

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 558**

51 Int. Cl.:

G03H 1/22

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2017 PCT/GB2017/053636**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2018 WO18100395**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2017 E 17817032 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019 EP 3408710**

54 Título: **Proyector holográfico**

30 Prioridad:

02.12.2016 GB 201620540

02.12.2016 GB 201620539

02.12.2016 GB 201620537

02.12.2016 GB 201620538

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.11.2019

73 Titular/es:

DUALITAS LTD. (100.0%)

1a Garforth Place Knowlhill

Milton Keynes MK5 8PG, GB

72 Inventor/es:

CHRISTMAS, JAMIESON

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 730 558 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

Proyector holográfico

Campo

5 La presente exposición se refiere a un proyector. Más específicamente, la presente exposición se refiere a un proyector holográfico, a un sistema de proyección holográfica, a un método de control de una proyección y a un método de control de un sistema de proyección holográfica. Algunas realizaciones se refieren a un módulo de visualización frontal y a un módulo de visualización montable en la cabeza. La invención se refiere a un método de control del brillo de la imagen en un sistema de proyección holográfica. Algunas realizaciones se refieren a un método de control del equilibrio de color de un sistema de proyección holográfica de color compuesto. Se da a
10 conocer también un método de alineamiento de la reconstrucción holográfica en un sistema de proyección holográfica.

Antecedentes e introducción

15 La luz dispersada desde un objeto contiene información tanto de amplitud como de fase. Esta información de amplitud y fase se puede capturar, por ejemplo, sobre una placa fotosensible mediante técnicas de interferencia ampliamente conocidas, con el fin de formar un registro holográfico u "holograma", que comprende franjas de interferencia. El holograma se puede reconstruir mediante iluminación con luz adecuada para formar una reconstrucción holográfica bidimensional (imagen de reproducción) o tridimensional representativa del objeto original.

20 Una holografía generada por ordenador puede simular numéricamente el proceso de interferencia. Un holograma generado por ordenador, "CGH", se puede calcular por medio de una técnica basada en una transformación matemática, tal como una transformada de Fresnel o de Fourier. A estos tipos de holograma se les puede hacer referencia como hologramas de Fresnel o de Fourier. Un holograma de Fourier se puede considerar una representación del objeto en el dominio de Fourier o una representación del objeto en el dominio de la frecuencia. Un CGH también se puede calcular mediante trazado de rayos coherentes o una técnica de nubes de puntos, por
25 ejemplo.

Un CGH se puede codificar en un modulador espacial de luz, "SLM", dispuesto para modular la amplitud y/o fase de luz incidente. La modulación de la luz se puede lograr usando cristales líquidos direccionables eléctricamente, cristales líquidos direccionables ópticamente o microespejos, por ejemplo.

30 El SLM puede comprender una pluralidad de píxeles direccionables individualmente a los cuales se puede hacer referencia, también, como celdas o elementos. El esquema de modulación de la luz puede ser binario, multinivel o continuo.

35 Alternativamente, el dispositivo puede ser continuo (es decir, no compuesto por píxeles), y la modulación de la luz puede ser, por tanto, continua sobre el dispositivo. El SLM puede ser reflectante lo cual significa que a la luz modulada se le da salida desde el SLM en reflexión. Asimismo, el SLM puede ser transmisivo lo cual significa que a la luz modulada se le da salida desde el SLM en transmisión.

Puede proporcionarse un proyector holográfico usando la tecnología descrita. Proyectores de este tipo han encontrado aplicación en proyectores de vídeo, módulos de visualización frontal, "HUD", y módulos de visualización montables en la cabeza, "HMD", incluyendo, por ejemplo, dispositivos de proximidad ocular.

40 El documento US2012/008181A1 da a conocer un método de determinación de una corrección de aberración para un sistema de visualización de imágenes holográficas que hace uso de un modulador espacial de luz (SLM) para visualizar un holograma. Las correcciones necesarias para un sistema de proyección particular se miden usando el mismo SLM del sistema que se usa para generar las imágenes con el fin de proporcionar hologramas por captación de frente de ondas.

45 Naoya Matsumoto et al (XP001577495) dan a conocer una generación, de alta calidad, de un patrón multipunto uniforme (MSP) usando un modulador espacial de luz con realimentación adaptativa. El método actualiza de manera iterativa un MSP generado por ordenador en el sistema óptico.

50 El documento US2009/103151A1 da a conocer la conversión de datos de imagen de vídeo en información de frecuencia espacial usando una transformación de Fourier. La información de frecuencia espacial se proporciona a una unidad de visualización de información, y la información de frecuencia espacial se visualiza en la unidad de visualización de información como distribución de fase. Se irradia luz sobre la unidad de visualización de información usando una fuente de luz, y la cantidad de luz que es irradiada por la fuente de luz se ajusta sobre la base de los datos de imagen de vídeo.

Se da a conocer, en la presente, un sistema mejorado de proyección holográfica.

Sumario

En la reivindicación independiente adjunta se definen aspectos de la invención.

Se dan a conocer, además, otros aspectos de un proyector holográfico, aunque los mismos no se reivindican.

5 Se da a conocer un método de proyección que comprende: iluminar un modulador espacial de luz con luz proveniente de una fuente de luz para formar una imagen en una superficie receptora de luz, en donde la imagen comprende una región de imagen primaria que comprende información para un usuario y una región de imagen secundaria; y detectar luz de la región de imagen secundaria. El método puede comprender detectar una propiedad de la luz de la región de imagen secundaria. El método puede comprender cambiar la imagen, por ejemplo cambiando una propiedad óptica de la luz de la fuente de luz como respuesta a la propiedad detectada de la luz de la región de imagen secundaria.

10 Se proporciona un método de proyección holográfica que comprende: representar un holograma generado por ordenador en un modulador espacial de luz; iluminar el holograma con luz proveniente de una fuente de luz para formar una imagen en una superficie receptora de luz, en donde la imagen comprende una región de imagen primaria que comprende información para un usuario y una región de imagen secundaria; y detectar la potencia óptica de la región de imagen secundaria. El método puede comprender, además, cambiar la potencia óptica de la luz proveniente de la fuente de luz como respuesta a la potencia óptica detectada de la región de imagen secundaria.

15 Los inventores han identificado que el proyector holográfico de la presente exposición puede proporcionar un sistema de realimentación de potencia de bucle cerrado para hacer frente a un problema por el que el brillo de la imagen de la reconstrucción holográfica no es constante si la cantidad de contenido de la imagen es variable. La potencia óptica de la región de imagen secundaria se puede tomar como representativa del brillo de la imagen (por ejemplo, medida en forma de luminancia) y se puede usar como señal de realimentación para controlar el brillo global de la imagen, en particular si el área de la región de imagen secundaria es fija o la potencia óptica se mide en términos de flujo radiante, es decir, normalizada a un área unitaria.

20 El método puede comprender, además: representar un segundo holograma generado por ordenador en un modulador espacial de luz; iluminar el segundo holograma con una segunda luz proveniente de una fuente de luz para formar una segunda imagen en una superficie receptora de luz, en donde la segunda imagen comprende una región de imagen primaria que comprende información para un usuario y una región de imagen secundaria, y en donde la primera imagen y la segunda imagen son sustancialmente coincidentes; y detectar la potencia óptica de la región de imagen secundaria de la segunda imagen. El método puede comprender, además, cambiar la potencia óptica de la primera y/o la segunda luz como respuesta a la potencia óptica detectada de la región de imagen secundaria de la primera y/o la segunda imagen, con el fin de cambiar el brillo respectivo de la primera y/o la segunda imagen y, por tanto, el equilibrio de color de la imagen compuesta. Este método se puede ampliar a un número cualquiera de hologramas e imágenes correspondientes. En algunas realizaciones, se proporciona una reconstrucción holográfica de color compuesto superponiendo imágenes de rojo, verde y azul formadas a partir de tres hologramas respectivos. Aunque las regiones de imagen primarias respectivas deberían estar alineadas en un grado suficiente para permitir que un espectador perciba una imagen compuesta, no es necesario que las regiones de imagen secundarias respectivas estén alineadas (aunque lo pueden estar) y las mismas pueden ser espacialmente distintas.

25 Los inventores han identificado que el proyector holográfico de color compuesto de la presente exposición puede proporcionar un sistema de realimentación de potencia de bucle cerrado con el fin de hacer frente a un problema por el que el equilibrio de color de la reconstrucción holográfica no es constante si las cantidades relativas del contenido de imagen de color individual son variables.

30 Se da a conocer, además, un método que comprende llevar a cabo un proceso de alineación óptica que comprende cambiar la posición de la imagen en la pantalla y detectar la potencia óptica de luz interceptada que viaja hacia o desde la región de imagen secundaria en una pluralidad de posiciones de la imagen. El método puede comprender, además, determinar la posición de la imagen que da origen a la mayor potencia óptica detectada. Los inventores en la presente dan a conocer un método adecuado de alineación de la imagen proyectada usando un sistema de realimentación de potencia de bucle cerrado.

35 Durante toda esta exposición se hace referencia a la potencia óptica de regiones de imagen correspondientes a una imagen. Puede entenderse que, de manera más específica, dicha referencia remite a la potencia óptica de luz de la región de imagen correspondiente a la imagen, más específicamente, luz que emana de o viaja hacia la región de imagen. La potencia óptica puede ser medida por un detector que detecta luz que emana de la región de imagen o luz dirigida a la región de imagen mediante la intercepción de luz que viaja desde o hacia, respectivamente, la región de imagen. La potencia óptica detectada se puede usar como señal de realimentación directamente o se puede escalar de manera adecuada, por ejemplo para obtener una normalización en correspondencia con el área de la región de imagen, lo cual puede resultar útil, por ejemplo, cuando la región de imagen pueda variar en cuanto al área a lo largo del tiempo. Se entiende que potencia óptica se refiere a la energía de fotones que viajan hacia o desde la

región de imagen en cuestión y, por tanto, se mide en términos de W (ó Js^{-1}) en términos absolutos o Wm^{-2} (ó $\text{Js}^{-1} \text{m}^{-2}$) normalizados con respecto al área. Pueden aplicarse otros factores de escala para medir la potencia óptica, por ejemplo en términos de luminancia, es decir una percepción ponderada, en unidades de cd ó cdm^{-2} , según el caso. La potencia óptica también se puede normalizar en términos de ángulo sólido y, por tanto, se puede medir como intensidad radiante con unidades de $\text{Js}^{-1}\text{m}^{-2}\text{sr}^{-1}$ ó las unidades escaladas de percepción correspondientes $\text{cdm}^{-2}\text{sr}^{-1}$.

5 El término “holograma” se usa para referirse al *registro* que contiene información de amplitud y/o fase sobre el objeto. La expresión “reconstrucción holográfica” se usa para referirse a la *reconstrucción* óptica del objeto que se forma iluminando el holograma. La expresión “campo de reproducción” se usa para referirse al *plano* en el espacio donde se forma la reconstrucción holográfica. Cuando se hace referencia a una imagen (o regiones de imagen), esta no coincide, en general, con el área completa del campo de reproducción sino que se refiere a aquellas áreas del campo de reproducción en las que la luz de la imagen (o región de imagen) entra en intersección con el campo de reproducción, por ejemplo incide sobre una superficie receptora de luz o pantalla coincidente con el campo de reproducción.

10 Los términos “codificación”, “escritura” o “direccionamiento” se usan para describir el proceso de proporcionar a la pluralidad de píxeles del SLM una pluralidad respectiva de valores de control que determinan respectivamente el nivel de modulación de cada píxel. Puede decirse que los píxeles del SLM están configurados para “visualizar” una distribución de modulación de luz como respuesta a la recepción de la pluralidad de valores de control.

15 El término “luz” se usa, en la presente, en su sentido más amplio. Algunas realizaciones son aplicables asimismo a luz visible, luz infrarroja y luz ultravioleta, y cualquier combinación de las mismas.

20 **Breve descripción de los dibujos**

Se describen realizaciones específicas a modo de ejemplo únicamente, en referencia a las siguientes figuras:

la Figura 1 es un esquema que muestra un SLM reflectante que produce una reconstrucción holográfica sobre una pantalla;

la Figura 2A ilustra una primera iteración de un algoritmo de tipo Gerchberg-Saxton de ejemplo;

25 la Figura 2B ilustra la segunda iteración e iteraciones subsiguientes del algoritmo de tipo Gerchberg-Saxton de ejemplo;

la Figura 3 es un esquema de un SLM de LCOS reflectante;

la Figura 4 muestra un sistema de proyección holográfica de acuerdo con realizaciones;

la Figura 5 muestra un excitador de láser de acuerdo con realizaciones;

30 la Figura 6 muestra un excitador de LCOS de acuerdo con realizaciones;

la Figura 7 muestra una imagen de ejemplo de acuerdo con una realización;

la Figura 8 muestra un sistema de proyección holográfica de acuerdo con otras realizaciones;

la Figura 9 muestra un excitador de láser de acuerdo con otras realizaciones;

la Figura 10 muestra un excitador de LCOS de acuerdo con otras realizaciones;

35 la Figura 11 muestra una configuración para un primer, un segundo y un tercer detectores de acuerdo con realizaciones; y

la Figura 12 muestra un método de alineación para determinar el plano focal de la reconstrucción holográfica.

Durante todos los dibujos se usarán los mismos números de referencia para referirse a las partes que son iguales o equivalentes.

40 **Descripción detallada de realizaciones**

La presente invención no se limita a las realizaciones descritas en lo sucesivo, sino que se extiende al ámbito completo de las reivindicaciones adjuntas. Es decir, la presente invención se puede materializar en diferentes formas y no debe considerarse como limitada a, y materializada por, las realizaciones descritas, las cuales se exponen con fines ilustrativos.

45 Una estructura que se describe como formada en una porción superior/porción inferior de otra estructura o sobre/debajo de la otra estructura debería considerarse como inclusiva de un caso en el que las estructuras están en contacto mutuo y, además, un caso en el que hay dispuesta entre ellas una tercera estructura.

En la descripción de una relación en el tiempo – por ejemplo, cuando el orden temporal de eventos se describe como “después de”, “subsiguiente”, “siguiente”, “antes de” o similares – debe considerarse que la presente exposición incluye eventos continuos y no continuos a no ser que se especifique lo contrario. Por ejemplo, debe considerarse que la descripción incluye un caso que no es continuo a no ser que se use una expresión tal como “justo”, “inmediato” o “directo”.

Aunque los términos “primer”, “segundo”, etcétera, pueden usarse en la presente para describir varios elementos, estos elementos no quedarán limitados por estos términos. Estos términos se usan solamente para diferenciar un elemento con respecto a otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse segundo elemento, y, de manera similar, un segundo elemento podría denominarse primer elemento, sin desviarse con respecto al alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Características de realizaciones diferentes se pueden juntar o combinar de manera parcial o global entre sí, y se puede hacer que las mismas interactúen de forma variada entre ellas. Algunas realizaciones se pueden llevar a cabo de manera independiente entre sí, o se pueden llevar a cabo conjuntamente en una relación codependiente.

Se ha observado que puede formarse una reconstrucción holográfica de calidad aceptable a partir de un “holograma” que contiene solamente información de fase relacionada con el objeto original. A un registro holográfico de este tipo se le puede hacer referencia como hologramas solamente de fase. Algunas realizaciones se refieren a una holografía solamente de fase, a título de ejemplo únicamente. Es decir, en algunas realizaciones, el modulador espacial de luz aplica únicamente una distribución de retardo de fase a la luz incidente. En algunas realizaciones, el retardo de fase aplicado por cada píxel es multinivel. Es decir, cada píxel se puede fijar en uno de un número discreto de niveles de fase. El número discreto de niveles de fase se puede seleccionar de un conjunto mucho mayor de niveles de fase o “paleta”.

En algunas realizaciones, el holograma generado por ordenador es una transformada de Fourier del objeto destinado a reconstrucción. En estas realizaciones, puede decirse que el holograma es una representación del objeto en el dominio del Fourier o el dominio de la frecuencia. La Figura 1 muestra una realización que usa un SLM reflectante para visualizar un holograma de Fourier solamente de fase y producir una reconstrucción holográfica en un campo de reproducción, por ejemplo, sobre una superficie receptora de luz tal como una pantalla o difusor.

Una fuente 110 de luz, por ejemplo un láser o diodo láser, está dispuesta para iluminar el SLM 140 por medio de una lente colimadora 111. La lente colimadora consigue que un frente de onda de luz en general plano incida sobre el SLM. La dirección del frente de onda está desviada de la normal (por ejemplo, dos o tres grados en alejamiento con respecto a una verdadera ortogonalidad con respecto al plano de la capa transparente). En otras realizaciones, el frente de onda en general plano se proporciona con una incidencia normal usando, por ejemplo, un divisor de haz. En el ejemplo mostrado en la Figura 1, la disposición es tal que luz proveniente de la fuente de luz se ve reflejada desde una superficie trasera con acabado de espejo del SLM e interacciona con una capa de modulación de fase para formar un frente 112 de onda de salida. El frente 112 de onda de salida se aplica a un conjunto óptico que incluye una lente 120 de transformada de Fourier, que tiene su foco en una superficie receptora 125 de luz, por ejemplo un difusor o pantalla.

La lente 120 de transformada de Fourier recibe un haz de luz modulada en fase del SLM y lleva a cabo una transformación de frecuencia-espacio para producir una reconstrucción holográfica en la superficie receptora 125 de luz.

La luz incide a través de la capa de modulación de fase (es decir, la matriz de elementos de modulación de fase) del SLM. La luz modulada que sale de la capa de modulación de fase se distribuye sobre el campo de reproducción. En especial, en este tipo de holografía, cada píxel del holograma contribuye a la reconstrucción completa. Es decir, *no* hay una correlación de uno-a-uno entre puntos específicos en el campo de reproducción y elementos de modulación de fase específicos.

En estas realizaciones, la posición (profundidad) de la reconstrucción holográfica en el espacio se determina por la potencia dióptrica (de enfoque) de la lente de transformada de Fourier. En la realización mostrada en la Figura 1, la lente de transformada de Fourier es una lente física. Es decir, la lente de transformada de Fourier es una lente óptica de transformada de Fourier, y la transformada de Fourier se lleva a cabo ópticamente. Cualquier lente puede actuar como lente de transformada de Fourier, aunque el rendimiento de la lente limitará la precisión de la transformada de Fourier que la misma lleve a cabo. Los expertos entenderán cómo usar una lente para llevar a cabo una transformada de Fourier óptica. No obstante, en otras realizaciones, la transformada de Fourier se lleva a cabo computacionalmente incluyendo datos lenticulares en los datos holográficos. Es decir, el holograma incluye datos representativos de una lente así como datos que representan el objeto. En el campo de los hologramas generados por ordenador se conoce cómo calcular datos holográficos representativos de una lente, de manera que la luz de la reconstrucción holográfica resultante viaja como si hubiera una lente presente en el trayecto del haz después del SLM. A los datos holográficos representativos de una lente se les puede hacer referencia como lente de software, componente de lente del holograma o datos de lente. Una lente holográfica solamente de fase se puede formar, por ejemplo, calculando el retardo de fase provocado por cada punto de la lente debido a su índice de refracción y la longitud del trayecto óptico que varía espacialmente. Por ejemplo, la longitud del trayecto óptico en el centro de una

lente convexa es mayor que la longitud del trayecto óptico en los bordes de la lente. Una lente holográfica solamente de amplitud se puede formar por medio de una placa zonal de Fresnel. En la técnica de los hologramas generados por ordenador se conoce también cómo combinar datos holográficos representativos de una lente (la componente de lente) con datos holográficos representativos del objeto, de manera que puede llevarse a cabo una transformada de Fourier sin necesidad de una lente de Fourier física. En algunas realizaciones, datos lenticulares se combinan con los datos holográficos mediante una adición vectorial simple. En algunas realizaciones, se usa una lente física en combinación con una lente de software para llevar a cabo la transformada de Fourier. Alternativamente, en otras realizaciones, la lente de transformada de Fourier se omite en su totalidad de tal manera que la reconstrucción holográfica tiene lugar en el campo lejano. En otras realizaciones, el holograma puede incluir de manera adicional o alternativa datos reticulares – es decir, datos dispuestos para realizar la función de un retículo, tal como la orientación de haces, con el fin de influir en la posición de la imagen en el campo de reproducción. Nuevamente, en el campo de los hologramas generados por ordenador se sabe cómo calcular dichos datos holográficos y combinarlos con datos holográficos representativos del objeto. Por ejemplo, un retículo holográfico de solamente fase se puede formar modelando el retardo de fase provocado por cada punto en la superficie de un retículo intensificado (*blazed*). Un retículo holográfico de solamente amplitud se puede superponer simplemente sobre un holograma de solamente amplitud representativo de un objeto, para proporcionar la orientación angular de un holograma de solamente amplitud.

Un holograma de Fourier de una imagen 2D se puede calcular según una serie de maneras, que incluyen el uso de algoritmos, tales como el algoritmo de Gerchberg-Saxton. El algoritmo de Gerchberg-Saxton se puede usar para obtener información de fase en el dominio de Fourier a partir de información de amplitud en el dominio espacial (tal como una imagen 2D). Es decir, se puede “recuperar” información de fase relacionada con el objeto a partir de información de solamente intensidad, o amplitud, en el dominio espacial. Por consiguiente, se puede calcular una transformada de Fourier de solamente fase del objeto.

En algunas realizaciones, un holograma generado por ordenador se calcula a partir de información de amplitud usando el algoritmo de Gerchberg-Saxton o una variante del mismo. El algoritmo de Gerchberg Saxton considera el problema de recuperación de la fase cuando se conocen las secciones transversales de intensidad de un haz de luz, $I_A(x, y)$ e $I_B(x, y)$, en los planos A y B respectivamente, e $I_A(x, y)$ e $I_B(x, y)$ están relacionadas por un única transformada de Fourier. Con las secciones transversales de intensidad determinadas, se halla una aproximación a la distribución de fase en los planos A y B, $\Psi_A(x, y)$ y $\Psi_B(x, y)$ respectivamente. El algoritmo de Gerchberg-Saxton encuentra solución a este problema siguiendo un proceso iterativo.

El algoritmo de Gerchberg-Saxton aplica de manera iterativa restricciones espaciales y espectrales mientras se transfiere repetidamente un conjunto de datos (amplitud y fase), representativo de $I_A(x, y)$ e $I_B(x, y)$, entre el dominio espacial y el dominio de Fourier (espectral). Las restricciones espaciales y espectrales son, respectivamente, $I_A(x, y)$ e $I_B(x, y)$. Las restricciones en el dominio o bien espacial o bien espectral se imponen sobre la amplitud del conjunto de datos. La información de fase correspondiente se recupera a través de una serie de iteraciones.

En algunas realizaciones, el holograma se calcula usando un algoritmo basado en el algoritmo de Gerchberg-Saxton, tal como se describe en la patente británica 2.498.170 ó 2.501.112.

De acuerdo con algunas realizaciones, un algoritmo basado en el algoritmo de Gerchberg-Saxton recupera la información de fase $\Psi[u, v]$ de la transformada de Fourier del conjunto de datos lo cual da origen a una información de amplitud conocida $T[x, y]$. La información de amplitud $T[x, y]$ es representativa de una imagen objetivo (por ejemplo, una fotografía). La información de fase $\Psi[u, v]$ se usa para producir una holografía representativa de la imagen objetivo en un plano de imagen.

Puesto que la magnitud y la fase se combinan intrínsecamente en la transformada de Fourier, la magnitud transformada (así como la fase) contiene información útil sobre la precisión del conjunto de datos calculado. De este modo, el algoritmo puede proporcionar realimentación sobre la información tanto de amplitud como de fase.

En lo sucesivo se describe, en referencia a la Figura 2, un algoritmo de ejemplo basado en el algoritmo de Gerchberg-Saxton de acuerdo con algunas realizaciones de la presente exposición. El algoritmo es iterativo y convergente. El algoritmo está dispuesto para producir un holograma que representa una imagen de entrada. El algoritmo se puede usar para determinar un holograma de solamente amplitud, un holograma de solamente fase o un holograma totalmente complejo. El ejemplo que se da a conocer en el presente se refiere a la producción de un holograma de solamente fase únicamente a título ilustrativo. La Figura 2A ilustra la primera iteración del algoritmo y representa el núcleo del mismo. La Figura 2B ilustra iteraciones subsiguientes del algoritmo.

A efectos de esta descripción, la información de amplitud y de fase se consideran por separado aunque las mismas se combinan intrínsecamente para formar un conjunto de datos complejo compuesto. En referencia a la Figura 2A, el núcleo del algoritmo se puede considerar como poseedor de una entrada que comprende unos primeros datos complejos y una salida que comprende unos cuartos datos complejos. Los primeros datos complejos comprenden una primera componente 201 de amplitud y una primera componente 203 de fase. Los cuartos datos complejos comprenden una cuarta componente 211 de amplitud y una cuarta componente 213 de fase. En este ejemplo, la imagen de entrada es bidimensional. Por lo tanto, la información de amplitud y de fase son funciones de las

coordenadas espaciales (x, y) en la imagen del campo lejano y funciones de (u, v) para el campo del holograma. Es decir, la amplitud y la fase en cada plano son distribuciones de amplitud y de fase en cada plano.

5 En esta primera iteración, la primera componente 201 de amplitud es la imagen 210 de entrada cuyo holograma se está calculando. En esta primera iteración, la primera componente 203 de fase es una componente 230 de fase aleatoria usada meramente como punto de partida para el algoritmo. El bloque 250 de procesado lleva a cabo una transformada de Fourier de los primeros datos complejos para formar unos segundos datos complejos que tienen una segunda componente de amplitud (no mostrada) y una segunda información 205 de fase. En este ejemplo, la segunda componente de amplitud se descarga y es sustituida por una tercera componente 207 de amplitud por el bloque 252 de procesado. En otros ejemplos, el bloque 252 de procesado lleva a cabo funciones diferentes para producir la tercera componente 207 de amplitud. En este ejemplo, la tercera componente 207 de amplitud es una distribución representativa de la fuente de luz. La segunda componente 205 de fase es cuantificada por el bloque 254 de procesado para producir la tercera componente 209 de fase. La tercera componente 207 de amplitud y la tercera componente 209 de fase forman los terceros datos complejos. Los terceros datos complejos se introducen en el bloque 256 de procesado el cual lleva a cabo una transformada inversa de Fourier. El bloque 256 de procesado da salida a unos cuartos datos complejos que tienen la cuarta componente 211 de amplitud y la cuarta componente 213 de fase. Los cuartos datos complejos se usan para formar la entrada para la siguiente iteración. Es decir, los cuartos datos complejos de la iteración n-ésima se usan para formar el primer conjunto de datos complejos de la iteración (n+1)-ésima.

20 La Figura 2B muestra la iteración segunda y subsiguientes del algoritmo. El bloque 250 de procesado recibe unos primeros datos complejos que tienen una primera componente 201 de amplitud derivada de la cuarta componente 211 de amplitud de la iteración previa y una primera componente 213 de fase correspondiente a la cuarta componente de fase de la iteración previa.

25 En este ejemplo, la primera componente 201 de amplitud se obtiene a partir de la cuarta componente 211 de amplitud de la iteración previa, según se describe en lo sucesivo. El bloque 258 de procesado resta la imagen 210 de entrada de la cuarta componente 211 de amplitud de la iteración previa para formar la quinta componente 215 de amplitud. El bloque 260 de procesado escala la quinta componente 215 de amplitud por medio de un factor de ganancia α y la resta de la imagen 210 de entrada. Esto se expresa matemáticamente con las siguientes ecuaciones:

$$R_{n+1}[x, y] = F^{-1} \{ \exp(i\psi_n[u, v]) \}$$

$$\psi_n[u, v] = \angle F \{ \eta \cdot \exp(i\angle R_n[x, y]) \}$$

$$\eta = T[x, y] - \alpha (|R_n[x, y]| - T[x, y])$$

30 Donde:

F^{-1} es la transformada inversa de Fourier;

F es la transformada directa de Fourier;

R es el campo de reproducción;

T es la imagen objetivo;

35 \angle es la información angular;

Ψ es la versión cuantificada de la información angular;

ϵ es la magnitud objetivo nueva, $\epsilon \geq 0$; y

α es un elemento de ganancia ~ 1 .

40 El elemento de ganancia α puede ser fijo o variable. En ejemplos, el elemento de ganancia α se determina sobre la base del tamaño y la velocidad de los datos entrantes de la imagen objetivo.

Los bloques 250, 252, 254 y 256 de procesado funcionan según se ha descrito en referencia a la Figura 2A. En la iteración final, se da salida a un holograma de solamente fase $\Psi(u, v)$ representativo de la imagen 210 de entrada. Puede decirse que el holograma de solamente fase $\Psi(u, v)$ comprende una distribución de fase en el dominio de la frecuencia o de Fourier.

45 En otros ejemplos, no se descarta la segunda componente de amplitud. En su lugar, la imagen 210 de entrada se resta de la segunda componente de amplitud, y un múltiplo de esa componente de amplitud se resta de la imagen 210 de entrada para producir la tercera componente 307 de amplitud. En otros ejemplos, la cuarta componente de

fase no se realimenta en su totalidad y solamente se realimenta una porción proporcional a su cambio, por ejemplo, las dos últimas iteraciones.

5 En algunas realizaciones, se proporciona un motor de tiempo real dispuesto para recibir datos de imagen y calcular hologramas en tiempo real usando el algoritmo. En algunas realizaciones, los datos de imagen son un vídeo que comprende una secuencia de cuadros de imagen. En otras realizaciones, los hologramas se precálculan, se almacenan en memoria de ordenador y se recuperan según sea necesario para su visualización en un SLM. Es decir, en algunas realizaciones, se proporciona un repositorio de hologramas predeterminados.

10 No obstante, algunas realizaciones se refieren a las holografías de Fourier y los algoritmos de tipo Gerchberg-Saxton únicamente a título de ejemplo. La presente exposición es aplicable igualmente a holografías y hologramas de Fresnel calculados mediante otras técnicas, tales como las correspondientes basadas en métodos de nubes de puntos.

La presente exposición se puede implementar usando uno cualquiera de una serie de diferentes tipos de SLM. El SLM puede dar salida a luz modulada espacialmente en reflexión o transmisión. En algunas realizaciones, el SLM es un SLM de cristal líquido sobre silicio (LCOS) aunque la presente exposición no se limita a este tipo de SLM.

15 Un dispositivo de LCOS tiene la capacidad de visualizar grandes matrices de elementos de solamente fase en una apertura pequeña. Los elementos pequeños (de manera típica aproximadamente 10 micras o menores) dan como resultado un ángulo de difracción funcional (unos pocos grados), de manera que el sistema óptico no requiere un trayecto óptico muy largo. La iluminación adecuada de la pequeña apertura (unos pocos centímetros cuadrados) de un SLM de LCOS resulta más sencilla que la correspondiente para la apertura de un dispositivo de cristal líquido más grande. Los SLMs de LCOS tienen también una relación de apertura grande, habiendo muy poco espacio abierto en los píxeles (ya que la circuitería para excitarlos está enterrada debajo de los espejos). Esta es una cuestión importante para reducir el ruido óptico en el campo de reproducción. El uso de una placa base (*backplane*) de silicio tiene la ventaja de que los píxeles son ópticamente planos, lo cual es importante para un dispositivo de modulación de fase.

25 A continuación se describe un SLM de LCOS adecuado, únicamente a título de ejemplo, y en referencia a la Figura 3. Un dispositivo de LCOS se forma usando un sustrato 302 de silicio monocristalino. El mismo tiene una matriz 2D de electrodos 301 de aluminio planos cuadrados, separados entre sí por un intersticio 301a, dispuestos en la superficie superior del sustrato. Cada uno de los electrodos 301 se puede direccionar por medio de circuitería 302a enterrada en el sustrato 302. Cada uno de los electrodos forma un espejo plano respectivo. Una capa 303 de alineación está dispuesta sobre la matriz de electrodos, y una capa 304 de cristal líquido está dispuesta sobre la capa 303 de alineación. Una segunda capa 305 de alineación está dispuesta sobre la capa 304 de cristal líquido y una capa transparente plana 306, por ejemplo, de vidrio, está dispuesta sobre la segunda capa 305 de alineación. Un único electrodo transparente 307, por ejemplo, de ITO, está dispuesto entre la capa transparente 306 y la segunda capa 305 de alineación.

35 Cada uno de los electrodos 301 cuadrados define, junto con la región superpuesta del electrodo transparente 307 y el material de cristal líquido intermedio, un elemento 308 de modulación de fase controlable, al que se hace referencia frecuentemente como píxel. El área de píxel eficaz, o factor de llenado, es el porcentaje del píxel total que es ópticamente activo, teniendo en cuenta el espacio entre píxeles 301a. Mediante el control del voltaje aplicado a cada electrodo 301 con respecto al electrodo transparente 307, pueden hacerse variar las propiedades del material de cristal líquido del elemento de modulación de fase respectivo, para proporcionar así un retardo variable a la luz incidente sobre el mismo. El efecto consiste en proporcionar una modulación de solamente fase al frente de onda, es decir, no se produce ningún efecto de amplitud.

45 El SLM de LCOS descrito da salida a luz modelada espacialmente en reflexión, aunque la presente exposición es aplicable también a un SLM de LCOS transmisivo. Los SLMs de LCOS reflectantes tienen la ventaja de que las líneas de señal, las líneas de puerta y los transistores están por debajo de la superficie con acabado de espejo, lo cual da como resultado unos factores de llenado altos (típicamente superiores al 90%) y unas resoluciones elevadas. Otra de las ventajas de usar un modulador espacial de luz de LCOS reflectante es que la capa de cristal líquido puede ser la mitad de gruesa de lo que sería necesario si se usase un dispositivo transmisivo. Esto hace que mejore considerablemente la velocidad de conmutación del cristal líquido (un punto clave para la proyección de imágenes de vídeo en movimiento).

55 La Figura 4 muestra un sistema 400 de proyección holográfica de acuerdo con realizaciones. El sistema 400 de proyección holográfica comprende una primera entrada 401 para una señal de control de USB, una segunda entrada 402 para alimentación de entrada y una tercera entrada 403 para HDMI. El sistema 400 de proyección holográfica comprende un controlador 410 de láser, un excitador 420 de LCOS, un transformador 430 de potencia, un sensor 440 de luz ambiente, una superficie receptora 450 de luz, por ejemplo un difusor o pantalla, un sensor 460 de luz, un láser 470 y un SLM 480.

La primera entrada 401 para una señal de control de USB al sistema 400 de proyección holográfica es recibida por una primera entrada del controlador 410 de láser. El controlador 410 de láser está dispuesto, además, para recibir

una primera alimentación 431 del transformador 430 de potencia, una señal 421 de sincronización del excitador 420 de LCOS, una señal 441 de luz ambiente del sensor 440 de luz ambiente y una señal 461 de detección de luz del sensor 460 de luz. La salida 411 del excitador de láser está conectada al láser 470.

5 La segunda entrada 402 para alimentación hacia el sistema 400 de proyección holográfica es recibida por la entrada al transformador 430 de potencia. El transformador 430 de potencia comprende: una primera salida que proporciona una primera alimentación 431 al controlador 410 de láser; una segunda salida que proporciona una segunda alimentación 432 al difusor 450; y una tercera salida que proporciona una tercera alimentación 433 al excitador 420 de LCOS. En algunas realizaciones, el difusor no es alimentado y puede omitirse la segunda alimentación 432.

10 La tercera entrada 403 para HDMI hacia el sistema 400 de proyección holográfica es recibida por una primera entrada del excitador 420 del LCOS. El excitador 420 de LCOS está dispuesto, además, para recibir una tercera alimentación 433 del transformador 430 de potencia, según se ha descrito anteriormente. El excitador de LCOS está dispuesto para dar salida a la señal 421 de sincronización hacia el controlador 410 de láser y una señal 422 de control (que comprende datos de modulación de luz) hacia el SLM 480.

15 El láser 470 está dispuesto para irradiar el SLM 480 de acuerdo con la salida 411 del excitador de láser. Cada píxel del SLM recibe una porción de la luz incidente. El SLM 480 se controla de acuerdo con la señal 422 de control para modular espacialmente la luz recibida. La señal 422 de control comprende una instrucción que representa el holograma. Es decir, la señal 422 de control comprende datos holográficos. Cada píxel del SLM es direccionado de manera individual para modular independientemente una porción correspondiente de la luz incidente. Los píxeles representan en conjunto un patrón holográfico. Por consiguiente, al frente de onda recibido se le aplica un patrón o
20 distribución de modulación de luz. En algunas realizaciones, al frente de onda se le aplica una distribución de retardo de fase. Puede decirse que el SLM "visualiza" el holograma.

La luz modulada espacialmente del SLM forma una imagen sobre la superficie receptora 450 de luz, proporcionando el campo de reproducción. La imagen es una reconstrucción holográfica. La reconstrucción holográfica se forma dentro de un área de reproducción holográfica sobre un plano de reproducción holográfica. La reconstrucción
25 holográfica puede requerir un conjunto óptico, tal como una lente de transformada de Fourier, no mostrada en la Figura 4. Alternativamente, la señal 422 de control puede comprender, además, datos holográficos adicionales dispuestos para llevar a cabo la reconstrucción sin necesidad de un conjunto óptico físico.

La Figura 5 muestra un excitador de láser de los sistemas de proyección holográfica de acuerdo con realizaciones. El excitador de láser comprende un microcontrolador 520 dispuesto para recibir la primera entrada 501 para una
30 señal de control de USB. La presente exposición se refiere a una señal de control de USB a título de ejemplo solamente, y podría usarse cualquier estándar de señales. El excitador de láser está dispuesto, además, para recibir la señal 521 de sincronización del excitador de LCOS, la señal 541 de luz ambiente del sensor de luz ambiente (por medio de un ADC 543) y la señal 561 de detección de luz del sensor de luz (por medio de un ADC 563). La salida 511 del excitador de láser está conectada a la entrada del DAC 530. La salida del DAC 530 está conectada a la
35 entrada del excitador 550 de láser. La salida del excitador 550 de láser está conectada a la entrada de excitación del láser 570. El excitador 550 de láser proporciona una realimentación 560 de corriente a un ADC 580 del microcontrolador 520.

La Figura 6 muestra un excitador 620 de LCOS del sistema de proyección holográfica de acuerdo con realizaciones. El excitador 620 de LCOS comprende un chip receptor 650 de HDMI, una Matriz de Puertas Programable in Situ (FPGA) 660 y una pluralidad de transformadores locales 670a-670f. El chip receptor 650 de HDMI tiene una entrada
40 dispuesta para recibir la tercera entrada 603 del sistema de proyección holográfica, y una salida conectada a la entrada de la FPGA 660. La salida de la FPGA 660 está conectada al LCOS 680.

La imagen tiene una región de imagen primaria que comprende información para un usuario y una región de imagen secundaria, diferente de la región primaria, por ejemplo separada de la región de imagen primaria. En algunas
45 realizaciones, toda área restante de la imagen puede usarse como colector de ruido. La región de imagen primaria puede comprender información de realidad aumentada, tal como información que indique velocidad o ubicación. El sensor 460 de luz está dispuesto para medir la potencia óptica de la región de imagen secundaria. Es decir, el sensor 460 de luz está dispuesto para recibir luz reflejada (o transmitida) de manera difusa por la porción de la superficie receptora 450 de luz correspondiente a la región de imagen secundaria o luz interceptada que viaja hacia
50 la porción. El sensor de luz se puede posicionar delante de la superficie receptora de luz o detrás de la superficie receptora de luz. En algunas realizaciones no mostradas, el sensor de luz se posiciona detrás de la superficie receptora de luz para proporcionar un efecto de eliminación de puntos que reduce el ruido. El sensor de luz se puede posicionar antes o después de la superficie receptora de luz, con respecto al trayecto de la luz. En algunas realizaciones, la región de imagen secundaria comprende información que no está destinada principalmente al
55 usuario. En algunas realizaciones, el sensor 460 de luz está dispuesto de tal manera que no recibe ninguna luz de la región de imagen primaria.

Los inventores reconocieron que, con un sistema de proyección holográfica, es posible codificar computacionalmente información adicional en el holograma la cual puede estar dedicada a la finalidad de proporcionar realimentación al sistema. Esta realimentación se puede usar para proporcionar una reconstrucción

holográfica mejorada. En algunas realizaciones, la realimentación se usa para controlar parámetros del sistema de proyección en tiempo real.

Los inventores hallaron que, con un sistema de proyección holográfica, el brillo de la imagen depende de cuánto contenido de imagen se visualice. Específicamente, se observa que, si se visualiza más contenido en la imagen, el brillo de la misma se reduce cuando cae la luminancia. Esto es debido a que, a diferencia de las tecnologías de visualización convencionales, la luz de entrada es dividida por el proceso holográfico de difracción sobre la imagen (que, cabe recordar, es la porción del campo de reproducción que recibe luz). Puede considerarse que existe una relación inversa entre la cantidad de contenido de información y la potencia óptica. Por ejemplo, una imagen holográfica de una unidad de área tendrá diez veces más brillo que una imagen formada por diez unidades de área. Debido a estas consecuencias del proceso holográfico, la información sobre el brillo de la región de imagen primaria se puede proporcionar dirigiendo parte de la luz a una región de imagen secundaria y monitorizando la potencia óptica de la región de imagen secundaria. Esto es debido a que la potencia óptica de la región de imagen secundaria es representativa directamente del flujo radiante (Js^{-1}m^2) o la luminancia (cdm^{-2}), y, por tanto, del brillo, de la imagen (aquellas partes del campo de reproducción que se iluminan). Esto es en particular así si la región de imagen secundaria es de un área fija o se tiene en cuenta el área de la región de imagen secundaria. Ventajosamente, la luz se puede dirigir fácilmente a una región de imagen secundaria por parte del holograma generado por ordenador de la presente exposición sin afectar negativamente a la región de imagen primaria o entorpecer la visión, por parte del usuario, de la información visualizada en la región de imagen primaria.

Por consiguiente, en algunas realizaciones, un sistema de proyección holográfica, por ejemplo según se ha descrito de manera específica anteriormente, está dispuesto para visualizar información para un usuario. El sistema de proyección comprende una superficie receptora de luz, por ejemplo una pantalla o difusor, y una primera fuente de luz dispuesta para dar salida a una primera luz con una primera longitud de onda. Un primer modulador espacial de luz está dispuesto para recibir la primera luz de la primera fuente de luz y dar salida a luz modulada espacialmente de acuerdo con un primer holograma generado por ordenador, representado en el primer modulador espacial de luz para formar una primera imagen sobre la superficie receptora de luz. La primera imagen comprende una región de imagen primaria que comprende la información para un usuario y una región de imagen secundaria diferente de la región de imagen primaria. Por ejemplo, la región de imagen secundaria puede estar separada de la región de imagen primaria. Un primer detector está dispuesto para detectar la potencia óptica de la región de imagen secundaria de la primera imagen.

El holograma puede incluir información que dirige luz hacia la región de imagen primaria y la región de imagen secundaria. La luz dirigida hacia la región de imagen primaria se combina para formar una información o datos útiles para un usuario. La región de imagen secundaria puede comprender un punto u otra forma de luz, aunque, hacia la región de imagen secundaria, puede dirigirse cualquier patrón de luz preferido.

En alguna realización, el primer holograma generado por ordenador comprende una primera componente de holograma representativa de la región primaria de la imagen. El primer holograma generado por ordenador también puede comprender una segunda componente de holograma representativa del patrón de luz dirigido hacia la región de imagen secundaria. La región de imagen secundaria se puede proporcionar con la finalidad de aportar una realimentación útil al sistema de proyección. Con ese fin, en algunas realizaciones, la región de imagen secundaria comprende información de control para el sistema de proyección holográfica. La expresión "información de control" se usa para reflejar que el contenido es utilizado por el sistema de proyección más que por un usuario o espectador de la imagen. Es decir, la información de control no puede proporcionar información visual útil al usuario o espectador.

Ventajosamente, la técnica holográfica de la presente exposición permite posicionar la información de control (región de imagen secundaria) separada de cualquier contenido destinado a un usuario. Por consiguiente, la información de control puede estar separada físicamente del contenido destinado al espectador para no obstaculizar la visión del usuario.

La Figura 7 muestra un ejemplo de una imagen 700, que comprende una región 710 de imagen primaria y una región 720 de imagen secundaria, de acuerdo con algunas realizaciones.

En algunas realizaciones, la región de imagen secundaria está separada espacialmente de la región de imagen primaria, por ejemplo está dispuesta periféricamente con respecto a la región de imagen primaria. Es decir, la región de imagen secundaria está dispuesta fuera o en alejamiento con respecto a la región de imagen primaria, por ejemplo cerca del perímetro o borde del campo de reproducción holográfica. De este modo, la región de imagen secundaria puede estar separada de la región de imagen primaria, por ejemplo haciendo tope con la región de imagen primaria, con un borde común con la región de imagen primaria o situada más separada, con una imagen intermedia o región que no sea una imagen entre la región de imagen primaria y secundaria.

En algunas realizaciones, el primer holograma generado por ordenador se corresponde con una transformación matemática de la imagen, opcionalmente, una transformación de Fourier o Fresnel. Es decir, en algunas realizaciones, el primer holograma generado por ordenador es un holograma de Fourier o Fresnel. En estas realizaciones, el primer holograma generado por ordenador puede comprender una segunda componente de

holograma dispuesta para llevar a cabo una función lenticular de Fourier. No obstante, en otras realizaciones, el holograma generado por ordenador se calcula mediante otras técnicas matemáticas, tales como las corrientes basadas en métodos de trazado de rayos o nubes de puntos.

5 Para proporcionar una reconstrucción holográfica mejorada se puede usar una medición de la potencia óptica de la región de imagen secundaria. Específicamente, en algunas realizaciones, el sistema de proyección holográfica comprende, además, un controlador de luz dispuesto para cambiar la potencia óptica de la salida de luz por parte de la primera fuente de luz como respuesta a la potencia óptica detectada de la región de imagen secundaria, por ejemplo con el fin de proporcionar un control de realimentación de bucle cerrado del brillo de la imagen. Esta realimentación hacia el controlador de luz, por ejemplo un controlador de láser, posibilita que la potencia óptica emitida por la fuente de luz, y, por tanto, el brillo de la imagen holográfica, se controle basándose en la potencia óptica detectada. Se cree que la potencia óptica de la región de imagen secundaria es representativa directamente del brillo de la región de imagen primaria, que está relacionado con la potencia óptica por unidad de área.

15 Se cree que, como consecuencia de la proyección de la imagen usando una holografía, el brillo de la imagen depende de cuánto contenido se visualice. Esto puede conducir a cambios visibles en el brillo de la imagen durante la visualización de una imagen que varíe dinámicamente. En algunas realizaciones, este problema se afronta mediante el uso de un control de realimentación de bucle cerrado, sobre la base de la medición de la potencia óptica de la región de imagen secundaria. Específicamente, la realimentación se puede usar para mantener el brillo sustancialmente constante en la región de imagen primaria fijando de manera correspondiente una potencia óptica deseada de la región de imagen secundaria como parámetro de un bucle de realimentación negativa de corrección de errores. En algunas realizaciones, el controlador de luz está dispuesto para mantener la potencia óptica de la región de imagen primaria en un valor sustancialmente constante como respuesta a la potencia óptica detectada de la región de imagen secundaria.

25 El brillo de la región de imagen primaria se puede mantener usando una potencia óptica de referencia de la región de imagen secundaria. Específicamente, el brillo de la región de imagen primaria se puede mantener en un nivel en el cual la potencia óptica de la región secundaria se encuentra en el valor de referencia. En algunas realizaciones, el controlador de luz está dispuesto para reducir la potencia óptica de la salida de luz por parte de la fuente de luz, si la potencia óptica detectada de la región de imagen secundaria es mayor que la potencia óptica de referencia y/o aumentar la potencia óptica de la salida de luz por parte de la fuente de luz si la potencia óptica detectada de la región de imagen secundaria es menor que la potencia óptica de referencia.

30 La potencia óptica de referencia para la imagen secundaria se puede determinar a través de cualesquiera medios, de manera que se corresponda con un brillo deseado, por ejemplo, medida en términos de luminancia, mediante un cálculo que tenga en cuenta el área de la región de imagen secundaria y posiblemente otros factores, tales como un escalado de las longitudes de onda de percepción. Por ejemplo, la potencia óptica de referencia se puede conectar de manera permanente en el sistema, puede ser predeterminada por un usuario o puede ser seleccionada por un usuario. En algunas realizaciones, la potencia óptica de referencia se determina por medio de la potencia óptica de la región de imagen secundaria en un momento anterior, por ejemplo para mantener constante el brillo de la imagen a lo largo del tiempo.

40 En algunas realizaciones, el control de realimentación con respecto al valor de referencia puede implicar un bucle de realimentación negativa, por ejemplo de manera que el controlador de luz cambia la potencia óptica de la salida de luz de manera proporcional a un valor obtenido restando la potencia óptica detectada de la potencia óptica de referencia con el fin de proporcionar un término de control proporcional. Para multiplicar esta diferencia con el fin de convertir la señal de realimentación en unidades relacionadas con el brillo, por ejemplo, luminancia, se puede usar un factor de ganancia. También se pueden usar otros términos de control, tales como términos diferenciales e integrales u otros, por ejemplo, no lineales. En algunas realizaciones, el control de realimentación puede incorporar un elemento de histéresis, por ejemplo la potencia óptica de la salida de luz se puede incrementar si la potencia óptica detectada no llega a la potencia óptica de referencia por más de una primera cantidad de umbral, y se puede reducir si la potencia óptica detectada supera la potencia óptica de referencia en más de una segunda cantidad de umbral.

50 En todas las realizaciones, un factor de ganancia, G, basado en realimentación de potencia óptica, se aplica a la entrada de excitación de la fuente de luz, y la potencia óptica de la región de imagen primaria se cambia cambiando el factor de ganancia. En todas las realizaciones, el factor de ganancia se determina por la ecuación:

$$G = \frac{T}{P \times \frac{x}{y}}$$

55 en donde T = la luminancia máxima deseada (cd/m²) de la imagen, P = la luminancia (cd/m²) en la primera longitud de onda de la región de imagen secundaria (obtenida, por ejemplo, dividiendo la potencia óptica detectada por el área de la región de imagen secundaria y escalando para una conversión de Js⁻¹m⁻² a cdm⁻², tal como es bien sabido), x = el número total de niveles de gris usados en la imagen, e y = el nivel de grises de la luz de la región de imagen secundaria. Por ejemplo, la imagen puede comprender 256 niveles de gris: el nivel de gris 0 puede ser negro

y el nivel de gris 255 puede ser blanco. Se entenderá que la referencia a “nivel de gris” no implica un color específico, o ausencia del mismo, de la imagen, sino que se refiere, más bien, a niveles discretizados de brillo (luminancia, intensidad, etcétera) para un área de imagen dada, por ejemplo un píxel de una imagen digitalizada.

5 Se sabe cómo convertir en luminancia una medición de una potencia radiante/óptica ($J s^{-1}$) o intensidad radiante ($J s^{-1} sr^{-1}$) proveniente de un detector de luz. En la industria de los módulos de visualización se conoce también que puede especificarse una luminancia máxima deseada (cd/m^2). Por lo tanto, la ganancia, G, se puede usar para garantizar que el módulo de visualización proporciona la luminancia máxima deseada con independencia de cuánto contenido de imagen se visualice o de la extensión del área de la imagen, en particular de la región de imagen primaria.

10 En algunas realizaciones, el primer detector está dispuesto para proporcionar una respuesta eléctrica no lineal a la potencia óptica de la luz detectada. Ventajosamente, esto significa que los ADCs y los DACs usados en el excitador de láser pueden no necesitar más de 8 bits con el fin de proporcionar un rango dinámico alto, tal como 1:10.000. En algunas realizaciones, el primer detector comprende un conjunto electrónico no lineal. En algunas realizaciones, el conjunto electrónico no lineal comprende un amplificador logarítmico. En algunas realizaciones, el conjunto electrónico no lineal comprende un amplificador que incluye control de ganancia automatizado o resistores de ganancia conmutable. En otras realizaciones, la respuesta no lineal se proporciona usando un detector que comprende múltiples fotodetectores con diferentes sensibilidades.

Los inventores observaron que, con un sistema de proyección holográfica de color compuesto, la temperatura de color (o equilibrio de color) de la imagen depende de cuánto contenido de imagen esté incluido en cada uno de los colores componentes, o el área de imagen de cada imagen de color componente. Es decir, la relación inversa entre la cantidad de contenido de información o área de imagen y la potencia óptica se extiende independientemente a cada color. Por lo tanto, una imagen de color compuesto se mostrará más roja si la cantidad o área de contenido rojo cae con respecto al azul y/o el verde. En otras palabras, las áreas rojas de la imagen tendrán más brillo cuando el área de rojo en la imagen se reduzca. Asimismo, la imagen compuesta se puede mostrar más azul si la cantidad o área de contenido azul cae con respecto al rojo y/o el verde. Los inventores identificaron que esto influye en el equilibrio de color o temperatura de color percibido de la imagen de color compuesto. Esto es debido a que, a diferencia de las tecnologías de visualización convencionales, la luz de entrada para cada color se divide uniformemente sobre el área de imagen por el proceso holográfico de difracción, tal como se ha descrito anteriormente, y la potencia óptica de la luz de cada color es independiente de la potencia óptica de la luz de los otros colores. Por consiguiente, la temperatura de color de la imagen puede estar cambiando continuamente a medida que cambia continuamente el contenido de información para cada color. No obstante, la información sobre el equilibrio de color de la región de imagen primaria se puede proporcionar dirigiendo parte de la luz de cada color a una región de imagen secundaria y monitorizando la potencia óptica de cada color mencionado en la región de imagen secundaria. Esto es debido a que la potencia óptica de la región de imagen secundaria es representativa del brillo de la imagen primaria, tal como se ha descrito anteriormente. Ventajosamente, la luz de cada color se puede dirigir fácilmente a una región de imagen secundaria por holografía de acuerdo con la presente exposición, sin influir negativamente en la región de imagen primaria o entorpecer la visión, por parte del usuario, de la información visualizada en la región de imagen primaria. La región de imagen secundaria puede ser la misma para cada color, o puede usarse una región de imagen secundaria respectiva independiente para uno, parte o la totalidad de los colores.

La Figura 8 muestra un sistema 800 de proyección holográfica de color compuesto, de acuerdo con realizaciones. La Figura 8 se corresponde en gran medida con la Figura 4, y los expertos entenderán cómo la descripción de la Figura 4 se extiende a la Figura 8. La Figura 8 muestra dos láseres adicionales 470' y 470'', dos SLMs adicionales 480' y 480'' y trayectos ópticos y eléctricos adicionales correspondientes. Por ejemplo, el láser 470 puede ser rojo, el láser 470' puede ser verde, y el láser 470'' puede ser azul. Asimismo, el SLM 470 se puede asignar a la formación de una imagen roja, el SLM 480' se puede asignar a la formación de una imagen verde y el SLM 480'' se puede asignar a la formación de una imagen azul. En los tres SLMs se representan diferentes hologramas generados por ordenador con el fin de reconstruir una imagen de color compuesto. Los trayectos ópticos correspondientes se pondrán de manifiesto para el lector. Las regiones de imagen primarias de las imágenes monocolor coinciden en gran medida sobre la superficie receptora de luz. Cada imagen de color comprende una región de imagen primaria y una región de imagen secundaria según se ha descrito previamente. La región de imagen secundaria puede ser coincidente o no. La Figura 8 muestra tres canales de color únicamente a título de ejemplo. La presente exposición no se limita a tres canales de color y es aplicable también a una pluralidad cualquiera de canales de color, y a la técnica de Color Secuencial por Cuadros que se describe posteriormente.

55 Las Figuras 9 y 10 se corresponden con las Figuras 5 y 6 y muestran los componentes adicionales, y los canales eléctricos y ópticos requeridos para proporcionar color compuesto usando tres canales monocolor, tales como rojo, verde y azul. Nuevamente, se muestran tres canales de color únicamente a título de ejemplo, y la presente exposición es aplicable igualmente a una pluralidad cualquiera de canales monocolor. Los expertos entenderán cómo se extiende la descripción de las Figuras 5 y 6 a las Figuras 9 y 10 para proporcionar color compuesto.

60 Por consiguiente, en algunas realizaciones, por ejemplo configuradas según se ha descrito anteriormente, un sistema de proyección holográfica tal como se ha descrito previamente comprende, además: una segunda fuente de

luz dispuesta para dar salida a una segunda luz que tiene una segunda longitud de onda, en donde la segunda longitud de onda es diferente de la longitud de onda de la primera luz a la que da salida la primera fuente de luz. Un segundo modulador espacial de luz está dispuesto para recibir la segunda luz proveniente de la segunda fuente de luz y dar salida a una segunda luz modulada espacialmente de acuerdo con un segundo holograma generado por ordenador, representado en el segundo modulador espacial de luz, para formar una segunda imagen sobre la superficie receptora de luz. La segunda imagen comprende: una región de imagen primaria que comprende información para un usuario y una región de imagen secundaria. La región de imagen primaria de la segunda imagen coincide sustancialmente con la región de imagen primaria de la primera imagen para formar una imagen compuesta. Un segundo detector está dispuesto para detectar la potencia óptica de la región de imagen secundaria de la segunda imagen.

Las regiones de imagen secundarias de la primera y la segunda imágenes pueden coincidir sustancialmente, señalando que la luz respectiva tiene longitudes de onda respectivas diferentes y, por lo tanto, se puede detectar por separado por medio de los detectores usando filtros o respuestas de longitud de onda adecuados para los detectores. No obstante, la coincidencia de las regiones secundarias de la primera y la segunda imágenes no es un requisito, y las regiones pueden ser independientes espacialmente, por ejemplo pueden estar solapadas, pueden ser adyacentes entre sí o pueden estar más separadas.

Para proporcionar una reconstrucción holográfica mejorada puede usarse una medición de la potencia óptica de la región de imagen secundaria de la primera imagen y/o la segunda imagen. Específicamente, en algunas realizaciones, el controlador de luz está dispuesto, además, para cambiar la potencia óptica de la primera luz a la que da salida la primera fuente de luz y/o la potencia óptica de la segunda luz a la que da salida la segunda fuente de luz como respuesta a la potencia óptica detectada de la región de imagen secundaria de la imagen y/o la potencia óptica detectada de la imagen secundaria de la segunda imagen, con el fin de cambiar el equilibrio de color de la imagen compuesta. Se entenderá que, para realizaciones con más de dos canales de color, por ejemplo tres canales de color, esta disposición se puede repetir para todos los canales de color, por ejemplo manteniendo sustancialmente constante de manera independiente el brillo de todos los canales de color según se ha descrito anteriormente.

Por consiguiente, se proporciona una realimentación hacia el controlador de luz, por ejemplo un controlador de láser, que posibilita sintonizar dinámicamente el equilibrio de color de la imagen holográfica de color compuesto. Se cree que esto es posible debido a que la potencia óptica de cada región de imagen secundaria es representativa directamente de la potencia óptica de la región de imagen primaria correspondiente por causa del proceso holográfico de difracción. Por ejemplo, si la potencia óptica de la región de imagen secundaria de la imagen roja cae, puede incrementarse la potencia de excitación para la fuente de luz roja. Por ejemplo, si la potencia óptica de la región de imagen secundaria de la imagen verde se incrementa, puede reducirse la potencia de excitación para la fuente de luz verde. Procesos de este tipo, por ejemplo un proceso de realimentación negativa tal como los correspondientes antes descritos, pueden usarse para monitorizar de manera continua y sintonizar de manera independiente la potencia óptica a la que da salida cada fuente de luz.

Una de las consecuencias de proyectar diversas imágenes monocolor usando holografía es que el equilibrio de color de la imagen compuesta puede cambiar visiblemente durante la visualización de una imagen de color variable dinámicamente según cada cuadro. No obstante, se hace frente a este problema en algunas realizaciones en las que la realimentación de potencia de bucle cerrado, basada en la medición de la potencia óptica de cada región de imagen secundaria, se usa para mantener sustancialmente constante el equilibrio de color en la región de imagen primaria. Es decir, en algunas realizaciones, el controlador de luz está dispuesto para mantener el equilibrio de color de la región de imagen primaria en un valor sustancialmente constante como respuesta a la potencia óptica detectada de cada región de imagen secundaria.

Debido a las diferencias en los componentes asociados al excitador de láser y el sensor de realimentación de luz, el denominado blanco de referencia diferirá de un dispositivo a otro. Esta diferencia del blanco de referencia se puede compensar modificando la cantidad de potencia dirigida a la región de imagen secundaria a una o más longitudes de onda, con lo cual se modifica la potencia óptica de la luz de respuesta que emana de la región de imagen secundaria. Por ejemplo, la adición artificial de más potencia de rojo a la región de imagen secundaria dará como resultado una reducción global de la potencia de rojo en la imagen debido al aumento de la potencia óptica de rojo realimentada como consecuencia. Puesto que los hologramas no se restringen a un número nominal de niveles de gris, por ejemplo 256 niveles de gris, es posible una sintonización fina del blanco de referencia.

En algunas realizaciones, a la entrada de excitación de la segunda fuente de luz se aplica un segundo factor de ganancia, G' , y el equilibrio de color de la región de imagen primaria se cambia variando el segundo factor de ganancia. En algunas realizaciones, el segundo factor de ganancia se determina por la ecuación:

$$G' = \frac{T'}{P' \times \frac{x'}{y'}}$$

en donde T' = la luminancia máxima deseada a la segunda longitud de onda de la segunda imagen, P' = la luminancia

a la segunda longitud de onda de la región de imagen secundaria de la segunda imagen, x' = el número total de niveles de gris usados en la segunda imagen, e y' = el nivel de gris de la luz de la región de la imagen secundaria de la segunda imagen.

5 En algunas realizaciones, el segundo detector está dispuesto para proporcionar una respuesta eléctrica no lineal a la potencia óptica de la luz en la segunda longitud de onda. Ventajosamente, esto significa que los ADCs y los DACs usados en el excitador de láser no necesitan más de 8 bits con el fin de proporcionar un rango dinámico elevado, tal como 1:10.000. En algunas realizaciones, el segundo detector comprende un conjunto electrónico no lineal. En algunas realizaciones, el conjunto electrónico no lineal comprende un amplificador logarítmico. En algunas realizaciones, el conjunto electrónico no lineal comprende un amplificador que incluye un control de ganancia automatizado o resistores de ganancia conmutable. En otras realizaciones, la respuesta no lineal se proporciona usando múltiples fotodetectores con diferentes sensibilidades.

10 En algunas realizaciones relacionadas con el color compuesto, se proporciona un detector para cada color. Es decir, en algunas realizaciones, una disposición de detector comprende una pluralidad de detectores de monocolor separados espacialmente. No obstante, en otras realizaciones, la disposición de detector comprende un sensor de RGB o un sensor de CMY. Es decir, en algunas realizaciones, el primer detector y el segundo detector forman parte del mismo detector de color compuesto. En estas realizaciones, puede interpretarse que la salida del detector de color compuesto comprende una primera señal de detección correspondiente a la primera longitud de onda y una segunda señal de detección correspondiente a la segunda longitud de onda, y así sucesivamente.

15 La Figura 11 muestra un ejemplo que comprende un primer detector 1110, un segundo detector 1120 y un tercer detector 1130. El primer detector 1110 es sensible a la luz a una primera longitud de onda (por ejemplo, rojo). El segundo detector 1120 es sensible a la luz a una segunda longitud de onda (por ejemplo, verde). El tercer detector 1130 es sensible a la luz a una tercera longitud de onda (por ejemplo, azul). El primer, el segundo y el tercer detectores tienen, cada uno de ellos, una forma sustancialmente unidimensional. En estas realizaciones, cada detector se puede describir de manera que presenta una forma de rendija. En algunas realizaciones, las regiones de imagen secundarias de las imágenes respectivas son sustancialmente coincidentes. La Figura 11 muestra las regiones de imagen secundarias sustancialmente coincidentes. Las regiones de imagen secundarias forman un punto de luz 1150 de color compuesto. Los expertos percibirán que los detectores pueden adoptar formas diferentes conocidas en la técnica y pueden incluir filtros de banda estrecha según se requiera para proporcionar detección a tres longitudes de onda diferentes. Por ejemplo, pueden usarse tres fotodiodos de banda ancha con tres filtros monocolor correspondientes para cada color compuesto (por ejemplo, RGB). En algunas realizaciones, el proceso holográfico se puede usar para separar espacialmente las regiones de imagen secundarias en detectores correspondientes separados espacialmente.

20 En algunas realizaciones, cada detector (más específicamente, el área de detección del detector o una apertura que limita el área de detección) tiene una forma definida, por ejemplo una forma unidimensional. La forma definida se puede corresponder con la forma de una región de imagen secundaria respectiva. En algunas realizaciones, cada par de detector-región de imagen secundaria tiene una forma correspondiente, por ejemplo, unidimensional. Es decir, la forma y/o el tamaño del área de detección del detector es sustancialmente igual o se corresponde con el de la región de imagen secundaria correspondiente. Por ejemplo, la forma y/o el tamaño del área de detección del detector de luz roja es sustancialmente igual al de la región de imagen secundaria correspondiente de la imagen roja.

25 Ventajosamente, esta geometría permite una mejora de la alineación óptica de la imagen. Puede entenderse que, cuando la región de imagen secundaria y el detector están alineados perfectamente (es decir, coinciden), la señal del detector se situará en un máximo. Puesto que la imagen se genera por ordenador, la posición relativa de la región de imagen primaria y la región de imagen secundaria está bien definida. Por consiguiente, es posible evaluar la alineación óptica de la región de imagen primaria (que, evidentemente, contiene la información para el usuario) dentro del sistema, monitorizando la señal proveniente del detector de la región de imagen secundaria.

30 Además, puesto que la imagen se genera por ordenador, es posible mover la imagen sobre un área y determinar cuándo el sistema está alineado ópticamente mediante la determinación de cuándo la señal del detector se encuentra en un máximo. Es decir, en algunas realizaciones, el controlador holográfico está dispuesto para llevar a cabo un proceso de alineación óptica que comprende cambiar la posición de la imagen sobre la pantalla y detectar la potencia óptica de la segunda región de imagen en una pluralidad de posiciones de la imagen con el fin de hallar una posición en la que la potencia óptica detectada es la mayor como posición alineada.

35 Se entenderá que la forma definida del detector (o apertura) y de la región de imagen secundaria informa de la precisión direccional de la realimentación de potencia/posición y, por tanto, del ajuste alcanzable. Por ejemplo, una forma sustancialmente unidimensional o de rendija proporcionará una mejor precisión transversalmente con respecto a la forma/rendija que a lo largo de la misma. Por lo tanto, en función de los requisitos, para el área activa de los detectores y las regiones de imagen secundarias pueden usarse otras formas tales como un punto, un círculo, un disco, un cuadrado, un rombo (*diamond*, *lozenge*), una cruz, etcétera. Se apreciará también que, con vistas a la alineación de componentes de una imagen de color, la alineación se facilita si las regiones de imagen secundarias coinciden mutuamente y se facilita adicionalmente si las áreas activas del(de los) detector(es) también coinciden.

Finalmente, aunque el beneficio de la alineación es más claro para la alineación mutua de imágenes de componentes de color, la técnica de alineación dada a conocer es también aplicable a una imagen monocolor, con el fin de posicionar la imagen en una posición precisa con respecto a un sistema de referencia definido por la ubicación y la configuración de los detectores.

- 5 En algunas realizaciones, el holograma generado por ordenador incluye un componente que proporciona un efecto de retículo óptico y la imagen se mueve cambiando parámetros del retículo. Aquellos versados en la materia correspondiente a la holografía generada por ordenador saben cómo combinar datos holográficos representativos de una imagen con datos holográficos que proporcionan funciones ópticas, tales como la orientación lenticular y/o angular. Por ejemplo, dichos datos holográficos se pueden combinar mediante una suma simple de vectores.
- 10 En algunas realizaciones, el holograma generado por ordenador comprende una tercera componente de holograma dispuesta para llevar a cabo una función de retículo y la posición de la imagen se cambia durante el proceso de alineación óptica cambiando la función de retículo de la tercera componente de holograma. En algunas realizaciones, el proceso de alineación óptica comprende, además, determinar la función de retículo que da origen a la mayor potencia óptica detectada de la región de imagen secundaria, por ejemplo, mediante exploración horizontal y/o vertical. Los expertos entenderán cómo puede ampliarse el método anterior para alinear todas las imágenes monocolor de una imagen compuesta, o para alinear una única imagen con respecto a un sistema de referencia.

Adicionalmente, además de la exploración para hallar la mejor ubicación espacial sobre el eje x y el eje y – o independientemente, monitorizando la potencia mientras se añade una función de lente al holograma es posible determinar un plano focal deseado, por ejemplo, óptimo. Esto funciona debido a la interferencia coherente de la luz, según se describe posteriormente. En el plano focal deseado, la interferencia constructiva y destructiva se minimiza.

La Figura 12 muestra un modulador espacial 1210 de luz dispuesto para formar un primer punto 1225 de imagen y un segundo punto 1235 de imagen en un plano focal 1240, en donde el primer punto 1225 de imagen y el segundo punto 1235 de imagen son adyacentes. El inventor ha hallado que puede considerarse que el primer punto 1225 de imagen se forma en el mínimo de un primer estrechamiento 1220 de haz. De manera similar, puede considerarse que el segundo punto 1235 de imagen se forma en el mínimo de un segundo estrechamiento 1230 de haz. Puede observarse, a partir de la Figura 12, que, en la región 1250 cerca del plano focal 1240, no se produce ningún solapamiento entre el primer estrechamiento 1220 de haz y el segundo estrechamiento 1230 de haz. El inventor ha hallado que, fuera de la región 1250, el campo de luz tiene ruido. Se cree que esto es debido a que la luz se modula espacialmente (por ejemplo, se modula en fase) y, por lo tanto, el solapamiento entre el primer estrechamiento 1220 de haz y el segundo estrechamiento 1230 de haz de la región 1250 provoca una interferencia constructiva y destructiva local. Esta interferencia constructiva y destructiva da como resultado características – tales como franjas o regiones con brillo/oscuras – en el campo de luz. En la región 1250, el inventor ha hallado que esta interferencia se elimina sustancialmente. Por lo tanto, la región 1250 se puede sondear usando un detector de luz – tal como un detector espacial de luz – para determinar el plano (ópticamente paralelo al modulador espacial 1210 de luz) en el cual el campo de luz es “el más limpio”. En algunas realizaciones, este plano se identifica determinando el plano en el cual se minimizan patrones locales en el campo de luz provocados por interferencias, por ejemplo según se valora por medio de una imagen formada sobre una superficie receptora de luz en el plano.

Por ejemplo, características de la reconstrucción holográfica se vuelven borrosas cuando están desenfocadas (la superficie receptora de luz no se encuentra en el plano focal/de reconstrucción), dando como resultado un solapamiento entre características, por otro lado bien separadas. Dada la naturaleza coherente de la luz, este solapamiento tiende a dar como resultado una interferencia no deseada entre características en la imagen lo cual reduce la calidad de esta última, por ejemplo según se mide por el contraste o la definición de los contornos o el ruido. Esto puede entenderse como una interferencia cruzada entre características de la imagen, tales como puntos en la imagen, y da como resultado manchas en la misma. En algunas realizaciones, la reconstrucción holográfica puede contener puntos en la imagen, análogos a píxeles de la pantalla, cuando se forma una imagen en la superficie receptora de luz, y la borrosidad de los puntos de la imagen cuando no están enfocados puede provocar que la luz de puntos adyacentes interfiera y produzca los patrones de interferencia descritos.

En algunas realizaciones, el plano correcto se halla identificando el plano que contiene el contraste o la definición máximos o el ruido mínimo, según se valora por medio de una imagen capturada de una superficie receptora de luz. El plano focal se mueve cambiando una componente de lente del holograma o moviendo una disposición de lente física. Se forma una imagen del patrón de luz sobre la superficie receptora de luz, por ejemplo, usando una cámara o sensor de imágenes digital. El plano focal deseado se halla como aquel plano en el que la imagen capturada tiene un contraste o definición máximo o un ruido mínimo, o un ruido, una definición o contraste mejor que un nivel de umbral.

En algunas realizaciones, en lugar de usar un sensor de imágenes, se usa, en cambio, un sensor o detector de puntos, tal como un fotodiodo o un tubo fotomultiplicador descrito anteriormente, por ejemplo en la región de imagen secundaria según se ha descrito antes. En estas realizaciones, la medición del contraste, la definición o el ruido se obtiene explorando una región de imagen, por ejemplo la totalidad o una porción de la región de imagen secundaria, sobre el sensor de puntos y registrando la variación de la intensidad detectada a lo largo del tiempo a medida que se explora la región de imagen. La región de imagen se puede explorar moviendo el sensor o moviendo la reconstrucción de la región de imagen mediante la combinación de una función de retículo con el holograma y

haciendo variar el retículo para explorar la región de imagen.

En la Figura 12 se muestra una región 1250 relativamente grande únicamente con fines ilustrativos. En la práctica, la región 1250 puede tener una longitud de unos pocos milímetros y, por lo tanto, permite la localización del plano focal con una precisión correspondiente.

5 En algunas realizaciones, un sistema de proyección holográfica para visualizar información para un usuario comprende una superficie receptora de luz, una fuente de luz y un modulador espacial de luz, por ejemplo según se ha dado a conocer anteriormente. El sistema también puede comprender un detector de acuerdo con cualquiera de las realizaciones dadas a conocer antes. De forma adicional, o alternativa, al detector, el sistema comprende un detector dispuesto para detectar una medida de la calidad de imagen de una región, es decir la totalidad o parte de, la imagen, por ejemplo el contraste o la definición de la imagen, o una medida del ruido en la imagen. En algunas realizaciones, el detector comprende un sensor de imágenes y un procesador configurados para calcular la medida de calidad de la imagen a partir de una señal capturada por el sensor de imágenes. El sistema también puede comprender, en algunas realizaciones, un controlador configurado para mover la imagen de manera normal a un plano de la imagen y para seleccionar un plano focal de la imagen sobre la base de la medida de la calidad de la misma. En algunas realizaciones, el controlador está configurado para mover la imagen entre una pluralidad de planos focales candidatos mientras se registra la medida de la calidad de imagen, y para seleccionar, como plano focal correspondiente a la imagen, el plano focal candidato para el cual la medida de la calidad de imagen indica la mejor calidad de imagen, con respecto a los otros planos focales candidatos. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el holograma generado por ordenador puede comprender una componente de holograma dispuesta para llevar a cabo una función de lente, por ejemplo puede comprender datos de lente. El controlador se puede configurar para mover la imagen de manera normal al plano focal cambiando la función o datos de lente.

Se proporciona un sistema de proyección holográfica dispuesto para visualizar información para un usuario. El sistema de proyección comprende una superficie receptora de luz, una fuente de luz, un modulador espacial de luz, un controlador holográfico y un detector. La fuente de luz está dispuesta para dar salida a luz. El modulador espacial de luz está dispuesto para recibir la luz proveniente de la fuente de luz, y dar salida a luz modulada espacialmente de acuerdo con hologramas generados por ordenador y representados en el modulador espacial de luz con el fin de formar una imagen sobre la superficie receptora de luz. Cada holograma generado por ordenador comprende una componente de holograma que comprende datos representativos de una lente con el fin de influir en la posición de profundidad en la que se forma la imagen. El controlador holográfico está dispuesto para cambiar los datos representativos de una lente con el fin de cambiar la posición de profundidad. A los datos representativos de una lente también se les puede hacer referencia como función lenticular. El detector está dispuesto para determinar la calidad de la imagen, en una región de medición de la imagen, para una pluralidad de diferentes poderes de enfoque.

En algunas realizaciones, se proporciona un controlador (o procesador) holográfico dispuesto para cambiar el poder de enfoque de la función lenticular y un detector dispuesto para determinar la calidad de la imagen, en una región de medición de la imagen, para una pluralidad de poderes de enfoque diferentes. El sistema de proyección holográfica puede comprender un procesador o controlador de tipo mencionado. Tal como se ha descrito anteriormente, los datos holográficos pueden incluir datos lenticulares que proporcionan una función lenticular la cual, por ejemplo, simplemente se puede añadir a los datos holográficos representativos de la imagen. El poder de enfoque o potencia dióptrica de la lente representado por los datos de lente determina la posición del plano focal de la reconstrucción holográfica y, por lo tanto, la posición de profundidad de la reconstrucción (imágenes). Se entenderá que la posición de profundidad de la imagen se corresponde con una distancia focal, y, por tanto, un poder de enfoque, de la lente simulado por los datos/función de lente, de manera que, en esta descripción, estos conceptos se pueden usar de manera intercambiable.

45 El controlador holográfico está dispuesto para cambiar el poder de enfoque de la función lenticular de tal manera que la distancia desde el modulador espacial de luz al plano focal se puede cambiar dinámicamente en software. En algunas realizaciones, el detector evalúa la calidad de la reconstrucción holográfica para una pluralidad de diferentes poderes de enfoque de la función lenticular. Por consiguiente, se proporciona un sistema de realimentación, y puede determinarse el poder de enfoque óptimo de la función lenticular. Específicamente, se determina el poder de enfoque en el cual la imagen en la pantalla está enfocada y la reconstrucción holográfica se forma en la superficie receptora de luz. Tal como puede interpretarse a partir de la Figura 12, esto se produce cuando el campo de luz de la imagen es “el más limpio” – por ejemplo, el campo de luz presenta un contraste máximo o ruido mínimo. El detector está dispuesto para evaluar la calidad de la imagen.

55 En algunas realizaciones, se usa un detector espacial de luz, tal como un dispositivo de CCD o una cámara, para evaluar la calidad de la imagen, por ejemplo, mediante técnicas de inspección visual o de procesado de imágenes, conocidas en la materia. En algunas realizaciones, la calidad de la imagen se cuantifica en forma de una medida de calidad, por ejemplo una medida de ruido, de uniformidad, de definición o de contraste.

En otras realizaciones, el detector es un detector de bajo campo de visión el cual no presenta resolución espacial, tal como un fotodiodo. El detector puede ser un detector de integración. En estas realizaciones, el detector, por ejemplo, el fotodiodo, tiene un campo de visión menor que la extensión espacial de la imagen sobre el campo de

reproducción. En algunas realizaciones, el campo de visión del detector sobre la pantalla tiene un área que es inferior al 20% del área de medición, opcionalmente, inferior al 10%, además opcionalmente, inferior al 5%. En algunas realizaciones, la imagen se explora sobre un fotodiodo y la señal variable en el tiempo recibida del detector se evalúa con cada poder de enfoque. En algunas realizaciones, esto se logra moviendo la imagen en el plano de la superficie receptora de luz (es decir, en el plano focal o en un plano paralelo a la superficie receptora de luz o al plano focal) usando datos holográficos. Nuevamente, tal como se ha descrito antes, los datos holográficos pueden incluir datos que proporcionan una función de retículo la cual se puede usar para posicionar la imagen en el plano de la pantalla. En algunas realizaciones, el controlador holográfico está dispuesto para cambiar la función de retículo de tiempo real con el fin de explorar la imagen sobre el fotodiodo en tiempo real. En algunas realizaciones, la imagen se mueve en el plano de la pantalla a una velocidad constante. Puede entenderse que es posible que no sea necesario que el controlador holográfico y el detector estén sincronizados. Para asociar un instante de tiempo en la señal medida con una posición de imagen correspondiente. La imagen se puede mover en una dirección sobre el plano de imagen o dos direcciones. La señal recibida del detector no espacial a lo largo del tiempo puede contener información sobre el ruido, contraste y similares, y la presencia de franjas de interferencia, por ejemplo, en cada imagen, y se puede procesar para extraer medidas respectivas de una o más de estas cantidades de la imagen, tal como es conocido en la técnica. Con este fin, la ordenada en el tiempo de la señal se puede convertir en una coordenada espacial o bien arbitrariamente o bien usando la sincronización de la posición de la imagen en el tiempo.

En algunas realizaciones, el procesador está dispuesto para determinar la calidad de la imagen basándose en variaciones de la señal recibida del detector a medida que la imagen se mueve en el plano de la pantalla. Los píxeles del modulador espacial de luz tienen un tamaño de unas pocas micras, y, por lo tanto, la imagen en la pantalla se puede mover con pequeños incrementos durante este proceso de realimentación. Comparando medidas de calidad extraídas de la señal variable en el tiempo obtenida del detector, con diferentes poderes de enfoque respectivos de la función lenticular, el plano focal más próximo a la superficie receptora de luz puede identificarse como aquel en el que se obtiene la mejor medida de calidad.

Se proporciona un sistema configurado para medir la calidad de la imagen usando un detector simple, tal como un fotodiodo de posición fija. Se proporciona, además, un método de software para garantizar que la imagen se enfoca sobre la pantalla usando un detector simple. La calidad de la imagen se puede evaluar mediante inspección visual o procesado de señales. En algunas realizaciones, la calidad de la imagen se cuantifica. Según otras realizaciones descritas en la presente, el detector se puede fijar en una posición y puede estar dispuesto para medir el brillo de una subregión de tamaño fijo del campo de reproducción a la cual se puede hacer referencia como región de medición.

En resumen, algunas realizaciones determinan la distancia focal de la lente de software que consigue que la imagen esté enfocada sobre la superficie receptora de luz – es decir, la distancia focal que expresa que la superficie receptora de luz se encuentra sustancialmente en el plano focal. En especial, puede usarse el mismo detector no espacial (o detectores, en caso de holografías de color) para llevar a cabo todas las funciones de bucle cerrado dadas a conocer en la presente.

En algunas realizaciones, la medida de la calidad de la imagen se puede detectar para la totalidad o una porción de la región secundaria a la que se ha hecho referencia en algunas de las realizaciones anteriormente. En otras realizaciones, la medida se puede detectar en cualquier lugar de la imagen, con independencia de si se usa una región de imagen secundaria según se ha descrito anteriormente.

Las realizaciones descritas utilizan un detector para detectar luz en la región de imagen secundaria. A continuación se describe un ejemplo de una disposición de un detector del tipo mencionado en la cual un detector se dispone por detrás (a lo largo del eje óptico) de la superficie receptora de luz. Entre la superficie receptora de luz y el detector se dispone una lente. En particular, en algunas realizaciones, tal como se ha descrito anteriormente, la superficie receptora de luz es un difusor y la lente actúa de manera que concentra, por ejemplo enfoca, luz difundida por el difusor en el detector. En algunas realizaciones, la lente puede omitirse. En algunas realizaciones, el detector (y la lente cuando la misma esté presente) se puede alinear con un rebaje en la superficie receptora de luz o se puede disponer a continuación de la superficie receptora de luz, separado del eje óptico. En algunas realizaciones, en particular aquellas en las que no está presente la lente, el detector se puede disponer en el plano de la superficie receptora de luz, por ejemplo junto a la misma o en un rebaje. En algunas realizaciones, el detector (y la lente cuando la misma esté presente) se puede disponer en frente del detector. El detector puede ser un detector según se ha descrito en la presente para cualquiera de las realizaciones, por ejemplo según se ha descrito anteriormente en referencia a la Figura 11. De manera similar, en realizaciones con múltiples detectores, cada uno de ellos se puede disponer según se ha descrito anteriormente. El detector o detectores, según cada caso, puede ser un fotodetector, por ejemplo, un Dispositivo Acoplado por Carga o un Tubo Fotomultiplicador, y puede tener una matriz de elementos sensibles a la luz para proporcionar una resolución espacial de la luz que cae sobre el área del detector, por ejemplo en forma de un chip sensor de imágenes.

En algunas realizaciones, el modulador espacial de luz es un modulador espacial de luz solamente de fase. Estas realizaciones son ventajosas ya que no se pierde ninguna energía óptica por la modulación de la amplitud. Por consiguiente, se proporciona un sistema eficiente de proyección holográfica. No obstante, la presente exposición se puede implementar igualmente en un modulador espacial de luz de solamente amplitud o un modulador de amplitud

y de fase. Puede entenderse que el holograma será de manera correspondiente solamente de fase, solamente de amplitud o complejo totalmente.

5 En algunas realizaciones, la fuente de luz es un láser. En algunas realizaciones, la superficie receptora de luz es una pantalla o un difusor. El sistema de proyección holográfica de la presente exposición se puede usar para proporcionar un módulo de visualización frontal (HUD) o módulo montable en la cabeza mejorado. En algunas realizaciones, se proporciona un vehículo que comprende el sistema de proyección holográfica instalado en el vehículo con el fin de proporcionar un HUD. El vehículo puede ser un automóvil, una moto, un tren, un avión, una barca o un buque.

10 Aunque se han dado a conocer ampliamente grupos de realizaciones por separado, cualquier característica de cualquier realización o grupo de realizaciones se puede combinar con cualquier otra característica o combinación de características de cualquier realización o grupo de realizaciones. Es decir, se prevén todas las combinaciones y permutaciones posibles de características dadas a conocer en la presente exposición.

15 La calidad de la reconstrucción holográfica puede verse afectada por el problema denominado de orden cero el cual es una consecuencia de la naturaleza difrangible correspondiente a la utilización de un modulador espacial de luz pixelado. Dicha luz de orden cero puede considerarse como "ruido", e incluye, por ejemplo, luz reflejada especularmente, y otra luz no deseada proveniente del SLM.

20 En el ejemplo de las holografías de Fourier, este "ruido" se concentra en el foco de la lente de Fourier derivando en un punto brillante en el centro de la reconstrucción holográfica. La luz de orden cero simplemente se puede bloquear, aunque esto significaría sustituir el punto brillante por un punto oscuro. Algunas realizaciones incluyen un filtro angularmente selectivo para eliminar únicamente los rayos colimados del orden cero. Realizaciones incluyen también el método para gestionar el orden cero descrito en la solicitud europea 2.030.072.

25 Aunque algunas realizaciones descritas en la presente incluyen la visualización de un holograma por cuadro en el modulador espacial de luz, la presente exposición no está limitada en modo alguno en este aspecto, y, en el SLM, se pueden visualizar más de un holograma en un instante de tiempo cualquiera. Por ejemplo, realizaciones implementan la técnica del "enlosado", en la cual el área superficial del SLM se divide adicionalmente en una serie de losas, cada una de las cuales se fija en una distribución de fase similar o idéntica a la de la losa original. Por lo tanto, cada losa tiene un área superficial menor que la correspondiente si el área signada completa del SLM se usase como un patrón de fase grande. Cuanto menor sea el número de componentes de frecuencia en la losa, y, respectivamente, mayor sea el número de losas, más separadas estarán entre sí las áreas de la imagen reconstruida cuando se produzca la imagen. La imagen se puede crear dentro del orden de difracción cero-ésimo, y se prefiere que el primer orden y los órdenes subsiguientes se desplacen lo suficientemente lejos como para no solaparse con la imagen y de manera que los mismos se puedan bloquear por medio de un filtro espacial.

35 Tal como se ha mencionado anteriormente, la reconstrucción holográfica producida con este método (ya sea con o sin enlosado) puede comprender puntos a los que se puede hacer referencia como píxeles de imagen. Cuanto mayor sea el número de losas usadas, más pequeños resultarán estos puntos. Si se toma el ejemplo de una transformada de Fourier de una onda sinusoidal infinita, se produce una única frecuencia. Esta es la salida óptima. En la práctica, si se usa solamente una losa, esto se corresponde con una entrada de un único ciclo de una onda sinusoidal, con valores de cero que se extienden en las direcciones positiva y negativa desde los nodos extremos de la onda sinusoidal hasta el infinito. En lugar de producir una sola frecuencia a partir de su transformada de Fourier, la componente de frecuencia principal se produce con una serie de componentes de frecuencia adyacentes a cada lado de la misma. El uso del enlosado reduce la magnitud de estas componentes de frecuencia adyacentes y, como resultado directo de ello, se produce una menor interferencia (constructiva o destructiva) entre píxeles de imagen adyacentes, mejorándose así la calidad de la imagen. Preferentemente, cada losa es una losa completa, aunque algunas realizaciones usan fracciones de una losa.

45 En ejemplos dados a conocer en la presente, para proporcionar el color compuesto se usan tres fuentes de luz de color diferentes y tres SLMs correspondientes. A estos ejemplos se les puede hacer referencia como color separado espacialmente, "SSC". En una variante que es abarcada por la presente exposición, los diferentes hologramas para cada color se visualizan en un área diferente del mismo SLM y, a continuación, se combinan para formar la imagen de color compuesto. No obstante, los expertos entenderán que al menos algunos de los dispositivos y métodos de la presente exposición son aplicables también a otros métodos de provisión de imágenes holográficas de color compuesto.

55 Uno de estos métodos se conoce como Color Secuencial por Cuadros, "FSC". En un sistema de FSC de ejemplo, se usan tres láseres (rojo, verde y azul), y cada láser se dispara sucesivamente en un único SLM para producir cada cuadro del vídeo. Los colores se someten a ciclos (rojo, verde, azul, rojo, verde, azul, etcétera) a una velocidad suficientemente alta de tal manera que un espectador humano ve una imagen policromática a partir de una combinación de imágenes formadas por los tres láseres. Por lo tanto, cada holograma es específico de un color. Por ejemplo, en un vídeo 25 cuadros por segundo, el primer cuadro se produciría disparando el láser rojo durante 1/75 de un segundo, a continuación el láser verde se dispararía durante 1/75 de un segundo, y, finalmente, el láser azul se dispararía durante 1/75 de un segundo. A continuación se produce el siguiente cuadro, comenzando con el láser

rojo, y así sucesivamente. En realizaciones basadas en el FSC, además de separar la luz de la región de imagen secundaria respectiva (o individual) para cada color por la ubicación o longitudes de onda, la separación se puede lograr aprovechando la separación temporal de las imágenes de color componentes si el detector tiene la suficiente resolución temporal.

- 5 Una de las ventajas del método de FSC es que se usa el SLM completo para cada color. Esto significa que la calidad de las tres imágenes de color producidas no se verá comprometida ya que se usan todos los píxeles del SLM para cada una de las imágenes de color. No obstante, una desventaja del método de FSC es que la imagen total producida no tendrá tanto brillo como una imagen correspondiente producida por el método de SSC en un factor de aproximadamente 3, ya que cada láser se usa únicamente durante una tercera parte del tiempo. Este inconveniente se podría afrontar potencialmente sobreexcitando los láseres, o usando láseres más potentes, aunque esto requeriría el uso de más potencia, conllevaría costes más altos y haría que el sistema fuese menos compacto.

- 10 Una de las ventajas del método de SSC es que la imagen tiene más brillo debido a que la totalidad de los tres láseres se dispara al mismo tiempo. No obstante, si, debido a limitaciones de espacio, se requiere usar solamente un SLM, el área superficial del SLM se puede dividir en tres partes, que actúan en efecto como tres SLMs independientes. El inconveniente de esto es que se reduce la calidad de cada imagen monocolor, debido a la reducción del área superficial de SLM disponible para cada imagen monocromática. Por lo tanto, se reduce de manera correspondiente la calidad de la imagen policromática. La reducción del área superficial de SLM disponible significa que pueden utilizarse menos píxeles en el SLM, reduciéndose así la calidad de la imagen. La calidad de la imagen se reduce debido a que se reduce su resolución.

- 15 Ejemplos describen la iluminación del SLM con luz visible aunque los expertos entenderán que las fuentes de luz y el SLM se pueden usar igualmente para dirigir luz infrarroja o ultravioleta, por ejemplo, según se da a conocer en la presente. Por ejemplo, los expertos tendrán conocimiento de técnicas para convertir la luz infrarroja y ultravioleta en luz visible con el fin de proporcionar la información a un usuario. Por ejemplo, la presente exposición se extiende al uso de fósforos y/o tecnología de puntos cuánticos para esta finalidad.

- 20 Los métodos y procesos descritos en la presente se pueden materializar en un soporte legible por ordenador. La expresión “soporte legible por ordenador” incluye un soporte dispuesto para almacenar datos de manera temporal o permanente, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM), una memoria intermedia, una memoria *flash*, y memoria caché. La expresión “soporte legible por ordenador” se considerará también de manera que incluye cualquier soporte, o combinación de múltiples soportes, que sea capaz de almacenar instrucciones para su ejecución por parte de una máquina, de tal manera que las instrucciones, cuando sean ejecutadas por uno o más procesadores, provoquen que la máquina lleve a cabo una cualquiera o más de las metodologías descritas en la presente, en su totalidad o de manera parcial.

- 25 La expresión “soporte legible por ordenador” abarca también sistemas de almacenamiento basados en la nube. La expresión “soporte legible por ordenador” incluye, aunque sin carácter limitativo, uno o más repositorios de datos tangibles y no transitorios (por ejemplo, volúmenes de datos) en la forma ejemplificativa de un chip de memoria de estado sólido, un disco óptico, un disco magnético, o cualquier combinación adecuada de los mismos. En algunas realizaciones de ejemplo, las instrucciones de ejecución se pueden comunicar por medio de un soporte portador. Los ejemplos de un soporte portador del tipo mencionado incluyen un soporte transitorio (por ejemplo, una señal de propagación que comunique instrucciones).

- 30 Resultará evidente para aquellos versados en la materia que pueden realizarse diversas modificaciones y variaciones sin desviarse con respecto al alcance de las reivindicaciones adjuntas. La presente exposición cubre todas las modificaciones y variaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Sistema (400) de proyección holográfica dispuesto para visualizar información para un usuario en una región (710) de imagen primaria de una imagen bidimensional (700) en un campo (450) de reproducción, comprendiendo el sistema de proyección:

5 una fuente (470) de luz dispuesta para dar salida a luz a una longitud de onda;

un modulador espacial (480) de luz dispuesto para recibir la luz proveniente de la fuente (470) de luz y dar salida a luz modulada espacialmente de acuerdo con un holograma generado por ordenador y codificado en el modulador espacial (480) de luz con el fin de formar la imagen bidimensional (700) en el campo (450) de reproducción, en donde la imagen (700) comprende la región (710) de imagen primaria y una región (720) de imagen secundaria diferente de la región (710) de imagen primaria;

10 un detector (460) dispuesto para detectar la potencia óptica de la región (720) de imagen secundaria de la imagen (700); y

un controlador de luz dispuesto para cambiar la potencia óptica de la luz a la que da salida la fuente (470) de luz como respuesta a la potencia óptica detectada de la región (720) de imagen secundaria aplicando un factor de ganancia, G, a la entrada de excitación de la fuente (470) de luz, en donde

15

$$G = \frac{T}{P \times \frac{x}{y}}$$

y T es la luminancia máxima deseada (cd/m²) de la imagen (700), P es la luminancia de la región (720) de imagen secundaria obtenida a partir de la potencia óptica detectada, x es el número total de niveles de gris usados en la imagen e y es el nivel de gris de la luz de la región de imagen secundaria.

20 2. Sistema de proyección holográfica según la reivindicación 1, en el que el controlador de luz está dispuesto para mantener el brillo de la región (710) de imagen primaria de la imagen (700) en un valor sustancialmente constante como respuesta a la potencia óptica detectada de la región (720) de imagen secundaria.

3. Sistema de proyección holográfica según la reivindicación 1, en el que la fuente (470) de luz es una primera fuente de luz, la luz es una primera luz, la longitud de onda es una primera longitud de onda, el modulador espacial (480) de luz es un primer modulador espacial de luz, la luz modulada espacialmente es una primera luz modulada espacialmente, el holograma generado por ordenador es un primer holograma de ordenador, la imagen (700) es una primera imagen, el campo (450) de reproducción es un primer campo de reproducción, la región (710) de imagen primaria es una primera región de imagen primaria, la región (720) de imagen secundaria es una primera región de imagen secundaria y el detector (460) es un primer detector, en donde el sistema de proyección holográfica comprende, además:

25 30

una segunda fuente (470') de luz dispuesta para dar salida a una segunda luz a una segunda longitud de onda, en donde la segunda longitud de onda es diferente de la primera longitud de onda de la luz a la que da salida la fuente de luz;

un segundo modulador espacial (480') de luz dispuesto para recibir la segunda luz proveniente de la segunda fuente (470') de luz y dar salida a una segunda luz modulada espacialmente de acuerdo con un segundo holograma generado por ordenador, codificado en el segundo modulador espacial (480') de luz, con el fin de formar una segunda imagen bidimensional en el campo (450) de reproducción, en donde la segunda imagen comprende: una segunda región de imagen primaria y una segunda región de imagen secundaria diferente de la segunda región de imagen primaria, y en donde la segunda región primaria coincide sustancialmente con la primera región primaria para formar una imagen compuesta; y

35 40

un segundo detector dispuesto para detectar la potencia óptica de la segunda región de imagen secundaria de la segunda imagen.

4. Sistema de proyección holográfica según la reivindicación 3, en el que el controlador de luz está dispuesto, además, para cambiar la potencia óptica de la segunda luz a la que da salida la segunda fuente (470') de luz como respuesta a la potencia óptica detectada de la primera región (720) de imagen secundaria de la primera imagen (700) y la potencia óptica detectada de la segunda región de imagen secundaria de la segunda imagen con el fin de cambiar el equilibrio de color de la imagen compuesta, opcionalmente, en donde el controlador de luz está dispuesto para mantener el equilibrio de color de la imagen compuesta en un valor sustancialmente constante como respuesta a la potencia óptica detectada de la primera región (720) de imagen secundaria de la primera imagen (700) y la potencia óptica detectada de la segunda región de imagen secundaria de la segunda imagen.

45 50

5. Sistema de proyección holográfica de la reivindicación 4, en el que el controlador de luz está dispuesto para cambiar la potencia óptica de la luz a la que dan salida tanto la primera como la segunda fuentes de luz aplicando un

factor de ganancia G respectivo a la entrada de excitación tanto de la primera como de la segunda fuentes de luz, en donde

$$G = \frac{T}{P \times \frac{x}{y}}$$

5 y T es la potencia óptica máxima deseada de la imagen respectiva, P es la luminancia de la región de imagen secundaria obtenida a partir de la potencia óptica detectada por el detector respectivo, x es el número total de niveles de gris usados en la imagen respectiva e y es el nivel de gris de la luz de la región de imagen secundaria de la imagen respectiva.

10 6. Sistema de proyección holográfica según cualquier reivindicación anterior, en el que el detector (460) está dispuesto para proporcionar una respuesta eléctrica no lineal a la potencia óptica de la región (720) de imagen secundaria de la imagen (700).

7. Sistema de proyección holográfica según cualquier reivindicación anterior, que comprende un difusor en el campo (450) de reproducción, en donde el detector (460) está dispuesto detrás del difusor a lo largo de un trayecto óptico de la luz entre el modulador espacial (480) de luz y el difusor.

15 8. Sistema de proyección holográfica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende un difusor en el campo (450) de reproducción, en donde el detector (460) está dispuesto en el difusor a lo largo de un trayecto óptico de la luz entre el modulador espacial (480) de luz y el difusor, junto al difusor o en un rebaje en el difusor.

9. Sistema de proyección holográfica según la reivindicación 7, en el que el detector (460) está dispuesto detrás de un rebaje del difusor.

20 10. Sistema de proyección holográfica según una cualquiera de la reivindicación 7 ó 9, que comprende una lente dispuesta en el trayecto de luz para concentrar luz sobre el detector (460).

11. Sistema de proyección holográfica según cualquier reivindicación anterior, en el que la región (720) de imagen secundaria está separada de la región (710) de imagen primaria, por ejemplo dispuesta periféricamente con respecto a la región de imagen primaria.

25 12. Sistema de proyección holográfica según cualquier reivindicación anterior, en el que el holograma generado por ordenador se corresponde con una transformación matemática de la imagen, opcionalmente, una transformación de Fourier o Fresnel.

30 13. Sistema de proyección holográfica según cualquier reivindicación anterior, en el que el holograma generado por ordenador comprende una segunda componente de holograma dispuesta para llevar a cabo una función lenticular.

14. Sistema de proyección holográfica según cualquier reivindicación anterior, en el que el modulador espacial (480) de luz está dispuesto para modular espacialmente la fase y/o la amplitud de la luz proveniente de la fuente (470) de luz.

35 15. Sistema de proyección holográfica según cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema de proyección es un módulo de visualización frontal o un módulo de visualización montable en la cabeza.

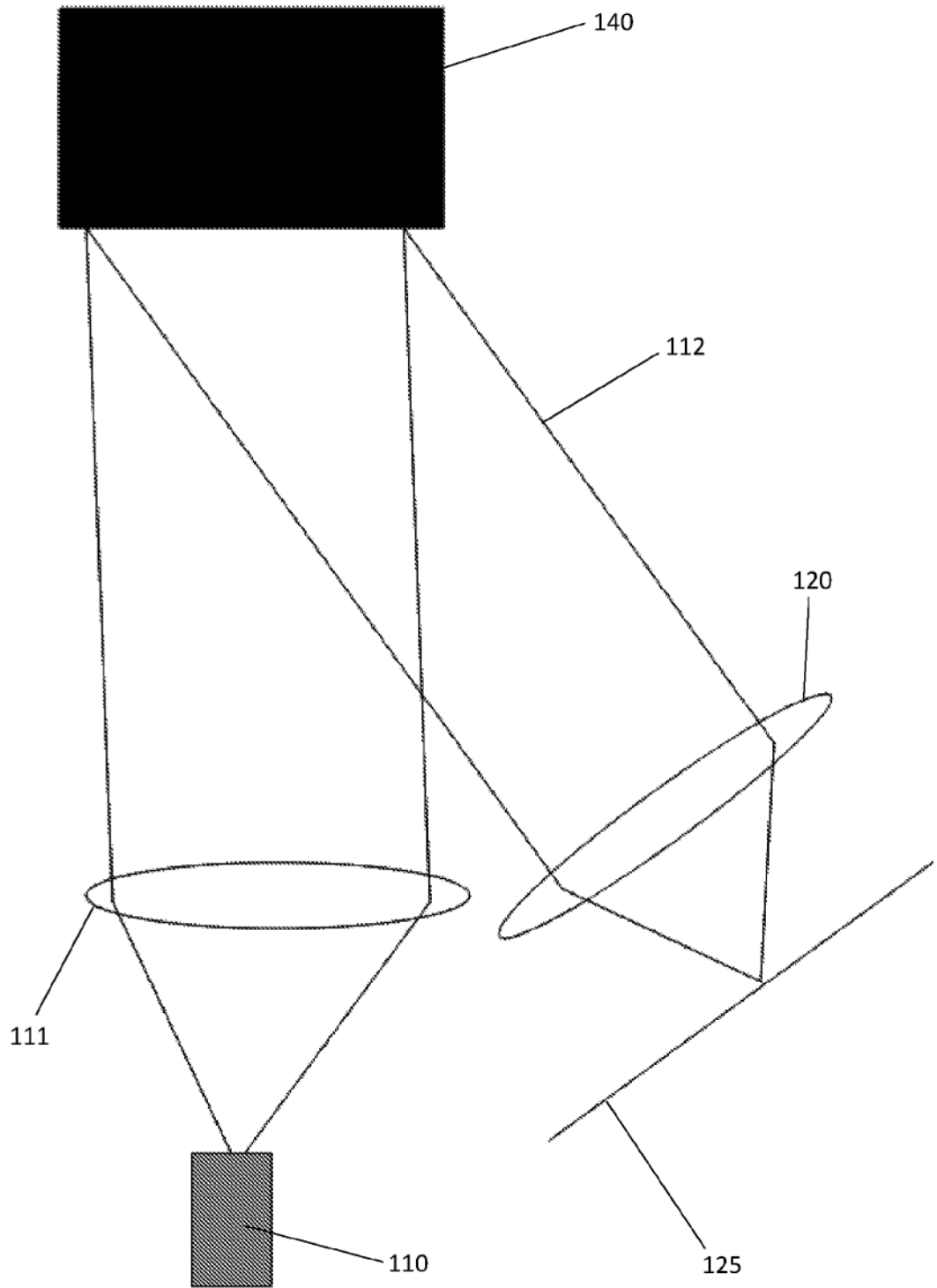


FIGURA 1

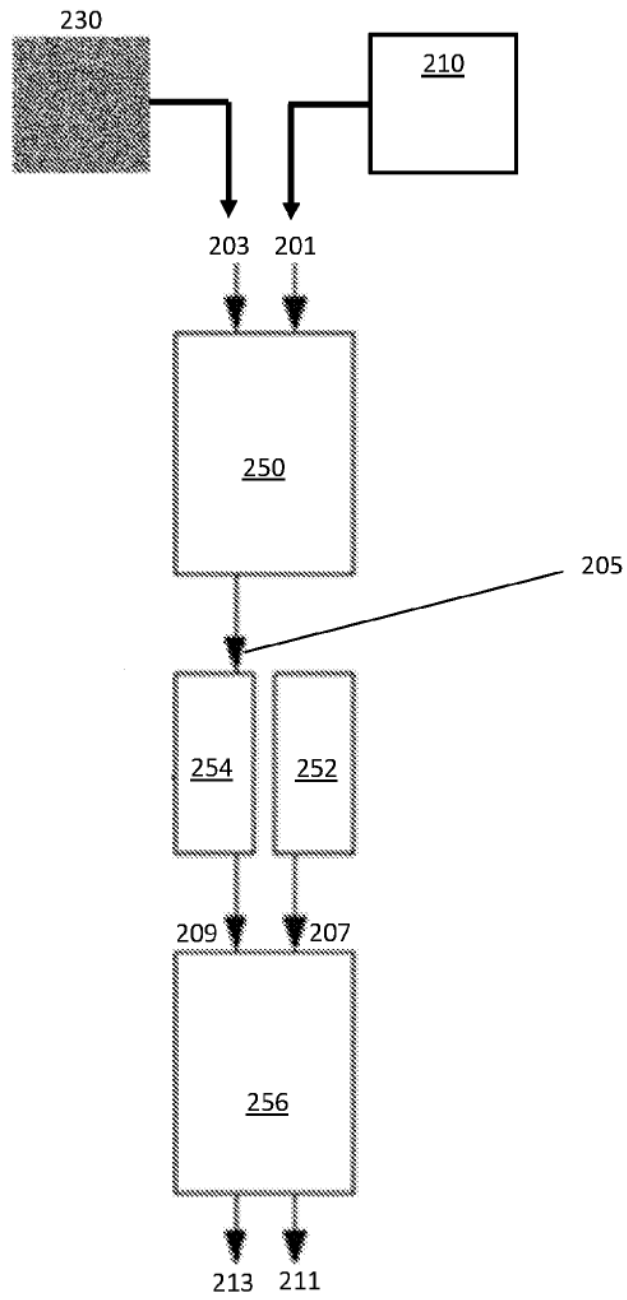


FIGURA 2A

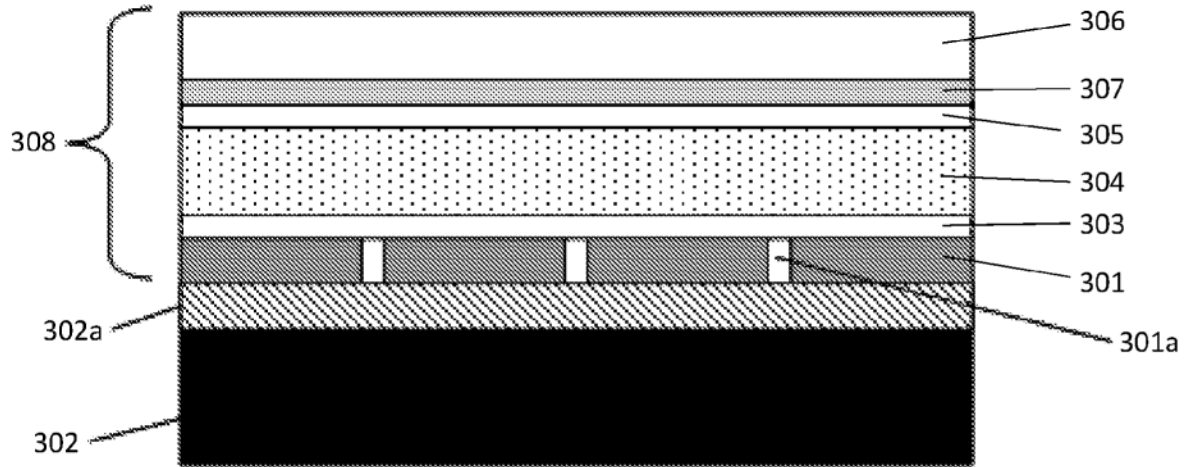


FIGURA 3

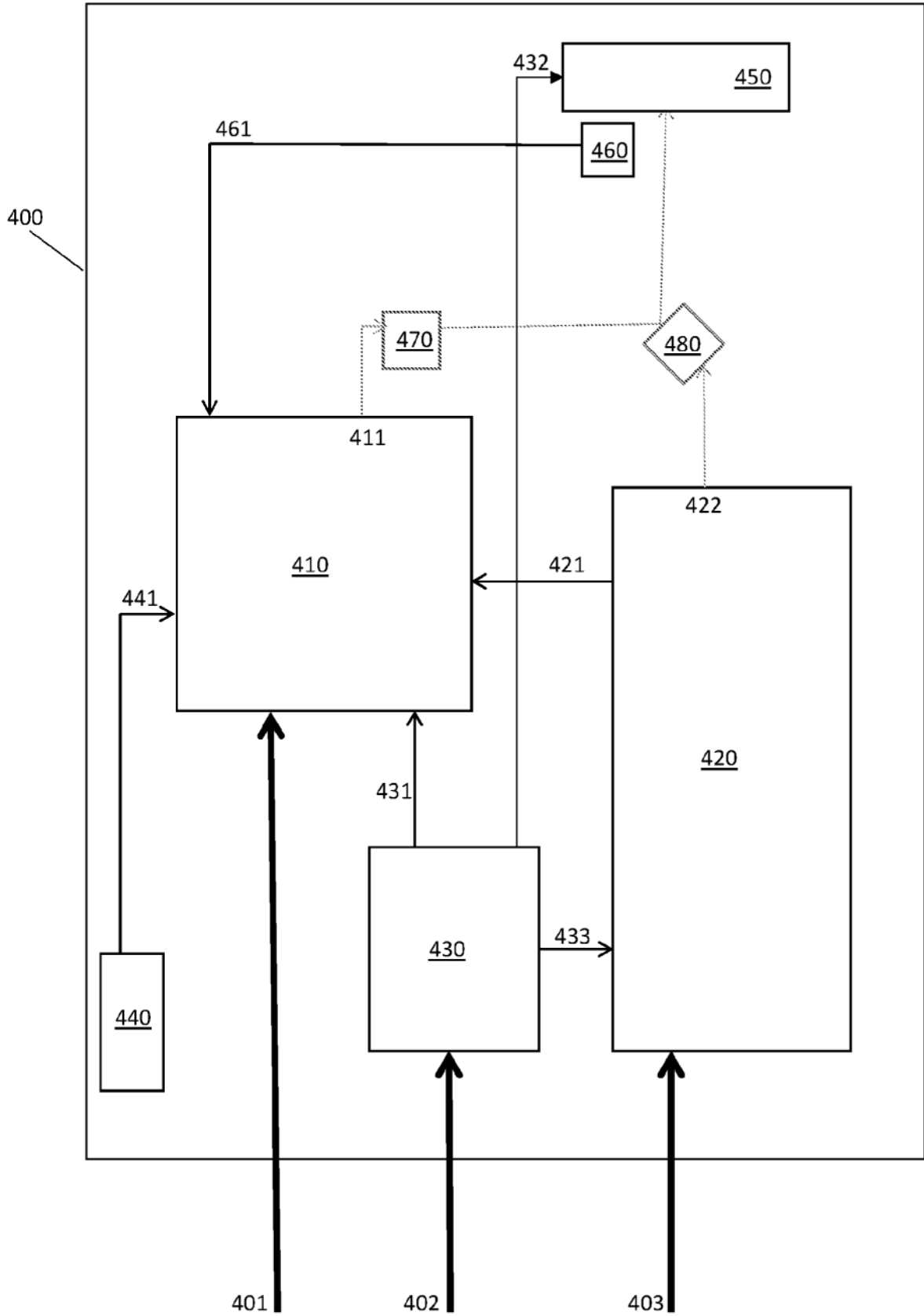


FIGURA 4

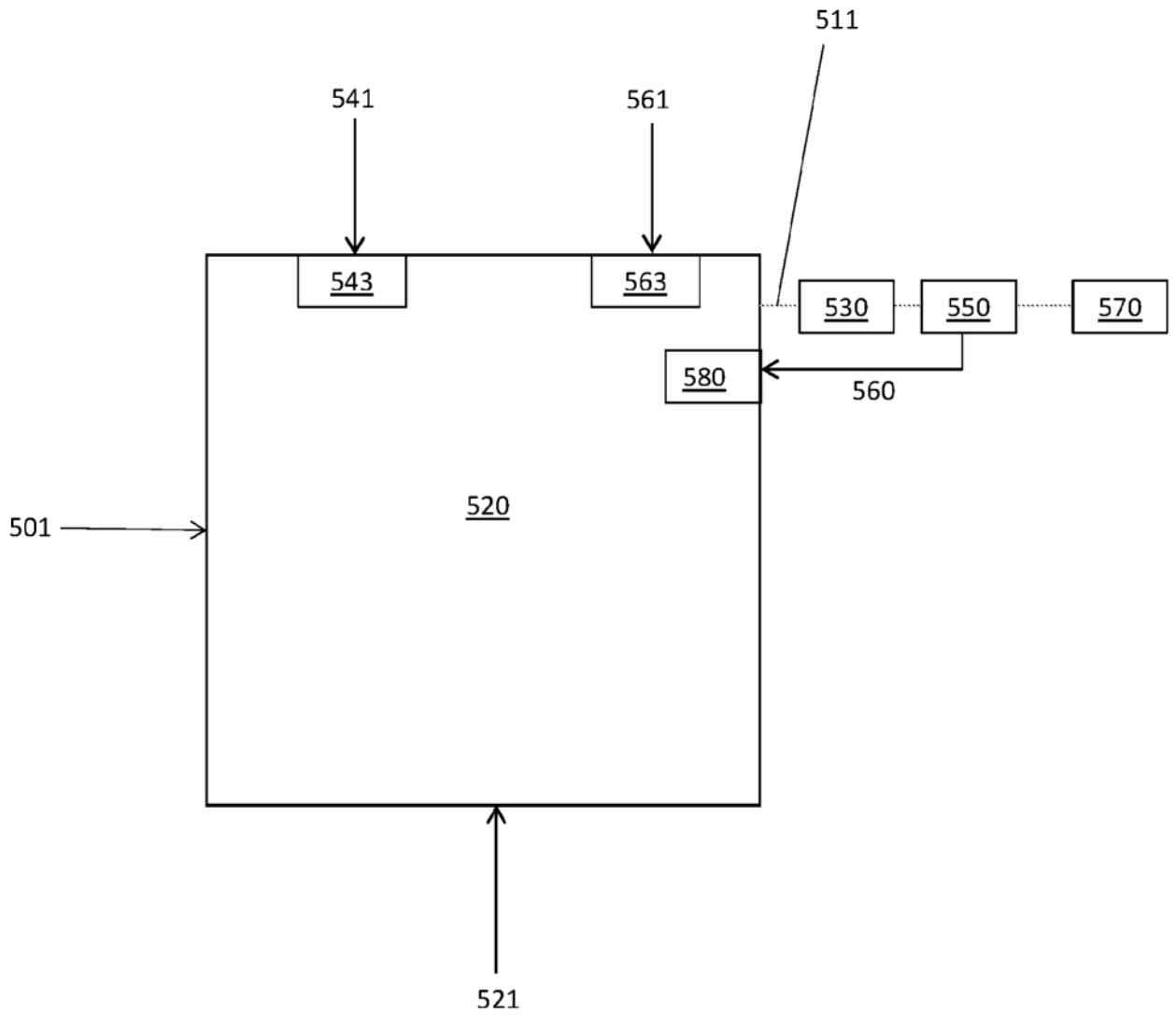


FIGURA 5

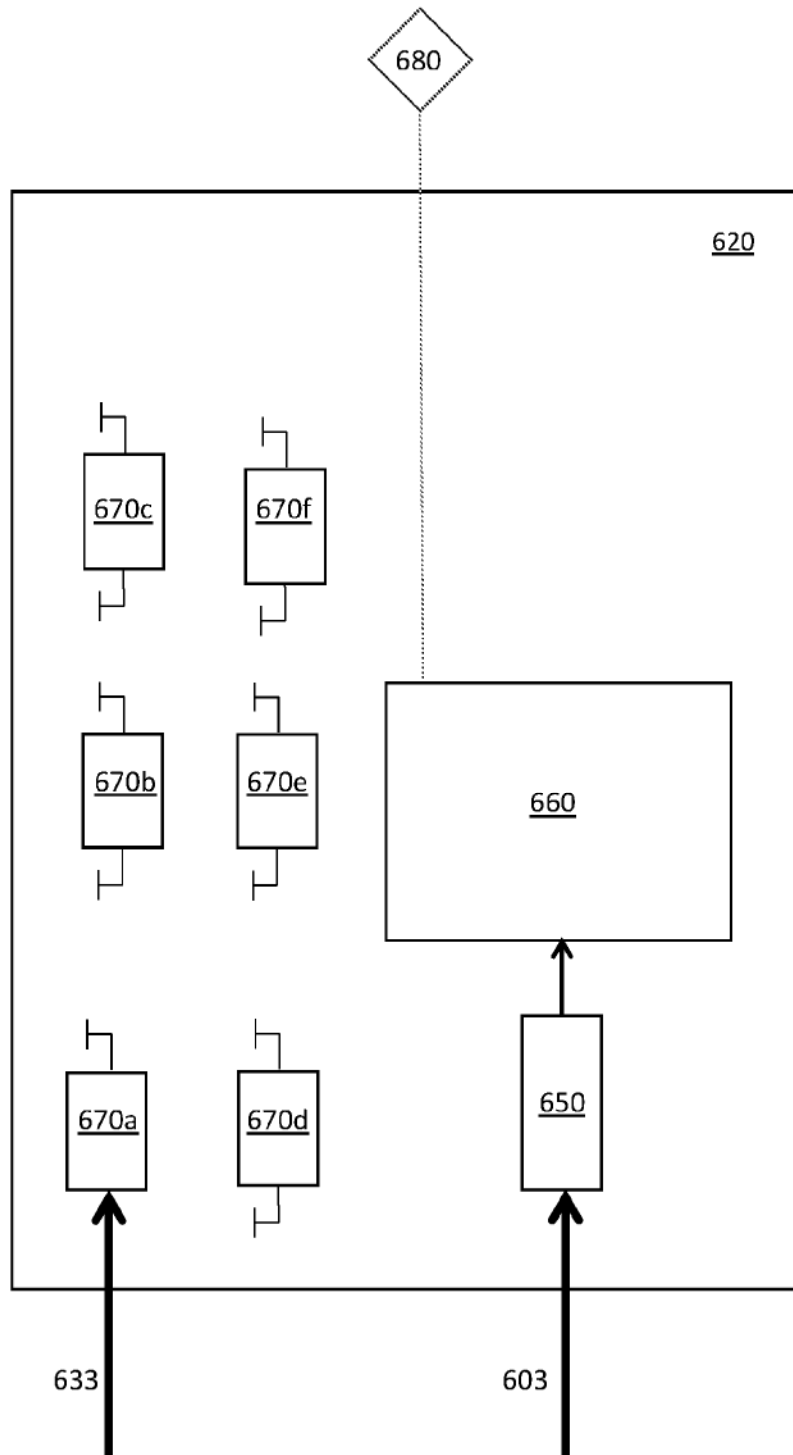


FIGURA 6

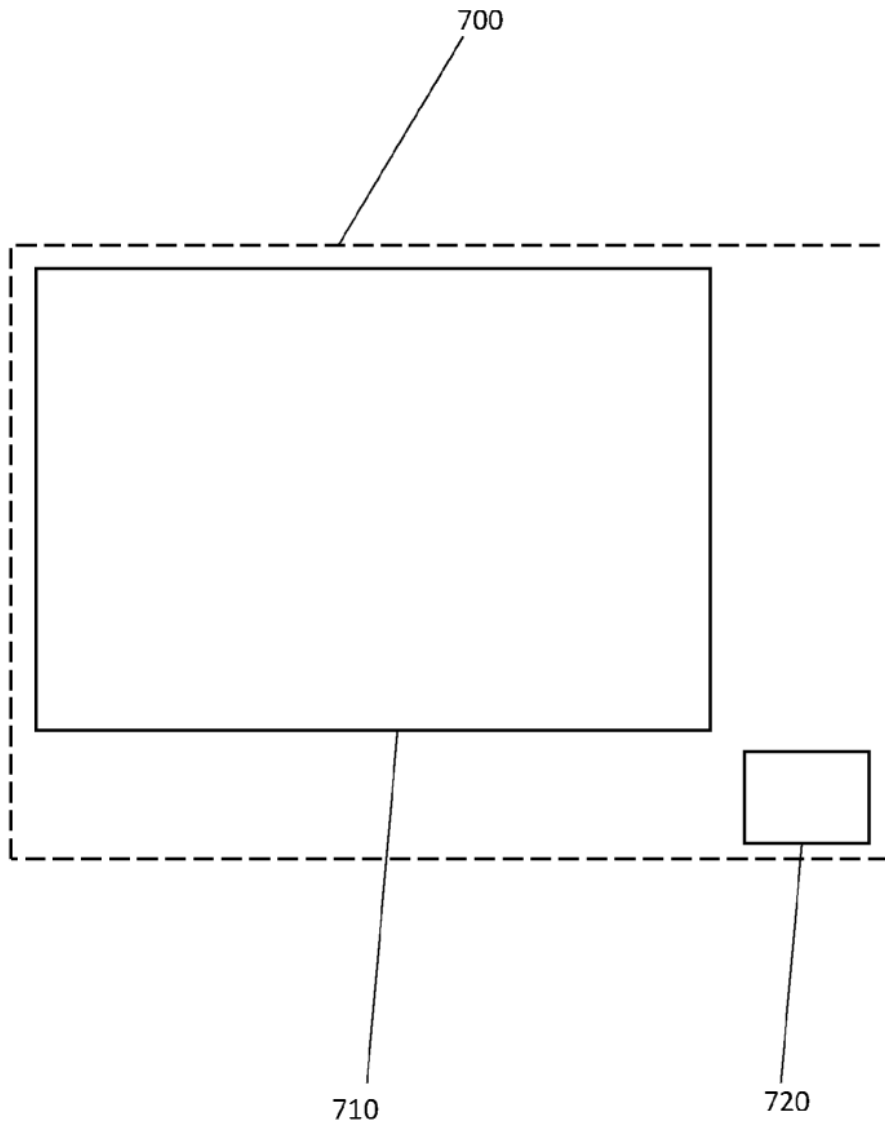


FIGURA 7

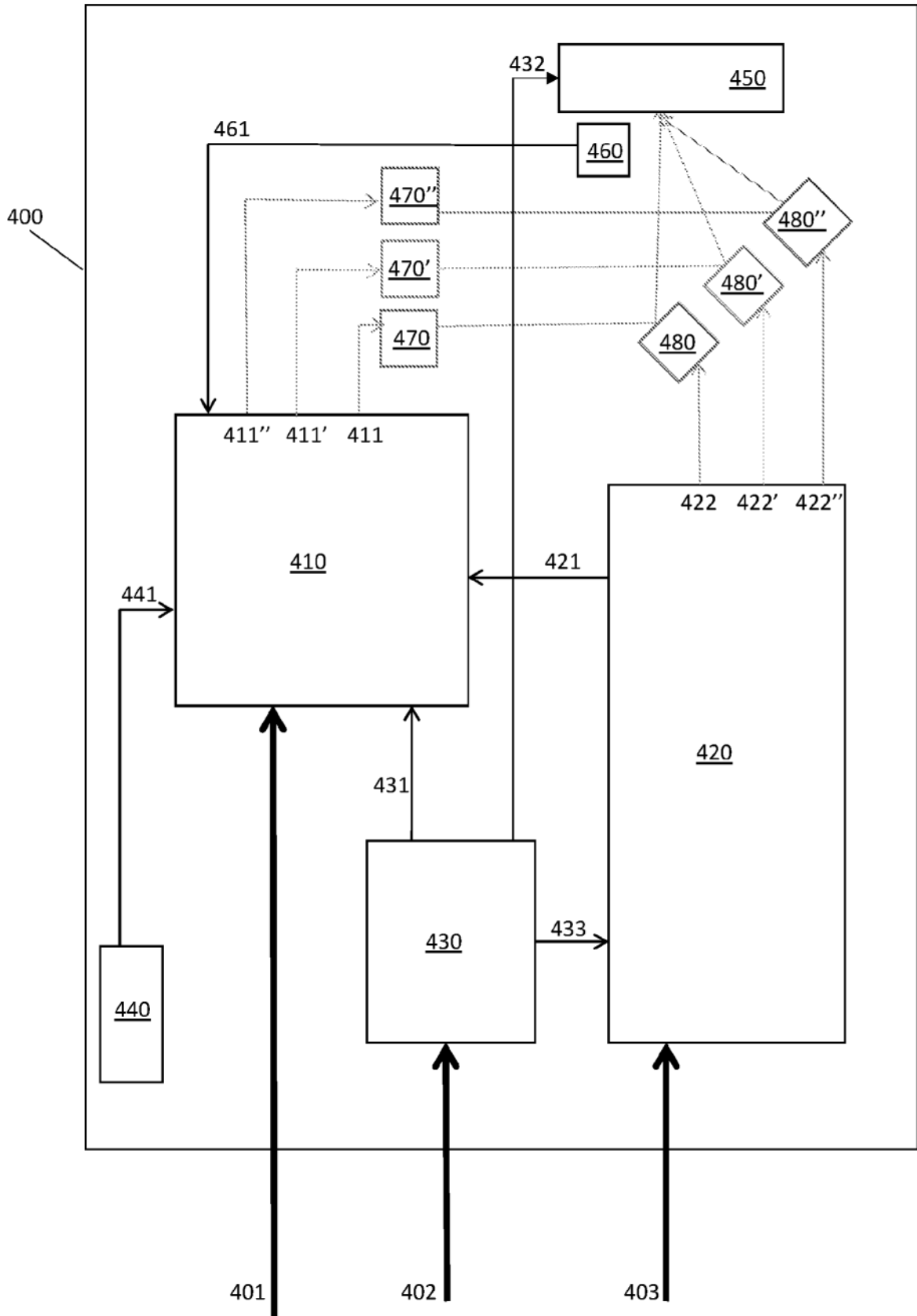


FIGURA 8

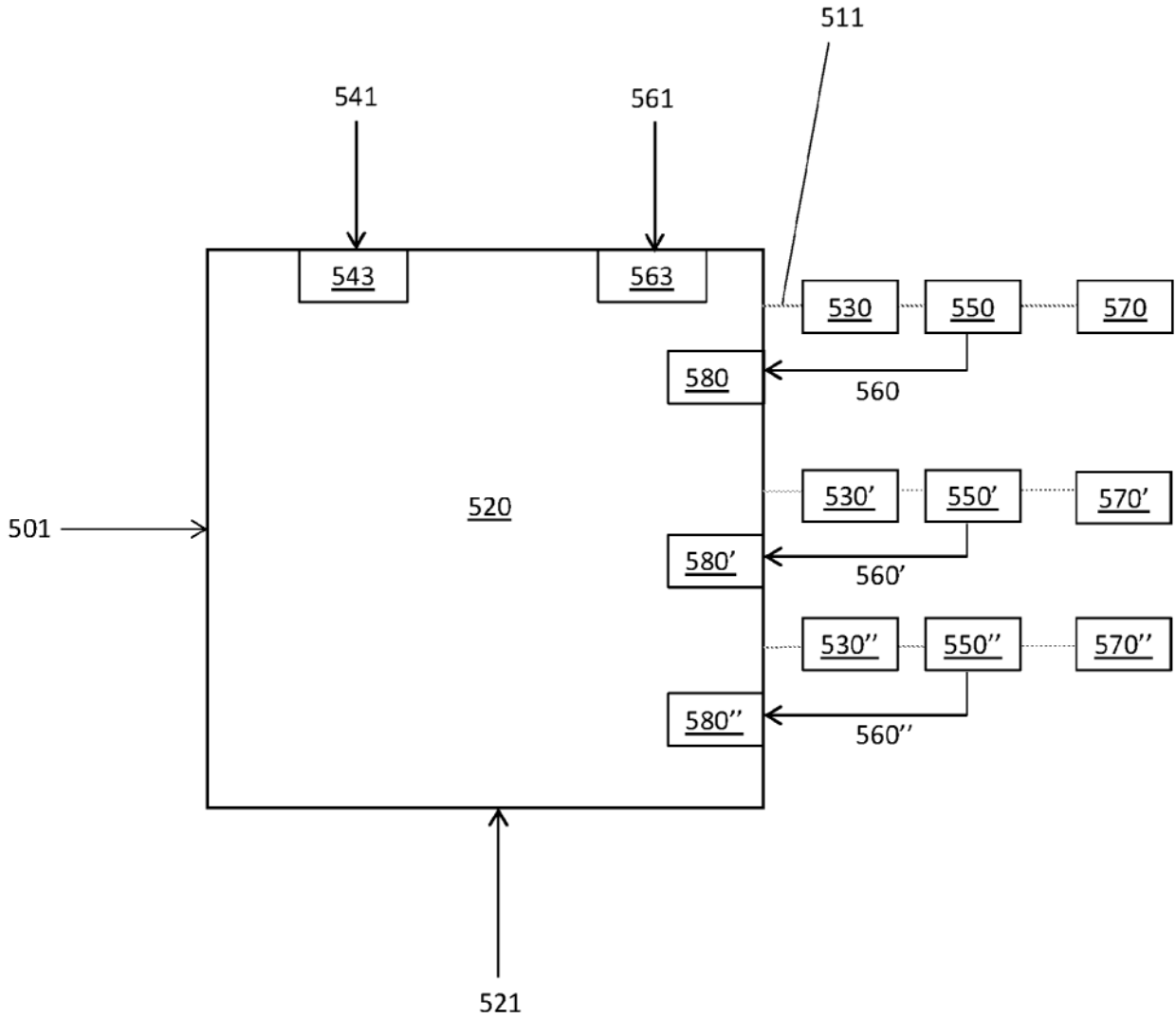


FIGURA 9

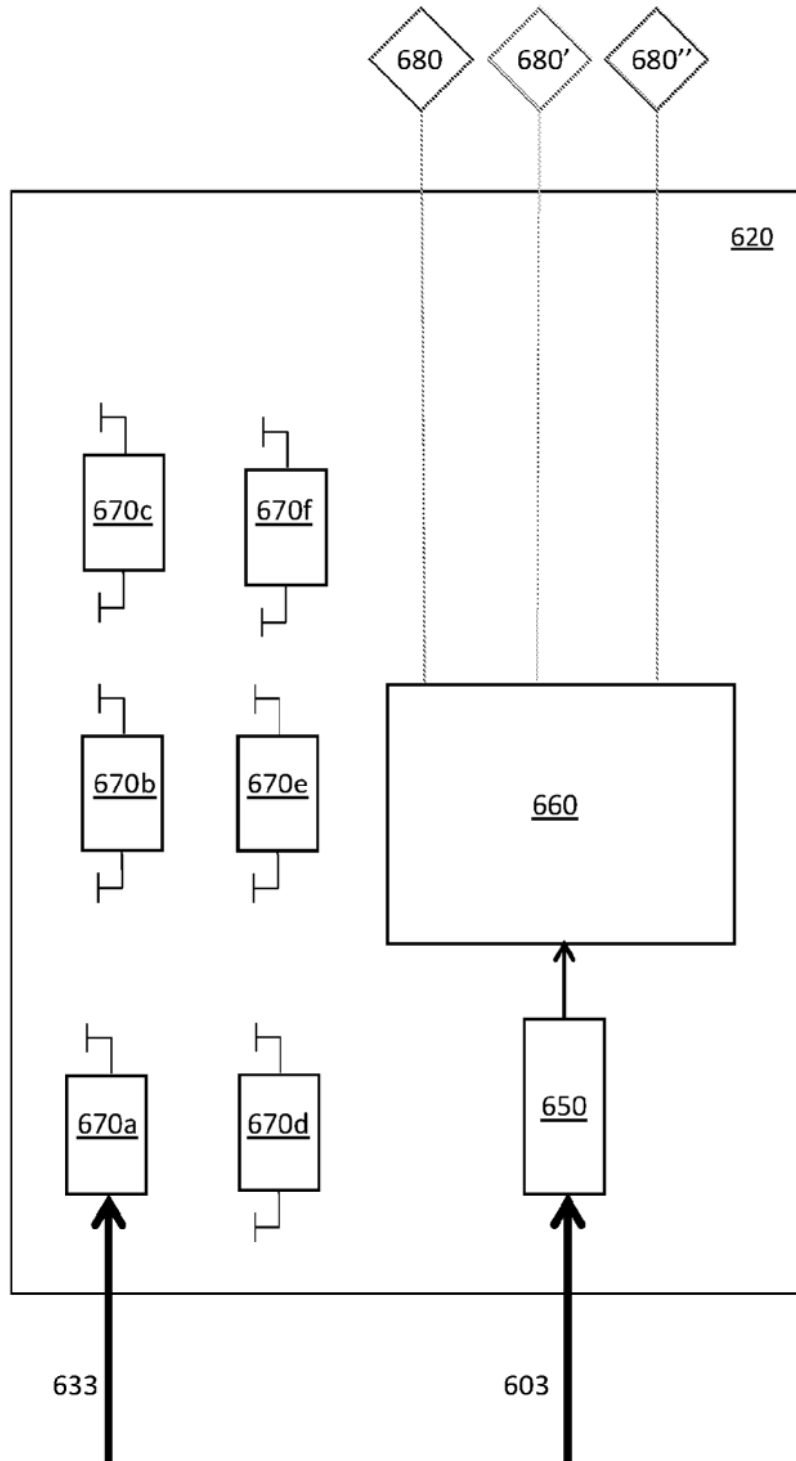


FIGURA 10

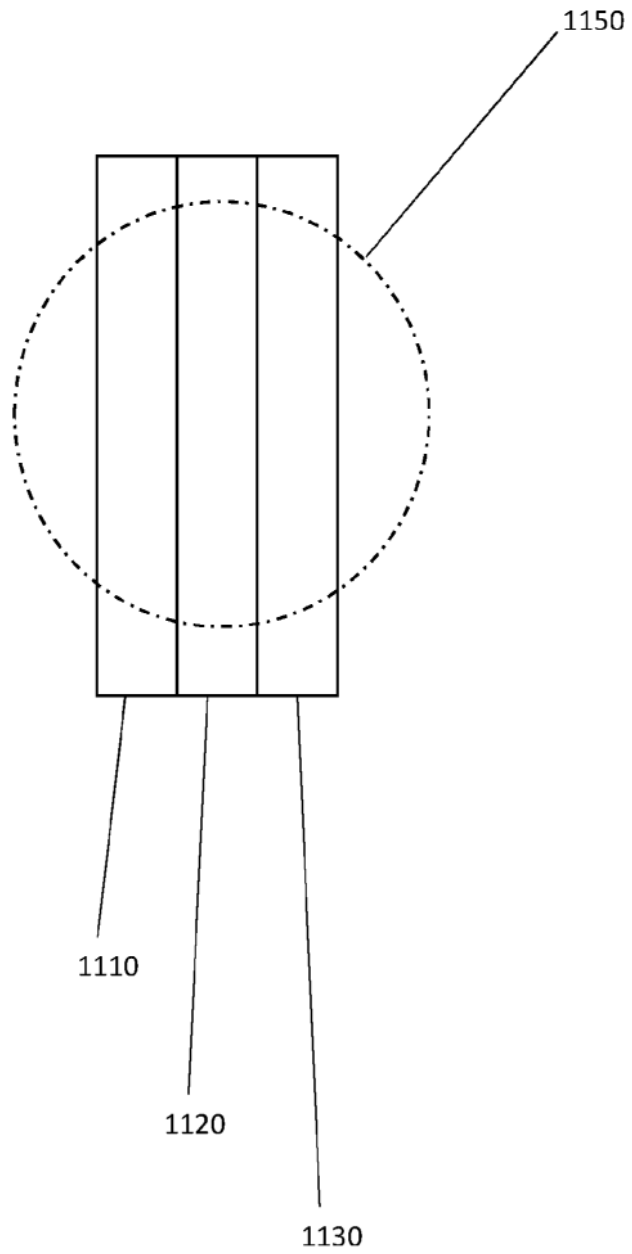


FIGURA 11

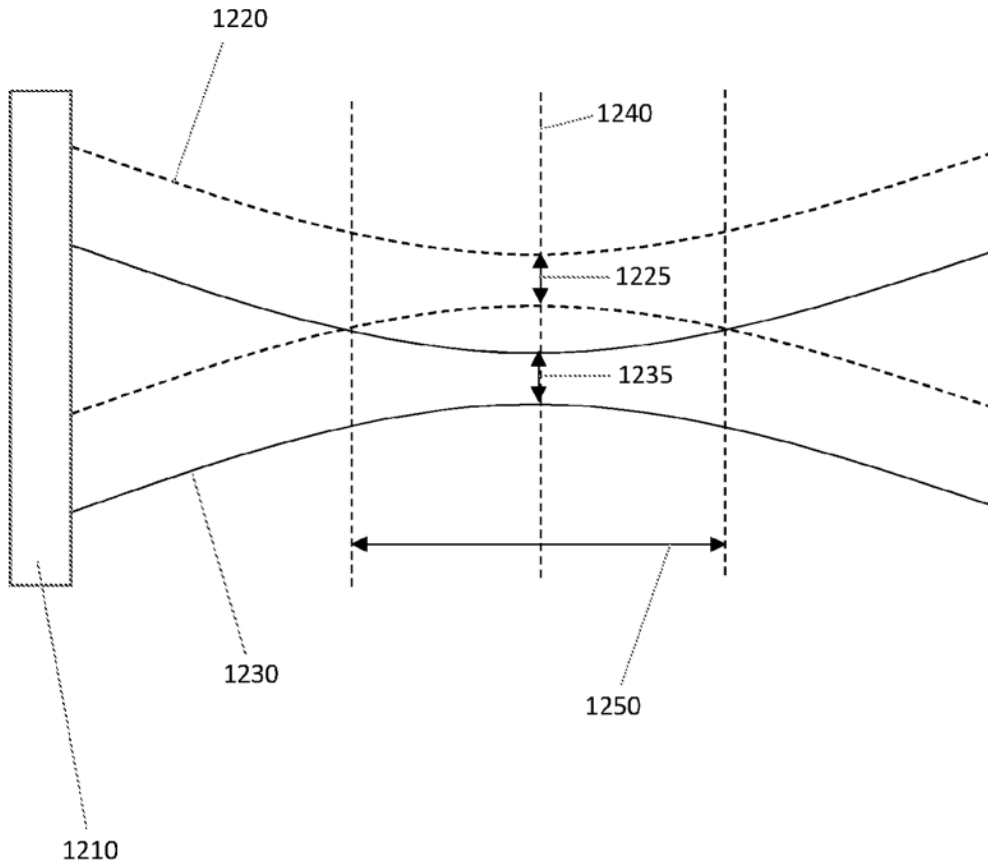


FIGURA 12