus que permite calcularlos con precisión, y se mide la diferencia de intensidades entre los mínimos, podemos calcular el parámetro p_2 del polarizador A.

40 Este método tiene tres ventajas principales. La primera es que la medida es proporcional a p_2 , no a p_2^2 , por lo que su precisión al medir p_2 pequeños es mayor que con la ley de Malus. Además, desaparece la necesidad de usar un sistema de detección de luz con un gran rango dinámico. Por último, al tratarse de una diferencia de intensidades, la medida es insensible a un posible error en la medida del ruido de fondo.

45 Una ventaja adicional es que el método es muy versátil. En primer lugar, se puede usar una fuente circularmente polarizada a izquierdas, su único efecto es cambiar el signo de δI . También existe la posibilidad de usar los máximos de intensidad, o realizar ajustes a la Ecuación 10, ya que la contribución de la Ecuación 11 (proporcional a p_2^2) se puede despreciar frente a la de la Ecuación 10 (proporcional a p_1^2), como se ha indicado anteriormente.

Por otro lado, si se considera que el polarizador A puede presentar retardancia, Δ , la Ecuación 17 se ve modificada a

$$5 \quad \delta I_{\mathcal{O}} \approx I_0 p_{1B}^2 p_{1A} p_{2A} \cos\Delta, \quad (\text{Ec. 18})$$

Si ahora cambiamos la fuente de luz a una fuente linealmente polarizada a 45° , la Ecuación 18 se ve modificada a

$$\delta I_{45^\circ} \approx -I_0 p_{1B}^2 p_{1A} p_{2A} \sin\Delta, \quad (\text{Ec. 19})$$

15 Por lo tanto, midiendo esta diferencia de intensidades usando ambas fuentes, se pueden medir simultáneamente tanto p_2 como Δ . Δ se puede obtener como el arcotangente del cociente entre δI_{Oy} y δI_{45° , mientras que p_2 se obtiene sustituyendo este dato en la Ecuación 18 o 19.

20 El proceso de medida no se ve afectado por la referencia de origen de ángulos seleccionada. Es posible usar diferentes estados de polarización lineal, no únicamente lineal a 45° , si se rotan los dos polarizadores de manera que la diferencia entre el ángulo del estado de polarización lineal y el ángulo de los polarizadores sea 45° (o 225° , que es equivalente). También se puede usar una diferencia de 135° (o 315°) cambiando el signo de la Ecuación 19. En ambos casos, se debe restar el ángulo de giro de ambos polarizadores al ángulo de giro del retardador. También se puede invertir el orden de medida usando primero la luz linealmente polarizada y posteriormente la luz circularmente polarizada.

25

Es importante conocer la tolerancia del dispositivo a diversos errores experimentales. Para ello, hemos realizado diversas simulaciones de cálculo numérico. En primer lugar, hemos analizado el efecto del error cometido por desalineamientos de los polarizadores sobre las diferencias de intensidad. Cuando hay un ángulo φ entre los ejes de transmisión de los polarizadores, el polarizador que se desea medir y el polarizador auxiliar, este error puede modelarse como

$$\delta I' \approx \delta I \cos \varphi, \quad (\text{Ec. 20})$$

40 Cuando la fuente de luz está linealmente polarizada y hay un ángulo $\varphi + 45^\circ$ entre la luz polarizada de la fuente y el eje de transmisión del polarizador que se va a medir, el error también puede modelarse usando la Ecuación 20.

45 También hemos analizado el efecto del error en la circularidad de la fuente de luz. Esta circularidad puede describirse con el ángulo de elipticidad, X , que alcanza valores de 45° para la luz circularmente polarizada a derechas, -45° para la luz circularmente polarizada a izquierdas, 0° para la luz linealmente polarizada, y cualquier otro valor para la luz elípticamente polarizada. En ese caso, el efecto sobre la diferencia de intensidades con la fuente circularmente polarizada puede modelarse como

$$\delta I' \approx \delta I \sin 2X, \quad (\text{Ec. 21})$$

y para la luz linealmente polarizada como

$$\delta I' \approx \delta I \cos 2X, \quad (\text{Ec. 22})$$

5

Por último, hemos explorado la posibilidad de usar cualquier retardador, no únicamente un retardador de cuarto de onda, es decir, cuando Δ_R es diferente a 90° . Si tiene cualquier otra retardancia, el efecto sobre la diferencia de intensidades se puede modelar como

10

$$\delta I' = \delta I \cos \Delta_R, \quad (\text{Ec. 23})$$

15

por lo que pueden usarse otros retardadores diferentes al retardador de cuarto de onda si se conoce su retardancia.

En todos los casos analizados, la diferencia entre intensidades, I , viene multiplicada por un seno o un coseno, que en el caso de no cometer errores vale 1. Puesto que en esas situaciones la derivada del seno y del coseno es 0, significa que el error cometido es muy pequeño debido a estos errores experimentales. Esta es una gran fortaleza del dispositivo.

El segundo aspecto de la invención, por lo tanto, se refiere a un procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando un dispositivo como los que se describen en esta memoria descriptiva y realizando los siguientes pasos:

- a) alinear el eje del polarizador que se va a medir con el eje del polarizador auxiliar;
- 30 b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir empleando cualquier procedimiento, por ejemplo, uno basado en la ley de Malus;
- c) mediante el sistema de control de polarización de la luz, generar luz circularmente polarizada;
- d) usando la luz circularmente polarizada, rotar el retardador y medir las intensidades mínimas para los ángulos de rotación de 45° y 135° , con respecto al eje del polarizador que se desea medir y el polarizador auxiliar;
- 35 e) mediante el sistema de control de polarización de luz, generar luz linealmente polarizada con un ángulo de 45° o 135° con respecto al eje del paso a);
- f) usando la luz linealmente polarizada, rotar el retardador y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135° , con respecto al eje del polarizador que se desea medir y el polarizador auxiliar;
- 40 g) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir a partir de las ecuaciones 18 y 19.

Como se ha indicado anteriormente, se puede invertir el orden de los grupos de pasos c/d y e/f, realizando en primer lugar los pasos e/f y, posteriormente, los pasos c/d, e incluso realizarlos en paralelo usando dos fuentes de luz y un sistema de detección de luz con dos detectores diferentes. Para una medida más precisa, se pueden sustituir los pasos d y f por los siguientes pasos:

- 50 h) usando la fuente de luz circularmente polarizada, rotar el retardador, medir la intensidad de la luz para al menos dos ángulos comprendidos entre 0° y 180° , y calcular las intensidades mínimas realizando un ajuste de las medidas a la Ecuación 10.

- i) usando la fuente de luz linealmente polarizada, rotar el retardador, medir la intensidad de la luz para varios ángulos comprendidos entre 0° y 180° , y calcular las intensidades mínimas realizando un ajuste de las medidas a la Ecuación 10.
- 5 De nuevo, se puede invertir el orden de los grupos de pasos d/h y f/i, e incluso realizarlos en paralelo empleando un sistema de detección de luz con dos detectores diferentes.
- Opcionalmente, se utilizan estados de polarización lineal diferentes a 45° o 135° en los pasos e, f e i, rotando el polarizador que se va a medir y el polarizador auxiliar de manera que la diferencia entre el ángulo del estado de polarización lineal y el ángulo de los polarizadores sea 45° o 135° . Entonces, hay que restar el ángulo de giro del polarizador que se va a medir al ángulo del retardador para encontrar las posiciones angulares de los mínimos y para realizar el ajuste a la Ecuación 10. Por lo tanto, otro aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando el dispositivo descrito en esta memoria, que incluye los siguientes pasos:
- 10 a) alinear el eje del polarizador que se va a medir con el eje del polarizador auxiliar;
- 20 b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir;
- 25 c) generar luz circularmente polarizada mediante el sistema de control de polarización de la luz;
- d) usando la luz circularmente polarizada, rotar el retardador y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135° , con respecto al eje del polarizador que se desea medir y el polarizador auxiliar;
- 30 e) generar luz linealmente polarizada mediante el sistema de control de polarización de la luz con un ángulo diferente a 45° y 135° con respecto al eje del paso a);
- f) rotar el polarizador que se va a medir y el polarizador auxiliar a un ángulo 45° o 135° inferior al de la luz linealmente polarizada generada en el paso anterior;
- 35 g) usando la luz linealmente polarizada, rotar el retardador y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135° , con respecto al eje del polarizador que se desea medir y el polarizador auxiliar;
- 40 h) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir a partir de las ecuaciones 18 y 19.
- Como en los casos anteriores, el orden de los grupos de pasos c/d y e/f/g se puede invertir.
- 45 La invención también se refiere a un procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando el dispositivo descrito en esta memoria, que incluye los siguientes pasos:
- 50 a) alinear el eje del polarizador que se va a medir con el eje del polarizador auxiliar;
- b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir;
- c) generar luz circularmente polarizada mediante el sistema de control de polarización de la luz;
- d) usando la luz circularmente polarizada, rotar el retardador, medir la intensidad de la luz para al menos dos ángulos comprendidos entre 0° y 180° , y calcular las intensidades mínimas realizando un ajuste de las medidas a la Ecuación 10;
- e) generar luz linealmente polarizada con un ángulo diferente a 45° y 135° mediante el sistema de control de polarización de la luz;
- f) rotar el polarizador que se va a medir y el polarizador auxiliar a un ángulo 45° o 135° inferior al de la luz linealmente polarizada generada en el paso anterior;

- g) usando la luz linealmente polarizada, rotar el retardador medir la intensidad de la luz para al menos dos ángulos comprendidos entre 0° y 180° , con respecto al eje del polarizador que se desea medir y el polarizador auxiliar, y calcular las intensidades mínimas realizando un ajuste de las medidas a la Ecuación 10.
- 5 h) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir a partir de las ecuaciones 18 y 19; procedimiento en el que el orden de los grupos de pasos c/d y e/f/g se puede invertir.

Otro aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando el dispositivo descrito en esta memoria que incluye 2 fuentes de luz y dos sistemas de detección de luz, que comprende los siguientes pasos:

- 15 a) alinear el eje del polarizador que se va a medir con el eje del polarizador auxiliar;
- b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir;
- c) generar luz circularmente polarizada mediante el sistema de control de polarización de una de las fuentes de luz del dispositivo y generar luz linealmente polarizada mediante el mismo sistema de control de polarización de la otra fuente de luz del dispositivo con un ángulo diferente a 45° y $20 135^\circ$;
- d) rotar el polarizador que se va a medir y el polarizador auxiliar a un ángulo 45° o 135° inferior al de la luz linealmente polarizada generada en el paso anterior;
- e) usando ambos tipos de luz, rotar el retardador y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135° con dos detectores diferentes del sistema de detección de luz (8), con respecto al eje del polarizador que se desea medir y el polarizador auxiliar;
- 25 f) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir a partir de las ecuaciones 18 y 19.

Breve descripción de los dibujos

30 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

35 Se proporciona una lista de los distintos elementos representados en las Figuras que forman parte de esta memoria descriptiva; los elementos dibujados con líneas discontinuas son elementos extraíbles:

- 1.- Fuente de luz.
 - 1.1 - Láser de He-Ne.
 - 40 1.2 - Fila de tres diodos láser colimados
 - 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3 - Diodos individuales.
 - 1.3 - Luz blanca direccional.
 - 1.4 - Diodo LED láser.
- 2.- Sistema de control de la polarización.
 - 45 2.1 - Polarizador lineal a 45° .
 - 2.2 - Retardador de cuarto de onda a 90° extraíble.
 - 2.3 - Retardador de cuarto de onda a 90° .
 - 2.4 - Polarizador lineal acromático a 45° .
 - 2.5 - Retardador acromático de cuarto de onda a 90° extraíble.
- 50 3.- Polarizador que se va a medir.

- 4.- Sistema rotatorio o montura rotatoria.
 - 4.1 - Montura rotatoria manual.
 - 4.2 - Montura rotatoria motorizada.
- 5.- Retardador.
 - 5.1 - Retardador de cuarto de onda extraíble.
 - 5.2 - Retardador de cuarto de onda.
 - 5.3 - Retardador acromático extraíble.
- 6.- Conjunto de al menos dos retardadores
 - 6.1 - Conjunto de 16 retardadores.
- 10 7.- Polarizador auxiliar.
 - 7.1 - Polarizador auxiliar a 0° .
 - 7.2 - Polarizador acromático auxiliar a 0° .
- 8.- Sistema de detección de luz.
 - 8.1 - Fotodiodo.
 - 8.2 - Conjunto de tres fotodiodos.
 - 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3 - Fotodiodos individuales.
 - 8.3 - Espectrofotómetro.
 - 8.4 - Cámara.
- 15 9.- Sistema de control y procesamiento de datos
 - 9.1 - Placa electrónica con botones.
 - 9.2 - Pantalla.
 - 9.3 - Ordenador.

Figura 1. Muestra, de forma esquemática, un dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal. Una fuente de luz (1) emite un haz de luz que atraviesa un sistema de control de la polarización (2), el polarizador que se va a medir (3) que se encuentra montado sobre una montura rotatoria (4), un retardador (5) que se encuentra colocado en otra montura rotatoria (4) (Figura 1a) o un conjunto de al menos dos retardadores (6) (Figura 1b), y un polarizador auxiliar (7). La luz es recogida por un sistema de detección de luz (8). Las señales generadas por el sistema de detección de luz son procesadas mediante elementos de procesamiento de datos (9).

Figura 2. Esquema de un dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal. La fuente de luz consiste en un láser de He-Ne (1.1). Su luz atraviesa el sistema de control de la polarización de la luz, que consiste en un polarizador lineal a 45° (2.1) y un retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2). A continuación, la luz atraviesa el polarizador que se va a medir (3), que va montado sobre una montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria manual (4.1). Después, la luz atraviesa el retardador, que consiste en un retardador de cuarto de onda extraíble (5.1), colocado sobre una montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria manual (4.1). Por último, la luz atraviesa el polarizador auxiliar que consiste en un polarizador lineal a 0° (7.1) y es recogida por el sistema de detección de luz, que consiste en un fotodiodo (8.1). La señal del fotodiodo (8.1) es recogida por el sistema de control y procesamiento de datos, que consiste en una placa electrónica con botones (9.1) y una pantalla (9.2).

Figura 3. Datos experimentales medidos usando el dispositivo descrito en el Ejemplo 1 y la Figura 2. La Figura 3a muestra la intensidad normalizada medida por el fotodiodo (8.1) en función del ángulo de rotación del retardador de cuarto de onda extraíble (5.1) en grados para una iluminación circularmente polarizada a derechas. La Figura 3b muestra la intensidad normalizada medida por el fotodiodo (8.1) en función del ángulo de rotación del retardador de cuarto de onda extraíble (5.1) en grados para una iluminación linealmente polarizada a 45° . En ambas Figuras

(3a y 3b), los datos para la medida del polarizador LPVISE-100A se muestran con círculos y para el polarizador de plástico se muestran con cruces. Además, las líneas discontinuas y las flechas ayudan a identificar la diferencia entre mínimos de intensidad, δI .

5 **Figura 4.** Esquema de un dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el
coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal. La fuente de luz
consiste en una fila de tres diodos láser colimados (1.2). La luz atraviesa el sistema de control
de la polarización de la fuente, que consiste en un polarizador lineal a 45° (2.1) y un retardador
de cuarto de onda a 90° (2.3), que solo cubre la luz emitida por los diodos 1.2.1 y 1.2.2. A
10 continuación, la luz atraviesa el polarizador que se va a medir (3), que va montado sobre una
montura rotatoria, que consiste en una montura rotatoria motorizada (4.2). Después, la luz
atraviesa el retardador, que consiste en un retardador de cuarto de onda (5.2), colocado sobre
una montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria motorizada (4.2). Únicamente la luz
15 de los diodos 1.2.2 y 1.2.3 atraviesa el retardador (5.2). Por último, la luz atraviesa el polarizador
auxiliar, que consiste en un polarizador lineal a 0° (7.1), y es recogida por el sistema de detección
de luz, que consiste en un conjunto de tres fotodiódos (8.2). La señal de los tres fotodiódos (8.2)
20 es recogida por el sistema de control y procesamiento de datos, que consiste en un ordenador
(9.3).

20 **Figura 5.** Esquema de un dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el
coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal. La fuente de luz
consiste en una lámpara de luz blanca direccional (1.3). Su luz atraviesa el sistema de control de
la polarización de la fuente, que consiste en un polarizador lineal acromático a 45° (2.4) y un
25 retardador acromático de cuarto de onda a 90° extraíble (2.5). A continuación, la luz atraviesa el
polarizador que se va a medir (3), que va montado sobre una montura rotatoria (4) que consiste
en una montura rotatoria motorizada (4.2). Después, la luz atraviesa el retardador (5), que
consiste en un retardador acromático extraíble (5.3), colocado sobre una montura rotatoria (6)
30 que consiste en una montura rotatoria motorizada (4.2). Por último, la luz atraviesa el polarizador
auxiliar, que en este caso consiste en un polarizador lineal acromático a 0° (7.2), y es recogida
35 por el sistema de detección de luz, que consiste en un espectrofotómetro (8.3). La señal del
espectrofotómetro (8.3) es recogida por el sistema de control y procesamiento de datos, que
40 consiste en un ordenador (9.3).

35 **Figura 6.** Datos experimentales medidos usando el dispositivo descrito en el Ejemplo 3 y la
Figura 5. La Figura 6a muestra el coeficiente de transmisión máximo (p_1) en función de la longitud
45 de onda en nanómetros medido para el polarizador usando un método de ley de Malus. La Figura
6b muestra el coeficiente de transmisión mínima (p_2) medido en función de la longitud de onda
usando un método basado en la ley de Malus (línea punteada) y el dispositivo del Ejemplo 3
50 (línea continua). La Figura 6c muestra la retardancia medida en función de la longitud de onda
usando el dispositivo del Ejemplo 3. En todos los casos, las zonas sombreadas corresponden al
error de las medidas.

45 **Figura 7.** Esquema de un dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el
coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal. La fuente de luz
consiste en un diodo LED láser (1.4). Su luz atraviesa el sistema de control de la polarización de
la fuente que consiste en un polarizador lineal a 45° (2.1) y un retardador de cuarto de onda a
90° extraíble (2.2). A continuación, la luz atraviesa el polarizador que se va a medir (3), que va
50 montado sobre una montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria manual (4.1).
Después, la luz atraviesa un conjunto de 16 retardadores (6.1). Por último, la luz atraviesa el
polarizador auxiliar que consiste en un polarizador lineal a 0° (7.1) y es recogida por el sistema
de detección de luz, que consiste en una cámara (8.4). La señal de la cámara (8.4) es recogida
por el sistema de control y procesamiento de datos, que consiste en un ordenador (9.3).

Figura 8. Simulaciones de cálculo numérico modelando la tolerancia del dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal al desalineamiento de los polarizadores (del polarizador que se va a medir (3) y el polarizador auxiliar fijo (7) según la Figura 1). La Figura 8a muestra la

5 posición del primer mínimo en función del coeficiente de transmisión mínima (p_2) del polarizador que se va a medir (3) en el eje horizontal y del desalineamiento en grados entre estos dos polarizadores (3, 7) en el eje vertical. La Figura 8b muestra la posición del segundo mínimo en función del coeficiente de transmisión mínima (p_2) del polarizador que se va a medir (3) en el eje horizontal y del desalineamiento en grados entre los dos polarizadores (3, 7) en el eje vertical.

10 La Figura 8c muestra la diferencia entre intensidades mínimas (δI) en función del ángulo de desalineamiento entre polarizadores (3, 7) en la línea continua, y su valor modelado usando la Ecuación 20 en la línea punteada.

Figura 9. Simulaciones de cálculo numérico modelando la tolerancia del dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal a las imperfecciones del sistema de control de la polarización (2). La Figura 9a muestra la diferencia entre intensidades mínimas (δI) en función del ángulo de elipticidad de la luz a la salida del sistema de control de la polarización (2) para un acimut de 0°

20 cuando genera polarización circular a derechas. El valor coincide con el modelado por la Ecuación 21. La Figura 9b muestra la diferencia entre intensidades mínimas (δI) en función del coeficiente de transmisión mínima (p_2) del polarizador que se va a medir (3) en el eje horizontal y el acimut de la luz a la salida del sistema de control de la polarización (2) en el eje vertical para un ángulo de elipticidad de 35° cuando genera polarización circular a derechas.

25 **Realización preferente de la invención**

La presente invención se ilustra mediante los siguientes ejemplos, que no pretenden ser limitativos de su alcance.

30 **Ejemplo 1: Dispositivo optoelectrónico que incluye un láser de He-Ne, un polarizador y un retardador de cuarto de onda extraíble y monturas rotatorias manuales.**

Se fabricó un dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima y la retardancia 35 de un polarizador lineal (polarizador que se va a medir (3)). El dispositivo está esquematizado en la Figura 2. La fuente de luz consiste en un láser de He-Ne (1.1). El haz láser atraviesa el sistema de control de la polarización de la fuente que consiste en un polarizador lineal a 45° (2.1) y un retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2). De esa manera, el usuario puede cambiar entre luz circularmente polarizada a derechas, cuando el retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2) está insertado, o luz linealmente polarizada a 45° cuando el retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2) está quitado del camino del haz láser.

A continuación, la luz atraviesa el polarizador que se va a medir (3), que va montado sobre una 45 montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria manual (4.1). Después, la luz atraviesa el retardador, que consiste en un retardador de cuarto de onda extraíble (5.1), colocado sobre una montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria manual (4.1). Por último, la luz atraviesa el polarizador auxiliar, que consiste en un polarizador a 0° (7.1) y es recogida por el sistema de detección de luz, que consiste en un fotodiodo (8.1). La señal del fotodiodo (8.1) es recogida por el sistema de control y procesamiento de datos, que consiste en una placa electrónica con botones (9.1) y una pantalla (9.2).

El usuario coloca en el camino del haz láser el retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2) del sistema de control de polarización de la fuente (2) para obtener luz circularmente polarizada,

- y extrae el retardador de cuarto de onda extraíble (5.1). Entonces, el usuario puede rotar manualmente la montura rotatoria manual (4.1) del polarizador que se va a medir (3). La pantalla (9.2) ofrece la lectura de potencia del fotodiodo (8.1). A continuación, el usuario puede encontrar la posición de máxima intensidad, que de acuerdo a la ley de Malus corresponde a la posición 5 en que el polarizador que se va a medir queda alineado a 0° . Pulsando un botón de la placa electrónica con botones (9.1), ésta calcula el coeficiente de transmisión máxima usando la Ecuación 3 y lo almacena.
- Entonces, el usuario inserta el retardador de cuarto de onda extraíble (5.1), rota su montura giratoria manual (4.1), y busca las posiciones de mínima intensidad en 45° y 135° con ayuda de la lectura que ofrece la pantalla (9.2) de la medida de intensidad del fotodiodo (8.1). En cada una de esas posiciones, el usuario pulsa un botón de la placa electrónica con botones (9.1) para que ésta almacene la lectura de intensidad. 10
- Finalmente, el usuario retira del camino del haz láser el retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2) del sistema de control de polarización de la fuente (2) para obtener luz linealmente polarizada a 45° . Entonces, el usuario rota la montura giratoria manual (6.1) del retardador de cuarto de onda (5.1), y busca las posiciones de mínima intensidad en 45° y 135° con ayuda de la lectura que ofrece la pantalla (9.2) de la medida de intensidad del fotodiodo (8.1). En cada una 15 de esas posiciones, el usuario pulsa un botón de la placa electrónica con botones (9.1) para que ésta almacene la lectura de intensidad. Finalmente, la placa electrónica con botones (9.1) calcula el coeficiente de transmisión mínima y la retardancia del polarizador que se va a medir (3) empleando las Ecuaciones 18 y 19, y los ofrece en la pantalla (9.2).
- Usando este dispositivo, se han medido dos polarizadores diferentes, un polarizador comercial 20 de lámina delgada sobre vidrio LPVISE-100A de la empresa Thorlabs y un polarizador de plástico para fotografía. De manera ilustrativa, la Figura 3 muestra la intensidad medida por el fotodiodo (8.1) en función del ángulo de giro del retardador de cuarto de onda extraíble (5.1) en grados usando el dispositivo descrito en este ejemplo. Los círculos corresponden a los datos del 25 polarizador LPVISE-100A y las cruces al polarizador de plástico. En la Figura 3a se muestran los datos usando luz circularmente polarizada mientras que en la Figura 3b se muestran los datos usando luz linealmente polarizada a 45° . Esto permite identificar que los mínimos de intensidad aparecen en 45° y 135° . Las líneas punteadas y las flechas ayudan a identificar la diferencia entre mínimos de intensidad, δI . Además, estos mismos polarizadores también se caracterizaron 30 usando otras técnicas para comparar los resultados: un método basado en la ley de Malus y por 35 polarimetría de Mueller.
- El resultado se muestra en la Tabla 1. Se puede ver cómo el método basado en la ley de Malus es incapaz de medir un valor coherente del coeficiente de transmisión mínima, ya que el resultado obtenido es negativo, lo que no es posible. El resultado de la polarimetría de Mueller, tal y como 40 se esperaba, infraestima p_1 , respecto al medido usando la Ley de Malus y sobreestima p_2 . Además, el valor de la retardancia tiene un gran error y no es nada confiable. Es más, los valores 45 de errores proporcionados en la tabla son únicamente estadísticos, a los que habría que añadir los errores sistemáticos, por lo que su precisión sería incluso menor. Finalmente, los valores obtenidos mediante el dispositivo de este ejemplo son mucho más precisos. En comparación, los valores ofrecidos por el fabricante infraestiman tanto p_1 , como p_2 .

Tabla 1

Método	Parámetro	LPVISE-100A	Pol. plástico
Datos del fabricante	p_1	0.889	No disponible
	p_2	0.007	No disponible
Polarimetría de Mueller	p_1	0.90 ± 0.01	0.74 ± 0.02
	p_2	0.07 ± 0.02	0.05 ± 0.2
	$\Delta (\circ)$	100 ± 27	114 ± 24
Dispositivo Ejemplo 1	Ley de Malus	p_1	0.913 ± 0.001
		p_2	<0
	Procedimiento preciso	p_1	0.913 ± 0.001
		p_2	0.023 ± 0.001
		$\Delta (\circ)$	163 ± 1
			119 ± 2

Ejemplo 2: Dispositivo optoelectrónico que incluye una fila de tres diodos láser, un conjunto de tres fotodiódos y monturas rotatorias motorizadas.

Se diseñó un dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal (polarizador que se va a medir). El dispositivo está esquematizado en la Figura 4. La fuente de luz consiste en una fila de tres diodos láser colimados (1.2). De esta manera, se puede paralelizar la toma de medidas, reduciendo el tiempo de medida, y evitar componentes que deba mover el usuario.

La luz de los diodos láser atraviesa el sistema de control de la polarización de la fuente, que consiste en un polarizador lineal a 45° (2.1) y un retardador de cuarto de onda a 90° (2.3), que solo cubre la luz emitida por los diodos 1.2.1 y 1.2.2. De esa manera, se generan dos haces con luz circularmente polarizada a derechas y un tercer haz con luz linealmente polarizada a 45° .

A continuación, la luz atraviesa el polarizador que se va a medir (3), que va montado sobre una montura rotatoria que, en este ejemplo, consiste en una montura rotatoria motorizada (4.2). Después, la luz atraviesa el retardador, que consiste en un retardador de cuarto de onda (5.2), colocado sobre una montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria motorizada (4.2). Únicamente la luz de los diodos 1.2.2 y 1.2.3 atraviesa el retardador de cuarto de onda (5.2). Por último, la luz atraviesa el polarizador auxiliar, que consiste en un polarizador lineal a 0° (7.1), y es recogida por el sistema de detección de luz, que consiste en un conjunto de tres fotodiódos (8.2). La señal de los tres fotodiódos (8.2) es recogida por el sistema de control y procesamiento de datos, que consiste en un ordenador (9.3), que también controla el movimiento de las monturas rotatorias motorizadas (4.2).

El procedimiento de medida usando este dispositivo es automático. En primer lugar, el ordenador (9.3) hace girar la montura rotatoria motorizada (4.2) del polarizador que se va a medir (3), a la vez que monitoriza la señal del fotodiodo (8.2.1) del conjunto de tres fotodiódos (8.2). De esa manera, usando la ley de Malus puede determinar la posición de la montura rotatoria motorizada (4.2) en que el polarizador que se va a medir (3) está a 0° , además de su coeficiente de transmisión máxima.

A continuación, se rota la montura giratoria motorizada (4.2) del retardador de cuarto de onda (5.2) entre 0° y 180° mientras monitoriza la señal de los fotodiódos 8.2.2 y 8.2.3 del conjunto de tres fotodiódos (8.2). De esta manera, se realizan simultáneamente las medidas con luz

circularmente polarizada, correspondientes a la luz del diodo 1.2.2 de la fila de tres diodos láser colimados (1.2), y de luz linealmente polarizada, correspondientes al diodo 1.2.3 de la fila de tres diodos láser colimados (1.2).

- 5 Finalmente, el ordenador (9.3) calcula el coeficiente de transmisión mínima y la retardancia del polarizador que se va a medir (3) empleando las Ecuaciones 18 y 19, y los muestra en pantalla.

Ejemplo 3: Dispositivo optoelectrónico que incluye una fuente de luz blanca, polarizadores y retardadores acromáticos, monturas rotatorias motorizadas y un espectrofotómetro.

10 Se fabricó un dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal en múltiples longitudes de onda simultáneamente. El dispositivo está esquematizado en la Figura 5. La fuente de luz consiste en una lámpara de luz blanca direccional (1.3). El haz de luz atraviesa el sistema de control de la
 15 polarización de la fuente que, en este ejemplo, consiste en un polarizador lineal acromático a 45° (2.4) y un retardador acromático de cuarto de onda a 90° extraíble (2.5). De esa manera, el usuario puede cambiar entre luz circularmente polarizada a derechas, cuando el retardador acromático de cuarto de onda a 90° extraíble (2.5) está insertado, o luz linealmente polarizada a 45° cuando el retardador acromático de cuarto de onda a 90° extraíble (2.5) está quitado del
 20 camino de la luz.

A continuación, la luz atraviesa el polarizador que se va a medir (3), que va montado sobre una montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria motorizada (4.2). Después, la luz atraviesa el retardador, que consiste en un retardador acromático extraíble (5.3), colocado sobre una montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria motorizada (6.2). Por último, la luz atraviesa el polarizador auxiliar, que en este ejemplo consiste en un polarizador acromático a 0° (7.2), y es recogida por el sistema de detección de luz, que consiste en un espectrofotómetro (8.3). La señal del espectrofotómetro (8.3) es recogida por el sistema de control y procesamiento de datos, como puede ser un ordenador (9.3), que también controla el movimiento de las
 30 monturas rotatorias motorizadas (4.2, 6.2).

El usuario coloca en el camino del haz de luz el retardador acromático de cuarto de onda a 90° extraíble (2.5) del sistema de control de polarización de la fuente (2) para obtener luz circularmente polarizada, y retira el retardador acromático extraíble (5.3). Entonces, el ordenador (9.3) hace rotar la montura rotatoria motorizada (4.2) del polarizador que se va a medir (3). De esa manera, usando la ley de Malus puede determinar la posición de la montura rotatoria motorizada (4.2) en que el polarizador que se va a medir (3) está a 0°, además de su coeficiente de transmisión máxima.

40 Después, el ordenador (9.3) rota la montura giratoria motorizada (4.2) a la posición de 0° y el usuario inserta el retardador acromático de cuarto de onda extraíble (5.3). A continuación, el ordenador (9.3) rota la montura rotatoria motorizada (6.2) del retardador acromático (5.3) entre 0° y 180°, mientras el ordenador (9.3) monitoriza las medidas de intensidad del espectrofotómetro (8.3) para todas las longitudes de onda.

45 Finalmente, el usuario retira del camino del haz de luz el retardador acromático de cuarto de onda a 90° extraíble (2.5) del sistema de control de polarización de la fuente (2) para obtener luz linealmente polarizada a 45°. Entonces, el ordenador (9.3) rota la montura rotatoria motorizada (6.2) del retardador acromático (5.3) entre 0° y 180°, mientras el ordenador (9.3) monitoriza las
 50 medidas de intensidad del espectrofotómetro (8.3) para todas las longitudes de onda. Por último, el ordenador (9.3), teniendo en cuenta la retardancia del retardador acromático (5.3), calcula el coeficiente de transmisión mínima y la retardancia del polarizador (3) para todas longitudes de onda empleando las Ecuaciones 18, 19 y 23.

La Figura 6 muestra el resultado de las medidas obtenidas del polarizador WP25M-VIS (que consiste en una matriz de hilos metálicos en un sustrato de vidrio de sílice) usando este dispositivo. La Figura 6a muestra el valor de p , en función de la longitud de onda en nanómetros usando un método basado en la ley de Malus. Se ve que el error, la zona sombreada, es pequeño. La Figura 6b muestra el valor de p_2 en función de la longitud de onda en nanómetros usando este dispositivo (línea continua), y usando un método basado en la ley de Malus (línea punteada) para comparar. En el caso del método basado en la ley de Malus, el resultado es prácticamente 0 en todos los casos, con un error elevado. Sin embargo, usando este dispositivo, se obtiene un valor de p_2 mucho más razonable, ya que el dato ofrecido por el fabricante en este rango de longitudes de onda es un ratio de extinción mayor que 500. Además, el error de esta medida también es menor. Finalmente, la Figura 6c muestra la retardancia del polarizador en grados en función de la longitud de onda. Se puede ver que alcanza valores apreciables de hasta 45°, y llega a medir valores negativos, en los que distingue el cambio de signo de δI .

Ejemplo 4. Dispositivo optoelectrónico que incluye un diodo LED láser, un conjunto de 16 retardadores extraíble y una cámara.

Este ejemplo describe un dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal (polarizador que se va a medir). El dispositivo está esquematizado en las Figuras 1b y 7. La fuente de luz consiste en un diodo LED láser (1.4). El haz láser atraviesa el sistema de control de la polarización de la fuente que consiste en un polarizador lineal a 45° (2.1) y un retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2). De esa manera, el usuario puede cambiar entre luz circularmente polarizada a derechas, cuando el retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2) está insertado, o luz linealmente polarizada a 45° cuando el retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2) está quitado del camino del haz láser.

A continuación, la luz atraviesa el polarizador que se va a medir (3), que va montado sobre una montura rotatoria que consiste en una montura rotatoria manual (4.1). Después, la luz atraviesa el conjunto de retardadores, que en este ejemplo consiste en un conjunto de 16 retardadores extraíble (6.1). Estos retardadores tienen diferentes ángulos de giro con diferencias de 1° entre ellos. 8 de ellos tienen ángulos alrededor de 45° y otros 8 ángulos alrededor de 135°. Por último, la luz atraviesa el polarizador auxiliar, que consiste en un polarizador a 0° (7.1) y es recogida por el sistema de detección de luz, que consiste en una cámara (8.4). La señal de la cámara (8.4) es recogida por el sistema de control y procesamiento de datos, que consiste en un ordenador (9.3).

El usuario coloca en el camino del haz láser el retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2) del sistema de control de polarización de la fuente (2) para obtener luz circularmente polarizada y extrae el conjunto de 16 retardadores extraíble (6.1). Entonces, el usuario puede rotar manualmente la montura rotatoria manual (4.1) del polarizador que se va a medir (3). El ordenador (9.3) ofrece la lectura de la suma de la potencia medida por cada pixel de la cámara (8.4). A continuación, el usuario puede encontrar la posición de máxima intensidad, que de acuerdo a la ley de Malus corresponde a la posición en que el polarizador que se va a medir queda alineado a 0°. Pulsando un botón del ordenador (9.3), éste calcula el coeficiente de transmisión máxima usando la Ecuación 3 y lo almacena.

Posteriormente, el usuario inserta el conjunto de 16 retardadores extraíble (6.1). El usuario pulsa un botón del ordenador (9.3), que toma una imagen de la cámara (8.4). Entonces, el usuario retira el retardador de cuarto de onda a 90° extraíble (2.2) del sistema de control de polarización de la fuente (2) del camino del haz láser, y pulsa un botón del ordenador (9.3), que toma una segunda imagen de la cámara (8.4). Con la información de dichas imágenes y los ángulos de giro de los retardadores del conjunto de 16 retardadores extraíble (6.1), el ordenador (9.3) hace

cuatro ajustes de las Ecuaciones 10 y 11, con lo que calcula los mínimos de intensidad. Después, emplea esos valores para calcular el coeficiente de transmisión mínima y la retardancia del polarizador que se va a medir (3) empleando las Ecuaciones 18 y 19.

5 **Ejemplo 5. Simulaciones de cálculo numérico modelando la tolerancia del dispositivo.**

Este ejemplo describe las simulaciones de cálculo numérico realizadas para analizar las tolerancias del dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal.

10 En primer lugar, se ha analizado la tolerancia del dispositivo a un desalineamiento del ángulo de los polarizadores (del polarizador que se va a medir (3) y el polarizador auxiliar (7) según la Figura 1a). Los resultados de esta simulación se encuentran en la Figura 8.

15 La Figura 8a muestra la posición del primer mínimo en función del coeficiente de transmisión mínima (p_2) del polarizador que se va a medir (3) en el eje horizontal y del desalineamiento en grados entre los polarizadores (es decir, el polarizador que se va a medir (3) y el polarizador auxiliar (7)) en el eje vertical. La Figura 8b muestra la posición del segundo mínimo en función del coeficiente de transmisión mínima (p_2) del polarizador que se va a medir (3) en el eje horizontal y del desalineamiento en grados entre los dos polarizadores (3 y 7) en el eje vertical. Se puede ver que este desalineamiento mueve la posición de los mínimos de los valores de 45° y 135° del caso perfecto, pero este movimiento es pequeño para la mayoría de polarizadores, por lo que no afecta al procedimiento de medida.

20 25 La Figura 8c muestra la diferencia entre intensidades mínimas (δI) en función del ángulo de desalineamiento entre los dos polarizadores (3 y 7) en la línea continua, y su valor modelado usando la Ecuación 20 en la línea punteada. La diferencia entre ambas gráficas es mínima, lo que justifica modelar el error cometido usando la Ecuación 20. Además, se puede ver que la desviación respecto al caso perfecto es muy baja incluso para valores de desalineamiento de 10°, lo que ilustra que el sistema es muy tolerante a este error.

30 35 En segundo lugar, se ha analizado la tolerancia del dispositivo para determinar el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal a las imperfecciones del sistema de control de la polarización (2). Los resultados de esta simulación se encuentran en la Figura 9.

40 La Figura 9a muestra la diferencia entre intensidades mínimas (δI) en función del ángulo de elipticidad de la luz a la salida del sistema de control de la polarización (2) para un acimut de 0° cuando genera polarización circular a derechas. El valor coincide con el modelado por la Ecuación 21 con unas desviaciones del orden de la precisión numérica del ordenador, lo que indica que esta Ecuación 21 es exacta. Además, se puede ver que la desviación respecto al caso perfecto es muy baja incluso para valores del ángulo de elipticidad de 40°, lo que ilustra que el sistema es bastante tolerante a este error.

45 50 La Figura 9b muestra la diferencia entre intensidades mínimas (δI) en función del coeficiente de transmisión mínima (p_2) del polarizador que se va a medir (3) en el eje horizontal y el acimut de la luz a la salida del sistema de control de la polarización (2) en el eje vertical para un ángulo de elipticidad de 35° cuando genera polarización circular a derechas. Se puede ver que las diferencias son mínimas incluso para polarizadores con un coeficiente de transmisión mínima muy elevados, por lo que el dispositivo es prácticamente insensible a este parámetro y no hay que tenerlo en cuenta en el proceso de medida.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para determinar simultáneamente los coeficientes de transmisión mínima y máxima y la retardancia de un polarizador lineal que comprende, a lo largo del eje de transmisión de la luz y por el orden indicado a continuación, los siguientes elementos:
- una fuente de luz (1);
 - un sistema de control de la polarización (2);
 - un sistema rotatorio o montura rotatoria (4) donde se aloja el polarizador que se va a medir (3);
 - 10 - un retardador (5) que se aloja en un sistema rotatorio o montura rotatoria (4) o bien un conjunto de retardadores (6) con, al menos, dos retardadores con ángulos diferentes;
 - un polarizador auxiliar (7);
 - un sistema de detección de luz (8) y
 - un sistema de control y procesamiento de datos (9).
- 15 2. Dispositivo según la reivindicación 1 en el que la fuente de luz (1) puede ser una fuente de haz láser, al menos un diodo láser, al menos un diodo LED, una lámpara de luz blanca.
- 20 3. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el haz de luz emitido por la fuente de luz (1) es colimado o no colimado, monocromático o policromático, y su estado de polarización es puro, parcialmente polarizado despolarizado.
- 25 4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el sistema de control de la polarización (2) está formado por al menos un polarizador y/o al menos un retardador.
- 30 5. Dispositivo según la reivindicación 4 en el que el sistema de control de la polarización (2) está formado por un polarizador lineal a 45°, que puede ser o no acromático, y un retardador de cuarto de onda a 90° extraíble o no extraíble.
- 35 6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el sistema rotatorio (4) donde se aloja el polarizador que se va a medir (3) es motorizado o manual.
7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el retardador (5) es acromático o no, extraíble o no extraíble y está alojado en un sistema rotatorio o montura rotatoria (4).
- 35 8. Dispositivo según la reivindicación 7 en el que el sistema rotatorio (4) es manual motorizado.
- 40 9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-6 en el que conjunto de retardadores (6) incluye entre 2 y 16 retardadores.
- 45 10. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el polarizador auxiliar (7) es un polarizador lineal a 0° que puede ser o no acromático.
- 50 11. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el sistema de detección de luz (8) se selecciona del grupo formado por: un fotodiodo, un conjunto de, al menos, dos fotodiodos, un espectrofotómetro y/o una cámara fotográfica.
- 50 12. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el sistema de control y procesamiento de datos (9) es una placa electrónica con botones más una pantalla, o bien un ordenador.

13. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que incluye 2 fuentes de luz (1) y dos detectores diferentes en el sistema de detección de luz (8).
- 5 14. Procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando un dispositivo como el definido en cualquiera de las reivindicaciones 1-12, que incluye los siguientes pasos:
- 10 a) alinear el eje del polarizador que se va a medir (3) con el eje del polarizador auxiliar (7);
 b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir (3);
 c) generar luz circularmente polarizada mediante el sistema de control de polarización (2) de la luz;
- 15 d) usando la luz circularmente polarizada, rotar el retardador (5) y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135°, con respecto al eje del polarizador que se desea medir (3) y el polarizador auxiliar (7);
 e) generar luz linealmente polarizada mediante el sistema de control de polarización (2) de la luz con un ángulo de 45° o 135° con respecto al eje del paso a);
- 20 f) usando la luz linealmente polarizada, rotar el retardador (5) y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135°, con respecto al eje del polarizador que se desea medir (3) y el polarizador auxiliar (7);
 g) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir (3) a partir de las ecuaciones 18 y 19.
- 25 15. Procedimiento según la reivindicación 14 en el que el orden de los grupos de pasos c/d y e/f se invierte.
- 30 16. Procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando un dispositivo como el definido en cualquiera de las reivindicaciones 1-12, que incluye los siguientes pasos:
- 35 a) alinear el eje del polarizador que se va a medir (3) con el eje del polarizador auxiliar (7);
 b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir (3);
 c) generar luz circularmente polarizada mediante el sistema de control de polarización (2) de la luz;
- 40 d) usando la luz circularmente polarizada, rotar el retardador (5), medir la intensidad de la luz para al menos dos ángulos comprendidos entre 0° y 180°, y calcular las intensidades mínimas realizando un ajuste de las medidas a la Ecuación 10;
- 45 e) generar luz linealmente polarizada a 45° o 135° mediante el sistema de control de polarización (2) de la luz;
 f) usando la luz linealmente polarizada, rotar el retardador (5) medir la intensidad de la luz para al menos dos ángulos comprendidos entre 0° y 180°, con respecto al eje del polarizador que se desea medir (3) y el polarizador auxiliar (7), y calcular las intensidades mínimas realizando un ajuste de las medidas a la Ecuación 10;
- 50 g) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir (3) a partir de las ecuaciones 18 y 19.

17. Procedimiento según la reivindicación 16 en el que el orden de los grupos de pasos c/d y e/f se invierte.
- 5 18. Procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando un dispositivo como el definido en la reivindicación 13, que incluye los siguientes pasos:
- 10 a) alinear el eje del polarizador que se va a medir (3) con el eje del polarizador auxiliar (7);
 b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir (3);
 c) generar luz circularmente polarizada mediante el sistema de control de polarización (2) de una de las fuentes de luz (1) del dispositivo y generar luz linealmente polarizada mediante el mismo sistema de control de polarización (2) de la otra fuente de luz (1) del dispositivo con un ángulo de 45° o 135°;
15 d) usando ambos tipos de luz, rotar el retardador (5) y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135° con dos detectores diferentes del sistema de detección de luz (8), con respecto al eje del polarizador que se desea medir (3) y el polarizador auxiliar (7);
 e) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir (3) a partir de las ecuaciones 18 y 19.
- 20 19. Procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando un dispositivo como el definido en cualquiera de las reivindicaciones 1-12, que incluye los siguientes pasos:
- 25 a) alinear el eje del polarizador que se va a medir (3) con el eje del polarizador auxiliar (7);
 b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir (3);
 c) generar luz circularmente polarizada mediante el sistema de control de polarización (2) de la luz;
30 d) usando la luz circularmente polarizada, rotar el retardador (5) y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135°, con respecto al eje de polarizador que se desea medir (3) y el polarizador auxiliar (7);
 e) generar luz linealmente polarizada mediante el sistema de control de polarización (2) de la luz con un ángulo diferente a 45° y 135° con respecto al eje del paso a);
 f) rotar el polarizador que se va a medir (3) y el polarizador auxiliar (7) a un ángulo 45° o 135° inferior al de la luz linealmente polarizada generada en el paso anterior;
 g) usando la luz linealmente polarizada, rotar el retardador (5) y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135°, con respecto al eje del polarizador que desea medir (3) y el polarizador auxiliar (7);
40 h) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir (3) a partir de las ecuaciones 18 y 19.
- 45 20. Procedimiento según la reivindicación 19 en el que el orden de los grupos de pasos c/d y e/f/g se invierte.
- 50 21. Procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando un dispositivo como el definido en cualquiera de las reivindicaciones 1-12, que incluye los siguientes pasos:

- a) alinear el eje del polarizador que se va a medir (3) con el eje del polarizador auxiliar (7);
 - b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir (3);
 - c) generar luz circularmente polarizada mediante el sistema de control de polarización (2) de la luz;
 - 5 d) usando la luz circularmente polarizada, rotar el retardador (5), medir la intensidad de la luz para al menos dos ángulos comprendidos entre 0° y 180° , y calcular las intensidades mínimas realizando un ajuste de las medidas a la Ecuación 10;
 - e) generar luz linealmente polarizada con un ángulo diferente a 45° y 135° mediante el sistema
 - 10 de control de polarización (2) de la luz;
 - f) rotar el polarizador que se va a medir (3) y el polarizador auxiliar (7) a un ángulo 45° o 135° inferior al de la luz linealmente polarizada generada en el paso anterior;
 - g) usando la luz linealmente polarizada, rotar el retardador (5) medir la intensidad de la luz para al menos dos ángulos comprendidos entre 0° y 180° , con respecto al eje del polarizador que se deseja medir (3) y el polarizador auxiliar (7), y calcular las intensidades mínimas realizando un ajuste de las medidas a la Ecuación 10.
 - 15 h) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir (3) a partir de las ecuaciones 18 y 19.
- 20 22. Procedimiento según la reivindicación 21 en el que el orden de los grupos de pasos c/d y e/f/g se invierte.
- 25 23. Procedimiento para determinar de forma simultánea el coeficiente de transmisión mínima, el coeficiente de transmisión máxima y la retardancia de un polarizador lineal, utilizando un dispositivo como el definido en la reivindicación 13, que incluye los siguientes pasos:
- a) alinear el eje del polarizador que se va a medir (3) con el eje del polarizador auxiliar (7);
 - b) medir el ángulo de giro y el coeficiente de transmisión máxima del polarizador que se va a medir (3);
 - 30 c) generar luz circularmente polarizada mediante el sistema de control de polarización (2) de una de las fuentes de luz (1) del dispositivo y generar luz linealmente polarizada mediante el mismo sistema de control de polarización (2) de la otra fuente de luz (1) del dispositivo con un ángulo diferente a 45° y 135° ;
 - d) rotar el polarizador que se va a medir (3) y el polarizador auxiliar (7) a un ángulo 45° o 135° inferior al de la luz linealmente polarizada generada en el paso anterior;
 - 35 e) usando ambos tipos de luz, rotar el retardador (5) y medir las intensidades mínimas para los ángulos de 45° y 135° con dos detectores diferentes del sistema de detección de luz (8), con respecto al eje del polarizador que se desea medir (3) y el polarizador auxiliar (7);
 - f) calcular los parámetros del polarizador que se desea medir (3) a partir de las ecuaciones 18 y
- 40 19.

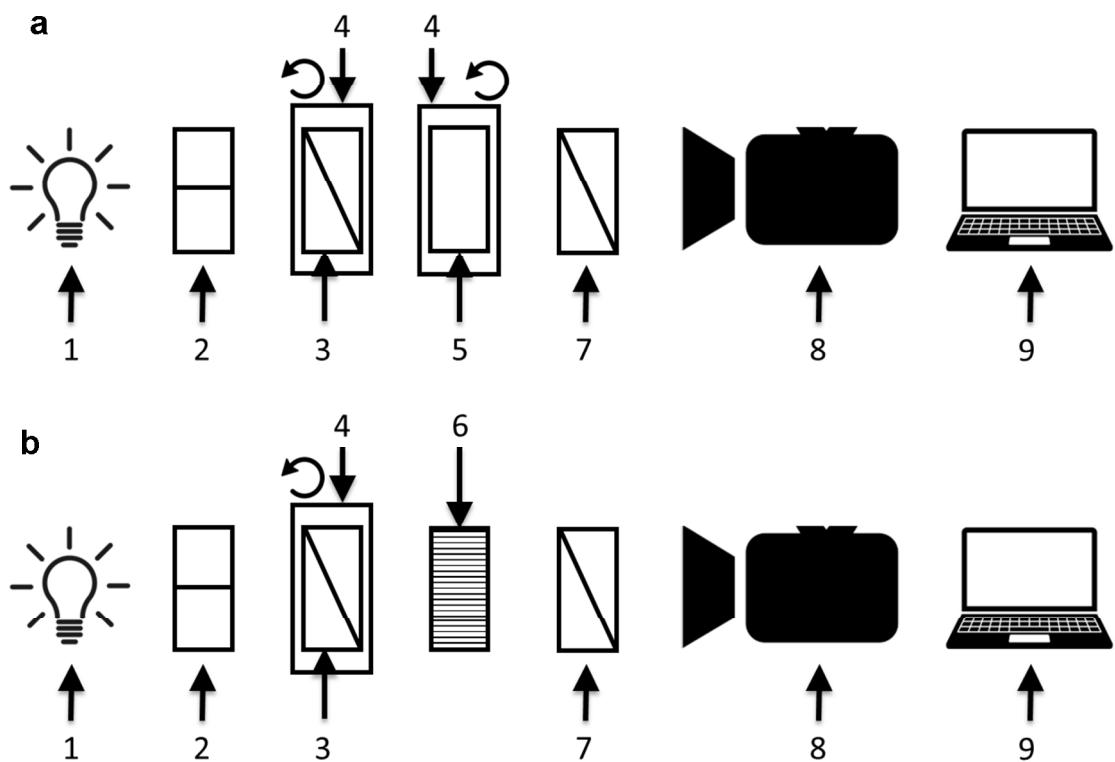


Figura 1

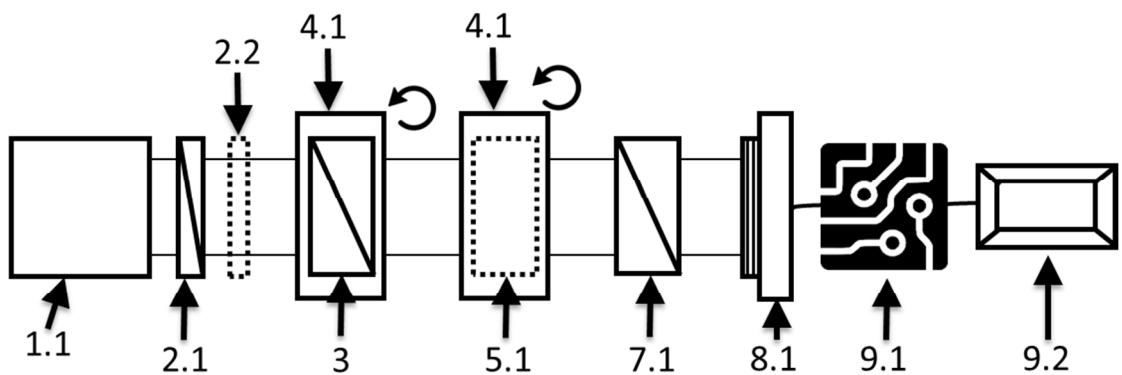


Figura 2

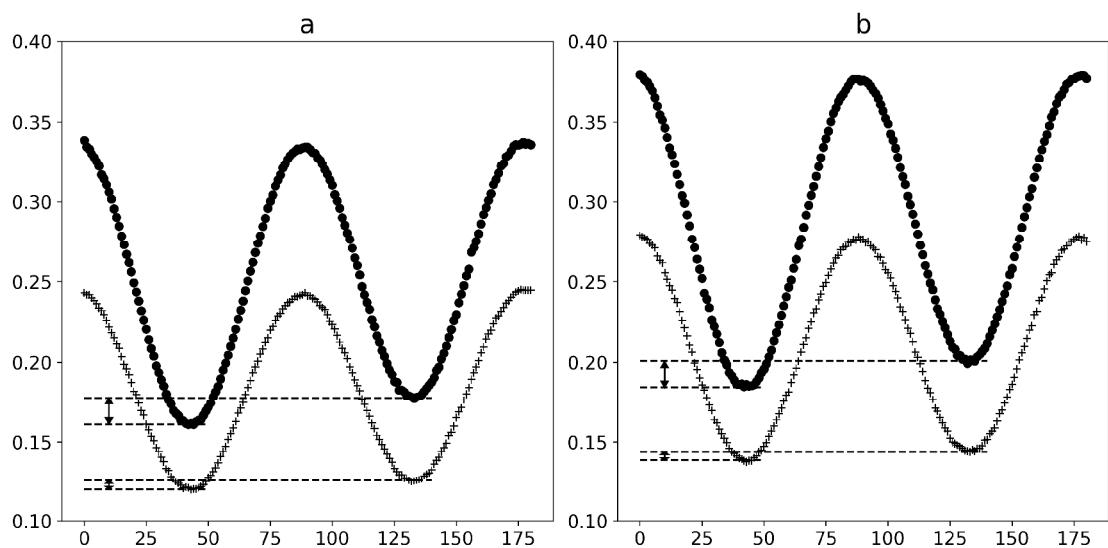


Figura 3

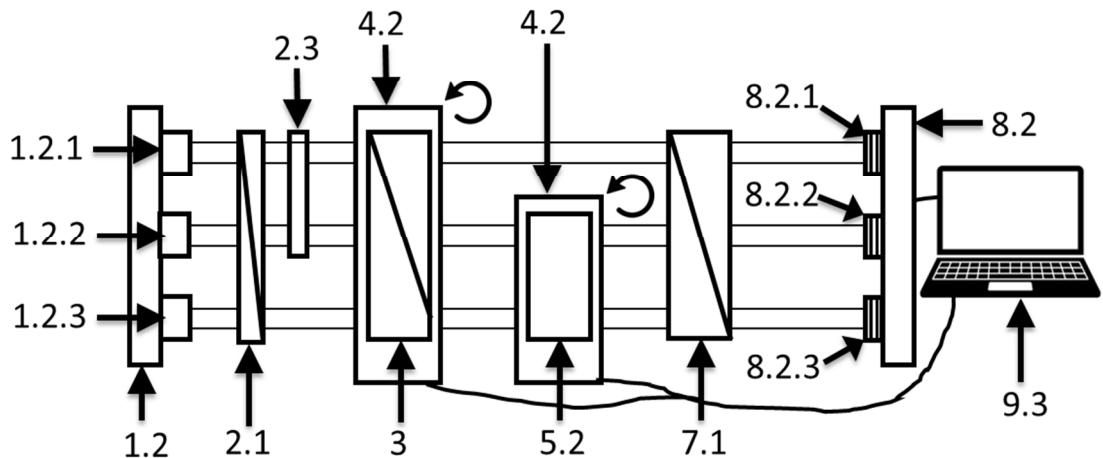


Figura 4

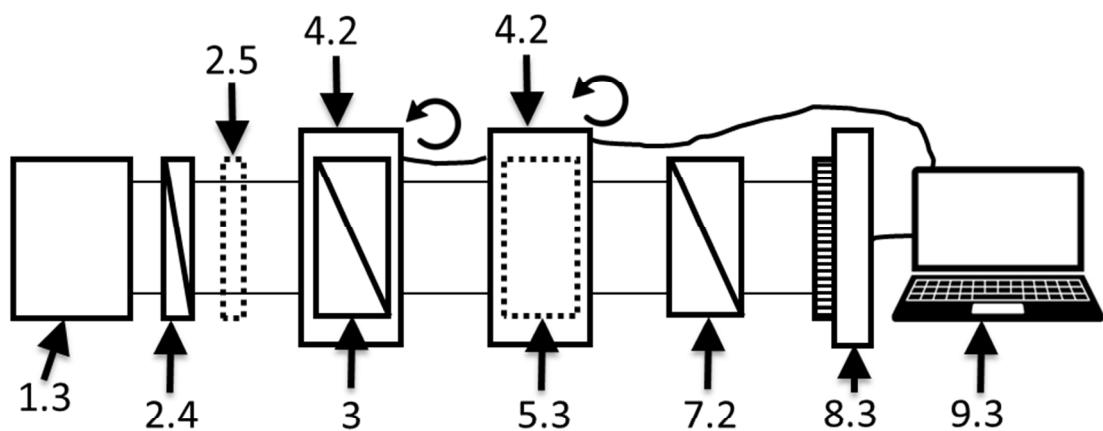


Figura 5

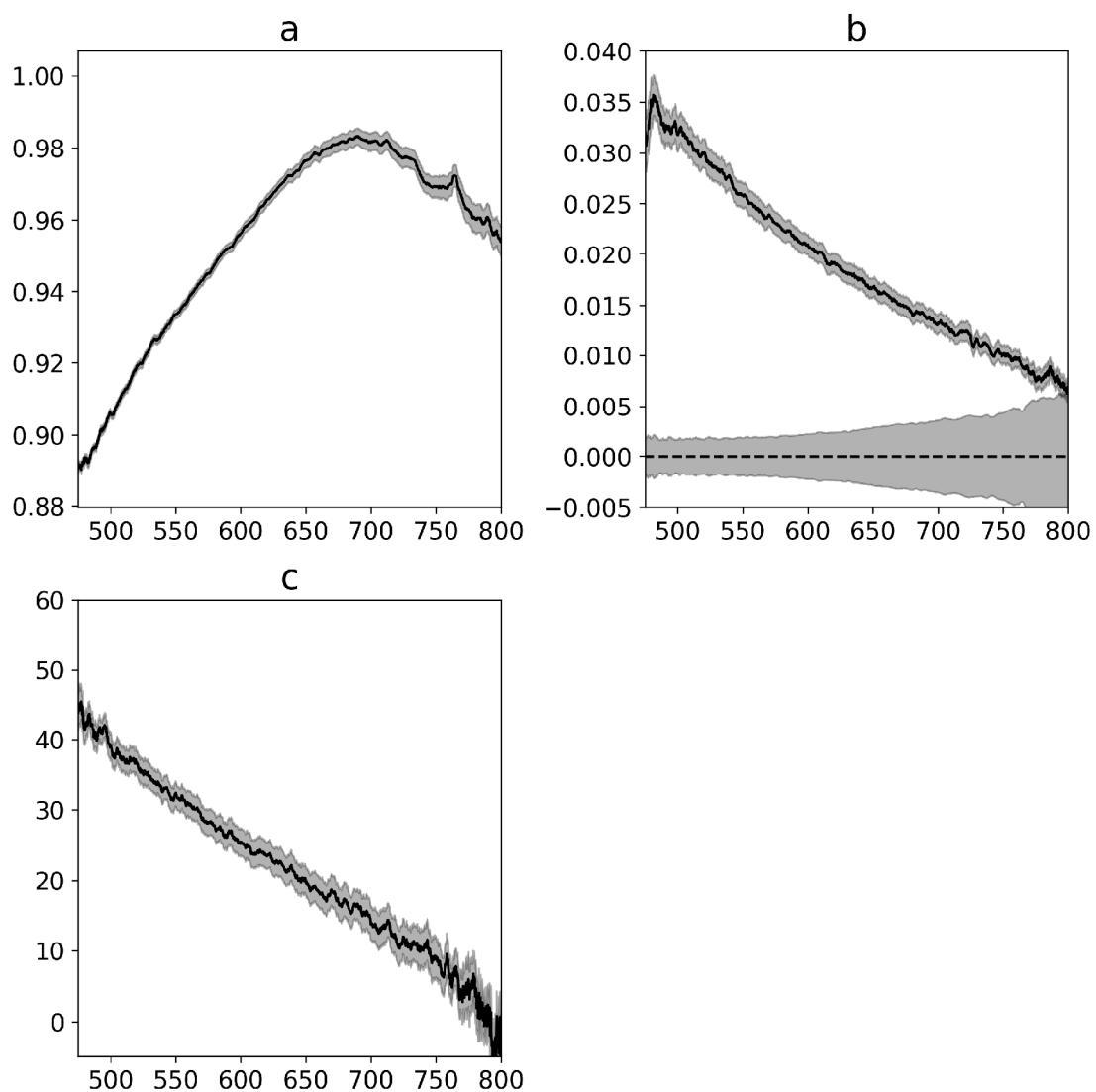


Figura 6

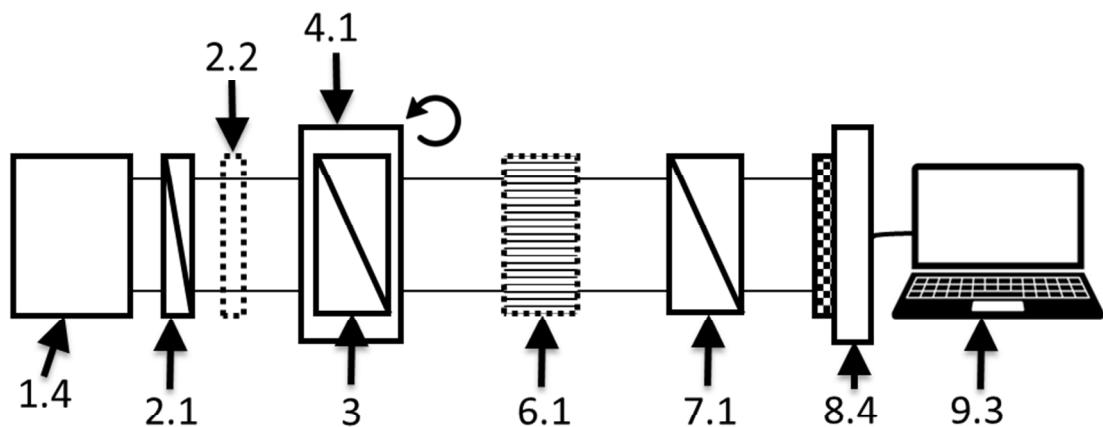


Figura 7

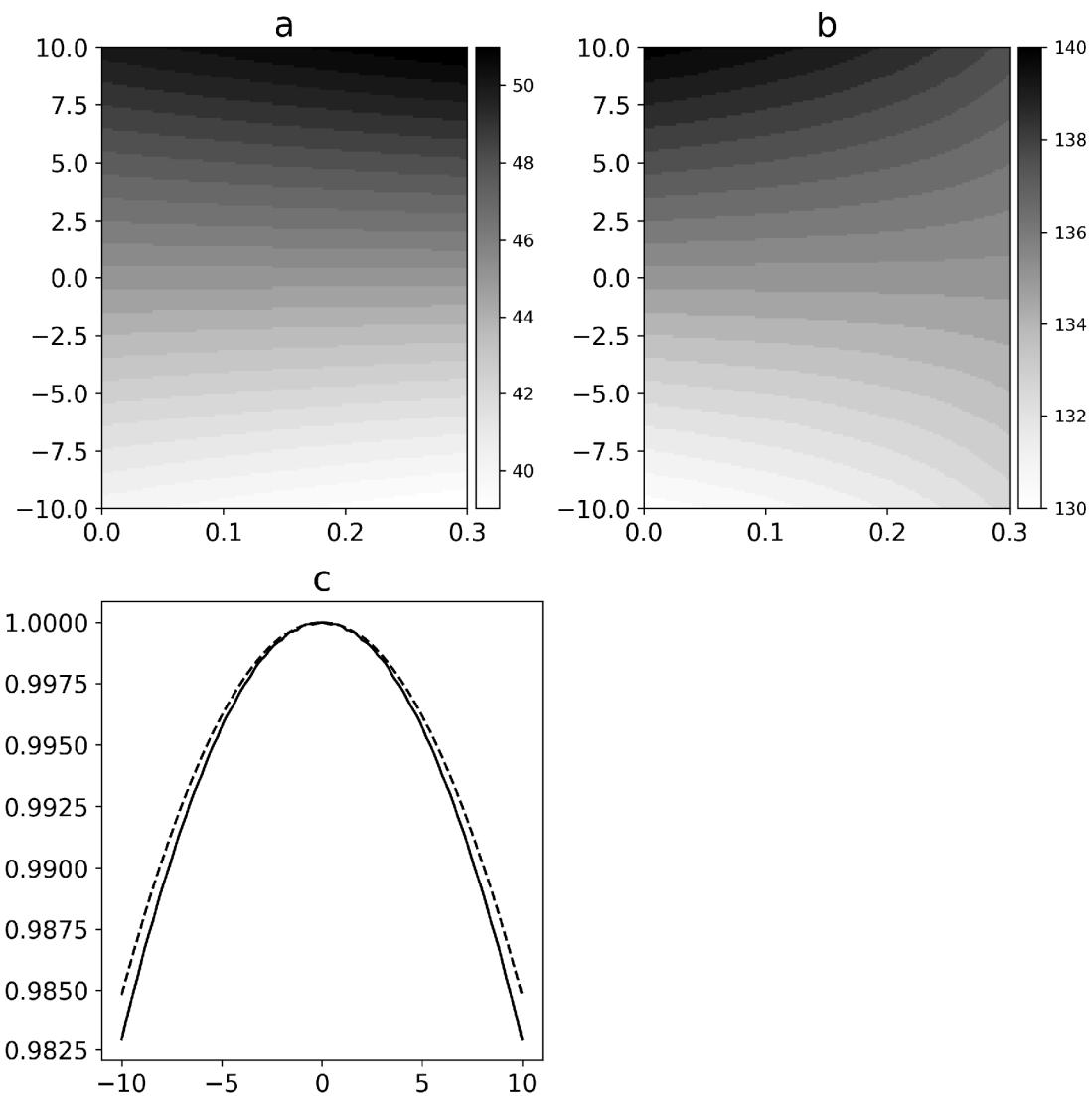


Figura 8

ES 3 014 233 A1

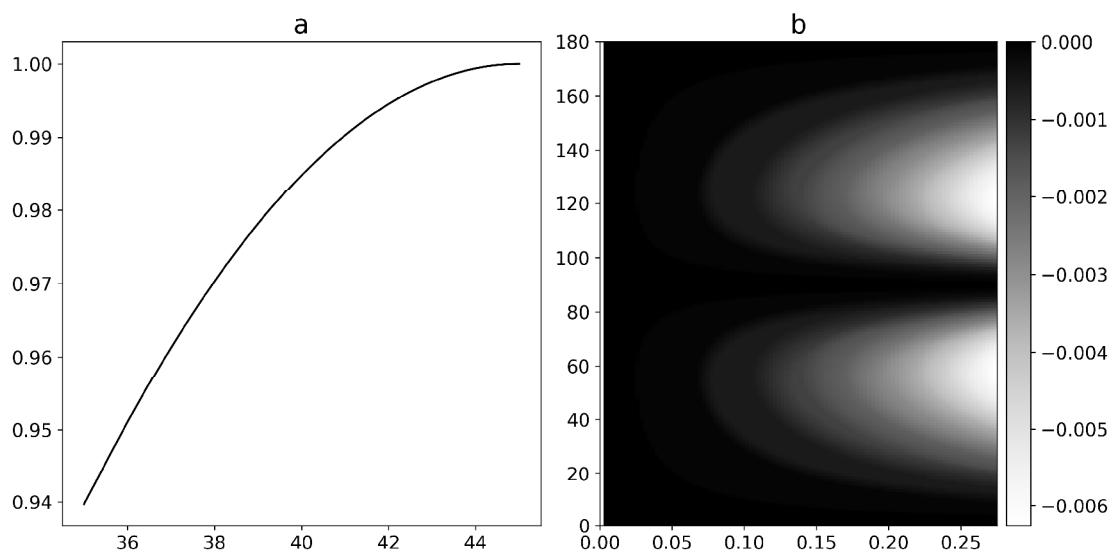


Figura 9



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- (21) N.º solicitud: 202430952
(22) Fecha de presentación de la solicitud: 15.11.2024
(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) Int. Cl. : **G01M11/02** (2006.01)
G02B5/30 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X		HOYO, J. d. et al. <i>High precision calibration method for a four-axis Mueller matrix polarimeter.</i> Optics and Lasers in Engineering. ELSEVIER, 11/04/2020, Vol. 132, ISSN 0143-8166, <DOI: 10.1016/j.optlaseng.2020.106112>	1-13
A			14-23
X		CN 115950624 A (CAS NANJING ASTRONOMICAL INSTR CO LTD) 11/04/2023; resumen de la base de datos WPI; figuras.	1-13
A			14-23
X		US 8325340 B2 (SMITH MATTHEW) 04/12/2012, resumen; figura 4.	1-13
A			14-23
X			1-13
A		ES 2948491 A1 (UNIV MADRID COMPLUTENSE) 13/09/2023, resumen; figura 2.	14-23

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe 04.04.2025	Examinadora E. Pina Martínez	Página 1/2
--	---------------------------------	---------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01M, G02B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, INSPEC, XPAIP, XPESP, XPI3E, XPI3ES, XPIEE, XPMISC, XPOAC