

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 385**

51 Int. Cl.:

A61B 3/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2016 PCT/IB2016/057259**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.06.2017 WO17093927**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2016 E 16816396 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2024 EP 3359014**

54 Título: **Fibra óptica que tiene un estrechamiento proximal para iluminación quirúrgica oftálmica**

30 Prioridad:

02.12.2015 US 201514957248

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

11.11.2024

73 Titular/es:

**ALCON INC. (100.0%)
Rue Louis-d'Affry 6
1701 Fribourg, CH**

72 Inventor/es:

**SMITH, RONALD T. y
MIRSEPASSI, ALIREZA**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 986 385 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

Fibra óptica que tiene un estrechamiento proximal para iluminación quirúrgica oftálmica

5 ANTECEDENTES

CAMPO TÉCNICO

10 Las formas de realización dadas a conocer en el presente documento pueden relacionarse con los sistemas de iluminación oftálmica. Más específicamente, las formas de realización descritas en el presente documento pueden relacionarse con la iluminación de un campo quirúrgico, tal como el ojo de un paciente, durante procedimientos oftálmicos utilizando una fibra óptica que tiene una parte proximal estrechada. La parte proximal estrechada puede permitir que la fibra óptica reciba de manera eficiente un haz luminoso desalineado.

15 TÉCNICA RELACIONADA

Los procedimientos microquirúrgicos oftálmicos pueden requerir el corte y/o la retirada con precisión de diversos tejidos orgánicos del ojo del paciente. Durante los procedimientos, unos dispositivos de iluminación oftálmica pueden proporcionar luz para el campo quirúrgico. Un usuario, tal como un cirujano u otro profesional médico, puede insertar el dispositivo en el ojo para iluminar el interior del ojo. Una fuente de luz y otra óptica de iluminación, tal como un colimador y un condensador, dirigen un haz luminoso hacia una fibra óptica del dispositivo de iluminación.

25 Durante el ensamblaje de la óptica de iluminación, los fabricantes pueden intentar optimizar diversos parámetros del haz luminoso asociados con el acoplamiento del haz luminoso en la fibra óptica. Por ejemplo, la eficiencia de acoplamiento puede ser una descripción de acoplamiento del haz luminoso en la fibra óptica. Una eficiencia de acoplamiento elevada puede dar como resultado la transmisión de cantidades relativamente mayores de luz no distorsionada desde la fuente de luz al campo quirúrgico, a través de la fibra óptica. Una eficiencia de acoplamiento baja puede dar como resultado la transmisión de menos luz al campo quirúrgico, así como la transmisión de luz con un perfil angular no deseado. Una manera de mejorar la eficiencia de acoplamiento durante la fabricación incluye alinear con precisión los componentes de la óptica de iluminación (por ejemplo, el colimador, el condensador, la fibra óptica, etc.) y a continuación inmovilizar los componentes de modo que posteriormente no se desalineen. Por ejemplo, un punto de haz de un haz condensado puede centrarse en el extremo proximal de la fibra óptica tras la alineación del condensador y la fibra óptica. Sin embargo, cualquier desalineación angular o lateral puede producir una pérdida de eficiencia de acoplamiento óptico.

35 La eficiencia de acoplamiento en la fibra óptica puede ser sensible a incluso pequeñas desalineaciones del haz luminoso en el condensador y/u otros componentes. La desalineación puede producirse por diferentes fuentes. Los cambios de temperatura durante el uso pueden producir la desalineación de un haz colimado en el condensador. Por ejemplo, el entorno que rodea la óptica de iluminación puede ser anormalmente caliente o frío, lo que conduce a una compresión o expansión inducida térmicamente de los componentes. La vibración durante el uso de la óptica de iluminación también puede producir una desalineación. La óptica de iluminación puede estar sometida a choques mecánicos, tales como caídas durante el transporte o la entrada en contacto con equipo pesado. Estas fuentes de error pueden exacerbarse por la inclusión de otros componentes ópticos, tales como espejos plegables y divisores del haz. Los cambios de temperatura, la vibración y/o el choque pueden hacer que se desalineen la óptica de iluminación y el haz luminoso que refleja. Además, durante la vida útil de la óptica de iluminación, la deformación lenta de soportes con base adhesiva o base mecánica puede hacer que se desalineen la óptica de iluminación y el haz luminoso que refleja.

50 En algunos conjuntos de óptica de iluminación, incluso una desalineación angular de tan sólo aproximadamente 0,01° puede producir una disminución significativa de la cantidad de luz transmitida a través de la fibra óptica. Por la sensibilidad relativamente alta a la desalineación, puede ser importante mantener una eficiencia de acoplamiento de la fibra elevada con todas las temperaturas y condiciones operativas durante la vida útil del conjunto de óptica de iluminación. Un conjunto que incluya medios para detectar y corregir activamente las pérdidas en la eficiencia de acoplamiento de la fibra moviendo el condensador y/u otros componentes ópticos puede solucionar algunos problemas. Sin embargo, por su elevada complejidad y su elevado coste, tal sensor de eficiencia de acoplamiento y sistema de alineación óptica de retroalimentación activa sería difícil de diseñar e implementar de manera económica.

60 Por consiguiente, sigue existiendo la necesidad de dispositivos, sistemas y procedimientos mejorados que se adapten a la desalineación de un haz luminoso manteniendo al mismo tiempo una eficiencia de acoplamiento elevada cubriendo una o varias de las necesidades comentadas anteriormente.

Se hace referencia a los documentos WO2006/088938, WO2007/053666, US3068745 y US2012/0203075 que se han citado como ejemplos de la técnica relacionada.

65 SUMARIO

Se apreciará que el alcance de la invención está de acuerdo con las reivindicaciones y en consecuencia se proporciona un aparato de iluminación oftálmica según la reivindicación 1 y un procedimiento según la reivindicación 13. En las reivindicaciones dependientes se proporcionan otras características.

La solución presentada cubre una necesidad médica no satisfecha con una solución única para reducir la sensibilidad de un sistema de iluminación oftálmica a la desalineación de un haz luminoso. El sistema de iluminación oftálmica puede incluir una fibra óptica con una parte proximal estrechada. La parte proximal estrechada puede tener un diámetro de núcleo mayor que las partes más distales de la fibra óptica. La parte proximal estrechada puede actuar como embudo acoplado de manera más eficiente incluso luz desalineada en la fibra óptica. Como resultado, el sistema de iluminación oftálmica puede ser menos sensible a la desalineación. El sistema de iluminación oftálmica también puede incluir un condensador configurado para dirigir un haz condensado hacia la fibra óptica basándose en el diámetro de núcleo mayor de la parte proximal estrechada.

Se proporciona un aparato de iluminación oftálmica que incluye una fibra óptica configurada para transmitir un haz luminoso proporcionado por una fuente de luz y enfocado por un condensador. La fibra óptica incluye una parte proximal configurada para recibir el haz luminoso enfocado por el condensador, una parte distal configurada para emitir el haz luminoso para iluminar un campo quirúrgico, y una parte central que se extiende entre la parte proximal y la parte distal. Un diámetro de núcleo de la parte proximal es mayor que un diámetro de núcleo de la parte central y un diámetro de núcleo de la parte distal.

Según algunas formas de realización, puede proporcionarse un procedimiento de iluminación oftálmica. El procedimiento incluye enfocar, utilizando un condensador, un haz luminoso emitido por una fuente de luz sobre una parte proximal de una fibra óptica. La fibra óptica incluye la parte proximal, una parte distal y una parte central que se extiende entre la parte proximal y la parte distal. Un diámetro de núcleo de la parte proximal es mayor que un diámetro de núcleo de la parte central y un diámetro de núcleo de la parte distal. El procedimiento también incluye transmitir, utilizando la fibra óptica, el haz luminoso a un campo quirúrgico.

Resultarán evidentes aspectos, características y ventajas adicionales de la presente divulgación a partir de la siguiente descripción detallada.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un diagrama que ilustra un sistema de iluminación oftálmica.

La figura 2A es un diagrama que ilustra una parte de un sistema de iluminación oftálmica, que incluye un subsistema de iluminación y una fibra óptica.

La figura 2B es un diagrama que ilustra una parte de un sistema de iluminación oftálmica, que incluye un subsistema de iluminación y una fibra óptica.

La figura 2C es un diagrama que ilustra una parte de un sistema de iluminación oftálmica, que incluye un subsistema de iluminación y una fibra óptica.

La figura 3 es un diagrama que ilustra una disposición de un condensador y una fibra óptica.

La figura 4 es un diagrama que ilustra vistas de frente de un punto de haz, diferentes posiciones de un núcleo de fibra óptica cuando está acoplado a un alojamiento, y un diámetro de núcleo de tolerancia que está alineado en diferentes posiciones del núcleo de fibra óptica.

La figura 5 es un diagrama que ilustra una disposición de un condensador.

La figura 6 es un gráfico que ilustra un factor de calidad r_N que compara cuánta desalineación óptica más puede tolerarse, al tiempo que se mantiene una eficiencia de acoplamiento elevada, mediante una fibra óptica que incluye una parte proximal estrechada con respecto a una fibra óptica con partes proximal y central de tamaño similar.

La figura 7 es un gráfico que ilustra el factor de calidad de la figura 6.

En los dibujos, los elementos que tienen la misma designación tienen las mismas funciones o funciones similares.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

En la siguiente descripción, pueden exponerse detalles específicos que describen determinadas formas de realización. Sin embargo, para un experto en la técnica resultará evidente que las formas de realización dadas a conocer pueden ponerse en práctica sin algunos de o todos estos detalles específicos. En el presente documento pueden presentarse formas de realización específicas y/o ilustrativas, pero no limitativas. Un experto en la técnica entenderá que otro

material, aunque no se describa específicamente en el presente documento, puede estar dentro del alcance de esta divulgación.

La presente divulgación describe dispositivos, sistemas y procedimientos para acoplar ópticamente un haz luminoso en una fibra óptica de modo que se tolere una desalineación angular o lateral no buscada del haz luminoso. Una fuente de luz está configurada para generar un haz luminoso para iluminar un campo quirúrgico, tal como el ojo de un paciente. Un condensador está configurado para enfocar y dirigir el haz luminoso hacia la fibra óptica. El haz condensado puede desalinearse en algunos casos. La fibra óptica incluye una parte proximal estrechada configurada para recibir el haz condensado al tiempo que se mantiene una eficiencia de acoplamiento relativamente elevada. La parte proximal de la fibra óptica tiene un diámetro de núcleo que es mayor que los diámetros de núcleo de las partes central y distal. El condensador está configurado para dirigir el haz condensado a la fibra óptica basándose en el diámetro de núcleo relativamente mayor de la parte proximal estrechada.

Los dispositivos, sistemas y procedimientos de la presente divulgación proporcionan numerosas ventajas, que incluyen:

(1) El sistema de iluminación oftálmica de la presente divulgación puede tolerar mejor los errores de alineación entre un haz luminoso y una fuente de luz, un colimador, un condensador y/u otros componentes del sistema de iluminación oftálmica. Una fibra óptica con sólo una parte proximal recta no puede aceptar luz desalineada. En este contexto, la fibra óptica con la parte proximal de diámetro aumentado puede transmitir de manera eficiente incluso luz desalineada.

(2) Puede mantenerse una eficiencia de acoplamiento elevada a pesar de errores de alineación. La parte proximal de diámetro aumentado de la fibra óptica puede acoplar ventajosamente luz que de lo contrario se habría perdido por errores de alineación.

(3) Pueden admitirse errores relacionados con la temperatura, vibración y/o choque. La desalineación puede producirse por uno cualquiera o más de estos errores. Al acoplar de manera eficiente incluso luz desalineada, la fibra óptica que incluye la parte proximal de diámetro aumentado puede admitir múltiples fuentes de error.

(4) Puede mejorarse la robustez del sistema de iluminación oftálmica a las variaciones de temperatura, vibración y/o choque. Aunque el sistema de iluminación oftálmica experimente estas fuentes de error de alineación, el sistema de iluminación oftálmica puede acoplar de manera eficiente la luz en la fibra óptica porque la parte proximal de diámetro aumentado admite la desalineación.

(5) Puede aumentarse la vida útil del sistema de iluminación oftálmica. La desalineación óptica puede producirse durante toda la vida útil del sistema de iluminación oftálmica, incluyendo como resultado de una degradación adhesiva o mecánica, así como una vibración durante un funcionamiento normal. Como la fibra óptica acepta cantidades relativamente mayores de luz desalineada, el sistema de iluminación oftálmica puede utilizarse incluso cuando se producen errores de desalineación.

En la figura 1 puede ilustrarse un sistema de iluminación oftálmica 100. El sistema de iluminación oftálmica 100 puede incluir una fuente de luz 122. La fuente de luz 122 puede estar configurada para proporcionar un haz luminoso para iluminar un campo quirúrgico 180. El sistema de iluminación oftálmica 100 también puede incluir un condensador 126 con una pluralidad de lentes. El condensador 126 puede estar configurado para enfocar el haz luminoso proporcionado por la fuente de luz 122. El sistema de iluminación oftálmica 100 también puede incluir una fibra óptica 170 configurada para transmitir el haz luminoso enfocado por el condensador 126. La fibra óptica 170 puede incluir una parte proximal 172 configurada para recibir el haz luminoso enfocado por el condensador 126, una parte distal 174 configurada para emitir el haz luminoso dentro del campo quirúrgico 180 y una parte central 176 que se extiende entre la parte proximal 172 y la parte distal 174. Un diámetro de núcleo de la parte proximal 172 puede ser mayor que un diámetro de núcleo de la parte central 176 y un diámetro de núcleo de la parte distal 174. El sistema de iluminación oftálmica 100 también puede incluir el instrumento quirúrgico 160 configurado para colocarse dentro del campo quirúrgico 180. La fibra óptica 170 puede acoplarse al instrumento quirúrgico 160.

El sistema de iluminación oftálmica 100 puede utilizarse durante diversos procedimientos quirúrgicos oftálmicos dentro del campo quirúrgico 180, tal como el ojo del paciente. Los procedimientos quirúrgicos oftálmicos a modo de ejemplo pueden incluir un procedimiento diagnóstico, un procedimiento terapéutico, un procedimiento de segmento anterior, un procedimiento de segmento posterior, un procedimiento de cirugía vitreoretiniana, un procedimiento de vitrectomía, un procedimiento de cataratas y/u otros procedimientos adecuados. El campo quirúrgico 180 puede incluir cualquier fisiología adecuada del ojo del paciente, incluyendo un segmento anterior, un segmento posterior, una córnea, un cristalino, una cámara vítrea, una retina y/o una mácula.

El cirujano puede ver el campo quirúrgico 180 cuando se ilumina por la luz procedente de la fuente de luz 122. La fuente de luz 122 puede ser cualquier fuente de luz adecuada que pueda hacerse funcionar para proporcionar un haz luminoso acoplado ópticamente en la fibra óptica 170, como se comenta en el presente documento. Por ejemplo, la fuente de luz puede incluir una fuente de láser, tal como una fuente de láser supercontinuo, una lámpara

incandescente, una lámpara halógena, una lámpara de haluro de metal, una lámpara de xenón, una lámpara de vapor de mercurio, un diodo emisor de luz (LED), otras fuentes adecuadas, y/o combinaciones de las mismas. La fuente de luz 122 puede proporcionar un haz luminoso diagnóstico, un haz luminoso de tratamiento y/o un haz luminoso de iluminación. El haz luminoso puede incluir cualquier longitud de onda de luz adecuada, tal como una luz visible, luz infrarroja, luz ultravioleta (UV), etc. Por ejemplo, el haz luminoso puede transmitir luz brillante, de banda ancha y/o blanca para iluminar el campo quirúrgico 180.

El haz luminoso puede atravesar un trayecto óptico que se extiende entre la fuente de luz 122 y el campo quirúrgico 180, incluyendo a través de un colimador 124, el condensador 126 y la fibra óptica 170. El colimador 124 puede estar colocado en un trayecto óptico entre la fuente de luz 122 y el campo quirúrgico 180 para recibir el haz luminoso proporcionado por la fuente de luz 122. El colimador 124 puede incluir una o varias lentes y/u otros componentes ópticos adecuados configurados para alinear el haz luminoso proporcionado por la fuente de luz 122. Una fibra óptica 123 que facilite la transmisión del haz luminoso puede estar acoplada mecánica y/u ópticamente con y extenderse entre la fuente de luz 122 y el colimador 124. El colimador 124 puede colimar el haz luminoso proporcionado por la fuente de luz 122 para generar un haz colimado 125. El haz colimado 125 puede ser un haz divergente, paralelo o convergente.

El condensador 126 puede estar colocado en el trayecto óptico entre la fuente de luz 122 y el campo quirúrgico 180, o entre el colimador 124 y el campo quirúrgico 180, para recibir el haz colimado 125. El haz colimado 125 puede transmitirse a través del aire o espacio libre del colimador 124 al condensador 126. El condensador 126 puede estar configurado para doblarse y/o interactuar de otro modo con el haz luminoso colimado 125 para generar el haz condensado 127. El haz condensado 127 puede tener una sección transversal espacial y/o diámetro de haz menor que el haz colimado 125. A este respecto, el haz condensado 127 puede ser un haz convergente. Por ejemplo, el condensador 126 puede estar configurado para enfocar el haz condensado 127 en un punto de haz 129. El condensador 126 puede incluir una, dos, tres, cuatro, cinco, o más lentes y/u otros componentes ópticos adecuados. Las lentes a modo de ejemplo pueden incluir una lente biconcava, una lente biconvexa, una lente convexa-cóncava, una lente plano-cóncava, una lente plano-convexa, una lente de menisco positiva/negativa, una lente esférica, una lente convergente, una lente divergente, y/o combinaciones de las mismas. El condensador 126 puede tener cualquier disposición de lente adecuada, incluyendo una o varias disposiciones individuales y una o varias disposiciones dobles.

Desde el condensador 126, el haz condensado 127 puede transmitirse a la fibra óptica 170 a través del aire/espacio libre u otra fibra óptica. Las figuras 2A, 2B y 2C pueden ilustrar detalles adicionales de la fibra óptica 170. La fibra óptica 170 puede estar configurada para transmitir luz procedente de la fuente de luz 122 al campo quirúrgico 180. En general, como se ilustra en la figura 1, la fibra óptica 170 puede incluir la parte proximal 172, la parte distal 174 y la parte central 176. La parte proximal 172 puede recibir el haz condensado 127 desde el condensador 126. Una vez recibida en la parte proximal 172, la luz se propaga distalmente a lo largo de la fibra óptica 170 hacia el campo quirúrgico 180. La parte central 176 puede extenderse y transmitir luz entre la parte proximal 172 y la parte distal 174. La parte distal 174 puede proporcionar la luz emitida 162 al campo quirúrgico 180. Al menos una parte de la fibra óptica 170, tal como la parte distal 174, puede estar colocada dentro del campo quirúrgico 180. A este respecto, la fibra óptica 170 puede ser un componente desechable configurado para un solo uso. Por ejemplo, la parte distal 174 puede acoplarse al instrumento quirúrgico 160 colocado dentro del campo quirúrgico 180. La parte distal 174 puede estar dispuesta dentro de o acoplarse a una parte exterior del instrumento quirúrgico 160. La parte central 176 y/o la parte proximal 172 también pueden acoplarse al instrumento quirúrgico 160. El instrumento quirúrgico 160 puede ser cualquier herramienta adecuada utilizada por el cirujano durante el procedimiento quirúrgico oftálmico, incluyendo un iluminador de punto, un iluminador de candelabro, un endoiluminador, una cánula de infusión, una sonda de corte, una sonda de vitrectomía, una sonda de aspiración, tijeras y fórceps, por ejemplo. El instrumento quirúrgico 160 puede ser un dispositivo de infusión 132 o una sonda 152, que se describirá en más detalle más abajo.

La fuente de luz 122, el colimador 124 y el condensador 126 pueden formar parte de un subsistema de iluminación 120. La fibra óptica 170 puede estar en comunicación óptica con el subsistema de iluminación 120. El subsistema de iluminación 120 puede incluir todos o una parte de los componentes ópticos asociados con proporcionar luz al campo quirúrgico 180. El subsistema de iluminación 120 puede incluir diversos otros componentes ópticos, tales como espejos, incluyendo espejos plegables y espejos dicróicos calientes o fríos, divisores del haz, lentes, rejillas, filtros y/o combinaciones de los mismos, que facilitan la transmisión de luz al campo quirúrgico 180. La fuente de luz 122, el colimador 124 y el condensador 126 pueden estar dispuestos dentro de un alojamiento 121 del subsistema de iluminación 120. El alojamiento 121 puede ser cualquier recinto adecuado que mantenga la fuente de luz 122, el colimador 124 y el condensador 126 en una disposición fija unos respecto a otro. Por ejemplo, la luz puede transmitirse de manera eficiente tras la alineación de la fuente de luz 122, el colimador 124, el condensador 126 y/o la fibra óptica 170. El alojamiento 121 puede incluir una placa de base. La fuente de luz 122, el colimador 124 y el condensador 126 pueden montarse, fijarse y/o acoplarse mecánicamente de otro modo a la placa de base para evitar un movimiento involuntario de los componentes. Como se comenta en el presente documento, tal movimiento puede afectar negativamente a la eficiencia de acoplamiento óptico. Las figuras 1, 2A y 2B ilustran un trayecto óptico sin pliegues entre la fuente de luz 122 y el campo quirúrgico 180. El trayecto óptico puede incluir espejos plegables, divisores del haz y/u otros componentes ópticos para guiar el haz luminoso dentro de la estructura física del alojamiento 121. Los

espejos plegables pueden permitir que la óptica de iluminación entre dentro de un volumen compacto. Los divisores del haz pueden facilitar el suministro de luz a múltiples puertos de fibras.

Con referencia de nuevo a la figura 1, la fibra óptica 170 puede estar acoplada mecánicamente al alojamiento 121 del subsistema de iluminación 120 en un puerto 128. El puerto 128 puede ser un componente del alojamiento 121. El puerto 128 puede estar colocado de manera rígida con respecto a la fuente de luz 122, el colimador 124, el condensador 126 y/u otros componentes del subsistema de iluminación 120. Por ejemplo, el puerto 128 puede incluir características mecánicas, tales como roscas, salientes, ranuras, para facilitar el acoplamiento mecánico retirable entre la parte proximal 172 de la fibra óptica 170 y el alojamiento 121. El punto de haz 129 del haz condensado 127 puede centrarse dentro del puerto 128. La parte proximal 172 de la fibra óptica 170 puede acoplarse al alojamiento 121 en el puerto 128. La alineación adecuada de la fuente de luz 122, el colimador 124, el condensador 126 y/o la fibra óptica 170 puede garantizar el centrado adecuado del punto de haz 129 dentro del puerto 128 y el acoplamiento eficiente del haz condensado 127 en la fibra óptica 170. Como se describe en el presente documento, el sistema quirúrgico oftálmico 100 puede ser menos susceptible a la degradación de la eficiencia de acoplamiento óptico como resultado de la desalineación de la fuente de luz 122, el colimador 124, el condensador 126 y/o la fibra óptica 170.

El subsistema de iluminación 120 puede ser un componente autónomo o estar integrado en una consola quirúrgica 110. El cirujano puede utilizar la consola quirúrgica 110 para controlar uno o varios parámetros asociados con el procedimiento quirúrgico oftálmico. La consola quirúrgica 110 puede incluir el subsistema de iluminación 120, un subsistema de fluidos 130, un dispositivo de cálculo 140 y un subsistema de sonda 150. Uno o varios componentes de la consola quirúrgica 110 pueden estar acoplados a y/o dispuestos dentro de un alojamiento de base 112. El alojamiento de base 112 puede ser móvil de modo que pueda colocarse próximo al paciente durante el procedimiento quirúrgico oftálmico. El alojamiento de base 112 puede incluir líneas de suministro neumáticas, ópticas, de fluido y/o eléctricas que faciliten la comunicación entre los componentes del sistema de iluminación oftálmica 100.

El dispositivo de cálculo 140 puede estar configurado para transmitir señales de control a y/o recibir señales de entrada o estado desde uno o componentes del sistema de iluminación oftálmica 100, tal como el dispositivo de infusión 132, la sonda 152 y/o el instrumento quirúrgico 160. Por ejemplo, el dispositivo de cálculo 140 puede controlar la activación y desactivación de la fuente de luz 122, así como la intensidad, longitud de onda y/u otras características de la luz proporcionada por la fuente de luz 122. A este respecto, la fuente de luz 122 y/o el subsistema de iluminación 120 pueden estar en comunicación eléctrica con el dispositivo de cálculo 140. El dispositivo de cálculo 140 puede incluir un circuito de procesamiento con un procesador 142 y una memoria 144. El procesador 142 puede ejecutar instrucciones informáticas, tales como las almacenadas en la memoria 144, para controlar diversos subsistemas y sus herramientas quirúrgicas asociadas. El procesador 142 puede ser un controlador de dispositivo específico y/o un microprocesador. La memoria 144, tal como una memoria de semiconductor, RAM, FRAM o memoria flash, puede establecer una interfaz con el procesador 142. Así, el procesador 142 puede escribir en y leer desde la memoria 144, y realizar otras funciones comunes asociadas con la gestión de la memoria 144. El circuito de procesamiento del dispositivo de cálculo 140 puede ser un circuito integrado con clavijas de alimentación, entrada y salida que pueden realizar funciones lógicas. El dispositivo de cálculo 140 puede estar en comunicación con un dispositivo de visualización 146 que muestre datos relativos al funcionamiento y rendimiento del sistema durante un procedimiento quirúrgico oftálmico.

El subsistema de fluidos 130 puede estar en comunicación eléctrica con el dispositivo de cálculo 140. El subsistema de fluidos 130 puede incluir diversos componentes que faciliten el funcionamiento de un dispositivo de infusión 132, tal como el inicio/parada, velocidad, presión, volumen de fluido. El dispositivo de infusión 132 puede proporcionar fluido al ojo del paciente para mantener la presión intraocular durante el procedimiento quirúrgico oftálmico. El dispositivo de infusión 132 puede estar en comunicación de fluido y/o eléctrica con el subsistema de fluidos 130.

El subsistema de sonda 150 puede estar en comunicación eléctrica con el dispositivo de cálculo 140. El subsistema de sonda 150 puede incluir diversos componentes que faciliten el funcionamiento de la sonda 152. El cirujano puede utilizar la sonda 152 dentro del campo quirúrgico 180 para realizar una o varias maniobras quirúrgicas. Por ejemplo, la sonda 152 puede ser una sonda de corte, una sonda de vitrectomía, una sonda de facoemulsificación, una sonda de láser, una sonda de ablación, una sonda de vacío, una sonda de lavado, tijeras, fórceps, un dispositivo de aspiración y/u otro dispositivo quirúrgico adecuado. La sonda 152 puede estar en comunicación mecánica, eléctrica, neumática, de fluido y/u otra comunicación adecuada con el subsistema de sonda 150.

En las figuras 2A, 2B y 2C pueden ilustrarse partes del sistema de iluminación oftálmica 100, incluyendo el subsistema de iluminación 120 y la fibra óptica 170. Las figuras 2A, 2B y 2C pueden ilustrar una vista en sección transversal de la fibra óptica 170. La fibra óptica 170 puede incluir un núcleo 202, un revestimiento 204 y un recubrimiento 206. El núcleo 202 puede ser un cilindro de vidrio, plástico, sílice, borosilicato y/u otro material adecuado a través del que se propaga la luz. El revestimiento 204 puede rodear el núcleo 202 y confinar la luz dentro del núcleo 202. El revestimiento 204 puede incluir un material dieléctrico con un índice de refracción menor que el índice de refracción del núcleo 202. El recubrimiento 206 puede rodear el revestimiento 204 y proteger la fibra óptica 170 de un daño físico.

El condensador 126 puede dirigir el haz enfocado 127 sobre la parte proximal 172 de la fibra óptica 170. El núcleo 202 dentro de la parte proximal 172 de la fibra óptica 170 puede incluir una sección estrechada 210. Por ejemplo, el condensador 126 puede dirigir el haz enfocado 127 sobre la sección estrechada 210, como se ilustra en las figuras 2A y 2B. A este respecto, el diámetro y el área de sección transversal del núcleo 202 dentro de la sección estrechada 210 pueden disminuir distalmente a lo largo de la fibra óptica 170. El núcleo 202 puede incluir una abertura de entrada 212 ubicada en el extremo más proximal de la fibra óptica 170. La abertura de entrada 212 puede ser una parte del núcleo 220. Por ejemplo, la abertura de entrada 212 puede ser una cara proximal del núcleo 202 que establece una interfaz con el haz condensado 127. La abertura de entrada 212 puede ser una parte de la sección estrechada 210. La abertura de entrada 212 puede tener un diámetro 214, ilustrado en las figuras 2A y 2C. El diámetro 214 de la abertura de entrada 212 y/o el diámetro 215 de una sección 211 puede ser el mayor diámetro del núcleo 202 a lo largo de una longitud 208 de la fibra óptica 170. El haz condensado 127 puede acoplarse ópticamente en la fibra óptica 170 en la abertura de entrada 212. Por ejemplo, el punto de haz 129 puede centrarse de manera ideal dentro de la abertura de entrada 212. La sección estrechada 210 puede ser similar a un embudo con un diámetro aumentado para recibir el haz condensado 127. Ventajosamente, la sección estrechada 210 puede estar dimensionada y conformada para permitir una eficiencia de acoplamiento elevada adaptándose a la desalineación del punto de haz 129 y/o haz condensado 127.

Como se ilustra en la figura 2C, el núcleo 202 dentro de la parte proximal 172 de la fibra óptica 170 puede incluir una sección 211 con un tamaño y una forma constantes. Por ejemplo, la sección 211 puede ser una sección recta, no estrechada. El condensador 126 puede dirigir el haz enfocado 127 sobre la sección 211. La sección 211 puede estar colocada proximalmente con respecto a la sección estrechada 210. La abertura de entrada 212 puede ser una parte de la sección 211. La sección 211 puede tener un diámetro 215 y una longitud 217. El diámetro 215 de la sección 211 puede ser sustancialmente igual al diámetro 214 de la abertura de entrada 212. El diámetro 215 y el área de sección transversal de la sección 211 pueden permanecer constantes a lo largo de la longitud 217 de la fibra óptica 170. La longitud 217 puede relacionarse con el diámetro 215 mediante una relación matemática. Por ejemplo, la razón de la longitud 217 y el diámetro 215 puede ser mayor de mil. Cuando la longitud 217 y el diámetro 215 satisfacen esta relación, la luz dentro de la fibra óptica 170 puede dispersarse lateralmente a medida que la luz ocupa lateralmente el núcleo 202. Por tanto, la luz puede homogeneizarse espacialmente dentro de la sección 211, antes de que la luz se encuentre con la región estrechada 210. Esto puede ocurrir incluso con una desalineación del punto de haz 129 y/o los componentes del subsistema de iluminación 120 porque la longitud 217 es suficientemente grande para permitir que la luz se disperse lateralmente y se homogenice espacialmente dentro de la sección 211. Por tanto, ventajosamente, la transmitancia de la luz a través de la sección estrechada 210 puede no verse afectada por la desalineación del punto de haz 129 y/o los componentes del subsistema de iluminación 120 porque la luz pasa a través de la sección 211 antes de que se encuentre con la sección estrechada 210.

El núcleo 202 dentro de la parte central 176 de la fibra óptica 170 incluye una sección 220 con un tamaño y una forma constantes. Por ejemplo, la sección 220 puede ser una sección recta, no estrechada. La sección 220 tiene un diámetro 224. El diámetro 224 y el área de sección transversal de la sección 220 permanecen constantes a lo largo de la parte central 176 de la fibra óptica 170.

El núcleo 202 dentro de la parte distal 174 de la fibra óptica 170 puede incluir una sección estrechada 230. A este respecto, el diámetro y el área de sección transversal del núcleo 202 dentro de la sección estrechada 230 pueden disminuir distalmente a lo largo de la fibra óptica 170. La sección estrechada 230 puede terminar en una punta 232 en el extremo más distal de la fibra óptica 170. La luz emitida 162 puede proporcionarse al campo quirúrgico 180 a través de la punta 232. La punta 232 puede tener un diámetro 234. La sección estrechada 230 puede incluir un estrechamiento de borosilicato, por ejemplo. La sección estrechada 230 puede estar configurada para proporcionar la luz emitida 162 con una dispersión angular relativamente grande o relativamente pequeña para iluminar el campo quirúrgico 180. El revestimiento 204 en la sección estrechada 230 puede estar quitado de la fibra óptica 170 en algunos ejemplos. El núcleo 202 dentro de la parte distal 174 de la fibra óptica 170 puede tener un tamaño y una forma constantes en algunos ejemplos. Por ejemplo, el núcleo 202 dentro de la parte distal 174 puede ser una sección recta, no estrechada. El núcleo 202 dentro de la parte distal 174 puede tener un diámetro que aumente distalmente a lo largo de la fibra óptica 170, en algunos ejemplos. Por ejemplo, el núcleo 202 puede ser una sección estrechada con un diámetro creciente. El núcleo 202 dentro de la parte distal 174 de la fibra óptica 170 puede incluir una sección de propagación en lugar o además de la sección estrechada 230 en algunos ejemplos. La punta 232 puede tener un tamaño y una forma variados, incluyendo una forma cónica, forma esférica y/u otra forma adecuada, para facilitar que se proporcione la luz emitida 162 dentro del campo quirúrgico 180 con la dispersión angular deseada.

El diámetro del núcleo 202 puede variar entre la parte proximal 172, la parte central 176 y la parte distal 174 de la fibra óptica 170. El diámetro 224 dentro de la sección 220 puede describirse en general como d_{fibra} . Por ejemplo, el valor de d_{fibra} puede estar entre aproximadamente 10 μm y aproximadamente 100 μm , entre aproximadamente 10 μm y aproximadamente 50 μm , entre aproximadamente 20 μm y aproximadamente 30 μm , incluyendo valores tales como 20 μm , 22 μm , 25 μm , 27 μm , 30 μm , y/u otros valores adecuados, mayores y menores. El diámetro 214 de la abertura de entrada 212 es un múltiplo del diámetro 224 y se describe en general como $N \cdot d_{fibra}$. Por tanto, el parámetro N puede describir el mayor tamaño de la abertura de entrada 212 con respecto al diámetro 224 de la parte central 176. El valor del parámetro N puede estar entre 1 y 10, entre 1 y 5, entre 2 y 4, incluyendo, valores tales como 2, 2,5, 3,

3,1, 3,3, 4, y/u otros valores adecuados, mayores y menores. El valor del parámetro N puede seleccionarse para conseguir una transmisión mejorada de luz desalineada al tiempo que ventajosamente se conserva un diámetro relativamente pequeño (por ejemplo, el diámetro 214) para la fibra óptica 170. El diámetro relativamente pequeño de la fibra óptica 170 puede permitir que la fibra óptica 170 se integre ventajosamente en diversos instrumentos quirúrgicos (por ejemplo, el instrumento quirúrgico 160). El diámetro 215 de la sección 211 (figura 2C) puede ser sustancialmente igual al diámetro 214 de la abertura de entrada 212. El diámetro de la sección estrechada 210 dentro de la parte proximal 172 puede disminuir distalmente desde $N \cdot d_{fibra}$ en la abertura de entrada 212 o la sección 211, hasta d_{fibra} en la parte central 176. El diámetro 234 de la punta 232 puede ser de cualquier tamaño adecuado igual a o menor que d_{fibra} del diámetro 224. El diámetro 234 de la punta 232 también puede ser mayor que d_{fibra} del diámetro 224 en algunos ejemplos. El valor del diámetro 234 de la punta 232 puede estar entre aproximadamente $1 \mu m$ y aproximadamente d_{fibra} del diámetro 224, y/u otros valores adecuados, mayores y menores. El diámetro de la sección estrechada 230 dentro de la parte distal 174 puede disminuir distalmente desde d_{fibra} en la parte central 176 hasta el diámetro 234 en la punta 232. Por tanto, el diámetro del núcleo 202 dentro de la parte proximal 172 puede ser mayor que el diámetro del núcleo 202 en la parte central 176 y la parte distal 174. El diámetro del núcleo 202 dentro de la parte central 176 puede ser mayor que el diámetro del núcleo 202 en la parte distal 174.

La fibra óptica 170 puede tener cualquier longitud adecuada 208. Por ejemplo, la longitud 208 puede estar entre aproximadamente 0,1 m y aproximadamente 3 m, entre aproximadamente 1 m y 3 m, entre aproximadamente 2,5 m y 2,6 m, incluyendo valores tales como 2,5 m, 2,55 m, 2,6 m, y/u otros valores adecuados, mayores y menores. La sección estrechada 210 de la parte proximal 172 puede tener una longitud 216. La longitud 216 puede ser cualquier longitud adecuada. Para una transmitancia máxima de luz a través de la sección estrechada 210 a la sección 220, el estrechamiento puede ser gradual. Por ejemplo, la forma de la sección estrechada 210, el ángulo del estrechamiento y/o la longitud 216 pueden seleccionarse para proporcionar un estrechamiento gradual. Por ejemplo, la longitud 216 de la sección estrechada 210 de la parte proximal 172 puede ser cualquier valor igual a o mayor que aproximadamente cien veces la diferencia entre el diámetro 214 y el diámetro 224. Por ejemplo, el diámetro 224 puede ser de 25 micras y el diámetro 214 puede ser de 75 micras (por ejemplo, el parámetro N multiplicado por el diámetro 224, con $N = 3$, o $3 \cdot 25 \mu m$). Para un rendimiento máximo, la longitud 216 puede ser cualquier longitud mayor de 5 mm (por ejemplo, $100 \cdot 75 \mu m - 25 \mu m$). La sección 220 dentro de la parte central 176, que tiene una forma constante, puede tener cualquier longitud adecuada 226. Por ejemplo, la longitud 226 puede estar entre aproximadamente 10 mm y aproximadamente 1000 mm, entre aproximadamente 50 mm y aproximadamente 500 mm, entre aproximadamente 100 mm y aproximadamente 200 mm, incluyendo valores tales como 100 mm, 125 mm, 145 mm, 150 mm, 166 mm, 200 mm, y/u otros valores adecuados mayores y menores. La sección estrechada 230 de la parte distal 174 puede tener cualquier longitud adecuada 236. Por ejemplo, la longitud 236 puede estar entre aproximadamente 5 micras y aproximadamente 1000 micras, entre aproximadamente 5 micras y 500 micras, entre aproximadamente 10 micras y 100 micras, incluyendo valores tales como 10 micras, 25 micras, 50 micras, 66 micras, 100 micras, y/u otros valores adecuados mayores y menores. La razón del diámetro de núcleo/revestimiento puede permanecer constante o cambiar a lo largo de la longitud 216 de la sección estrechada 210 y/o la longitud 236 de la sección estrechada 230.

Con referencia ahora a la figura 2B, el condensador 126 puede estar configurado para enfocar el haz condensado 127 en el punto de haz 129. El punto de haz 129 puede estar centrado de manera ideal dentro del puerto 129 y/o dentro de la abertura de entrada 212 de la fibra óptica 170. Como se describe en el presente documento, la abertura de entrada 212 puede tener un tamaño y una forma para adaptarse a la desalineación angular o lateral del punto de haz 129 para conservar el acoplamiento óptico eficiente del haz condensado 127 en la fibra óptica 170. El punto de haz 129 puede tener una difracción limitada. El punto de haz 129 puede tener un diámetro 244. El valor del diámetro 244 puede estar entre aproximadamente $1 \mu m$ y aproximadamente $30 \mu m$, entre $1 \mu m$ y aproximadamente $20 \mu m$, $2 \mu m$ y aproximadamente $15 \mu m$, incluyendo valores tales como $2 \mu m$, $8 \mu m$, $12 \mu m$, $15 \mu m$, y/u otros valores adecuados mayores y menores.

El haz luminoso que se origina desde la fuente de luz 122 puede caracterizarse por su dispersión angular o divergencia en diversas ubicaciones dentro del trayecto óptico entre la fuente de luz 122 y el campo quirúrgico 180 (figura 1). Una medida de la dispersión angular puede ser la apertura numérica ("NA"). Formalmente, $NA = \sin(\text{mitad ángulo de cono})$. Por tanto, el haz luminoso dentro del sistema de iluminación oftálmica 100 puede caracterizarse por la apertura numérica NA_{haz} . Con referencia a la figura 2B, las descripciones matemáticas 270 (figura 2B), que se comentarán en más detalle más abajo, describen NA_{haz} en diversas ubicaciones dentro del sistema de iluminación oftálmica 100. La fibra óptica 170 también puede caracterizarse por una dispersión angular o apertura numérica NA_{fibra} que describe los ángulos de luz que pueden aceptarse y transmitirse por la fibra óptica 170. La NA_{fibra} puede ser una característica fija para una fibra óptica dada 170. Diferentes fibras pueden tener diferentes NA. La fibra óptica 170 puede tener cualquier apertura numérica adecuada NA_{fibra} , incluyendo una NA_{fibra} entre aproximadamente 0,1 y aproximadamente 0,9, entre aproximadamente 0,1 y aproximadamente 0,8, entre aproximadamente 0,1 y aproximadamente 0,7, incluyendo valores tales como 0,12, 0,22, 0,26, 0,30, 0,37, 0,44, 0,48, 0,50, 0,63, 0,66, y/u otros valores adecuados mayores y menores. La NA_{fibra} puede seleccionarse de modo que la fibra óptica 170 transmita luz con la dispersión angular deseada. Cuando el haz luminoso tiene una apertura numérica NA_{haz} menor que o igual a la apertura numérica NA_{fibra} , el haz luminoso puede transmitirse por la fibra óptica 170 con pérdidas de mínimas a nulas. Con referencia a la figura 2B, cuando el haz luminoso tiene una apertura numérica NA_{haz} dentro de la fibra óptica 170 mayor que la apertura numérica

NA_{fibra} , una parte (por ejemplo, los rayos de ángulo superior) del haz luminoso puede perderse en el revestimiento 204. Otra parte (por ejemplo, los rayos de ángulo inferior) del haz luminoso que tiene una apertura numérica NA_{haz} menor que o igual a la apertura numérica NA_{fibra} puede transmitirse por la fibra óptica 170. A este respecto, NA_{haz} dentro del trayecto óptico entre la fuente de luz 122 y el campo quirúrgico 180 puede relacionarse con la NA_{fibra} . El haz luminoso en diversos puntos dentro del sistema de iluminación oftálmica 100 también puede caracterizarse por un diámetro de haz. En general, dentro de la fibra óptica 170, el diámetro de haz del haz luminoso puede ser igual al diámetro de la fibra óptica. El diámetro de haz y la apertura numérica NA_{haz} pueden elegirse para ocupar la fibra óptica 170 con luz para una transmisión eficiente al campo quirúrgico 180.

Una relación matemática puede describir la dispersión angular y el diámetro de haz de la luz transmitida por la fibra óptica 170. Por ejemplo, el producto de la dispersión angular, tal como la NA_{haz} , y el diámetro de haz puede ser constante. Es decir, la dispersión angular y el diámetro de haz pueden tener una relación recíproca. Por tanto, a medida que disminuye el diámetro de haz, aumenta la dispersión angular y viceversa. Por ejemplo, dentro de la región estrechada 210, a medida que disminuye el diámetro de haz (porque disminuye el diámetro del núcleo 202), la dispersión angular de la luz puede aumentar de manera correspondiente. De manera similar, dentro de la región estrechada 230, puede aumentar la dispersión angular de la luz a medida que disminuye el diámetro de haz y el diámetro del núcleo 202.

Las descripciones matemáticas 270 de la dispersión angular o la NA_{haz} en diversos puntos 254, 256 y 258 dentro del sistema de iluminación oftálmica 100 pueden ilustrarse en la figura 2B. El condensador 126 está configurado para dirigir el haz condensado 127 a la fibra óptica 170 de modo que la NA_{haz} dentro de la fibra óptica 127 no supere la NA_{fibra} . A este respecto, la NA_{haz} del haz condensado 127 se basa en el diámetro 214 de la abertura de entrada 212. La NA_{haz} del haz condensado 127 se basa en el parámetro N . Como se describió anteriormente, el diámetro 214 de la abertura de entrada 212 también puede relacionarse con el parámetro N . El condensador 126 puede estar configurado para enfocar el haz condensado 127 de modo que el haz condensado 127 tenga una dispersión angular basada en el diámetro 214 de la abertura de entrada 212. El punto 254 puede ubicarse en el punto de haz 129, donde el haz condensado 127 establece una interfaz con la abertura de entrada 212. Como se muestra mediante la relación matemática 270 en el punto 254, el condensador 126 está configurado para enfocar el haz condensado 127 de modo

que $NA_{haz} = \frac{NA_{fibra}}{N}$. El haz condensado 127 puede acoplarse en la fibra óptica 170 en la abertura de entrada 212 con un diámetro $N \cdot d_{fibra}$. La NA_{haz} aumenta por un factor del parámetro N dentro de la región estrechada 210 a medida que disminuye el diámetro de 202 por un factor del parámetro N . Por tanto, el condensador 126 que enfoca el

haz condensado 127 con $NA_{haz} = \frac{NA_{fibra}}{N}$ puede considerar el aumento en la dispersión angular o NA_{haz} dentro de la región estrechada 210. Por consiguiente, como se muestra mediante la relación matemática 270 en el punto 256, dentro de la parte central 176 de la fibra óptica 170, el haz luminoso tiene $NA_{haz} = NA_{fibra}$. Como se comentó anteriormente, se produce una transmisión óptica eficiente dentro de la fibra óptica 170 cuando $NA_{haz} = NA_{fibra}$. La NA_{haz} aumenta dentro de la región estrechada 230 a medida que disminuye el diámetro del núcleo 202 dentro de la parte distal 176. La punta 232 también puede tener un tamaño y una forma para propagar o aumentar la dispersión angular del haz luminoso. Como se muestra mediante la relación matemática 270 en el punto 258, la fibra óptica 170 puede estar configurada para proporcionar la luz emitida 162 con $NA_{haz} \gg NA_{fibra}$.

El condensador 126 puede tener una longitud focal efectiva 246. La longitud focal efectiva 246 puede ser una descripción de la distancia que recorre el haz condensado 127 entre el condensador 126 y el punto de haz 129. Unos espejos plegables, divisores del haz y/u otros componentes ópticos pueden disponerse en el trayecto óptico entre la fuente de luz 122 y la fibra óptica 170, incluyendo entre el condensador 126 y la fibra óptica 170. El valor de la longitud focal efectiva 246 puede estar entre aproximadamente 5 mm o menor y 150 mm o mayor, incluyendo valores entre 8 mm y 50 mm. El condensador 126 puede estar colocado de modo que tenga la longitud focal efectiva 246 basada en el diámetro 214 de la abertura de entrada 212 de la parte proximal 172 de la fibra óptica 170.

La figura 3 ilustra una disposición que incluye una fibra óptica 310 y un condensador 320. A diferencia de la fibra óptica 170 de las figuras 1, 2A y 2B, la fibra óptica 310 de la figura 3 no incluye una sección proximal estrechada. Más bien, las partes proximal y central de la fibra óptica 310 tienen un diámetro constante 312. El haz colimado 330 puede enfocarse por el condensador 320. Un punto 384 identifica una ubicación dentro de la disposición de la figura 3 donde un haz condensado 340 se encuentra con la fibra óptica 310. Como se muestra mediante la relación matemática 370 en el punto 384, el haz condensado 340 puede tener $NA_{haz} = NA_{fibra}$. La NA_{haz} cuando el haz condensado establece una interfaz con la fibra óptica puede ser menor, por un factor del parámetro N en la figura 2B (punto 254), comparado con la figura 3 (punto 384). La luz dentro de la fibra óptica 310 de la figura 3 también tiene $NA_{haz} = NA_{fibra}$. La relación matemática 370 en el punto 386 ilustra que la luz emitida 350 puede tener $NA_{haz} \gg NA_{fibra}$. El condensador 320 tiene una longitud focal efectiva 380.

Con referencia de nuevo a la figura 2B, la longitud focal efectiva 246 del condensador 126 puede ser relativamente mayor que la longitud focal efectiva 380 (figura 3), para diámetros iguales del haz colimado 125 (figura 2B) y el haz

colimado 330 (figura 3). Por ejemplo, la longitud focal efectiva 246 puede ser mayor que la longitud focal efectiva 380 por un factor del parámetro N . A este respecto, la longitud focal efectiva 246 puede basarse en el parámetro N también asociado con el diámetro 129 de la abertura de entrada 212. La longitud focal efectiva relativamente mayor 246 puede permitir que se reduzca la NA_{haz} por un factor del parámetro N , en el punto 254. El haz condensado 127 puede acoplarse en la fibra óptica 170 en el punto 254. La longitud focal efectiva 246 del condensador 126 puede estar configurada para tener una longitud focal efectiva relativamente mayor 246 porque la fibra óptica 170 incluye la sección estrechada 210.

Con referencia a la figura 2B, en los gráficos 260 puede ilustrarse la forma del haz luminoso en los puntos 252, 254, 256 y 258. A este respecto, los gráficos 260 incluyen el perfil de sección transversal de la irradiación del haz luminoso en el eje y , y la posición radial desde el centro del haz luminoso en el eje x . El haz luminoso ilustrado puede ser en general gaussiano en todos los puntos 252, 254, 256 y 258. El haz luminoso puede estar configurado para tener cualquier forma de haz adecuada, tal como mediante el uso de un conformador del haz colocado en cualquier punto dentro del trayecto óptico entre la fuente de luz 122 y el campo quirúrgico 180. Por ejemplo, el haz luminoso puede tener un perfil del haz de parte superior plana u otra forma deseada. El punto de haz de diámetro pequeño, relativamente estrecho 129 puede ilustrarse mediante el perfil gaussiano relativamente estrecho del gráfico 260 en el punto 254. Los gráficos 360 de la figura 3 ilustran de manera similar la forma del haz luminoso en los puntos 382, 384, 386 en la disposición del condensador 320 y la fibra óptica 310. Comparado con el punto de haz de diámetro pequeño, relativamente estrecho 129 (figura 2B), el perfil gaussiano del gráfico 360 en el punto 254 puede ser relativamente más ancho, lo que indica un punto de haz de diámetro relativamente mayor.

Con referencia de nuevo a las figuras 2A y 2B, la presente divulgación puede mejorar el rendimiento del sistema de iluminación oftálmica 100, tal como disminuyendo la sensibilidad de la fibra óptica 170 a la desalineación de la fuente de luz 122, el colimador 124, el condensador 126 y/o la fibra óptica 170 que se produce tras el ensamblaje del sistema de iluminación oftálmica 100. Los factores que influyen en la sensibilidad angular pueden incluir: (1) el diámetro del haz luminoso colimado 125 al condensador 126; (2) un diámetro de núcleo de tolerancia de la fibra óptica 170; y (3) la relación matemática $NA_{haz} = NA_{fibra}$ para una propagación eficiente de luz a través de la fibra óptica 170. A veces puede resultar difícil cambiar estos tres factores, lo que hace que la sensibilidad a la desalineación óptica siga siendo elevada. Por ejemplo, el diámetro del haz colimado 330 puede fijarse por el diseño de una fuente de luz y un colimador en algunos casos.

Con referencia a las figuras 2A y 2B, la presente divulgación describe el aumento del diámetro del núcleo 202 (por ejemplo, dentro de la sección estrechada 210) y la disminución de la NA_{haz} del haz condensado 127 por un factor del parámetro N . Estos cambios pueden tener un impacto positivo en el sistema de iluminación oftálmica 100 disminuyendo la sensibilidad a la desalineación óptica. Por tanto, ventajosamente, puede ser menos probable que la eficiencia de acoplamiento se disminuya y/o disminuya por una cantidad menor como resultado de una desalineación angular o lateral. Un parámetro de sensibilidad angular θ_N puede caracterizarse como el ángulo máximo fuera del eje del haz colimado 125 al condensador 126 antes de que empiecen a producirse pérdidas significativas de eficiencia de acoplamiento de la fibra. Un θ_N mayor corresponde a un sistema más tolerante para la desalineación óptica porque los ángulos fuera del eje mayores pueden acoplarse de manera eficiente en la fibra óptica 170. En general, la descripción en el presente documento utiliza algunas cantidades de ejemplo específicas de modo que algunos cálculos puedan entenderse más fácilmente. Las cantidades específicas pueden ser sólo a modo de ejemplo. Puede utilizarse cualquier valor adecuado en diferentes ejemplos.

Como aproximación, θ_N puede venir dado por:

$$\theta_N = \frac{D_N - d_N}{2f_N},$$

donde D_N indica el diámetro de núcleo de tolerancia para N , d_N indica el diámetro 244 del punto de haz 129 del haz condensado 127 y f_N indica la longitud focal efectiva 246 para N . Algunas de estas variables pueden ilustrarse gráficamente en la figura 4. A este respecto, la figura 4 puede ilustrar vistas de frente del punto de haz 129, un núcleo de tolerancia 410 y diferentes posiciones 432, 434, 436 y 438 de una abertura de entrada de una fibra óptica. El punto de haz 129 puede tener el diámetro 244. Las diferentes posiciones 432, 434, 436 y 438 pueden representar la alineación de la cara proximal o abertura de entrada de la fibra óptica con respecto a un alojamiento o un haz condensado. Las diferentes posiciones 432, 434, 436 y 438 pueden resultar de las tolerancias de fabricación de la fibra óptica, el alojamiento y/o el puerto que facilita el acoplamiento entre la fibra óptica y el alojamiento. La repetición del posicionamiento exacto de la fibra óptica puede ser difícil dadas las tolerancias de fabricación de la fibra óptica, el alojamiento y/o el puerto. Como se muestra, algunas partes de la abertura de entrada en las diferentes posiciones 432, 434, 436 y 438 pueden solaparse mientras que otras no lo hacen. Un diámetro 420 del núcleo de tolerancia 410 puede representar la alineación consistente de una parte de la abertura de entrada, con respecto a un haz condensado, en cada una de las posiciones 432, 434, 436, 438. A este respecto, la abertura de entrada en cada una de las posiciones 432, 434, 436 y 438 puede tener un diámetro 430. Cada una de las posiciones 432, 434, 436 y 438 también puede tener una incertidumbre o error asociado con la misma, lo que se indica mediante la longitud 440. En general, el diámetro 420 del núcleo de tolerancia 410 puede ser la diferencia del diámetro 430 de las aberturas de entrada y la

longitud 440 que representa la incertidumbre de posición de las fibras ópticas. A pesar del diámetro relativamente mayor 430 de la abertura de entrada, el diámetro 420 del núcleo de tolerancia 410 puede ser relativamente pequeño. Por ejemplo, el diámetro 420 del núcleo de tolerancia 410 puede ser de 7 µm para una fibra óptica con un diámetro de núcleo real de 25 µm.

Como aproximación, la longitud focal efectiva f_N para una N general puede relacionarse con la longitud focal efectiva f_1 para $N = 1$ por $f_N = N \cdot f_1$. A este respecto, $N = 1$ puede corresponder a la disposición de la figura 3, en la que la fibra óptica no incluye una parte proximal estrechada.

Como aproximación, el diámetro del punto de haz d_N para una N general puede relacionarse con el tamaño del punto de haz d_1 para $N = 1$ por $d_N = N \cdot d_1$. A este respecto, el diámetro del punto de haz de difracción limitada (y en general, sin difracción limitada) puede ser proporcional a la longitud focal efectiva f_N del condensador y por tanto proporcional al parámetro N . A medida que aumenta la longitud focal efectiva f_N con una N creciente, también aumenta el diámetro del punto de haz d_N . Para un condensador bien diseñado desde el punto de vista óptico con $N = 1$, el diámetro del punto de haz puede ser, en el peor de los casos, sólo ligeramente mayor que el tamaño del punto de difracción limitada.

Como se describe en el presente documento, un ejemplo de un diámetro de núcleo de tolerancia D_N , en micras o µm, puede ser $D_N = 25N - 18$. El término del ejemplo "25N" representa el diámetro de núcleo real de la abertura de entrada de la fibra óptica, representado por el diámetro 430 en la figura 4. El ejemplo de 18 µm corresponde a la incertidumbre en la posición y/o alineación del núcleo de fibra óptica, representada por la longitud 440 en la figura 4. La fibra óptica 170 puede tener cualquier diámetro de núcleo adecuado, siendo 25 µm un ejemplo. Como se indica mediante la descripción matemática de D_N , el diámetro de núcleo real de la abertura de entrada aumenta por un factor de N mientras que la incertidumbre posicional sigue siendo constante. Por tanto, el diámetro de núcleo de tolerancia, que representa la parte del núcleo de fibra óptica situada de manera consistente para recibir el haz condensado, aumenta significativamente con N . Por ejemplo, cuando $N = 1$, $D_N = 7$ µm, y cuando $N = 3$, $D_N = 57$ µm. Como se muestra con este ejemplo, el diámetro de núcleo de tolerancia D_N aumenta por un factor de aproximadamente ocho mientras que el parámetro N aumenta por un factor de tres. Este aumento rápido en el diámetro de núcleo de tolerancia D_N con el parámetro N facilita una mayor tolerancia de la desalineación óptica en el sistema de iluminación oftálmica 100. A este respecto, el diámetro de núcleo de tolerancia D_N aumenta con una N creciente más rápido de lo que aumentan el diámetro del punto de haz d_N y la longitud focal efectiva f_N . Como se muestra en el cálculo más abajo, como el diámetro de núcleo de tolerancia D_N aumenta más rápido que el diámetro del punto de haz d_N y la longitud focal efectiva f_N , también aumenta el parámetro de sensibilidad angular θ_N o el ángulo máximo fuera del eje que mantiene el acoplamiento eficiente.

La sustitución de los valores para f_N , d_N y D_N en la fórmula para θ_N arroja:

$$\theta_N = \frac{(25N-18)-(Nd_1)}{2(Nf_1)}.$$

Para $N = 1$, que indica una disposición similar a la ilustrada en la figura 3, $\theta_1 = \frac{7-d_1}{2f_1}$. Puede calcularse θ_1 identificando los valores de d_1 y f_1 . El diámetro del punto de haz de media cuadrática (RMS) del haz condensado 340 desde el condensador 320 o d_1 puede ser de 2,58 µm, por ejemplo. La longitud focal efectiva 380 o f_1 puede calcularse basándose en una disposición del condensador 320 mostrada en la figura 5. A este respecto, la longitud focal efectiva 380 puede describirse mediante $f_1 = \frac{a}{\tan \beta}$. Un radio a puede describir el radio del haz colimado 330. Por ejemplo, el radio a puede ser igual a 2,65 mm. El ángulo β puede ser el ángulo de rayo marginal en el punto $1,3 \times 1/e^2$. El ángulo β puede ser de 17,9°, por ejemplo. Insertando estos valores para el radio a y el ángulo β en la ecuación anterior, puede calcularse f_1 o la longitud focal efectiva 380 para que sea 8,20 mm u 8200 µm. La disposición de la figura 5 incluye un divisor del haz 530, que dirige el haz condensado 340 según sea necesario dadas las limitaciones físicas de un alojamiento.

Insertando los valores de ejemplo para d_1 y f_1 en la ecuación anterior para $\theta_1 = \frac{7-2,58}{2(8200)} = 0,270 \text{ mrad} = 0,015^\circ$.

Con referencia a la figura 3, $\theta_1 = 0,015^\circ$ puede describir el ángulo máximo fuera del eje del haz colimado 330 al condensador 320 antes de que empiecen a producirse pérdidas significativas de eficiencia de acoplamiento de la fibra. La fibra óptica 310 puede tener un diámetro de núcleo de tolerancia de 7 µm para un diámetro de núcleo real 312 de 25 µm. La óptica de iluminación ilustrada en la figura 3 puede tener una transmitancia $\geq 72\%$ (tolerancias de fabricación incluidas), incluyendo la energía envuelta por la difracción a través del diámetro de núcleo de tolerancia de 7 µm y la transmitancia a través de la apertura numérica angular de la fibra óptica 310. Un error angular máximo fuera del eje permitido de un haz colimado 330 a un condensador 320 de 0,0134° da como resultado una caída en la energía envuelta por la difracción a través del diámetro de núcleo de tolerancia de 7 µm del 90% a 650 nm. El $\theta_1 = 0,015^\circ$

calculado puede ser aproximadamente igual al valor teórico de 0,0134° calculado mediante trazado de rayos ópticos utilizando una aplicación de software, tal como Zemax.

Un factor de calidad $r_N = \frac{\theta_N}{\theta_1}$ puede evaluar la efectividad con la que el sistema oftálmico 100 de las figuras 1, 2A, 2B, con $N > 1$, se adapta a la desalineación óptica al tiempo que se mantiene una eficiencia de acoplamiento elevada. El factor de calidad r_N compara el ángulo máximo fuera del eje que mantiene el acoplamiento óptico para $N > 1$ con el ángulo máximo fuera del eje de $N = 1$. Más específicamente,

$$r_N = \frac{\theta_N}{\theta_1} = \frac{\frac{(25N-18)-(Nd_1)}{2(Nf_1)}}{\frac{7-d_1}{2f_1}} = \frac{25-d_1}{7-d_1} - \frac{18}{N(7-d_1)}.$$

El primer término de r_N puede ser constante con N y depender sólo de d_1 . El segundo término puede depender de N y disminuir con un aumento de N para $d_1 < 7 \mu\text{m}$. En el límite de $N = \infty$, r_N se aproxima asintóticamente al primer término.

Los valores de r_N para N y d_1 variables pueden tabularse en el diagrama 600 de la figura 6. Los valores del diagrama 600 indican una disminución ventajosa en la sensibilidad angular tras la alineación del sistema de iluminación oftálmica 100. A este respecto, r_N puede describir un múltiplo por el que aumenta el ángulo máximo fuera del eje que mantiene el acoplamiento óptico eficiente, con $N > 1$, con respecto a la disposición de la figura 3, con $N = 1$. Por ejemplo, dado

un diámetro del punto de haz RMS d_1 igual a $2,58 \mu\text{m}$, entonces, suponiendo que d_1 es igual a $3 \mu\text{m}$, $r_N = 3,25$ para $N = 2$. Es decir, el ángulo máximo fuera del eje que mantiene un acoplamiento óptico eficiente puede aumentarse por un factor de 3,25 cuando $N = 2$. Tal sistema puede ser más tolerante a la desalineación óptica debido al acoplamiento eficiente de los ángulos fuera del eje mayores de la luz en la fibra óptica. El factor de calidad r_N aumenta a 5,5 en el límite $N = \infty$.

La figura 7 incluye un gráfico 700 que representa valores de r_N para una N variable para diferentes d_1 . El eje x puede incluir valores del parámetro N . El eje y puede incluir valores del factor de calidad r_N . Las curvas 710, 720 y 730 corresponden a d_1 igual a $1 \mu\text{m}$, $2 \mu\text{m}$ y $3 \mu\text{m}$. En el gráfico 700 también pueden incluirse resultados simulados 740 de sistemas de fibra/condensador reales con valores del parámetro N de 2, 3, 4 y 5 y con un tamaño del punto de haz enfocado d_1 de aproximadamente $1,95 \mu\text{m}$. La correspondencia entre los resultados simulados 740 y la curva 720 puede ser una indicación de la validez de la relación matemática r_N .

Los cálculos del factor de calidad r_N y/o el parámetro de sensibilidad angular θ_N pueden utilizarse por un fabricante para determinar una o varias cantidades asociadas al sistema de iluminación oftálmica 110. Por ejemplo, los cálculos pueden formar parte de un algoritmo utilizado para seleccionar el parámetro N . El parámetro N puede utilizarse para determinar el diámetro 214 de la abertura de entrada 212, la longitud focal efectiva 246 del condensador 126, la dispersión angular o NA_{haz} del haz condensado 127, y/u otras cantidades adecuadas. La fibra óptica 170 puede fabricarse o seleccionarse basándose en el diámetro 214 elegido. El condensador 126 puede colocarse dentro del alojamiento 121 con respecto a la fuente de luz 122, el colimador 124 y/o la fibra óptica 170, basándose en la longitud focal efectiva 246 y/o la NA_{haz} elegida.

Las formas de realización tal como se describen en el presente documento pueden proporcionar dispositivos, sistemas y procedimientos que faciliten una mayor tolerancia a la desalineación del haz luminoso y una conservación de una eficiencia de acoplamiento elevada en la fibra óptica a pesar de los errores de alineación. Los ejemplos proporcionados anteriormente pueden ser de naturaleza a modo de ejemplo y no limitativos. Un experto en la técnica podrá concebir fácilmente otros sistemas consistentes con las formas de realización dadas a conocer previstos para estar dentro del alcance de esta divulgación. Así, la solicitud sólo estará limitada por las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de iluminación oftálmica, que comprende:

5 un condensador (126);

una fuente de luz (122);

una fibra óptica (170) con un diámetro de núcleo y configurada para transmitir un haz luminoso proporcionado por la fuente de luz (122) y enfocado por el condensador (126);

10 la fibra óptica incluye:

una parte proximal (172) configurada para recibir el haz luminoso enfocado por el condensador (126) sobre un punto focal en la parte proximal, comprendiendo la parte proximal una primera parte estrechada (210) que comprende un extremo proximal que tiene un diámetro de núcleo D_1 (214) y un extremo terminal que tiene un diámetro de núcleo D_2 (224), en el que D_1 es mayor que D_2 ;

una parte distal (174) configurada para emitir el haz luminoso para iluminar un campo quirúrgico;

20 una parte central (176) que se extiende entre la parte proximal y la parte distal, en el que el diámetro de núcleo (224) es constante sobre la parte central; en la que la parte proximal tiene un diámetro del núcleo mayor que los diámetros del núcleo de las partes central y distal;

caracterizado porque en el punto focal de la parte proximal de la fibra óptica una apertura numérica del haz luminoso, NA_{haz} , es igual a una apertura numérica de la fibra óptica, NA_{fibra} , dividida por N, en el que N es igual al diámetro del núcleo D_1 (214) dividido por un diámetro del núcleo D_2 (224) de la parte central; y

25 en la que la parte central está configurada de forma que la apertura numérica del haz luminoso, NA_{haz} , es igual a una apertura numérica de la parte central, NA_{fibra} .

30 2. El aparato según la reivindicación 1, en el que:

la parte proximal (172) de la fibra óptica incluye una sección recta (211) colocada de manera proximal con respecto a la sección estrechada.

35 3. El aparato según la reivindicación 1, en el que:

un diámetro de núcleo de la parte proximal de la fibra óptica es un múltiplo del diámetro de núcleo de la parte central de la fibra óptica.

40 4. El aparato según la reivindicación 3, en el que:

el condensador (126) está configurado para tener una longitud focal efectiva basada en el diámetro de núcleo de la parte proximal de la fibra óptica.

45 5. El aparato según la reivindicación 4, en el que:

el condensador (126) está configurado para enfocar el haz luminoso de modo que una dispersión angular del haz luminoso enfocado por el condensador se base en el diámetro de núcleo de la parte proximal de la fibra óptica.

50 6. El aparato según la reivindicación 4, en el que el condensador (126) está configurado para enfocar el haz luminoso de modo que:

una dispersión angular del haz luminoso enfocado por el condensador sea menor que una dispersión angular del haz luminoso transmitido por la fibra óptica.

55 7. El aparato según la reivindicación 4, en el que el condensador (126) está configurado para enfocar el haz luminoso de modo que:

una dispersión angular del haz luminoso enfocado por el condensador sea un múltiplo fraccionario de una dispersión angular del haz luminoso transmitido por la fibra óptica.

60

8. El aparato según la reivindicación 1, que comprende además:

un instrumento quirúrgico configurado para colocarse dentro del campo quirúrgico y acoplado a la fibra óptica.

9. El aparato según la reivindicación 8, en el que:

5 la fuente de luz (122) y el condensador (126) están dispuestos dentro de un alojamiento.

10. Un procedimiento de iluminación oftálmica, comprendiendo el procedimiento:

10 enfocar, utilizando un condensador, un haz luminoso emitido por una fuente de luz sobre una parte proximal de una
fibra óptica, incluyendo la fibra óptica la parte proximal, una parte distal y una parte central que se extiende entre la
parte proximal y la parte distal, la parte proximal tiene un diámetro de núcleo mayor que los diámetros de núcleo de
las partes central y distal y en la que la parte proximal comprende una primera parte estrechada que comprende un
extremo proximal que tiene un diámetro de núcleo D_1 y un extremo terminal que tiene un diámetro de núcleo D_2 , en el
que D_1 es mayor que D_2 ; y en la que el diámetro del núcleo es constante sobre la parte central, caracterizado porque
15 en el punto focal de la parte proximal de la fibra óptica una apertura numérica del haz luminoso, NA_{haz} , es igual a una
apertura numérica de la fibra óptica, NA_{fibra} , dividida por N, en la que N es igual al diámetro del núcleo D_1 (214) dividido
por un diámetro del núcleo D_2 (224) de la parte central; y
transmitir, utilizando la fibra óptica, el haz luminoso a un campo quirúrgico;
20 en la que la parte central está configurada de tal manera que la apertura numérica del haz luminoso, NA_{haz} , es igual a
una apertura numérica de la parte central, NA_{fibra} ; y

11. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que enfocar un haz luminoso incluye:

25 enfocar el haz luminoso sobre una sección recta o una sección estrechada de la parte proximal de la fibra óptica.

12. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que enfocar un haz luminoso incluye:

30 enfocar el haz luminoso utilizando el condensador con una longitud focal efectiva basada en el diámetro de núcleo de
la parte proximal de la fibra óptica.

13. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que enfocar un haz luminoso incluye:

35 enfocar el haz luminoso utilizando el condensador de modo que una dispersión angular del haz luminoso se base en
el diámetro de núcleo de la parte proximal de la fibra óptica.

14. El aparato de iluminación oftálmica según la reivindicación 1, en el que:

la parte central (176) de la fibra óptica tiene una longitud comprendida entre 10 mm y 1000 mm.

40 15. El aparato de iluminación oftálmica según la reivindicación 14, en el que:

la parte proximal (172) comprende una sección recta proximal a la primera parte estrechada; y el diámetro del núcleo
de la fibra es constante a lo largo de la sección recta de la parte proximal.

45 16. El aparato de iluminación oftálmica según la reivindicación 15, en el que: la parte distal (174) comprende una
segunda parte estrechada sobre la que el diámetro del núcleo de la fibra óptica aumenta distalmente.

50

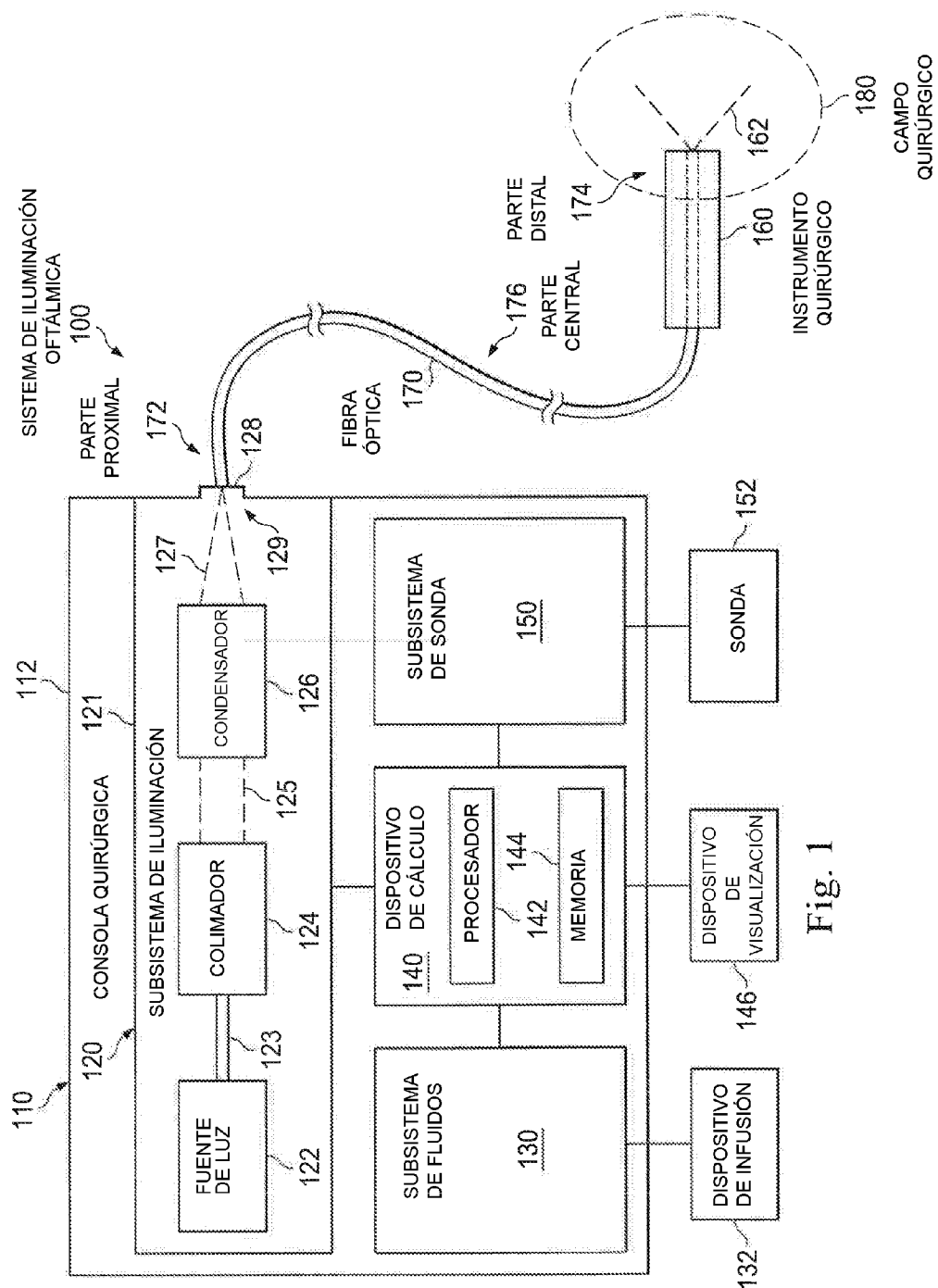


Fig. 1

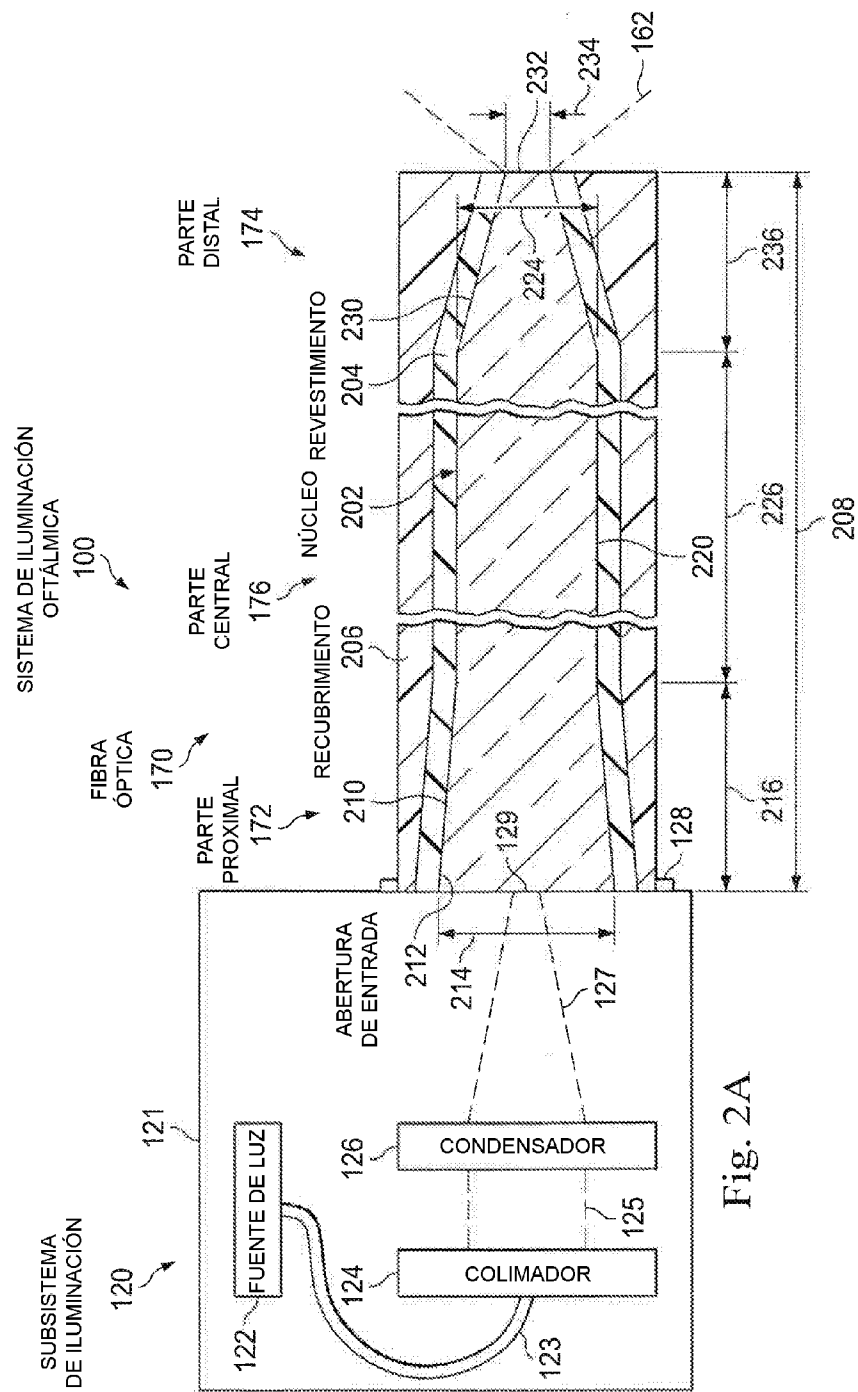
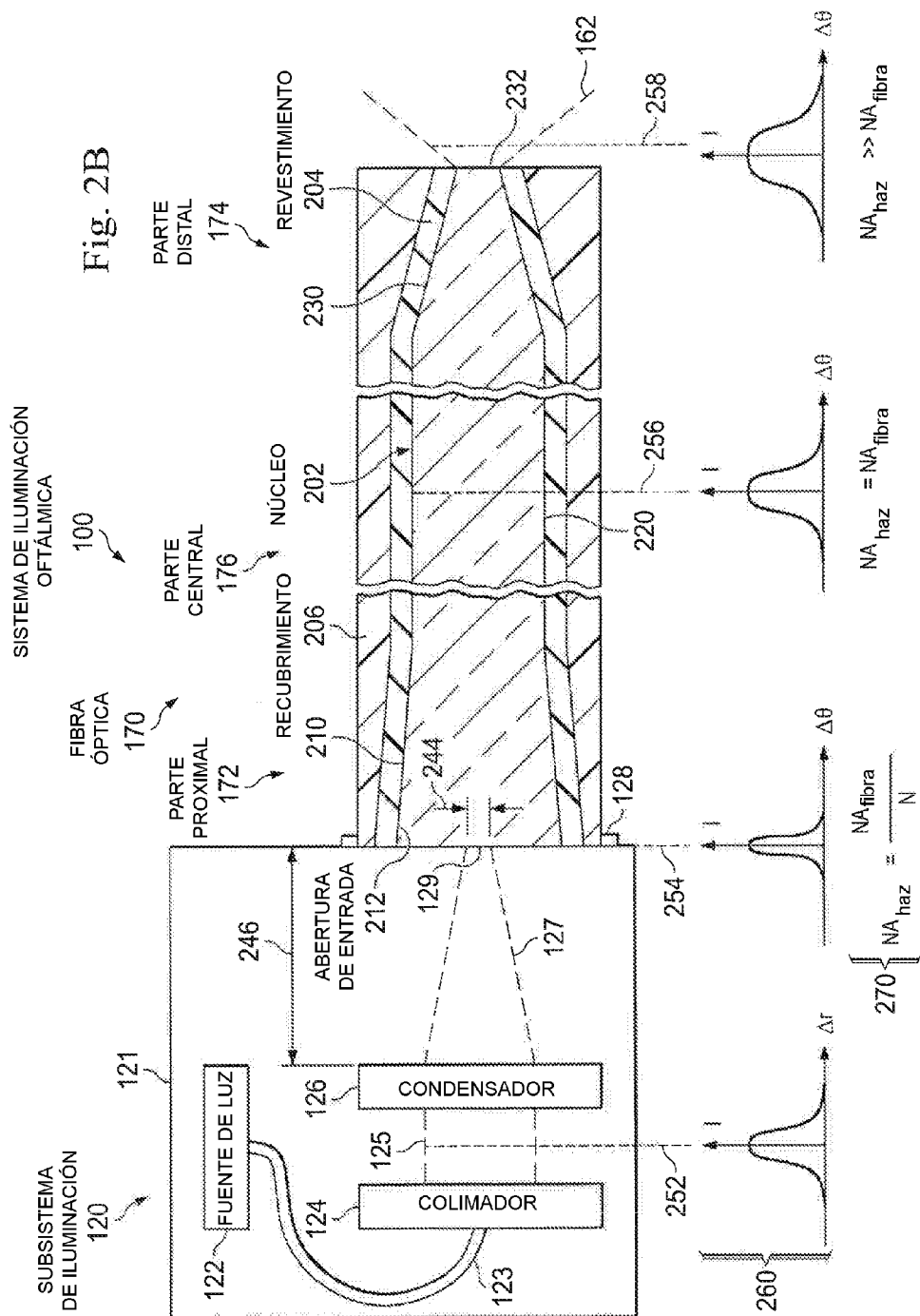


Fig. 2A



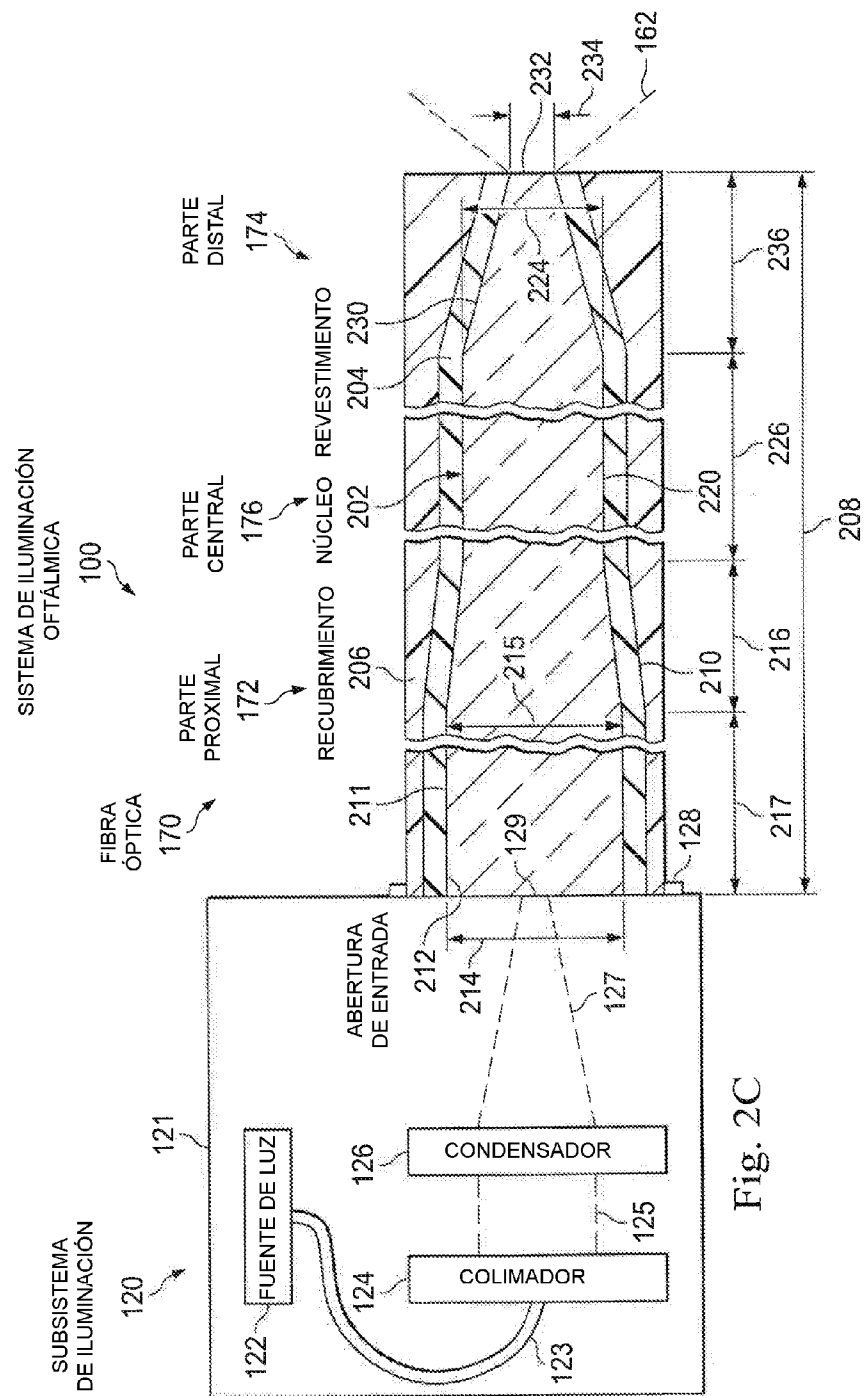


Fig. 2C

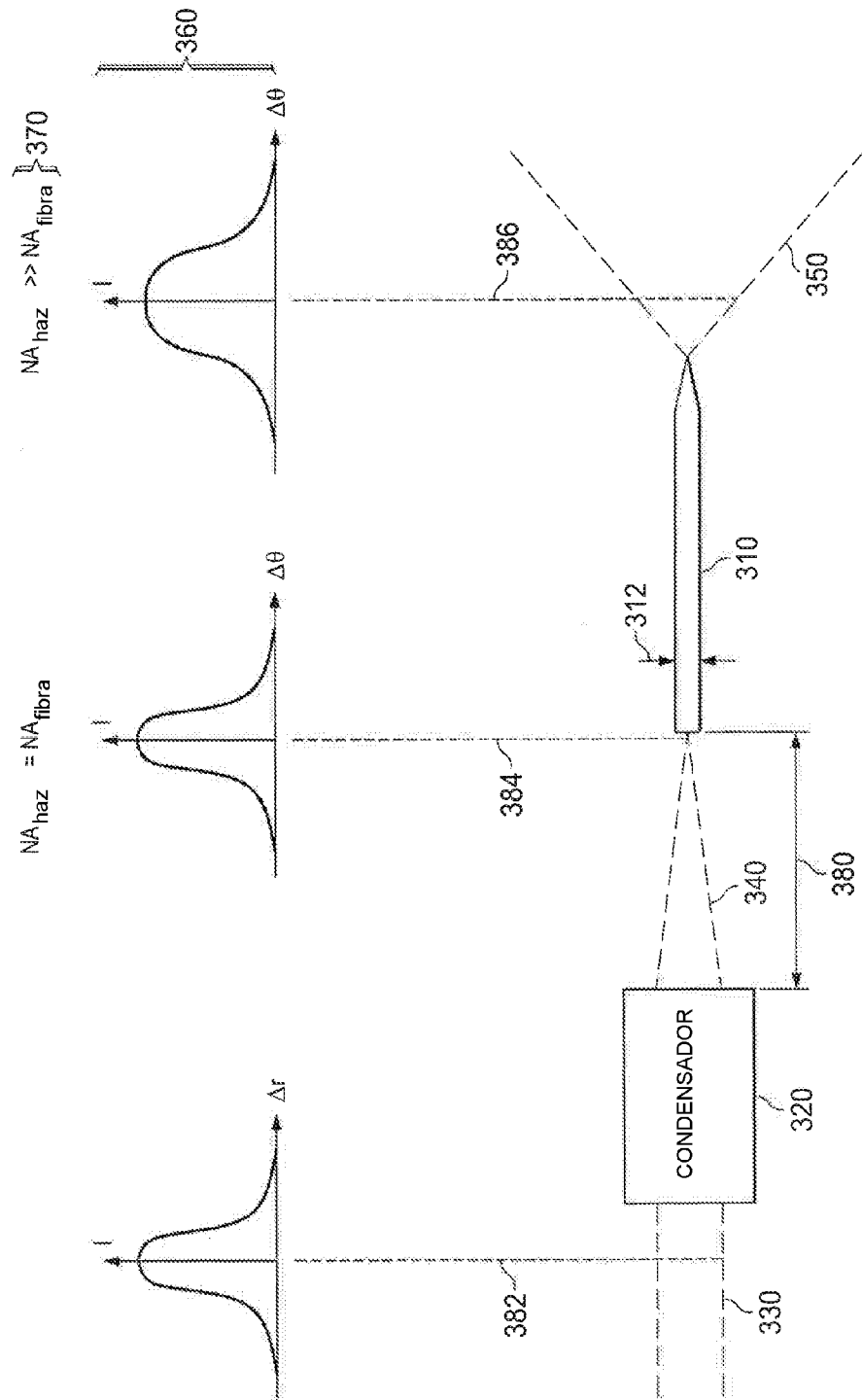
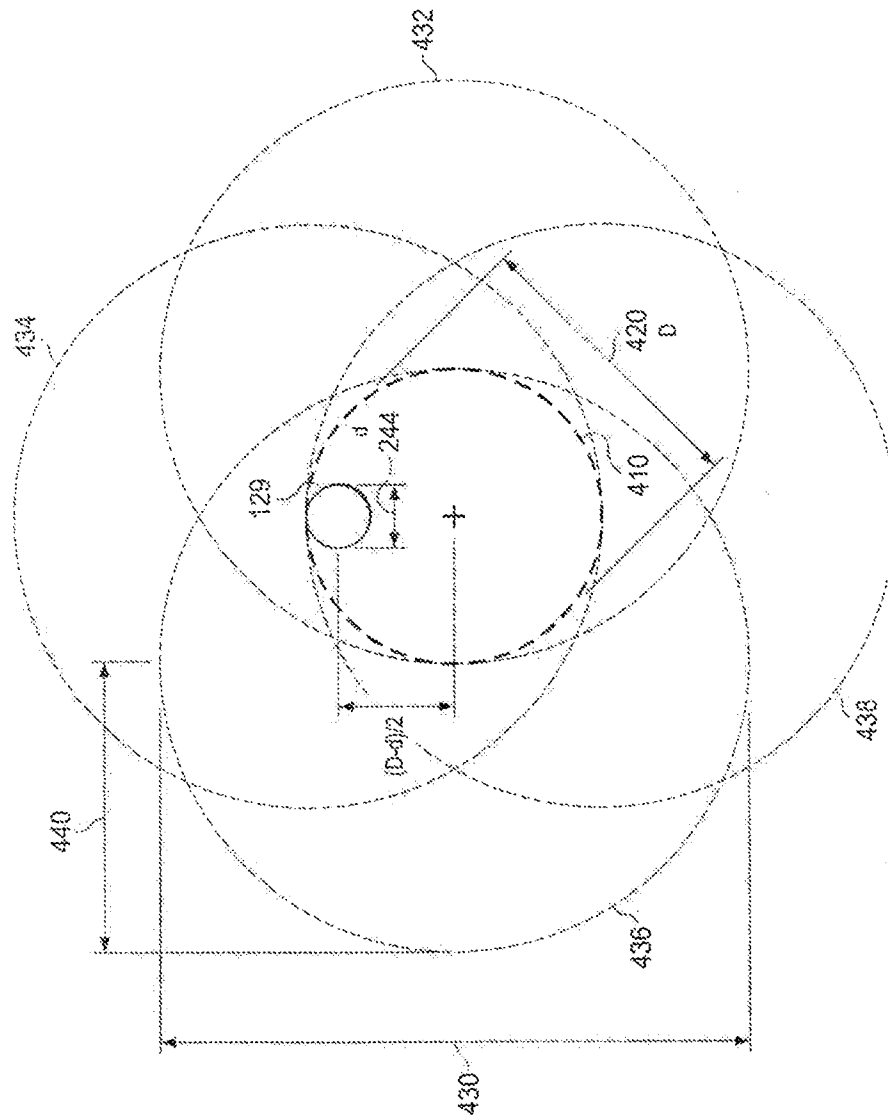


Fig. 3



ॐ

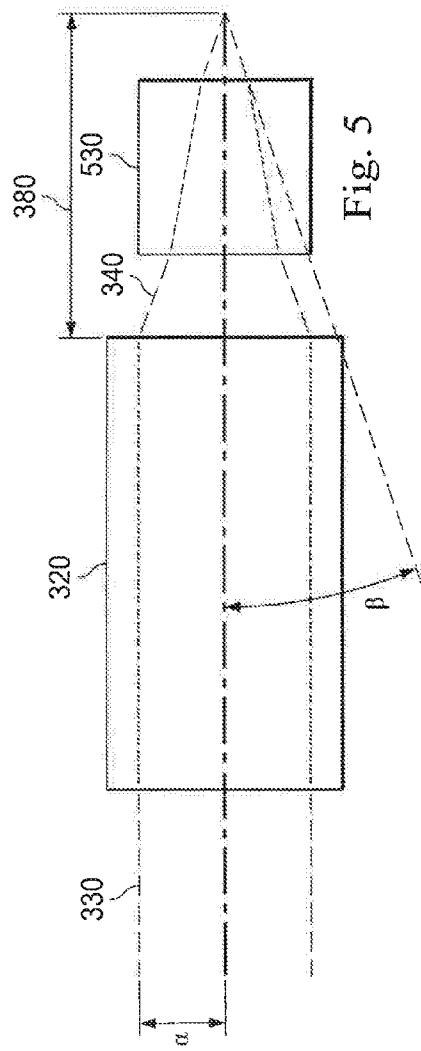


Fig. 5

600

	d_1 MICRAS					
N	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	2.50	2.80	3.25	4.00	5.50	10.00
3	3.00	3.40	4.00	5.00	7.00	13.00
4	3.25	3.70	4.38	5.50	7.75	14.50
5	3.40	3.88	4.60	5.80	8.20	15.40
INFINIDAD	4.00	4.60	5.50	7.00	10.00	19.00

Fig. 6

