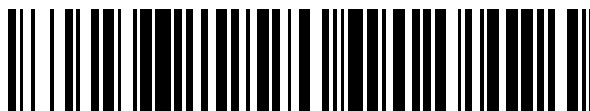


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 591**

51 Int. Cl.:

**G09B 23/22** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2015** E 15306026 (4)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.02.2019** EP 3113153

54 Título: **Simulador híbrido y método para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**17.10.2019**

73 Titular/es:

**UNIVERSITE DE BORDEAUX (25.0%)  
35 Place Pey Berland  
33000 Bordeaux, FR;  
INSTITUT POLYTECHNIQUE DE BORDEAUX  
(25.0%);  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (25.0%) y  
INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN  
INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE (25.0%)**

72 Inventor/es:

**CANIONI, LIONEL;  
HACHET, MARTIN;  
GUILLET, JEAN PAUL;  
BOUSQUET, BRUNO y  
FURIO, DAVID**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 727 591 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Simulador híbrido y método para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico

**5 Campo técnico de la invención**

La invención se refiere a un simulador para fines de enseñanza o formación en el campo de la óptica y la fotónica.

Más precisamente, la invención se refiere a un sistema y un método para enseñar óptica o para practicar el ajuste de al menos un componente óptico, optomecánico y/u optoelectrónico en un banco óptico.

**Información de antecedentes y técnica anterior**

En el campo de la educación, los experimentos en óptica son esenciales para que los estudiantes entiendan fenómenos físicos como la espectroscopia, la interferometría, la propagación del rayo láser... Sin embargo, el montaje de un banco óptico requiere muchos componentes ópticos, optomecánicos y optoelectrónicos de alta tecnología. Los componentes ópticos, como las lentes o los espejos, son generalmente frágiles y requieren un entorno bastante limpio. Por lo tanto, un banco óptico es costoso y lleva mucho tiempo tanto la construcción como el mantenimiento. Además, los experimentos en óptica son potencialmente peligrosos debido al uso de fuentes de luz láser.

En el campo de la fabricación de sistemas ópticos u optoelectrónicos complejos, como láseres o microscopios, es necesario capacitar a los operadores de líneas de producción para lograr una alineación cuidadosa de los componentes ópticos, optomecánicos y optoelectrónicos. Además, debido a la rápida evolución de estos productos de alta tecnología, también se requieren nuevos métodos de ajuste en el entorno de fabricación. Debido a que no se dispone de bancos ópticos ya preparados para la enseñanza de sistemas ópticos u optoelectrónicos específicos, generalmente se toma un sistema de producción de la línea de producción durante el tiempo necesario para la práctica. Esta inmovilización es costosa y devolver un sistema a la línea de producción requiere reajustes adicionales.

Una alternativa a los bancos ópticos físicos o los sistemas optoelectrónicos reales es ejecutar modelos puramente numéricos en lugar de experimentos de la vida real. Muchas aplicaciones de software están ahora disponibles para el diseño y simulación de numerosos sistemas ópticos o de iluminación. Estos modelos numéricos son capaces de simular ópticas geométricas, sistemas de imágenes, láser coherente y sistemas de fibra óptica. Sin embargo, estas simulaciones se basan en modelos numéricos ideales y, en consecuencia, el resultado simulado puede estar muy lejos de la realidad. Además, estos modelos numéricos también son complejos de usar y no proporcionan las mismas interacciones sensoriales a los estudiantes u operadores en comparación con un banco óptico de la vida real.

En la publicación "La luz que ilumina: una herramienta de diseño óptico con una interfaz luminosa tangible", Proc. CHI '98, ACM Press. p. 542-549, 1998, J. Underkoffler y H. Ishii describen una configuración de grabación holográfica simulada que comprende objetos plásticos que representan componentes ópticos, una cámara para rastrear la posición de los objetos plásticos y un proyector para proyectar una trayectoria del haz óptico simulada. La trayectoria del haz simulado planar se actualiza dependiendo las entradas de la cámara. Sin embargo, este sistema no reproduce una configuración óptica verdadera.

El documento US 4033052 A describe un simulador híbrido que comprende un componente óptico que simula físicamente un dispositivo óptico y un sistema de visualización.

**50 Sumario de la invención**

Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar un sistema y un método que permita una enseñanza y una práctica fáciles, precisas, interactivas, baratas y seguras en el campo de la óptica y la fotónica.

Los objetos anteriores se logran de acuerdo con la invención proporcionando un simulador híbrido para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico.

En la presente divulgación, el término dispositivo óptico abarca un componente óptico o sistema óptico, un dispositivo optomecánico o un dispositivo optoelectrónico.

En la presente divulgación, el término ajuste de un dispositivo óptico significa ajustar al menos un valor de parámetro físico que puede afectar a las propiedades ópticas de este dispositivo óptico. Este término abarca, por ejemplo, ajustar la posición y/o la orientación de un dispositivo óptico, ajustar el voltaje/corriente eléctrica aplicada a un componente optoelectrónico e incluso ajustar un parámetro ambiental como la temperatura y/o la presión aplicada a un dispositivo óptico, por ejemplo para controlar la longitud de onda de emisión de un láser de diodo o modificar el índice de refracción de un dispositivo óptico.

De acuerdo con la invención, el simulador híbrido comprende al menos un componente óptico ficticio que simula físicamente un dispositivo óptico, al menos un dispositivo de actuador para generar o simular un ajuste de dicho componente óptico simulado; un sensor configurado para detectar una señal de ajuste representativa del funcionamiento de dicho dispositivo de actuador; un sistema de procesamiento digital que recibe dicha señal de ajuste de dicho sensor, comprendiendo dicho sistema de procesamiento digital un modelo numérico para simular al menos un haz óptico numérico de salida resultante de la interacción entre un haz óptico numérico de entrada y un componente óptico numérico que representa dicho dispositivo óptico en función de dicha señal de ajuste; un sistema de visualización para mostrar una señal visual representativa de dicho haz óptico numérico de salida en función de dicha señal de ajuste.

En este simulador híbrido, un dispositivo óptico verdadero es reemplazado por una combinación de un dispositivo óptico ficticio y un dispositivo óptico numérico. El dispositivo óptico ficticio representa el dispositivo óptico verdadero en la parte real del simulador híbrido y el dispositivo óptico numérico correspondiente representa el dispositivo óptico verdadero en la parte numérica del simulador híbrido. Un dispositivo óptico numérico puede representar numéricamente cualquier componente óptico, sistema óptico, dispositivo optomecánico o dispositivo optoelectrónico. El actuador permite la interacción física con la parte real del simulador híbrido, mientras que el sensor alimenta el modelo numérico con mediciones reales.

Este simulador híbrido proporciona interacción física con sensaciones tangibles y de retroalimentación visual que son muy similares a las de un experimento que se basa en dispositivos ópticos, optomecánicos y/u optoelectrónicos verdaderos en un sistema óptico o banco óptico verdadero.

El simulador híbrido tiene una flexibilidad ilimitada y se puede adaptar para simular numerosas configuraciones ópticas.

Implementar un simulador híbrido es fácil y no requiere un componente óptico, optomecánico u optoelectrónico costoso.

De acuerdo con una realización particular, dicho dispositivo de actuador comprende una plataforma de traslación y/o rotación unida a dicho componente óptico ficticio para trasladar y/o rotar dicho componente óptico ficticio y dicho sensor está configurado para detectar una señal de traslación y/o rotación de dicha plataforma de traslación y/o rotación.

De acuerdo con una realización particular, dicho dispositivo de actuador comprende un tornillo de ajuste y/o un actuador eléctrico para simular la traslación y/o rotación de dicho componente óptico ficticio, teniendo dicho dispositivo de actuador preferiblemente precisión micrométrica o submicrométrica, y dicho sensor está configurado para detectar una señal de traslación y/o rotación de dicho tornillo de ajuste y/o dicho actuador eléctrico.

De acuerdo con otra realización particular, dicho dispositivo de actuador comprende un actuador eléctrico, electrónico, optomecánico u optoelectrónico para generar o simular un ajuste eléctrico, electrónico, optomecánico u optoelectrónico de dicho componente óptico ficticio y dicho sensor está configurado para detectar una señal de ajuste de dicho actuador eléctrico, electrónico, optomecánico u optoelectrónico.

De acuerdo con un aspecto particular de la invención, dicho dispositivo de actuador está configurado para generar o simular un ajuste de temperatura y/o presión de dicho componente óptico ficticio y dicho sensor está configurado para detectar una señal de ajuste de temperatura y/o presión.

De acuerdo con un aspecto particular de la invención, el simulador híbrido comprende además un sistema de comunicación cableado o inalámbrico para transferir dicha señal de ajuste desde dicho sensor a dicho sistema de procesamiento digital.

De acuerdo con otro aspecto particular de la invención, dicho sistema de visualización comprende un videoprojector, una pantalla electrónica o una tableta para mostrar dicha señal visual representativa de dicho haz óptico numérico de salida en función de dicha señal de ajuste representativa del funcionamiento de dicho dispositivo de actuador.

De acuerdo con un aspecto particular y ventajoso de la invención, dicho sistema de procesamiento digital y dicho sistema de visualización están configurados para mostrar señales de realidad aumentada.

Preferiblemente, el simulador híbrido comprende además otro videoprojector, otra pantalla de ordenador u otra tableta para mostrar señales de realidad aumentada, que comprende una trayectoria del haz óptico visual que simula dicho haz óptico numérico de entrada y/o dicho haz óptico numérico de salida en relación con dicho componente óptico ficticio y/o señales de guía visual.

De acuerdo con un aspecto particular de la invención, el simulador híbrido para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico comprende además un sistema de seguimiento 3D para rastrear la posición y/u orientación de dicho componente óptico ficticio en tres dimensiones.

5 De acuerdo con un aspecto particular de la invención, dicho componente óptico numérico representa un componente óptico elegido, por ejemplo, entre una lista no exhaustiva que incluye lentes convergentes y divergentes; espejos planos, convexos y cóncavos; polarizadores delgados; prismas polarizadores birrefringentes; divisores de haz; placas onduladas; filtros espaciales; filtros espectrales; medios de ganancia óptica; moduladores de amplitud y fase; cristales acústico-ópticos y electro-ópticos; cristales ópticos no lineales. Cualquiera de estos dispositivos ópticos  
10 puede comprender un recubrimiento de película delgada.

De acuerdo con un aspecto particular de la invención, el simulador híbrido comprende además una base de datos numérica de componentes ópticos numéricos que permite la simulación de una pluralidad de dispositivos ópticos, optomecánicos u optoelectrónicos y/o sistemas ópticos.

15 De acuerdo con un aspecto particular de la invención, el simulador híbrido comprende una pluralidad de componentes ópticos ficticios que simulan físicamente una pluralidad de componentes ópticos, optomecánicos y/u optoelectrónicos, cada componente óptico ficticio que tiene una etiqueta de identificación, y en el que cada etiqueta de identificación se asocia con un determinado dispositivo óptico numérico en la base de datos numérica.

20 De acuerdo con un aspecto particular de la invención, dicho modelo numérico comprende un modelo de propagación de haz de acuerdo con un modelo numérico basado en una cualquiera o una combinación de óptica geométrica, óptica física que incluye modelos escalares y vectoriales, física del láser, propagación de haz gaussiana y óptica no lineal.

25 La invención también propone un método para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico, comprendiendo el método los pasos:

30 - colocar al menos un componente óptico ficticio en una configuración inicial en un simulador híbrido, dicho componente óptico ficticio simula físicamente un dispositivo óptico;

- ajustar físicamente al menos un dispositivo de actuador para generar o simular un ajuste de dicho componente óptico ficticio;

35 - detectar una señal de ajuste representativa del funcionamiento de dicho dispositivo de actuador;

- transmitir dicha señal de ajuste a un sistema de procesamiento digital;

40 - simular numéricamente un haz óptico numérico de salida resultante de la interacción entre un haz óptico numérico de entrada y un componente óptico numérico que representa dicho dispositivo óptico en función de dicha señal de ajuste;

- mostrar una señal visual representativa de dicho haz óptico numérico de salida en función de dicha señal de ajuste.

45 De acuerdo con aspectos específicos, el método comprende además los pasos de:

50 - proporcionar una base de datos de funciones de transferencia óptica asociadas con componentes ópticos numéricos, en el que cada componente óptico ficticio está asociado de manera única con una función de transferencia óptica almacenada en dicha base de datos;

- proporcionar una etiqueta de identificación unida a un componente ficticio, dicha etiqueta de identificación está asociada con una función de transferencia óptica determinada almacenada en dicha base de datos; y/o

55 - mostrar señales de realidad aumentada.

### Breve descripción de los dibujos

Esta descripción se proporciona solo con fines ilustrativos no limitativos y se entenderá mejor cuando se haga referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

60 la figura 1 representa una primera realización de un simulador híbrido de acuerdo con la invención;

la figura 2 representa una primera vista de la segunda realización de un simulador híbrido de acuerdo con la invención;

65 la figura 3 representa un componente óptico ficticio unido a una plataforma de traslación;

la figura 4 representa una segunda vista de la segunda realización del simulador híbrido de acuerdo con la invención;

5 la figura 5 ilustra una variante de la segunda realización del simulador híbrido;

la figura 6 ilustra otra variante de la segunda realización del simulador híbrido;

la figura 7 representa una vista esquemática de los diferentes módulos de un simulador híbrido.

10

### **Descripción detallada del ejemplo o ejemplos**

Dispositivo

15 La figura 1 representa esquemáticamente un simulador híbrido 100 configurado para simular una configuración experimental en el campo de la óptica y la optoelectrónica. En la presente divulgación, el término simulador híbrido significa un sistema que combina componentes físicos para ser ajustados por un operador, un sistema de procesamiento numérico y un dispositivo de visualización, como una pantalla o un videoprojector, para mostrar las señales de salida visual.

20

Más precisamente, el simulador híbrido comprende componentes ópticos ficticios que reemplazan a los componentes ópticos verdaderos de un banco óptico convencional.

25

En el ejemplo de la figura 1, el simulador híbrido 100 comprende una fuente 12 de luz ficticia, un espejo ficticio 10 y un prisma ficticio 11 colocado encima de una mesa 3. El simulador híbrido 100 también comprende un sistema informático 90 y un sistema de visualización que comprende un videoprojector 95 y una pantalla física 2. El videoprojector 95 está configurado para proyectar señales visuales en la superficie de una pantalla física 2 y/o en la superficie de la tabla 3. Como ejemplo, la pantalla física 2 está hecha de un cartón plano colocado perpendicularmente a la parte superior de la mesa 3.

30

Alternativamente, el sistema de visualización consta de dos videoprojectores. Por ejemplo, un primer videoprojector se coloca y configura para proyectar una imagen en la pantalla física 2 y un segundo videoprojector se coloca y configura para proyectar otra imagen desde la parte superior en la superficie de la tabla 3. Otros sistemas de visualización que comprenden más de dos videoprojectores también se contemplan dentro del marco de la presente divulgación.

35

En otra realización, el sistema de visualización comprende una pantalla de ordenador, una tableta o un teléfono inteligente.

40

Cada componente óptico ficticio representa un dispositivo óptico verdadero o un sistema óptico verdadero. La función principal de un componente óptico ficticio es representar la posición física y/o la orientación de un componente óptico verdadero. Sin embargo, un componente óptico ficticio no presenta ninguna superficie óptica verdadera. Los componentes ópticos ficticios son componentes pasivos con respecto a la función óptica real.

45

Los componentes ópticos ficticios pueden estar hechos de materiales baratos, como el material a base de carbono. Los componentes ópticos ficticios pueden tener una forma geométrica, como un paralelepípedo. Alternativamente, un componente óptico ficticio tiene una forma similar a la de un componente óptico verdadero unido a un soporte, un poste y/o una base. Los componentes ópticos ficticios se pueden fabricar mediante impresión 3D para representar una réplica basada aproximadamente en la forma exterior de un componente óptico verdadero. El operador puede sujetar los componentes ópticos ficticios sin riesgo de dañar ninguna superficie óptica verdadera. El costo de un componente óptico ficticio es extremadamente bajo en comparación con el costo de un componente óptico verdadero.

50

Al contrario de un banco óptico convencional, que generalmente requiere una placa de pruebas óptica de alto rendimiento para proporcionar una superficie plana y libre de vibraciones, el simulador híbrido 100 está dispuesto en una simple tabla 3 que soporta los componentes ópticos ficticios. Los componentes ópticos ficticios pueden colocarse incluso en mesas separadas, ya que los componentes ópticos ficticios son componentes pasivos y, por lo tanto, no son sensibles a las vibraciones mecánicas.

55

60

Como se muestra en la figura 1, se coloca un actuador para simular un ajuste en la traslación y/o rotación de al menos un componente óptico ficticio. Por ejemplo, el tornillo 30 de ajuste se coloca al lado del espejo ficticio 10 para simular un verdadero espejo montado en una plataforma de inclinación con un tornillo de ajuste similar para ajustar la inclinación angular del verdadero espejo. Un operador 1 acciona manualmente el tornillo 30 de ajuste al lado del espejo ficticio 10 de manera similar al ajuste del ángulo de inclinación de un espejo verdadero unido a una plataforma de inclinación. Sin embargo, en el simulador híbrido, el componente óptico ficticio no sufre necesariamente una inclinación angular real cuando se gira el tornillo 30 de ajuste.

65

Preferiblemente, el tornillo 30 de ajuste es el mismo que el tornillo de ajuste convencional usado en un banco óptico para proporcionar un ajuste sensible de posición y/u orientación con una precisión micrométrica o submicrométrica. Como se ilustra en la figura 1, el operador 1 ajusta manualmente el tornillo 30 de ajuste simulando un ajuste de la orientación del espejo ficticio 10, con una sensibilidad manual similar y con la misma precisión que en un banco óptico convencional equipado con el mismo tornillo de ajuste.

El tornillo 30 de ajuste está equipado con un sensor que detecta una señal de rotación del tornillo 30 de ajuste. El sensor comprende un transductor conectado a un ordenador 90. De este modo, el sistema informático 90 recibe la señal instantánea medida por el sensor. Un procedimiento de calibración permite transformar la señal medida sin procesar en una señal representativa de un ángulo de inclinación virtual del espejo ficticio. Por ejemplo, un giro completo del tornillo de ajuste corresponde a un ángulo de inclinación virtual de 1 grado. De este modo, el ordenador adquiere una señal representativa de una inclinación angular en función de la manipulación manual del tornillo 30 de ajuste.

Preferiblemente, el sensor se coloca cerca del tornillo 30 de ajuste o incluso incrustado con el tornillo 30 de ajuste para detectar una señal precisa representativa de una acción del operador sobre el tornillo 30 de ajuste.

El sistema informático 90 comprende un modelo numérico que simula la configuración óptica del simulador híbrido. Cualquiera que sea la configuración óptica, el modelo numérico siempre se basa en modelos físicos comunes que incluyen la propagación del haz óptico geométrico, la difracción, las interferencias y la polarización. Dependiendo de las suposiciones hechas, el modelo numérico representa la configuración óptica en un entorno virtual 2D o 3D. La herramienta virtual de referencia utilizada para diseñar configuraciones ópticas es Zemax (<http://www.zemax.com>) que incluye los modelos físicos clásicos descritos en los cursos de óptica.

El modelo numérico simula un componente óptico numérico que tiene una función óptica determinada asociada con cada componente óptico ficticio en función de la posición y orientación de cada componente óptico simulado.

En el primer ejemplo, el modelo numérico comprende una fuente de luz numérica definida por su espectro, apertura, propiedades de propagación y estado de polarización. Esta fuente de luz numérica simula numéricamente una fuente de luz cuya réplica física está representada por la fuente 12 de luz ficticia. El modelo numérico comprende un espejo plano numérico que tiene un ángulo de inclinación numéricamente ajustable, representado por el espejo ficticio 10 y el tornillo 30 de ajuste. El modelo numérico comprende un prisma de Wollaston numérico, cuya réplica física está representada por el prisma simulado 11. Finalmente, el modelo numérico comprende una pantalla de proyección numérica, que representa la pantalla física 2.

Se inicializan las posiciones y orientaciones respectivas de la fuente de luz numérica, el espejo numérico, el prisma numérico y la pantalla de proyección numérica. Aquí, las posiciones de la fuente de luz numérica, el prisma numérico y la pantalla de proyección numérica se supone que son fijas. Por lo tanto, el modelo numérico solo controla la rotación del tornillo 30 de ajuste medido por el sensor, representando esta señal de rotación un ángulo de inclinación del espejo ficticio 10.

El modelo numérico simula la emisión de un haz de luz numérico por la fuente de luz numérica y la reflexión de este haz de luz numérico en el espejo numérico. El modelo numérico simula la formación de un haz reflejado numérico en la salida del espejo numérico y la transmisión del haz de luz reflejado numérico a través del prisma numérico, que genera dos haces de salida numéricos en función del estado de polarización, el ángulo de incidencia y/o la longitud de onda. Finalmente, el modelo numérico simula la proyección de los dos haces de salida numéricos en la pantalla de proyección numérica. El modelo numérico simula las trayectorias numéricas del haz óptico, la posición numérica del haz en un plano determinado transversal a la trayectoria numérica del haz óptico y/o la intensidad óptica de los haces de luz simulados.

Más específicamente, el modelo numérico calcula dinámicamente el ángulo numérico de reflexión del haz de luz numérico en el espejo numérico en función de la señal representativa de una inclinación angular derivada de la señal de rotación medida del tornillo 30 de ajuste. Como resultado, el modelo numérico calcula dinámicamente la posición numérica y/o la intensidad del haz de luz numérico reflejada y de los dos haces de salida numéricos que producen dos puntos de haz numérico en la pantalla de proyección numérica.

Por ejemplo, el modelo numérico calcula una imagen numérica que representa la posición simulada y/o la intensidad de los dos puntos de haz numérico en la pantalla de proyección numérica.

El sistema informático 90 está conectado a un videoprojector 95. El videoprojector 95 recibe la imagen numérica de los dos puntos de haz numérico del sistema informático y proyecta una imagen real que representa esta imagen numérica como dos puntos 51, 52 de haz visualizados en la pantalla física 2. Las posiciones y/o intensidades respectivas de los dos puntos 51, 52 de haz visualizados proyectados en la pantalla 2 se actualizan dinámicamente en función de la rotación medida del tornillo 30 de ajuste.

Por lo tanto, el operador 1 visualiza dinámicamente las posiciones relativas y/o las intensidades de los puntos 51, 52 de haz visualizados en función de la rotación medida que representa un ángulo de inclinación virtual del espejo ficticio 10. El operador 1 experimenta sensaciones de retroalimentación táctil y visual, que son muy similares a las de un experimento que se basa en componentes ópticos verdaderos.

5 Además, el modelo numérico generalmente calcula dinámicamente la trayectoria numérica del haz óptico desde la fuente de luz numérica hasta la pantalla de proyección numérica.

10 Como opción, el sistema informático 90 y el videoprojector 95, u otro videoprojector, generan una imagen numérica que representa esta trayectoria del haz óptico. Como se ilustra en la figura 1, el videoprojector 95 recibe la imagen numérica de la trayectoria del haz óptico y proyecta una imagen real que representa esta imagen numérica de la trayectoria del haz óptico en la superficie de la tabla 3. El videoprojector 95 proyecta: la imagen de la trayectoria 60 del haz desde la fuente 12 de luz ficticia al espejo ficticio 10, la imagen de la trayectoria 61 del haz reflejado desde el espejo ficticio 10 hasta el prisma simulado 11, la imagen de las trayectorias 62, 63 de haz dividido desde el prisma ficticio 11 a la pantalla física 2. Dado que el modelo numérico actualiza dinámicamente el ángulo de inclinación del espejo ficticio 10 medido por el sensor, las imágenes de las trayectorias 61, 62, 63 de haz aguas abajo del espejo ficticio 10 se actualizan dinámicamente.

20 De este modo, el operador 1 visualiza dinámicamente las trayectorias 61, 62, 63 de haz intermedias en función de la rotación del tornillo 30 de ajuste medido por el sensor real. En el caso de que el espejo ficticio 10 esté extremadamente desalineado, de modo que el haz óptico numérico pase fuera del prisma numérico, la posición de la trayectoria 61 del haz intermedio que representa el haz reflejado por el espejo ficticio puede ayudar al operador a encontrar la dirección correcta en la que girar el tornillo 30 de ajuste para corregir rápidamente el error de alineación. La visualización de las trayectorias 61, 62 y 63 del haz intermedio proporciona información tutorial. Se pueden mostrar otras informaciones tutoriales, como matrices que indican la dirección del movimiento para alcanzar una posición de alineación predeterminada, o números que indican la intensidad de un punto del haz, y también el estado de polarización de cada haz.

30 Gracias a estas informaciones adicionales mostradas, el operador 1 tiene una comprensión más fácil de los fenómenos ópticos físicos involucrados. Además, el operador 1 logra la alineación óptica del espejo ficticio 10 en un tiempo más corto.

35 Como opción, el videoprojector 95 se combina con un sistema de cámara para rastrear ópticamente la posición y/o la orientación de uno o varios componentes ópticos ficticios. Para ello, una etiqueta de seguimiento se adjunta preferiblemente al componente óptico que se va a rastrear. Las informaciones del sistema de la cámara se transfieren al sistema informático 90 como complemento a las informaciones del sensor o sensores. Por lo tanto, el sistema informático calcula dinámicamente la posición o posiciones y/o la orientación u orientaciones en función de la señal o señales medidas desde el sensor o sensores y en función del seguimiento de las señales del sistema de cámara.

40 Alternativamente, cada componente óptico ficticio tiene una etiqueta de identificación RFID y un sistema de seguimiento RFID permite detectar automáticamente los diferentes componentes ópticos ficticios. Preferiblemente, cada etiqueta de identificación RFID se almacena en una base de datos y se vincula a una función de transferencia óptica determinada que simula numéricamente un dispositivo óptico determinado.

45 El simulador híbrido 100 puede reconfigurarse fácilmente sin modificar la disposición física o con cambios mínimos.

50 Por ejemplo, un cambio en la longitud de onda de la fuente de luz se acciona fácilmente cambiando la longitud de onda de la fuente de luz numérica correspondiente en el modelo numérico, sin ningún cambio en la disposición física.

55 La función óptica asociada con un componente óptico se puede cambiar fácilmente, sin que sea necesario cambiar el componente óptico ficticio. Por ejemplo, en una primera simulación, el espejo ficticio 10 representa un espejo plano. En otras simulaciones, el espejo plano numérico se puede reemplazar por un espejo esférico o una placa semitransparente para simular una configuración óptica diferente. De manera similar, el prisma ficticio 11 representa en una primera simulación un prisma de Wollaston que tiene un ángulo determinado, birrefringencia y orientación de cristal. En otras simulaciones, las características del prisma numérico se pueden modificar fácilmente y/o el prisma de Wollaston se puede reemplazar por otro tipo de prisma.

60 Además, se pueden agregar uno o varios componentes numéricos adicionales en el modelo numérico para simular una función óptica particular asociada a este componente numérico adicional. Tal componente numérico adicional puede o no estar representado por un componente óptico ficticio adicional. Por ejemplo, un componente numérico adicional que simula un filtro polarizador o un filtro espectral se puede insertar en el modelo numérico para simular el efecto de tal filtro en una posición determinada en la trayectoria del haz óptico, por ejemplo, en la trayectoria del haz óptico aguas arriba o aguas abajo del prisma numérico.

A la inversa, un componente óptico numérico que representa un componente óptico ficticio puede eliminarse del modelo numérico con fines de simulación, con o sin eliminar el componente óptico ficticio correspondiente.

5 La flexibilidad y adaptabilidad del simulador híbrido son, por lo tanto, incomparables en relación con los recursos limitados disponibles usando un banco óptico convencional.

10 En la primera realización descrita en relación con la figura 1, el operador 1 acciona solo un actuador que simula el ajuste de un componente óptico ficticio. Sin embargo, el simulador híbrido está diseñado para que los módulos se puedan usar o agregar según sea necesario.

En lo que respecta a la disposición física, se puede aumentar el número de componentes ópticos ficticios que deben ajustarse.

15 En lo que respecta al modelado numérico, el modelo numérico empleado para simular la configuración óptica puede basarse en modelos numéricos más complejos para diseñar sistemas láser, sistemas de fibra óptica, sistemas optoelectrónicos basados en efectos no lineales, como la generación de segundos armónicos o la generación de frecuencia de suma.

20 En lo que respecta a la simulación visual, el sistema de visualización que comprende uno o varios videoproyectores se puede reemplazar o mezclar con una o varias pantallas de ordenador o tableta que muestren las señales de salida óptica simuladas, señales de guía visual y/o información tutorial.

La secuencia de acuerdo con la cual se muestran las diferentes señales simuladas se configura preferiblemente de antemano, dependiendo del nivel de aprendizaje del operador.

25 Las figuras 2-5 representan otra realización de ejemplo de un simulador híbrido que representa un interferómetro de Michelson. Ajustar un verdadero interferómetro de Michelson es un experimento convencional para estudiantes en el campo de la óptica. Sin embargo, los ajustes de los componentes ópticos verdaderos pueden ser difíciles de lograr, y las dificultades para lograr una alineación apropiada pueden surgir de múltiples orígenes.

30 Como se ilustra en las figuras 2 y 4, el simulador híbrido comprende un divisor 13 de haz ficticio, un primer espejo ficticio 14 que simula el extremo del primer brazo del interferómetro de Michelson, un segundo espejo ficticio 15 que simula el extremo del segundo brazo del interferómetro de Michelson, y una lente convergente ficticia 16. El simulador híbrido puede comprender o no una fuente de luz ficticia (no representada).

35 El divisor 13 de haz ficticio se supone que es fijo. El primer espejo ficticio 14 está montado en una plataforma 24 de traslación de un solo eje. Un tornillo 34 de ajuste micrométrico permite ajustar una posición del primer espejo ficticio 14 a lo largo de la trayectoria del haz en relación con la plataforma 24 de traslación. Un sensor detecta una rotación del tornillo 34 de ajuste, que se transfiere a un sistema informático y se convierte en un desplazamiento numérico longitudinal del primer espejo.

40 El segundo espejo ficticio 15 está montado en una plataforma 25 de inclinación de doble eje. Dos tornillos 35a, 35b de ajuste micrométricos permiten ajustar dos ángulos de inclinación transversales del segundo espejo simulado 15 en relación con la plataforma 25 de inclinación. Los sensores detectan la rotación o rotaciones del tornillo o tornillos 35a de ajuste, respectivamente 35b, que se transfieren al sistema informático y se convierten en dos variaciones numéricas de ángulo de inclinación del segundo espejo.

50 Preferiblemente, los tornillos 34 de ajuste, respectivamente 35a, 35b relacionados con la plataforma 24 de traslación, respectivamente, plataforma 25 de inclinación, son similares a los usados en el interferómetro de Michelson convencional para proporcionar un ajuste de posición sensible con una precisión micrométrica o submicrométrica (desplazamiento de 500 micrómetros por un turno, por ejemplo).

55 Preferiblemente, los sensores se colocan cerca de los respectivos tornillos 34, 35a, 35b de ajuste o incluso embebidos con cada tornillo 34 de ajuste, respectivamente 35a, 35b para detectar señales precisas representativas de una acción del operador en cada tornillo 34 de ajuste, respectivamente 35a, 35b.

60 La lente ficticia 16 está montada en una plataforma 26 de traslación de un solo eje (véase la figura 3), por ejemplo, usando un soporte de portador convencional. Un operador traslada la lente ficticia 16 sujetando la lente ficticia 16 y deslizándola a lo largo de la plataforma 26 de traslación. La plataforma 26 de traslación está equipada con un sensor 46, por ejemplo un codificador eléctrico u óptico, para detectar la posición longitudinal de la lente ficticia 16 en la plataforma 26 de traslación. El sensor está montado directamente en la plataforma 26 de traslación, para permitir la detección de una señal de posición longitudinal precisa. Una placa electrónica 80 recibe la señal detectada por el sensor 46 y convierte esta señal en una posición longitudinal medida de la lente ficticia 16. La placa electrónica 80 comunica esta posición longitudinal medida al sistema informático.

65



Por ejemplo, la placa electrónica 80 es una placa Arduino que comprende un microcontrolador, entradas analógicas, clavijas de entrada/salida digital, una conexión USB y un enchufe de alimentación. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador, simplemente conectándolo al sistema del ordenador con un cable USB. La placa electrónica 80 recibe señales analógicas o digitales del sensor o sensores de los tornillos 34, 35a, 35b de ajuste y de la plataforma 26 de traslación. Preferiblemente, la placa electrónica 80 está configurada para convertir estas señales de entrada en señales de salida numéricas que representan desplazamientos longitudinales numéricos de la plataforma 24 de traslación o de la lente ficticia 16, que representan respectivamente las variaciones numéricas del ángulo de inclinación, de los tornillos 35a y 35b de ajuste. Las señales de salida numéricas se transfieren al sistema informático a través de un cable USB, por ejemplo.

Como se ilustra en la figura 2, la lente ficticia 16 y la plataforma 26 de traslación se colocan en una tabla 3, mientras que el divisor 13 de haz ficticio y los espejos ficticios 14, 15 se colocan en otra superficie 4 para compensar la diferencia de altura entre la lente ficticia 16 y otros componentes ficticios 13, 14, 15. Así, el simulador híbrido simula la propagación del haz en un plano horizontal. Como opción, todos los componentes ficticios se pueden colocar en la misma superficie de la mesa y se pueden insertar espejos deflectores ficticios para compensar las diferentes alturas y simular la propagación del haz en 3D.

En esta segunda realización, el sistema informático 90 comprende un modelo numérico que simula una configuración óptica del interferómetro de Michelson.

Más precisamente, en esta segunda realización, el modelo numérico comprende una fuente de luz numérica definida por su espectro, apertura numérica y, opcionalmente, el estado de polarización. El modelo numérico también comprende:

- un divisor de haz numérico orientado a un ángulo numérico fijo y representado por el divisor 13 de haz ficticio;
- un primer espejo numérico que tiene una posición longitudinal numéricamente ajustable, representado por el primer espejo ficticio 14 unido a la plataforma 24 de traslación;
- un segundo espejo numérico que tiene dos ángulos de inclinación transversales ajustables numéricamente, representados por el espejo ficticio 15 unido a la plataforma 25 de inclinación, una lente numérica que tiene una posición ajustable longitudinalmente representada por la lente ficticia 16 unida a la plataforma 26 de traslación; y
- una pantalla de proyección numérica representada por la pantalla física 2.

Se inicializan la posición y la orientación de la fuente de luz numérica, el divisor de haz numérico, el primer y segundo espejo numérico, la lente numérica y la pantalla de proyección numérica. En este caso, se supone que las posiciones de la fuente de luz numérica, el divisor de haz numérico y la pantalla de proyección numérica son fijas. Por lo tanto, el modelo numérico supervisa simultáneamente:

- la posición longitudinal del primer espejo ficticio 14 medido por un sensor en la plataforma 24 de traslación o en el tornillo 34 de ajuste;
- los dos ángulos de inclinación transversal del segundo espejo ficticio 15 medido por sensores en la plataforma 25 de inclinación o en los tornillos 35a, 35b de ajuste;
- la posición longitudinal de la lente ficticia 16 medida por el codificador óptico 46 en la plataforma 26 de traslación.

El modelo numérico simula la emisión de un haz de luz de fuente numérica por la fuente de luz numérica dirigida hacia el divisor de haz numérico, la separación del haz de luz de fuente en un primer y un segundo haz de luz dividido, la reflexión del primer haz de luz dividido en el primer número espejo, reflejo del segundo haz de luz dividido en el segundo espejo numérico, recombinación del primer y segundo haz de luz reflejado en el divisor de haz numérico formando así un haz de luz interferente numérico, imagen óptica del haz de luz interferente numérico a través de la lente numérica encendida en la pantalla numérica para formar un patrón de interferencia numérica.

Un videoprojector (no representado) proyecta el patrón 50 de interferencia numérica en la pantalla 2 (véase la figura 4).

Dependiendo de la posición longitudinal de la lente ficticia 16 en relación con la pantalla 2, el modelo numérico representa anillos de interferencia (cuando la pantalla numérica está en el plano focal de la lente numérica) o franjas lineales de interferencia (cuando la pantalla numérica está en el plano conjugado de los espejos numéricos).

El operador ajusta la posición longitudinal de la plataforma 24 de traslación unida al primer espejo ficticio 14 girando el tornillo 34 de ajuste. De manera similar, el operador ajusta uno o los dos ángulos de inclinación transversales del segundo espejo ficticio 15, girando los correspondientes tornillos 35a, 35b de ajuste micrométrico. Finalmente, el

operador ajusta la posición longitudinal de la lente ficticia 16 sujetando la lente simulada 16 y deslizándola a lo largo de la plataforma 26 de traslación. Estos ajustes se pueden realizar de acuerdo con diferentes órdenes de secuencia.

5 El sistema informático calcula un patrón de interferencia numérica en función, por una parte, de la posición inicial y la orientación de cada componente óptico ficticio, y, por otra parte, en función de la posición longitudinal medida y los ángulos de inclinación del primer y segundo espejo ficticio 14, 15 y en función de la posición longitudinal medida de la lente ficticia 16.

10 Un video proyector proyecta una imagen real 50 que representa este patrón de interferencia numérica en la pantalla física 2. La distribución de la intensidad espacial de la imagen 50 proyectada en la pantalla se actualiza dinámicamente en función de la posición longitudinal medida y los ángulos de inclinación del primer y segundo espejo ficticio 14, 15 y en función de la posición de la lente ficticia 16.

15 Por lo tanto, el operador visualiza dinámicamente el patrón 50 de interferencia en función de la posición longitudinal real y los ángulos de inclinación aplicados a los espejos ficticios 14, respectivamente 15, unidos a la plataforma 24 de traslación, respectivamente a la plataforma 25 de inclinación, y en función de la posición longitudinal real de la lente ficticia 16 montada en la plataforma 26 de traslación. El simulador híbrido que simula un interferómetro de Michelson se ajusta cuando las trayectorias numéricas del haz del primer brazo y el segundo brazo del interferómetro presentan una diferencia de fase numérica que es menor que la longitud de coherencia de la fuente de luz numérica. Cuando el interferómetro de Michelson ficticio se ajusta correctamente, el operador 1 experimenta sensaciones de retroalimentación táctil y visual que son muy similares a las de un experimento con interferómetro de Michelson que se basa en componentes ópticos verdaderos.

20

25 Como opción, para los estudiantes más experimentados, el primer y el segundo espejo ficticio se podrían montar en plataformas de traslación, para enseñar dos grados de ajuste adicionales.

30 Como opción, la figura 5 representa una variante en la que el modelo numérico comprende un módulo adicional para mostrar información tutorial 70. Por ejemplo, el ordenador calcula dinámicamente la forma de una primera onda que se propaga en el primer brazo del interferómetro numérico de Michelson, una segunda onda que se propaga en el segundo brazo del interferómetro numérico de Michelson, y la forma de las interferencias en la salida del divisor de haz numérico (véanse las proyecciones 70 en la figura 5).

35 Como otra opción, un videoprojector puede mostrar otro tipo de información tutorial, como una posición longitudinal aproximada 71 de la lente ficticia 16 correspondiente a las condiciones de la imagen. Esta información permite al operador alcanzar rápidamente la posición correspondiente o cambiar fácilmente de los anillos de interferencia a las franjas lineales de interferencia.

40 En otro ejemplo, el videoprojector muestra información numérica 72 sobre la superficie de cartón 4. Las informaciones numéricas 72 (0,003353 mm, preferiblemente redondeadas a una unidad de micra como 0,003 mm) mostradas adyacentes al espejo ficticio 14 representan la señal numérica derivada de la medición del sensor del tornillo 34 de ajuste: esta señal representa en el ejemplo la distancia expresada en mm desde el primer espejo numérico en relación con su posición neutral en el interferómetro de Michelson. De manera similar, las informaciones numéricas 72 que se muestran adyacentes al espejo ficticio 15 (X: -0,000122; Y: 0,000082) representan las señales numéricas derivadas de las mediciones del sensor del tornillo 35a de ajuste, respectivamente, 35b. Además, la información numérica 72 (45) que se muestra adyacente al divisor 13 de haz ficticio representa una señal numérica del ángulo de incidencia del haz numérico en el divisor de haz derivado de la entrada en el modelo numérico o de una medición de la orientación del divisor 13 de haz ficticio.

45

50 Estas informaciones 72 se actualizan dinámicamente en función de los tornillos de ajuste y en función de la posición de la lente 16 en la plataforma 26 de traslación. Por lo tanto, el operador recibe retroalimentación numérica visual correspondiente a un detector ficticio que mide el valor correspondiente.

55 Las informaciones mostradas también pueden representar, por ejemplo, un cambio de fase entre la trayectoria del haz óptico del primer y segundo brazo en el interferómetro de Michelson representado por los componentes ficticios.

También se pueden mostrar otros tipos de información, como la orientación de un espejo o las especificaciones técnicas de una lente.

60 Las informaciones tutoriales 70, 71, 72 pueden mostrarse simultáneamente. Alternativamente, las informaciones tutoriales 70, 71 se muestran una por una de acuerdo con una secuencia predeterminada configurada por el profesor o entrenador.

65 La disposición ficticia del interferómetro de Michelson se puede adaptar fácilmente para cambiar la fuente de luz, para agregar o reemplazar un componente óptico ficticio por otro componente óptico ficticio.

De manera similar a la primera realización, se puede combinar un sistema de cámara para rastrear en 3D las posiciones y orientaciones respectivas de los diferentes componentes ópticos ficticios para proporcionar información adicional al sistema numérico de simulación.

5 La invención se aplica al campo de la educación para enseñar a los estudiantes cómo alinear componentes ópticos, optomecánicos y/u optoelectrónicos. La invención también se aplica al campo de la fabricación de sistemas ópticos u optoelectrónicos complejos, como láseres, espectroscopios, microscopios para capacitar a los operadores en el ajuste de dispositivos ópticos, como la alineación óptica. Las acciones aprendidas se transfieren fácilmente al montaje y alineación de sistemas reales.

10 Variantes

El sensor o sensores se pueden conectar al sistema informático 90 mediante una conexión por cable o mediante una red de comunicación inalámbrica.

15 Dentro de la presente divulgación, se consideran diferentes tipos de actuadores para interactuar con el simulador híbrido.

20 Un primer tipo de actuador comprende un actuador físico que actúa directamente sobre un componente óptico ficticio, como una plataforma de traslación o rotación, que modifica físicamente la posición u orientación real de un componente óptico ficticio. Un ejemplo de este tipo de actuador se ilustra en la plataforma 26 de traslación para trasladar la lente 26 en la figura 3. En este caso, el sensor puede detectar un desplazamiento real del componente óptico ficticio. Este primer tipo de actuador puede estar equipado con un tornillo de ajuste de precisión; en este caso, el sensor puede detectar una señal del tornillo de ajuste o medir el desplazamiento real del componente óptico ficticio. Alternativamente, este primer tipo de actuador puede ser accionado por un motor o por un controlador; en este caso, el sensor puede detectar una señal derivada del motor o del controlador o medir el desplazamiento real del componente óptico ficticio. Un procedimiento de calibración permite convertir la señal detectada en una variación medida en la posición y/u orientación angular del componente óptico ficticio.

30 Un segundo tipo de actuador comprende un actuador físico pero que no actúa directamente sobre el componente óptico ficticio, sino que simula una acción sobre el componente óptico ficticio. Un ejemplo de este segundo tipo de actuador viene dado por el tornillo 30 de ajuste que realmente gira alrededor de un eje pero que no modifica la posición real u orientación del espejo ficticio 10. En este caso, el tornillo 30 de ajuste simula una rotación del espejo ficticio 10, y el sensor detecta una señal del tornillo 30 de ajuste simulando un ajuste del componente óptico ficticio. Por ejemplo, el actuador incluye un sensor integrado que detecta el movimiento del actuador. En el caso de este segundo tipo de actuador, el sensor no mide ningún efecto real en el componente óptico ficticio. En este caso, el sensor mide una señal derivada del actuador o de un controlador.

40 Más generalmente, el ajuste de un componente óptico abarca cualquier tipo de ajuste, incluido el ajuste y el control de la temperatura de un cristal no lineal o el ajuste y el control de la corriente del diodo para bombear un láser. Esta variante permite controlar algunos componentes accionados eléctrica o electrónicamente, como moduladores ópticos, plataformas motorizadas... En este caso, el operador induce, por ejemplo, una variación de la posición, orientación, temperatura, voltaje de un componente óptico ficticio usando una interfaz de ordenador que acciona un controlador electrónico. Un sensor detecta una señal representativa de dicha variación de posición, orientación, temperatura, voltaje en la salida del controlador electrónico.

50 Este segundo tipo de actuador puede controlarse mediante una interfaz electrónica o mediante la interfaz del sistema informático. Por ejemplo, un actuador motorizado controla virtualmente la posición de un componente óptico ficticio. Sin embargo, en cualquier caso, un sensor real mide una señal física representativa del funcionamiento de dicho actuador.

55 Como opción, cada componente óptico ficticio está asociado de forma única con un único componente óptico numérico, correspondiente a una función de transferencia óptica registrada en una base de datos conectada al sistema de simulación. Esta base de datos puede ser actualizada por diferentes usuarios, o incluso puede estar conectada a bases de datos de componentes ópticos de proveedores conocidos. Preferiblemente, en este caso, cada componente ficticio comprende una etiqueta de identificación que permite una fácil identificación de la función de transferencia óptica numérica asociada y una fácil construcción de la simulación óptica.

60 Preferiblemente, el simulador híbrido comprende una biblioteca numérica de materiales de recursos y modelos de diseño.

Proceso

65 La figura 6 representa esquemáticamente la arquitectura del simulador híbrido. El simulador híbrido se puede proponer en una configuración básica, o la configuración básica se puede proponer con una o varias opciones.

Los módulos básicos son:

5 un módulo 150 de ajuste físico y sensor, un módulo 140 de señal o señales de sensor o sensores, un módulo 190 de simulación óptica y un módulo 160 de pantalla. El módulo 150 de ajuste físico y sensor recopila datos sin procesar del sensor o sensores y proporciona estos datos sin procesar al módulo 140 de señal o señales del sensor o sensores. El módulo 140 de señal o señales del sensor o sensores transforma los datos sin procesar en señales calibradas usadas en el módulo 190 de simulación óptica. El módulo 190 de simulación óptica calcula la simulación óptica numérica en función de las señales de los sensores y calcula una simulación de una señal óptica representativa de la propagación del haz óptico en el simulador híbrido. El módulo 160 de visualización muestra  
10 señales visuales representativas de la simulación calculada.

El simulador híbrido comprende, como primera opción, un módulo 180 de seguimiento óptico, para rastrear la posición y orientación de los componentes ópticos ficticios en 3D.

15 El simulador híbrido comprende, como otra opción, un módulo 170 de información tutorial, para mostrar información tutorial adicional.

Los expertos en la técnica reconocerán que la invención se aplica a numerosas disposiciones ópticas.

20 El proceso es modular, fácilmente configurable y adaptable para modificar fácilmente una configuración óptica determinada o para muchas configuraciones ópticas diferentes.

El modelo numérico usado para la simulación óptica puede interconectarse fácilmente con muchas herramientas existentes de diseño óptico y simulación.

25

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico, caracterizado porque el simulador híbrido (100) comprende:
- 5 - al menos un componente óptico ficticio (10, 11, 12, 13, 14, 15) que simula físicamente un dispositivo óptico;
- al menos un dispositivo (24, 25, 26, 30, 34, 35a, 35b) de actuador para generar o simular un ajuste de dicho componente óptico ficticio (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16);
- 10 - un sensor (46) configurado para detectar una señal de ajuste representativa del funcionamiento de dicho dispositivo (26, 30, 34, 35a, 35b) de actuador, dicho dispositivo de actuador estando equipado con un sensor (46) configurado para detectar una señal de ajuste representativa del funcionamiento de dicho dispositivo (26, 30, 34, 35a, 35b) de actuador;
- 15 - un sistema (90) de procesamiento digital que recibe dicha señal de ajuste desde dicho sensor (46), comprendiendo dicho sistema (90) de procesamiento digital un modelo numérico para simular la proyección de al menos un haz óptico numérico de salida resultante de la interacción entre un haz óptico numérico de entrada y un componente óptico numérico que representa dicho dispositivo óptico en función de dicha señal de ajuste;
- 20 - un sistema (2, 95) de visualización para mostrar en una pantalla física (2) una imagen real (50, 51, 52) representativa de dicha proyección de dicho haz óptico numérico de salida en función de dicha señal de ajuste.
- 2.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho dispositivo de actuador comprende una plataforma (24, 25, 26) de traslación y/o rotación unida a dicho componente óptico ficticio para trasladar y/o rotar dicho componente óptico ficticio (14, 15, 16), y en el que dicho sensor (46) está configurado para detectar una señal de traslación y/o rotación de dicha plataforma de traslación y/o rotación (24, 25, 26).
- 25 3.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que dicho dispositivo de actuador comprende un tornillo (30) de ajuste para simular una traslación y/o rotación de dicho componente óptico simulado (10), y en el que dicho sensor está configurado para detectar una señal de traslación y/o rotación de dicho tornillo (30) de ajuste.
- 30 4.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho dispositivo de actuador comprende un actuador eléctrico, electrónico, optomecánico u optoelectrónico para generar o simular un ajuste eléctrico, electrónico, optomecánico u optoelectrónico de dicho componente óptico ficticio (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) y en el que dicho sensor está configurado para detectar una señal de ajuste de dicho actuador eléctrico, electrónico, optomecánico u optoelectrónico.
- 35 40 5.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho dispositivo de actuador está configurado para generar o simular un ajuste de temperatura y/o presión de dicho componente óptico simulado (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) y en el que dicho sensor (46) está configurado para detectar una señal de ajuste de temperatura y/o presión.
- 45 6.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicho sistema (2, 95) de visualización comprende un video proyector (95), una pantalla electrónica o una tableta para mostrar dicha señal visual (50, 51, 52) representativa de dicho haz óptico numérico de salida en función de dicha señal de ajuste representativa del funcionamiento de dicho dispositivo (26, 30, 34, 35a, 35b) de actuador.
- 50 7.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho sistema (90) de procesamiento digital y dicho sistema (2, 95) de visualización están configurados para mostrar señales (60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 71, 72) de realidad aumentada.
- 55 8.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con las reivindicaciones 6 y 7, que comprende además otro videoproector, otra pantalla de ordenador u otra tableta para mostrar señales (60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 71, 72) de realidad aumentada, que comprende una trayectoria (60, 61, 62, 63, 64, 65, 66) del haz óptico visual que simula dicho haz óptico numérico de entrada y/o dicho haz óptico numérico de salida en relación con dicho componente óptico ficticio (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) y/o señales (70, 71, 72) de guía visual.
- 60 9.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que dicho componente óptico numérico representa un
- 65

componente óptico elegido entre: lentes convergentes y divergentes; espejos planos, convexos y cóncavos; polarizadores delgados; prismas polarizadores birrefringentes; divisores de haz; placas onduladas; filtros espaciales; filtros espectrales; medios de ganancia óptica; moduladores de amplitud y fase; cristales acústicos y electroópticos y cristales ópticos no lineales.

5 10.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende además una base de datos numérica de componentes ópticos numéricos que permite la simulación de una pluralidad de dispositivos ópticos y/o sistemas ópticos.

10 11.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende una pluralidad de componentes ópticos ficticios (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) que simulan físicamente una pluralidad de dispositivos ópticos, teniendo cada componente óptico ficticio (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) una etiqueta de identificación, y en el que cada etiqueta de identificación está asociada con un componente óptico numérico determinado en la base de datos numérica.

15 12.- Simulador híbrido (100) para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que dicho modelo numérico comprende un modelo de propagación de haz de acuerdo con un modelo numérico basado en una cualquiera o una combinación de óptica geométrica, óptica que incluye modelos escalares y vectoriales, física del láser, propagación del haz gaussiano y óptica no lineal.

20 13.- Método para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico, comprendiendo el método los pasos de:

25 - colocar al menos un componente óptico ficticio (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) en una configuración inicial en un simulador híbrido (100), dicho componente óptico ficticio (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) simulando físicamente un dispositivo óptico;

30 - ajustar físicamente al menos un dispositivo (26, 30, 34, 35a, 35b) de actuador para generar o simular un ajuste de dicho componente óptico ficticio (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16);

- detectar por medio de un sensor (46) equipado en dicho dispositivo de actuador, una señal (140) de ajuste representativa del funcionamiento de dicho dispositivo (30, 34, 35a, 35b) de actuador;

35 - transmitir dicha señal (140) de ajuste a un sistema (90) de procesamiento digital;

- simular numéricamente (190) la proyección de un haz óptico numérico de salida resultante de la interacción entre un haz óptico numérico de entrada y un componente óptico numérico que representa dicho dispositivo óptico en función de dicha señal de ajuste;

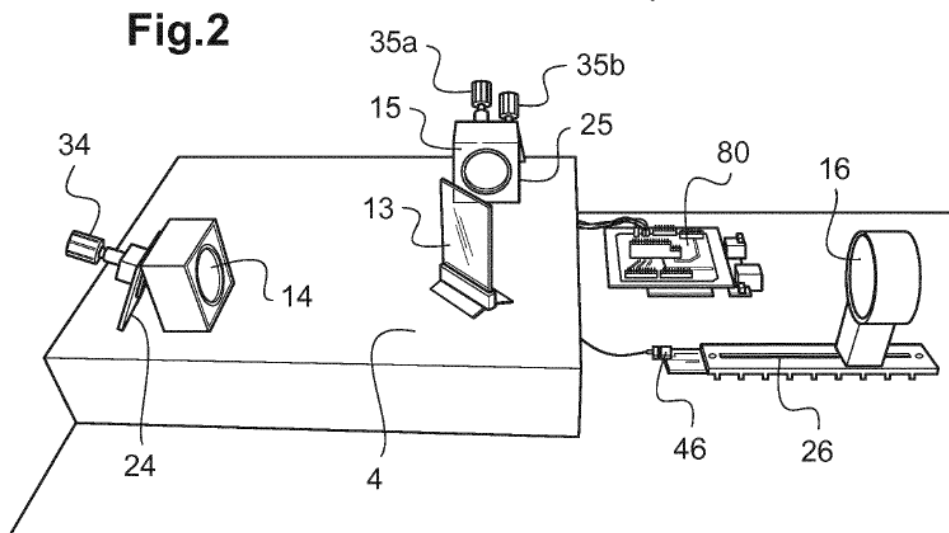
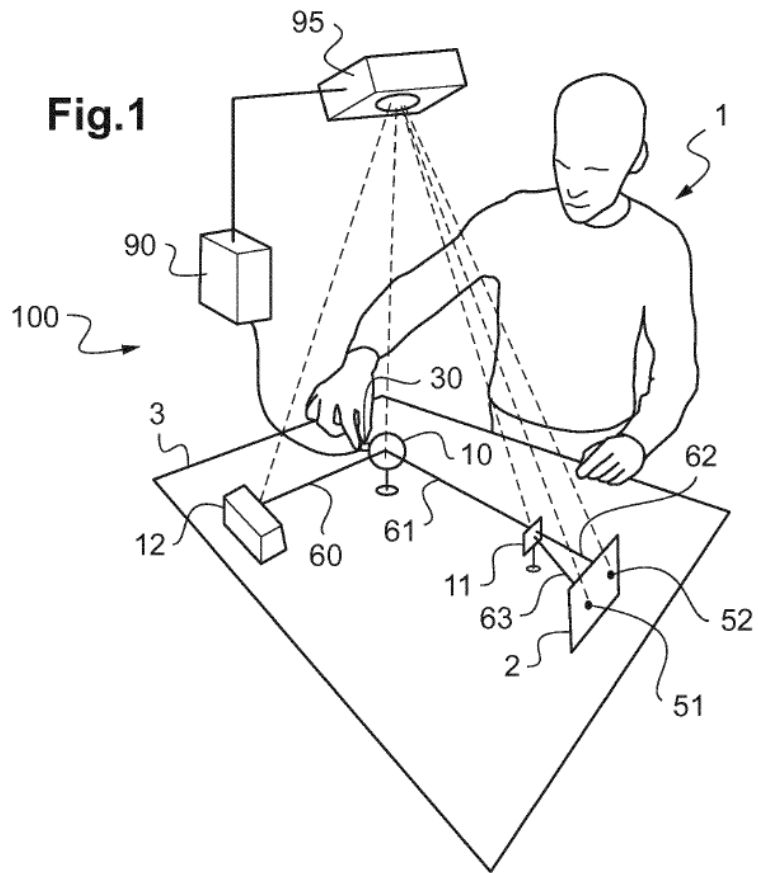
40 - mostrar (160) en una pantalla física (2) una imagen real (50, 51, 52) representativa de dicha proyección de dicho haz óptico numérico de salida en función de dicha señal de ajuste.

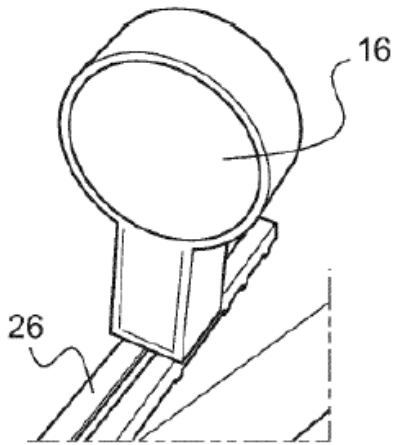
45 14.- Método para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende además los pasos de:

- proporcionar una base de datos de funciones de transferencia óptica asociadas con componentes ópticos numéricos, en el que cada componente óptico ficticio está asociado con una función de transferencia óptica almacenada en dicha base de datos; y

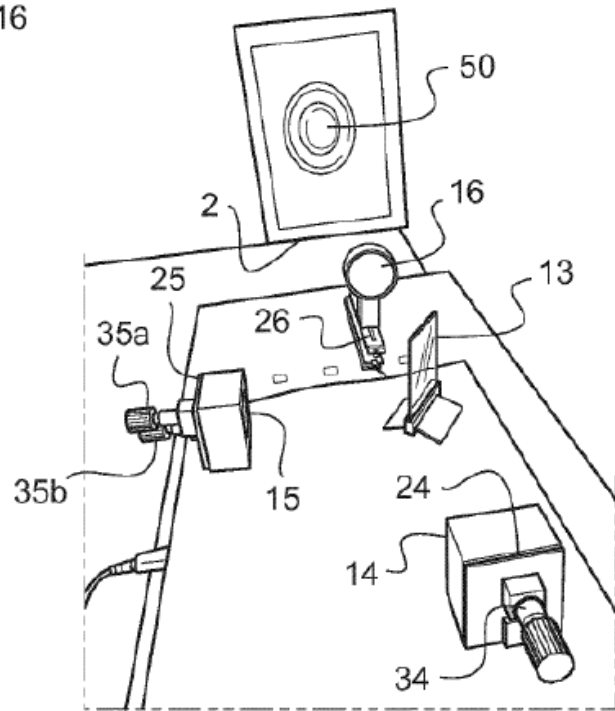
50 - proporcionar una etiqueta de identificación adjunta a un componente ficticio, dicha etiqueta de identificación estando asociada con una función de transferencia determinada almacenada en dicha base de datos.

55 15.- Método para enseñar óptica o para practicar el ajuste de un dispositivo óptico de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, que comprende además un paso de visualización de señales (60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 71, 72) de realidad aumentada.

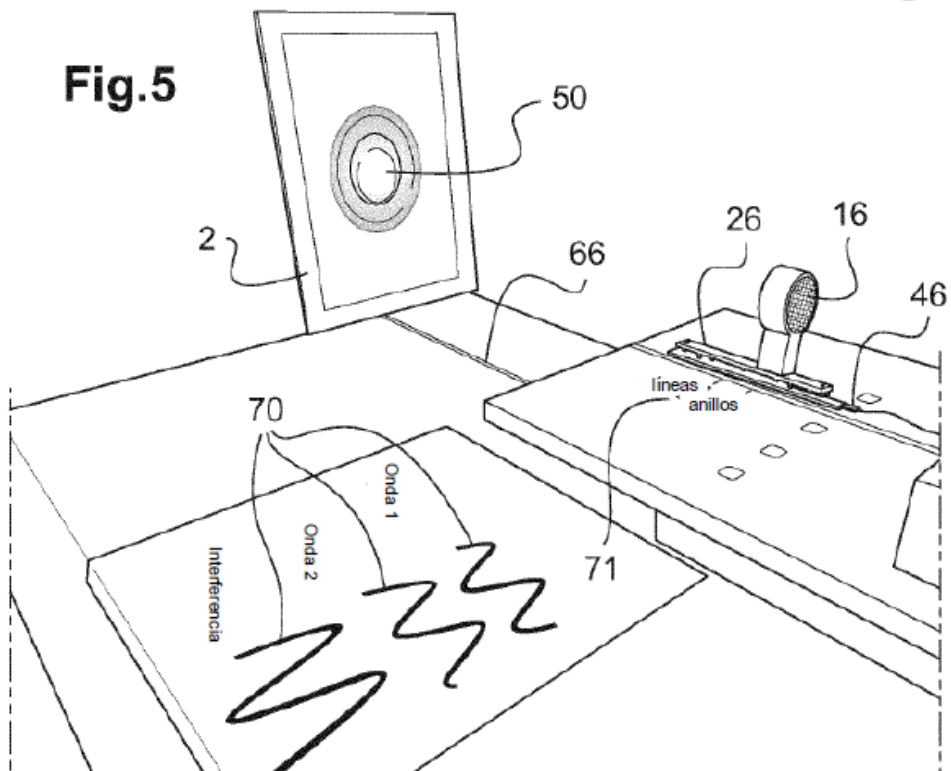




**Fig.3**



**Fig.4**



**Fig.5**



