

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 581 526**

51 Int. Cl.:

H01S 3/08 (2006.01)
H01S 3/081 (2006.01)
H01S 3/106 (2006.01)
H01S 3/115 (2006.01)
H01S 3/02 (2006.01)
H01S 3/0941 (2006.01)
H01S 3/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.01.2013 E 13701866 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.04.2016 EP 2803118**

54 Título: **Arquitectura de resonador láser**

30 Prioridad:

09.01.2012 GB 201200336

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

06.09.2016

73 Titular/es:

**THALES HOLDINGS UK PLC (100.0%)
2 Dashwood Lang Road The Bourne Business
Park NR Weybridge
Addlestone, Surrey KT15 2NX, GB**

72 Inventor/es:

**BORTHWICK, ANDREW;
LEE, STEPHEN y
BYRNE, GERALD**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 581 526 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

Arquitectura de resonador láser

La presente invención se refiere a una disposición de resonador para uso en láseres.

Antecedentes

5 Hay varios requisitos o exigencias a las que tienen que enfrentarse los diseñadores de láser. Por ejemplo, a menudo se prefiere hacer que el láser compacto y reducir al mínimo el tamaño y el peso del láser. Además, el láser debe proporcionar suficiente energía para la aplicación para la que se va a utilizar. A menudo se prefiere tener una calidad de haz alta. En muchas aplicaciones, la resistencia es una propiedad importante, y el láser debe ser capaz de funcionar eficazmente, mientras que es objeto de una amplia gama de trastornos a su geometría. Esto permite que
10 el láser mantenga su rendimiento en un amplio rango del medio ambiente, por ejemplo, para que el láser sea operable de forma útil en un amplio intervalo de temperaturas, flujos de calor y/o presión y/o en situaciones en las que está expuesto a un alto grado de vibraciones o golpes. No menos importante, para que el láser sea comercialmente viable, particularmente en aplicaciones de gran volumen, el coste por unidad debe ser minimizado y la complejidad de fabricación reducida.

15 Se apreciará por los expertos en la técnica que los compromisos a menudo tienen que ser hechos al menos respecto a una de las propiedades deseadas con el fin de aumentar el rendimiento de una o más de las otras propiedades deseadas, con los compromisos típicamente dependiendo de la aplicación para la que el láser se va a utilizar. En vista de esto, es deseable desarrollar nuevas configuraciones de láser que maximizan el rendimiento del láser con respecto a las propiedades deseadas y minimizar los compromisos y/o proporcionar configuraciones
20 alternativas que pueden ser útiles en aplicaciones específicas.

Existen varias arquitecturas disponibles para el diseñador de láser en el diseño de un láser para una aplicación particular. Véase, por ejemplo, los documentos US 4.779.278; US 2005/0111496A1; US 3.924.201.

25 Uno de estas arquitecturas es la del Oscilador Fabry-Perot. Esta configuración comprende una cavidad formada entre dos espejos opuestos, uno que refleja totalmente y el otro que refleja parcialmente. Sin embargo, con este diseño, cualquier desalineación de espejo con respecto al otro destruye la retroalimentación. Con el fin de aumentar la estabilidad, la introducción de un haz convergente en la cavidad se requiere a menudo. A pesar de ello, una mayor capacidad de resistencia a menudo tiene un precio de calidad del haz más baja para un volumen resonador constante.

30 Otro ejemplo de una arquitectura comúnmente encontrado es el Resonador de Porro Cruzado. Esta arquitectura comprende una cavidad prevista entre dos prismas de techo cruzados. Estudios tales como los de B. A. See et. al en "An Assessment of the Crossed Porro Prism Resonator" ERL-0162-TM Defence Science & Technology Organisation han encontrado que el resonador de porro cruzado es significativamente más resistente que los sistemas basados en el oscilador de Fabry Perot. Sin embargo, en resonadores de porro cruzados, el haz de salida debe ir acompañado por división de haz y el control cuidadoso del estado de polarización. Esto resulta en un aumento de la
35 complejidad del resonador con un aumento asociado en el volumen y el coste.

El resonador de cubo de espejo de esquina es un ejemplo adicional de una disposición de resonador de láser que se encuentra comúnmente. En esta disposición, el espejo totalmente reflectante del resonador Fabry Perot se sustituye por un cubo de esquina en el eje. El ángulo de reflexión del reflector esférico es insensible a la alineación, por lo tanto, este diseño es resistente y sencillo. Sin embargo, con esta disposición, es difícil formar haces Gaussianos limpios y, por tanto, el aumento de la resistencia y la simplicidad tiene un coste de reducción de la calidad del haz.
40 Además, esta arquitectura resulta en polarización espacialmente variable, lo que hace que el láser sobre la base de esta arquitectura sea difícil de conmutación de Q electro ópticamente.

45 Es al menos un objeto de al menos una realización de la presente invención proporcionar una arquitectura de láser mejorada. Es al menos un objeto de al menos una forma de realización de la presente invención eliminar o mitigar al menos un problema con la técnica anterior.

Exposición de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención es un resonador de láser que comprende:

50 al menos un acoplador de salida;
al menos un reflector de extremo;
un retrorreflector;
un telescopio común;
un medio de ganancia;

55 en el que el telescopio común se proporciona en una trayectoria de los haces entre el retrorreflector y tanto el espejo de extremo y el acoplador de salida.

El reflector de extremo puede comprender un espejo de extremo, o un prisma Porro o similares.

El resonador puede estar configurado de tal manera que un haz o la radiación reflejada desde el acoplador de salida pasa a través del telescopio antes de ser reflejada por el retrorreflector al reflector de extremo a través del telescopio. Se apreciará de lo anterior que, puesto que la trayectoria del haz es reversible, un haz o la radiación reflejada por el reflector de extremo puede pasar a través del telescopio antes de ser reflejada por el retrorreflector al acoplador de salida a través del telescopio.

El resonador puede comprender un resonador estable. El resonador puede ser configurado para soportar y/o crear uno o más modos resonantes, que pueden ser modos resonantes estables.

El resonador puede estar configurado de tal manera que el retrorreflector recibe el haz o la radiación desde el reflector de extremo y/o el acoplador de salida a través del telescopio y refleja el haz o la radiación al otro del acoplador de salida y/o reflector de extremo a través del telescopio.

El telescopio puede ser compartido por un número par de brazos o las trayectorias de los haces del resonador por viaje de ida y vuelta.

Sería francamente evidente para una persona experta en la materia cómo alinear componentes ópticos tales como espejos, telescopios y retrorreflectores de manera de tener el recorrido del haz a lo largo de una trayectoria deseada. Sin embargo, la geometría exacta para hacerlo dependerá de una variedad de factores tales como las dimensiones de la cavidad. Por lo tanto, la recitación o limitación de los parámetros geométricos específicos, tales como ángulos o distancias no es la adecuada.

El resonador puede estar configurado de tal manera que, en cada viaje entre el acoplador de salida y el reflector de extremo, el haz o la radiación pasa a través del telescopio dos veces. El resonador puede estar configurado de tal manera que, en cada viaje entre el acoplador de salida y el espejo de extremo, el haz o la radiación pasa a través del telescopio tanto en una primera dirección o de avance y una dirección segunda o inversa.

La primera dirección o de avance puede ser una dirección de expansión en la que el haz se expande por el telescopio, por ejemplo, el radio o el arco del haz del haz se incrementa. La dirección segunda o inversa puede ser una dirección de reducción en la que el haz es contraído o encogido por el telescopio, por ejemplo, el radio o el arco del haz se reduce.

El medio de ganancia puede ser proporcionado en la trayectoria del haz entre el retrorreflector y el telescopio.

De esta manera, la radiación emitida desde el medio de ganancia puede resonar u oscilar dentro de una cavidad de tal manera que la radiación se desplaza a través de un primer brazo o la trayectoria entre el acoplador de salida y el retrorreflector a través del telescopio y un segundo brazo o la trayectoria entre el reflector retro y el reflector de extremo a través del telescopio. El medio de ganancia puede ser proporcionado en el primer o segundo brazo o la trayectoria de tal manera que la radiación pasa a través del medio de ganancia.

El telescopio se puede configurar para expandir el haz que pasa por el medio de ganancia, por ejemplo, aumentando el tamaño del modo fundamental, y por lo tanto puede mejorar la calidad del haz. Un telescopio común es un telescopio compartido por al menos dos brazos o trayectorias del resonador. Al proporcionar un único telescopio común tanto en el primer y segundo brazos o trayectorias, de manera que para cada viaje largo de los brazos primero y segundo del resonador el haz pasa a través del telescopio en direcciones opuestas de tal manera que el haz expandido pasa a través del medio de ganancia, la calidad del haz se mejora aún más en un solo telescopio de igual potencia en un brazo.

Al proporcionar un telescopio común tanto en el primer y segundo brazos o trayectorias, tal que por cada viaje por los brazos primero y segundo del resonador el haz pasa a través del telescopio en direcciones opuestas, cualquier efecto sobre el haz debido a desajustes geométricos en o de telescopio en su conjunto, o cualquiera de sus componentes pueden ser cancelados a lo largo del viaje de ida y vuelta dado que el efecto inverso se aplica al haz cuando pasa a través del telescopio en la dirección opuesta.

El acoplador de salida puede ser parcialmente reflectante. El reflector de extremo puede ser reflectante. El acoplador de salida y el espejo de extremo pueden estar integrados, por ejemplo, al ser proporcionados sobre un sustrato común. Por ejemplo, una porción de una superficie del sustrato frente al retrorreflector puede estar recubierta con un revestimiento parcialmente reflectante con el fin de formar el acoplador de salida y una porción de la superficie del sustrato frente a la retrorreflector puede estar recubierta con un revestimiento reflectante con el fin para formar el espejo de extremo. Al proporcionar un sustrato común para el espejo de extremo y el acoplador de salida, así como un telescopio común tanto en el primer y segundo brazos o trayectorias, cualquier efecto sobre el haz debido a desalineaciones geométricas en o de la orientación del sustrato común de espejo puede ser cancelado a lo largo de la ida y vuelta cuando el efecto inverso se aplica al haz cuando pasa a través del telescopio en la dirección opuesta y se refleja en la superficie de espejo adyacente.

El telescopio común puede estar montado próximo o adyacente al reflector de extremo/acoplador de salida. El telescopio común puede comprender al menos uno y preferiblemente al menos dos elementos ópticos, que pueden comprender, por ejemplo, al menos primero y segundo elementos ópticos. Los elementos ópticos pueden ser o comprender lentes. El primer y segundo elementos ópticos pueden estar separados unos de otros. El primer elemento óptico (por ejemplo, una lente ocular) se puede proporcionar más cerca del espejo de extremo y/o acoplador de salida y más lejos del retrorreflector que el segundo elemento óptico (por ejemplo, un lente de objetivo), que puede proporcionarse más cerca del retrorreflector y más lejos del acoplador de salida y/o el espejo de extremo que del primer elemento óptico. El telescopio común puede estar configurado de tal manera que la radiación reflejada por el retrorreflector pasa a través del segundo elemento óptico del telescopio antes que el primer elemento óptico, mientras que la radiación reflejada por el espejo de extremo o acoplador de salida pasa a través del primer elemento óptico del telescopio antes del segundo elemento óptico.

La geometría del resonador-telescopio puede ser optimizada para una sensibilidad baja de la línea de visión de focalización del telescopio, por ejemplo, que comprende al menos uno de baja potencia, largo alcance, pequeños radios fuera de eje, y/o similares.

El primer o segundo elementos ópticos pueden estar montados sobre un eje, preferentemente el eje puede extenderse a lo largo de los ejes ópticos de los primer y segundo elementos ópticos, es decir, pueden ser montados en el eje. El resonador de láser puede ser operable de tal manera que los ejes ópticos del telescopio no se utilizan, es decir, puede estar configurado de tal manera que el haz y/o la radiación no pasa por los ejes ópticos de los elementos ópticos, que puede permitir que el primer y segundo elementos ópticos del telescopio sean montados en el eje, que puede proporcionar de manera ventajosa un montaje simple y naturalmente equilibrado, y que facilita el ajuste de separación para control de enfoque.

Los primeros o segundos elementos ópticos pueden ser montados dentro de un tubo coaxial o cubierta al eje óptico del primer y segundo elementos. Esto puede permitir que el resonador utilice trayectorias de haces cerca de uno o ambos elementos ópticos de eje óptico, que pueden reducir ventajosamente la sensibilidad del resonador para la estabilidad del foco.

El resonador puede utilizar una combinación de procedimientos de montaje descritos anteriormente, que pueden ser de utilidad para los telescopios de alta potencia donde montar un husillo es apropiado para el segundo elemento óptico debido al gran desplazamiento del haz del eje óptico del telescopio, y una cubierta de montaje para el elemento primario en la que el haz está cerca del eje óptico del telescopio. El husillo y la cubierta puede ser el mismo componente, con orificios para permitir que el haz pase desde el primer elemento al segundo elemento.

Además, las disposiciones anteriores pueden resultar en que el primer y segundo elementos ópticos se utilicen sólo en un plano, lo que puede permitir que el primer y/o segundo elementos ópticos sean recortados, por ejemplo, en formas rectangulares, con el fin de reducir el peso y el volumen del sistema.

El telescopio puede comprender medios de ajuste de enfoque. El telescopio puede comprender medios de ajuste de separación para variar selectivamente la separación de los primeros y segundos elementos ópticos. Por ejemplo, medios de ajuste de separación pueden comprender un ajustador de husillo para variar la longitud del husillo y/o mover una porción del husillo en la que el primer elemento óptico está montado con relación a una porción del husillo en la que está montado el segundo elemento óptico. Los medios de ajuste de separación pueden comprender un bloqueo o mordaza para fijar selectivamente o de forma liberable la separación de los primeros y segundos elementos ópticos. De esta manera, el foco del telescopio puede variarse/variable, por ejemplo, durante la alineación inicial.

El telescopio puede ser configurado para ser desenfocado. El telescopio puede estar configurado para introducir la convergencia en la cavidad, lo que puede mejorar la estabilidad del láser. El telescopio puede estar configurado para introducir ya sea divergencia o convergencia local dentro de la cavidad, lo que puede compensar una lente térmica dentro del medio de ganancia.

El foco del telescopio puede ser atermalizado activa o pasivamente. Muchos procedimientos adecuados para hacer esto están disponibles para los expertos en la materia. Por ejemplo, la velocidad de cambio del índice de refracción con la temperatura del primer y segundo elementos puede ser seleccionada para proporcionar una compensación para el cambio de foco del telescopio en su conjunto. Alternativa o adicionalmente, los componentes mecánicos del telescopio, como el husillo, pueden exhibir una baja expansión térmica, o una expansión térmica que compensa el cambio en el enfoque de los elementos ópticos. Cuando no existe tal material, un elemento óptico puede estar montado en un montaje reentrante de mayor dilatación térmica que el material entre el primer y el segundo elemento. Un ejemplo de un montaje reentrante se describe en "Introduction to opto-mechanical design" de Daniel Vukobratovich, National Optical Astronomy Observatories, 950 Cherry Ave Tucson AZ 85726-6732, que se incorpora aquí por referencia, en el que el montaje reentrante se describe como un "compensador bimetálico", aunque se apreciará que el montaje reentrante no necesita ser metálico. La selección cuidadosa de la longitud del montaje reentrante se puede usar para lograr una tasa de expansión térmica eficaz entre los dos elementos ópticos que logra la atermalización del enfoque. Al elegir un pequeño diferencial de expansión térmica entre la montura de reentrante y el material de conexión, la solución atermalizada puede hacerse insensible al ajuste de la separación.

Alternativamente a las soluciones pasivas resumidas anteriormente, uno u otro elemento óptico puede estar situado en una etapa de actuador accionado para proporcionar una atermalización activa.

5 El telescopio puede exhibir aberraciones bajas fuera del eje. Esto puede ser beneficioso para optimizar la capacidad de recuperación de los resonadores con respecto al descentrado del eje de simetría del retrorreflector y el eje óptico del telescopio común. Muchos procedimientos son conocidos en la técnica, por ejemplo, el uso de lentes asféricas.

10 Alternativamente, el telescopio puede explotar las aberraciones fuera del eje para lograr la estabilidad de ida y vuelta, sin embargo, tales aberraciones no están necesariamente en equilibrio sobre una sola pasada. Esto puede permitir utilizar ópticas esféricas relativamente de bajo coste. Además, esto se extiende la longitud efectiva del viaje de ida y vuelta del telescopio, lo que puede reducir la sensibilidad para enfocar. Como se conoce en la técnica, un retrorreflector refleja el haz o la radiación de nuevo en el mismo ángulo, pero en dirección opuesta a la del haz incidente o la radiación en una gama de ángulos de incidencia, es decir, la radiación se refleja de nuevo a lo largo de una dirección de desplazamiento que es paralela pero opuesta a la de la radiación incidente. En un ejemplo particular, el retrorreflector puede comprender un retrorreflector de cubo de esquina. El retrorreflector puede estar dispuesto para estar fuera del eje, es decir, los haces no se reciben o se reflejan a lo largo del eje de simetría del retrorreflector. El eje de simetría del retrorreflector puede ser colineal con el eje óptico del telescopio común. Esto puede ser beneficioso para optimizar la capacidad de resistencia de los resonadores con respecto la aberración óptica fuera del eje del telescopio común.

El resonador puede ser operado u operable como un láser de onda continua. El resonador puede ser operado u operable como un láser de modo bloqueado.

20 En un ejemplo específico, el resonador puede comprender una conmutación de Q. Esto puede ser ventajoso, ya que ambos espejos de extremo son reflejados a un plano adicional por el telescopio. Esto reduce el ángulo sólido disponible para reflexiones durante el período de la bomba de alta Q, reduciendo así las pérdidas de ASE y aumentando la potencia del haz.

25 El resonador de láser puede comprender una fuente de radiación, que puede estar configurada para bombear el medio de ganancia, y preferiblemente bombear por último del medio de ganancia, por ejemplo, a través de un divisor de haz polarizador. El divisor de haz polarizado puede ser usado en conjunción con una célula Pockels para permitir la operación como un conmutador de Q en una realización ejemplar de un resonador láser de Q conmutado.

30 El resonador puede comprender o incorporar un elemento de ajuste de alineación. Cuando es desenfocado, el ángulo de resonancia entre los dos brazos ya no es paralelo. Al proporcionar o incorporar un elemento de ajuste de alineación dentro del resonador, se puede obtener el ángulo correcto para la resonancia, lo que permite la operación a un desenfoque fijo del telescopio.

El elemento de ajuste de la alineación puede ser fijo, tal como una cuña óptica. Una cuña fija puede ser realizada como un componente discreto, o un ajuste deliberado de una ya existente, como el retrorreflector o varilla.

35 El elemento de ajuste de alineación puede comprender un mecanismo de ajuste de alineación, tal como un conjunto emparejado de cuñas giratorias. El mecanismo de ajuste de la alineación puede ser proporcionado en un brazo o la trayectoria del resonador, que puede ser un brazo y/o trayectoria diferente al medio de ganancia, aunque se apreciará que tanto el medio de ganancia y el mecanismo de ajuste de la alineación se podrían proporcionar en el mismo brazo o la trayectoria si es necesario. El mecanismo de ajuste de alineación puede ser operable, por ejemplo, mediante la rotación relativa de las cuñas emparejadas, para proporcionar el ajuste de la alineación del resonador, por ejemplo, con el fin de compensar el ajuste del enfoque en el telescopio y/o cualquier cuña residual en los componentes debido a tolerancias de fabricación.

La disposición descrita anteriormente proporciona un diseño simple que es inherentemente resistente a la desalineación tanto del retrorreflector, el sustrato reflector de extremo y el telescopio, pero puede retener un haz Guassian y alta calidad del haz.

45 El resonador de láser puede ser configurado de manera que tenga reflexiones/espejos no conjugados en fase. El resonador de láser puede ser configurado para no tener espejos intermedios de cualquier tipo entre las pasadas del medio de ganancia y el al menos un acoplador de salida y/o al menos un reflector de extremo.

50 El resonador láser y/o telescopio pueden tener una magnificación mayor que la unidad. El telescopio puede tener una baja apertura numérica. El resonador de láser puede estar configurado de tal manera que el haz de luz hace una sola pasada del medio de ganancia antes de salir del resonador.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención es un láser que comprende el resonador láser de acuerdo con el primer aspecto.

De acuerdo con un tercer aspecto es un aparato que comprende un láser de acuerdo con el segundo aspecto.

De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención es un procedimiento de operación de un resonador láser del primer aspecto y/o un láser del segundo aspecto y/o un aparato de acuerdo con el tercer aspecto.

Se apreciará que características análogas a las descritas en relación con cualquiera de los aspectos anteriores pueden ser aplicables a cualquiera de los otros aspectos.

- 5 Características del procedimiento correspondientes al uso de cualquier característica descrita anteriormente en relación con aparatos y/o características del aparato configurados para implementar funciones descritas anteriormente en relación con un procedimiento también se contemplan como dentro del alcance de la presente invención.

Breve descripción de los dibujos

- 10 La invención se describirá en este documento con respecto a los siguientes dibujos:

La figura 1 muestra un esquema simplificado de un resonador de láser;

La figura 2 muestra un esquema detallado ejemplar del resonador láser que se muestra en la figura 1;

La figura 3 muestra un ejemplo de un telescopio usando un reentrante de montaje;

- 15 La figura 4 muestra el efecto de desalineación del acoplador de salida/espejo de extremo en un resonador de comparación;

La figura 5 muestra el efecto de desalineación del acoplador de salida/espejo de extremo en el resonador de láser de las figuras 1 o 2;

La figura 6 muestra el efecto de descentramiento de uno de los lentes 55a, 55b del telescopio en un resonador de comparación; y

- 20 La figura 7 muestra el efecto de descentramiento de uno de los lentes 55a, 55b del telescopio en el resonador de láser de las figuras 1 o 2.

Descripción detallada de los dibujos

- 25 La figura 1 es un esquema simplificado que muestra los componentes básicos de un resonador 5 para un láser. Un diagrama esquemático más detallado de un posible resonador de conmutación Q 5 se muestra en la figura 2. El resonador 5 comprende un acoplador de salida 10a/espejo de extremo 10b integrados dispuesto de forma opuesta un retroreflector 15. Un telescopio 20 está provisto próximo al acoplador de salida 10a/espejo de extremo 10b integrado y un medio de ganancia 25 se proporciona en una trayectoria del haz expandido entre el acoplador de salida 10a y el retroreflector 15 entre el retroreflector 15 y el telescopio 20.

- 30 En esta realización, el acoplador de salida 10a/espejo de extremo 10b integrados funcionan tanto como un espejo de extremo 10a y un acoplador de salida 10b. En particular, el acoplador de salida 10a/espejo de extremo 10b integrado comprenden un sustrato común 30, en el que una parte de una superficie interna 35 del sustrato 30 que se enfrenta al retroreflector 15 está recubierta con un revestimiento parcialmente reflectante que funciona como acoplador de salida 10a y otra parte de la superficie interna 35 del sustrato común 30 está recubierta con una superficie reflectante que actúa como el espejo de extremo 10b.

- 35 El retroreflector 15 comprende un retroreflector de cubo de esquina fuera del eje configurado para reflejar un haz incidente de tal manera que el haz reflejado es paralelo al haz incidente, pero de sentido opuesto. Puesto que el cubo de esquina 15 es fuera del eje, se coloca de tal manera que recibe el haz y refleja el haz a lo largo de los vectores que no son coincidentes con un eje de simetría 40 del cubo de esquina 15. El eje de simetría del cubo de esquina es colineal con el eje óptico del telescopio común.

- 40 En una forma de realización opcional, tal como la mostrada en la figura 2, el cubo de esquina 15 está provisto de una cuña fija adicional 45, en este ejemplo provisto integralmente con o ingeniería en el cubo de esquina 15. Esta disposición permite ventajosamente que el telescopio 20 a propósito sea desenfocado en una cantidad fija, por ejemplo, para mejorar la estabilidad de láser. Esto reduce las posibilidades de ajuste para la alineación de resonador y así facilita una mayor finura en el ajuste de la alineación. El desenfoco fijo del telescopio 20 se compensa por la cuña fija 45 incorporada en el cubo de esquina 15.

El cubo de esquina 15 está configurado para tener un desplazamiento de fase cero, por ejemplo, proporcionando el cubo con un revestimiento adecuado (no mostrado), como es conocido en la técnica, que conserva ventajosamente el estado de polarización del resonador 5.

- 50 De esta manera, el resonador 5 forma una cavidad plegada en el que un haz de luz puede oscilar entre el espejo de extremo revestido reflexivo 10b y el acoplador de salida parcialmente reflectante 10a a través del retroreflector 15.

La cavidad plegada comprende ventajosamente un número par de brazos o trayectorias. En este caso particular, la cavidad puede ser considerada como que comprende dos brazos o trayectorias 50a, 50b a través de los cuales el haz oscilante viaja, estando un primer brazo o la trayectoria 50a entre el acoplador de salida parcialmente reflectante 10a y el retroreflector 15 y estando la segunda pata o trayectoria entre el retroreflector 15 y el espejo de extremo reflectante 10b.

El telescopio 20 se proporciona en la trayectoria del haz entre el medio de ganancia 25 y el acoplador de salida 10a y también en la trayectoria del haz entre el retroreflector 15 y el espejo de extremo 10b. En este ejemplo, el telescopio 20 comprende un par de elementos ópticos 55a, 55b, en este caso en forma de un par de lentes separados espacialmente (equivalentes a un lente ocular y un lente de objetivo). El telescopio 20 está dispuesto a lo largo de las trayectorias de los haces del resonador 5, es decir, de tal manera que los dos elementos ópticos 55a, 55b están separados espacialmente en una dirección paralela con la separación del acoplador de salida integrado 10a/espejo de extremo 10b y el retroreflector 15, por ejemplo, de tal manera que el eje óptico del telescopio 20 y al menos el eje de simetría 40 del retroreflector 15 coinciden sustancialmente. En las realizaciones mostradas en las figuras 1 y 2, el telescopio 20 está configurado para expandir el haz (es decir, aumentar la anchura o cintura del haz) a medida que pasa a través del telescopio 20 en una dirección de izquierda a derecha a través del primer elemento óptico antes del segundo elemento óptico (es decir, lejos del acoplador de salida 10a o el espejo de extremo 10b y hacia el medio de ganancia 25 y el retroreflector 15) y para reducir el tamaño del haz (es decir, reducir el ancho de haz) a su paso en una dirección de derecha a izquierda a través del segundo elemento óptico antes del primer elemento óptico (es decir, en una dirección lejos de la ganancia media 25 y el retroreflector 15 hacia el espejo de extremo 10b o el acoplador de salida 10a).

El telescopio 20 está configurado para actuar como un telescopio común de tal manera que tanto las primera y segunda trayectorias o brazos 50a, 50b pasan a través del telescopio 20, es decir, durante cada travesía por el haz de la cavidad del resonador 5 entre el acoplador de salida 10a y el espejo de extremo 10b, el haz pasa a través del telescopio 20 dos veces, uno de los pasajes a través del telescopio 20 estando en una dirección primera o de avance, es decir, que pasa a través del primer elemento óptico 55a (por ejemplo, el ocular) antes del segundo elemento óptico 55b (por ejemplo el lente objetivo) y el otro de los pasajes a través del telescopio 20 que pasa en una dirección segunda o inversa, es decir que pasa por el segundo elemento óptico 55b antes del primer elemento óptico 55a. De esta manera, durante cada travesía por el haz de la cavidad del resonador 5, el haz pasa a través del telescopio 20 dos veces con el fin de ser a la vez expandido y encogido.

En particular, el telescopio 20 está configurado para expandir el haz siempre antes de que pase a través del medio de ganancia 25 y reducirlo antes de ser reflejado por el espejo de extremo 10b o el acoplador de salida 10a. Es importante destacar que, el telescopio 20 expande el tamaño del modo fundamental a través del medio de ganancia 25, disminuyendo de ese modo el efecto de otros modos. Esto lleva a una calidad de haz muy mejorada.

Los elementos ópticos 55a, 55b del telescopio 20 están montados sobre un husillo 60 de modo que sea movable selectivamente juntos y separados usando un mecanismo de ajuste del enfoque 65 y un bloqueo selectivo o mecanismo de sujeción (no mostrado). Varios medios para implementar este mecanismo de ajuste del enfoque 65 serían evidentes para un experto en la materia. En la presente realización, el haz no pasa a lo largo del eje óptico del telescopio 20 a cada brazo 50a, 50b. Por lo tanto, el husillo 60 se puede extender a lo largo de los ejes ópticos del primer y segundo elementos ópticos 55a, 55b de tal manera que están montados en el eje. Los montajes sobre el eje son simples y naturalmente equilibrados, por lo que es más fácil lograr bajas cargas de vibración y facilitar la incorporación del mecanismo de ajuste del enfoque.

Además, como los elementos ópticos 55a, 55b sólo se utilizan en un plano en la presente invención, la periferia de al menos uno y preferiblemente cada elemento óptico 55a, 55b puede ser recortado de tal manera que su forma se asemeja más a una sección transversal rectangular, con lo la eliminación de la masa sobrante y el volumen del resonador 5.

Ventajosamente, el telescopio 20 es atermalizado con el fin de minimizar los efectos adversos debidos a la estabilidad del foco del telescopio 20. Diversas técnicas adecuadas para la atermalización óptica podrían utilizarse para este propósito. Por ejemplo, el primer elemento óptico 55a del telescopio 20 puede tener una tasa de cambio de índice de refracción con la temperatura que es positiva (es decir, un $+ve \, dn/dT$) y el segundo elemento óptico 55b del telescopio 20 puede tener una tasa de cambio de índice de refracción con la temperatura que es negativo. (es decir, un $-ve \, dn/dT$). Preferiblemente, la magnitud de la tasa de cambio de índice de refracción con la temperatura de cada elemento óptico 55a, 55b se selecciona de tal manera que el cambio neto en las propiedades ópticas del telescopio 20 en su conjunto con la temperatura se reduce al mínimo o cero, al menos en el rango de operación del resonador 5.

Un ejemplo alternativo o adicional de una técnica de atermalización es montar o bien el elemento óptico 55a o 55b en un montaje reentrante o husillo 60a, de materiales y geometría elegidos de modo que la expansión térmica efectiva de la separación es ya sea suficientemente baja como para no afectar el enfoque, o elegida para cancelar explícitamente la deriva térmica del comportamiento óptico de las lentes. Un ejemplo de un montaje reentrante se describe en "Introduction to optomechanical design" de Daniel Vukobratovich, National Optical Astronomy Observatories, 950 Cherry Ave Tucson AZ 85726-6732 en el que el montaje reentrante se describe como un

"compensador bimetalico", aunque se apreciará que el montaje reentrante no necesita ser metálico. En general, un montaje reentrante 60a tiene el segundo elemento óptico 55b conectado al primer elemento óptico 55a por medio de un árbol de compensación plegado 66, como se muestra en la figura 3. Puede verse de esto que el primer elemento óptico 55a está montado en un elemento de montaje 67 que tiene un bajo coeficiente de expansión térmica. El elemento de montaje 67 también comprende medios de ajuste de enfoque 65a para variar la separación del primer y segundo elementos ópticos 55a, 55b. El elemento de montaje 67 se extiende desde el primer elemento óptico 55a a través del segundo elemento óptico 55b en el que está montado en otro lado del segundo elemento óptico 55b a través de un elemento de conexión 68 cuyo coeficiente de expansión térmica es alto con relación al del elemento de montaje 67. La distancia entre los dos elementos ópticos 55a, 55b equivalente a la expansión térmica puede ser elegida de forma muy precisa para dos valores arbitrarios de coeficiente de material de expansión térmica mediante la variación de la longitud del elemento de conexión 68.

Se apreciará que otras técnicas atermalización serían evidentes para un experto en la técnica, que se puede aplicar, además o como alternativa a las técnicas descritas anteriormente. Opcionalmente, la longitud del telescopio 20 se puede incrementar y/o el aumento del telescopio 20 disminuirse y/o la separación nominal de los dos brazos se reducirse con el fin de hacer que el requisito de atermalización sea menos exigente.

El medio de ganancia 25 se proporciona en la forma de una varilla que se extiende a lo largo de la trayectoria del haz en una pata o la trayectoria 50a del resonador, por ejemplo, en la trayectoria del haz 50a entre el acoplador de salida 10a y el retrorreflector 15 entre el retrorreflector 15 y el telescopio 20. En los ejemplos específicos mostrados en las figuras 1 y 2, el medio de ganancia 25 se proporciona en la primera pata 50a, aunque la invención no se limita a los mismos. El medio de ganancia 25 puede comprender cualquier material de amplificación de láser adecuado conocido en la técnica.

Como se muestra en detalle en la figura 2, el medio de ganancia 25 se proporciona en un extremo bombeado de configuración, en el que se bombea a través de un extremo de la varilla del medio de ganancia 25. Sin embargo, se apreciará que la varilla del medio de ganancia 25 puede igualmente ser bombeada a través del otro extremo o, de hecho, bombeada a través de ambos extremos. Alternativamente, la varilla del medio de ganancia 25 se bombea opcionalmente de lado. En la realización mostrada en la figura 2, la varilla del medio de ganancia 25 es bombeada en extremo mediante el uso de un divisor de haz polarizador 70, que permite que la radiación de bombeo sea proporcionada a partir de una fuente de bombeo 75 hasta el final del medio de ganancia 25 aun así permitiendo que el haz oscile y resuene en el resonador 5. Ventajosamente, el divisor de haz polarizador 70 está configurado opcionalmente para permitir la operación de conmutación q del resonador. Además, la combinación de todos los componentes calientes, tales como la bomba 75 y/o el medio de ganancia 25 en el mismo módulo puede permitir una gestión térmica más fácil del resonador 5.

En la realización mostrada en la figura 2, se proporciona también un conmutador electroóptico de q 80 separado, en este caso en la segunda pata 50b del resonador 5. Ventajosamente, el conmutador de q 80 está configurado para tener un desplazamiento de fase nominal $\lambda/4$ y produce un cambio adicional de fase $\lambda/4$ cuando se activa. De esta manera, se requiere una tensión de excitación inferior para activar el conmutador de q 80.

Medios de ajuste del resonador, por ejemplo, en la forma de un par de cuñas de rotación 85a, 85b, se proporcionan en la trayectoria del haz, en este caso en la segunda pata 50b entre el telescopio 20 y el retrorreflector 15 en la trayectoria del haz entre el espejo de extremo 10b y el retrorreflector 15. Al menos una de las cuñas 85a, 85b está configurada para ser giratoria con respecto a la otra cuña 85a, 85b. De esta manera, la alineación del resonador puede ser ajustada, por ejemplo, para compensar el ajuste de foco residual en el telescopio 20 y/o por cualquier cuña residual en los componentes debido a tolerancias de fabricación.

La disposición anterior se traduce en un resonador altamente resistente.

Si el telescopio 20 se proporciona sólo en un brazo 50a o 50b del resonador 5 y el sustrato de espejo 30 se mueve con respecto al telescopio 20, a continuación, esto produciría un desplazamiento del orificio de visión al haz, lo que podría desestabilizar el resonador 5. Sin embargo, en las configuraciones del telescopio común de la figura 1 y la figura 2, el retrorreflector 15 refleja el haz en el mismo ángulo que el haz incidente y el desplazamiento de la línea de visión inducida cuando el haz viaja a través del telescopio 20 en la dirección hacia adelante o primera se invierte exactamente cuando el haz viaja de vuelta a través del telescopio 20 en la dirección segunda o inversa.

En otro ejemplo, en un aparato que tiene un telescopio sólo en una pata del resonador, si uno de los lentes de telescopio 55a, 55b se mueve con relación al otro, es decir, un elemento óptico 55a, 55b del telescopio 20 está descentrado, el resultado sería ser la creación de un cambio de orientación de referencia en el haz. Sin embargo, de manera similar a lo anterior, ya que el retrorreflector 15 refleja el haz reflejado en el mismo ángulo que el haz incidente, el desplazamiento de la línea de visión se invierte exactamente cuando el haz pasa de nuevo a través del telescopio 20 en la dirección inversa.

Se apreciará que se producirá un efecto de autocorrección similar cuando la guiñada de uno de los elementos óptico 55a, 55b del telescopio 20 varía con respecto al otro.

La simplicidad del diseño del telescopio común permite una reducción en la complejidad de los procedimientos de fabricación y asegura que ambas patas 55a, 55b se correspondan ópticamente. Cualquier penalidad de peso debido a las ópticas adicionales es limitada como el diseño de la cavidad plegada es inherentemente compacto. Además, puesto que la calidad del haz es buena como un resultado de la disposición de telescopio 20, el resonador 5 puede hacerse más corto, con el fin de reducir el peso y el volumen a expensas de la calidad del haz. Además, dado que la presente disposición tiene una buena resistencia a la desalineación, a continuación, la presente invención puede emplear telescopios más compactos, de nuevo ahorrando peso.

Se investigó la capacidad de recuperación de la geometría anterior. A los efectos de comparación un sistema comparativo que comprende un telescopio sólo en un brazo del resonador se comparó con una configuración de telescopio común correspondiente en el que el telescopio 20 actúa sobre ambos brazos 50a, 50b.

Para esta comparación específica, si el acoplador de salida 10a/espejo final 10b está desalineado (girado con respecto al eje óptico del telescopio), entonces se puede ver que, para el sistema comparativo, sólo se requiere una desalineación de 0,000116 grados (2,0 μ rad) con el fin de disminuir la energía de salida en un 1 %, como se muestra en la figura 4. En contraste, para la disposición de telescopio común, se necesita una desalineación de 0,4 grados (7000 μ rad) antes de que la salida de energía caiga en un 1 %, como se muestra en la figura 5.

Para un descentramiento de uno de los lentes 55a, 55b del telescopio 20, entonces la caída en la potencia de salida del resonador 5 en los casos del sistema comparativo y la configuración telescopio común para esta comparación específica se muestran en las figuras 6 y 7, respectivamente. De esto, se puede ver que, para el sistema comparativo, un descentramiento de sólo 0,072 micrones resultado en una caída del 1 % en la energía, mientras que la configuración de telescopio común puede ser descentrada en 25 micrones antes de que la energía se reduzca en un 1 %.

Por lo tanto, el resonador anterior 5 de la presente invención que comprende un retrorreflector 15 en conjunción con un telescopio común 20 que se extiende por dos patas de la trayectoria del haz de un diseño de la cavidad plegada puede resultar en un resonador 5 mucho más robusto.

La mejora en la calidad del haz lograda por el resonador 5 anterior también se investigó el uso de modelos teóricos. En este caso, un resonador comparativo en la forma de un resonador clásico de 200 mm de largo que comprende un telescopio que tiene 2,5 aumentos y siendo de 40 mm de largo fue modelado con fines comparativos. El resonador comparativo fue desplegado y tenía 2 espejos planos paralelos opuestos.

La configuración del telescopio común fue el modelo utilizando un espejo inmediatamente adyacente a un telescopio de expansión, separado de un telescopio que reduce a 200-40-40 = 120 mm, inmediatamente seguido por el segundo espejo plano.

Ambos modelos de telescopios común y comparativo fueron ligeramente desenfocados para proporcionar un margen de estabilidad realista. La cantidad de desenfoque se fijó para cada resonador tal que el margen de estabilidad fue de 0,99 (siendo 1 el límite). Se encontró que la cantidad de desenfoque para cada modelo de forma iterativa antes de llevar a cabo el análisis.

Para el modelo de comparación y el modelo representativo de la disposición de telescopio común, usando el mismo alcance de ampliación y funcionando en el mismo punto de estabilidad, se encontró que el radio del modo fundamental en la cintura del haz es 10,84 % mayor para la disposición de telescopio común que para el modelo de comparación. Esto se traduce en una mejora del 22,8 % en la zona y por lo tanto la energía mantenida del modo fundamental.

En general, la configuración de resonador descrita anteriormente puede proporcionar al menos una y, en general cada una de las siguientes ventajas:

- i) Dado que el telescopio 20 se utiliza dos veces por cruce por el haz de la cavidad del resonador 5 de la presente invención, la mejora en la calidad del haz se incrementa en el caso en el que se proporciona el telescopio 20 sólo en un brazo o pata 55a, 55b del resonador 5.
- ii) El diseño de la presente invención es inherentemente resistente a la desalineación del sustrato reflector de extremo, la desalineación del retrorreflector 15, el descentrado del retrorreflector 15, la desalineación del telescopio 20, el descentrado del telescopio 20, el descentrado de uno de los elementos ópticos 55a, 55b del telescopio 20, y la guiñada de uno de los elementos ópticos 55a, 55b del telescopio 20.
- iii) La alta resistencia del resonador 5 de la presente invención permite utilizar potencias de telescopio más altas para lograr un aumento de la calidad del haz para un volumen dado.
- iv) El resonador anterior 5 de la presente invención proporciona al diseñador el ángulo de deriva para operar en la calidad del haz superior resultante del telescopio 20 para la capacidad de recuperación más fuerte del foco del telescopio.
- v) Dado que el ángulo sólido que ambos espejos 10a, 10b presente en el medio de ganancia se reduce, hay una reducción correspondiente en pérdidas de emisión espontánea amplificadas (ASE).
- vi) El resonador 5 de la presente invención es simple y puede utilizar ópticas esféricas, lo que reduce costes y la complejidad de fabricación.

Se apreciará que, aunque un ejemplo ventajoso de la invención se ha descrito anteriormente, se contemplan variaciones en el ejemplo anterior.

5 Por ejemplo, se apreciará que la presente invención es operable con una amplia variedad de materiales medio de ganancia adecuados, las configuraciones de bombeo, y las dimensiones del resonador, tal como se conoce en la técnica, con diversos grados de eficacia, y no se limita a ninguna configuración particular.

10 Se apreciará que la aplicación más genérica de la presente invención sería como un telescopio común montado entre un número par, tal como dos, brazos de un resonador doblado. Se apreciará que los reflectores finales podrían comprender cualquier medio adecuado conocido en la técnica, tales como porros cruzados, cubos de esquina, espejos, o similares. El acoplador de salida puede comprender cualquier medio adecuado conocido en la técnica, tales como la polarización acoplado, parcialmente reflectante, y similares.

15 Aunque el ejemplo específico descrito anteriormente utiliza un montaje de husillo en el eje, se apreciará que otros soportes adecuados pueden ser usados, tales como un híbrido de montaje, en donde el lente del objetivo del telescopio está montado a través de su eje horizontal, y el lente ocular del telescopio está montado alrededor de su periferia, es decir, el eje sería hueco alrededor del ocular, con orificios para permitir que los haces pasen. Esto permite ventajosamente que la lente ocular del telescopio llegue lo más cerca posible al eje óptico para maximizar una reducción en la sensibilidad de enfoque.

Como se muestra en la figura 2, el medio de ganancia 25 comprende una varilla. Sin embargo, se apreciará que la varilla del medio de ganancia 25 puede ser igualmente una carcasa de bloque o cámara de un medio de ganancia de estado no sólido.

20 El resonador descrito anteriormente en el ejemplo detallado es un resonador de conmutación de q. Sin embargo, se apreciará que el resonador alternativamente se puede configurar, operar o ser operable como un dispositivo de onda continua, un láser de modo bloqueado, un láser de pulso larga, o similares.

25 Se apreciará que un resonador de láser como se ha descrito anteriormente se puede usar en una variedad de potenciales aplicaciones basadas en láser y aparatos tales como, pero no limitados a un sensor, un designador láser, un telémetro, una fuente de la bomba láser y/o similares.

Por lo tanto, se apreciará que la descripción específica anterior se proporciona a modo de ejemplo solamente y que el alcance de la invención se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un resonador (5) de láser que comprende:
 - un acoplador (10a) de salida;
 - un reflector (10b) de extremo;
 - 5 un retrorreflector (15);
 - un telescopio (20);
 - un medio (25) de ganancia; **caracterizado porque**
 - el telescopio (20) es un telescopio común, en el que el telescopio común es un telescopio compartido por al menos dos brazos o trayectorias (50a, 50b) del resonador, estando el telescopio común provisto en trayectorias de haces (50a, 50b) entre el retrorreflector (15) y tanto el reflector (10b) de extremo como el acoplador (10a) de salida.
2. El resonador (5) de láser según la reivindicación 1, en el que el retrorreflector (15) está dispuesto de tal manera que un haz ni se recibe ni se refleja a lo largo de un eje (40) de simetría del retrorreflector (15).
3. El resonador (5) de láser según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el telescopio (20) es compartido por un número par de brazos o trayectorias de haces (50a, 50b) del resonador (5) por viaje de ida y vuelta.
4. El resonador (5) de láser según cualquier reivindicación anterior, en el que:
 - el resonador (5) está configurado de tal manera que un haz o la radiación reflejada desde el acoplador (10a) de salida pasa a través del telescopio (20) antes de ser reflejada por el retrorreflector (15) al reflector (10b) de extremo a través del telescopio (20); y/o
 - 20 el medio (25) de ganancia se proporciona en la trayectoria del haz (50a) entre el retrorreflector (15) y el telescopio (20); y/o
 - el telescopio (20) está configurado para expandir el haz que pasa por el medio (25) de ganancia.
5. El resonador (5) de láser según cualquier reivindicación anterior, en el que el acoplador (10a) de salida y el reflector (10b) de extremo están integrados, y se proporcionan opcionalmente sobre un sustrato (30) común.
6. El resonador (5) de láser según cualquier reivindicación anterior, en el que:
 - la geometría del resonador-telescopio está optimizada para una baja sensibilidad línea de visión del focalizador del telescopio; y/o
 - 30 el telescopio (20) comprende medios (65) de ajuste de enfoque; y/o
 - el telescopio (20) es desenfocado o está configurado para ser desenfocado.
7. El resonador (5) de láser según cualquier reivindicación anterior, en el que el telescopio (20) está configurado para introducir convergencia o divergencia local dentro de la cavidad.
8. El resonador (5) de láser según cualquier reivindicación anterior, en el que el enfoque del telescopio (20) se atermaliza activa o pasivamente; y comprende opcionalmente un montaje reentrante (60a).
9. El resonador (5) de láser según cualquier reivindicación anterior, en el que:
 - el telescopio (20) está configurado para exhibir aberraciones ópticas bajas fuera del eje; o
 - 40 el telescopio (20) está configurado para tener aberraciones de eje, que puede estar opcionalmente configuradas para lograr la estabilidad de ida y vuelta.
10. El resonador (5) de láser según cualquier reivindicación anterior, en el que:
 - el retrorreflector (15) comprende un retrorreflector de esquina de cubo; y/o
 - 45 el retrorreflector (15) está dispuesto para estar fuera de eje; y/o
 - un eje (40) de simetría del retrorreflector (15) es colineal con el eje óptico del telescopio común (20).
11. El resonador (5) de láser según cualquier reivindicación anterior, en el que el resonador (5) comprende o incorpora un elemento de ajuste de alineación; el elemento de ajuste de alineación que comprende opcionalmente una cuña (45) óptica fija o un conjunto de pares de cuñas giratorias (85a, 85b).
12. El resonador (5) de láser según cualquier reivindicación anterior, en el que:
 - el resonador (5) de láser comprende una fuente (75) de radiación configurada para el bombeo de extremo del medio de ganancia a través de un divisor (70) de haz polarizado, en el que el divisor (70) de haz polarizado es operable como un conmutador de Q; y/o
 - 55 el resonador (5) de láser está configurado para soportar y/o crear uno o más modos resonantes estables.

13. Un láser que comprende el resonador (5) de láser de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.
14. Un aparato que comprende un láser según la reivindicación 13.
15. Un procedimiento de operación de un resonador (5) de láser según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 y/o un láser según la reivindicación 13 y/o un aparato según la reivindicación 14.

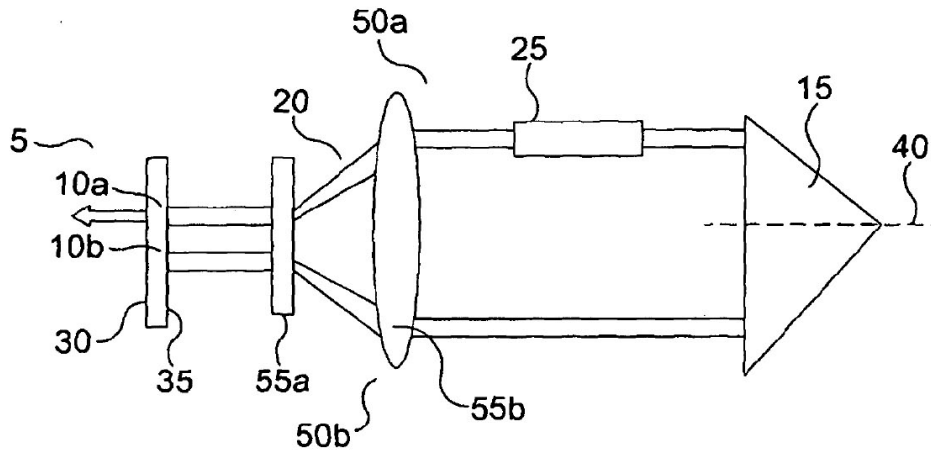


Figura 1

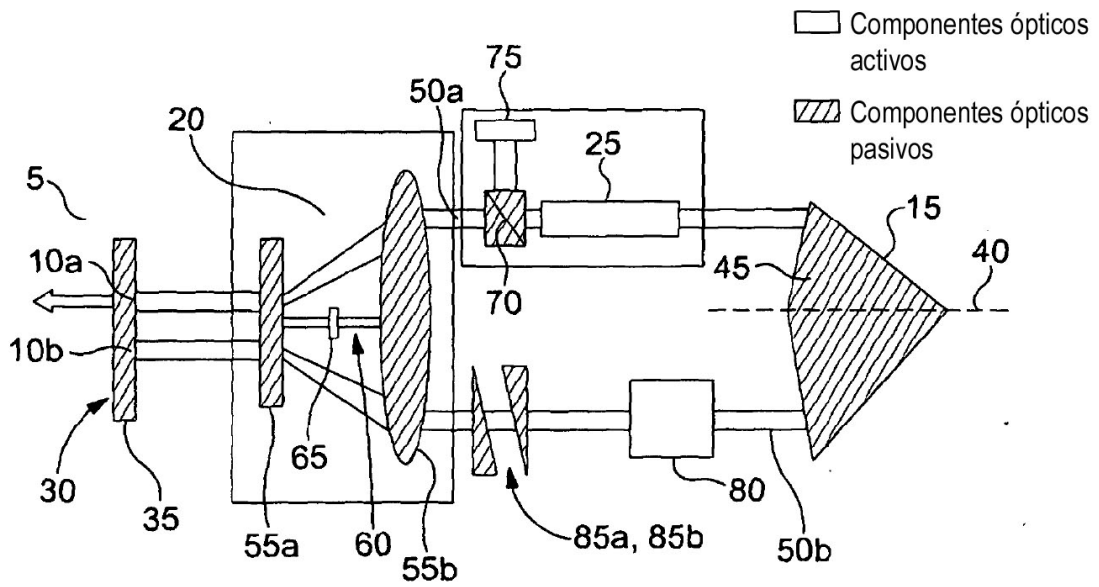


Figura 2

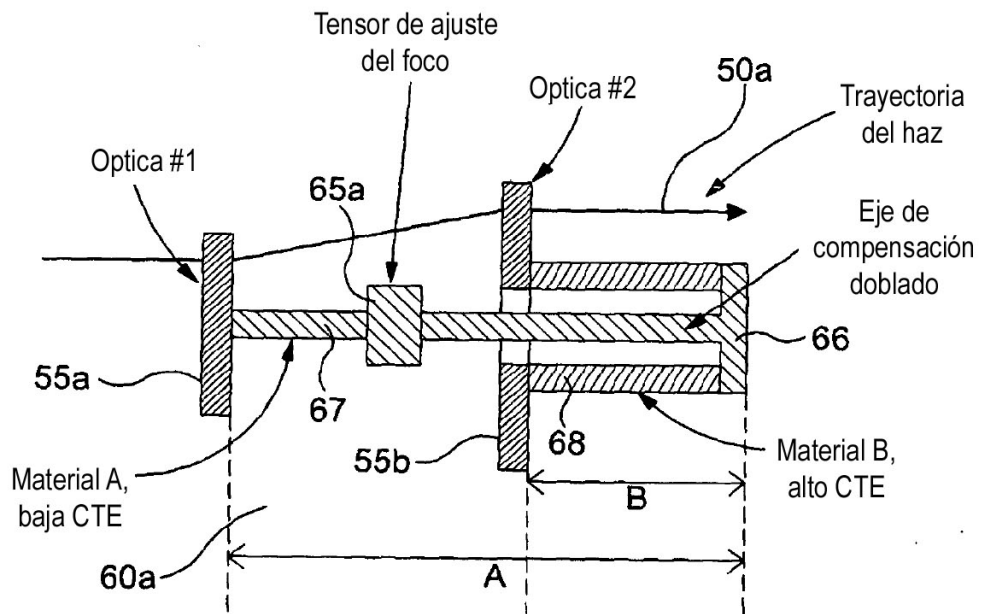


Figura 3

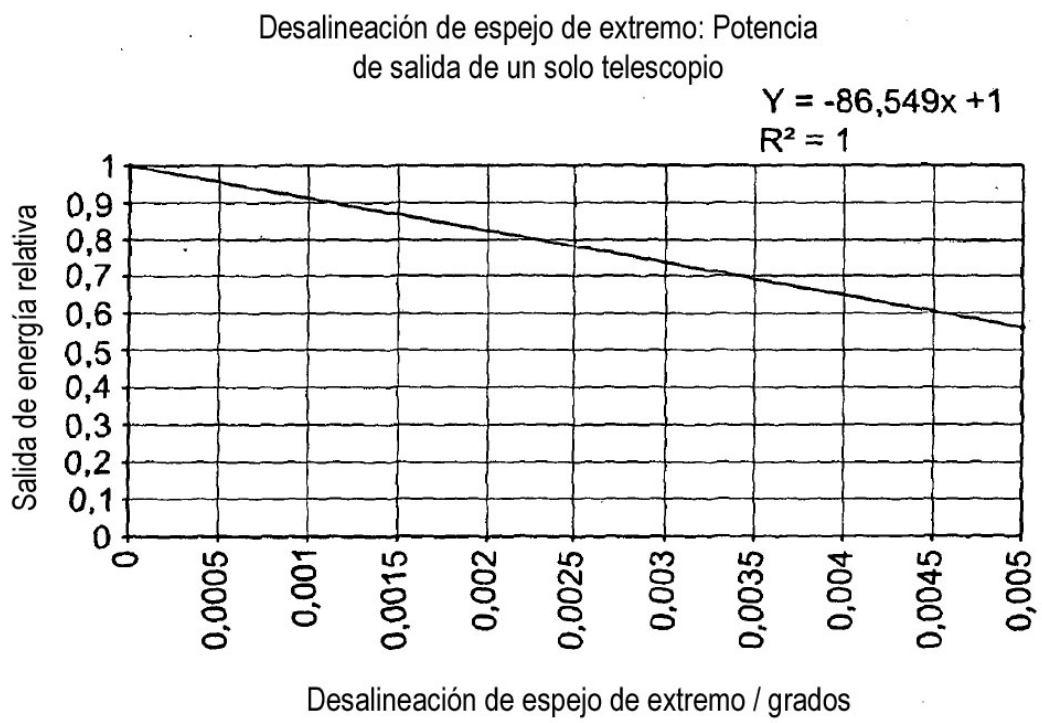


Figura 4

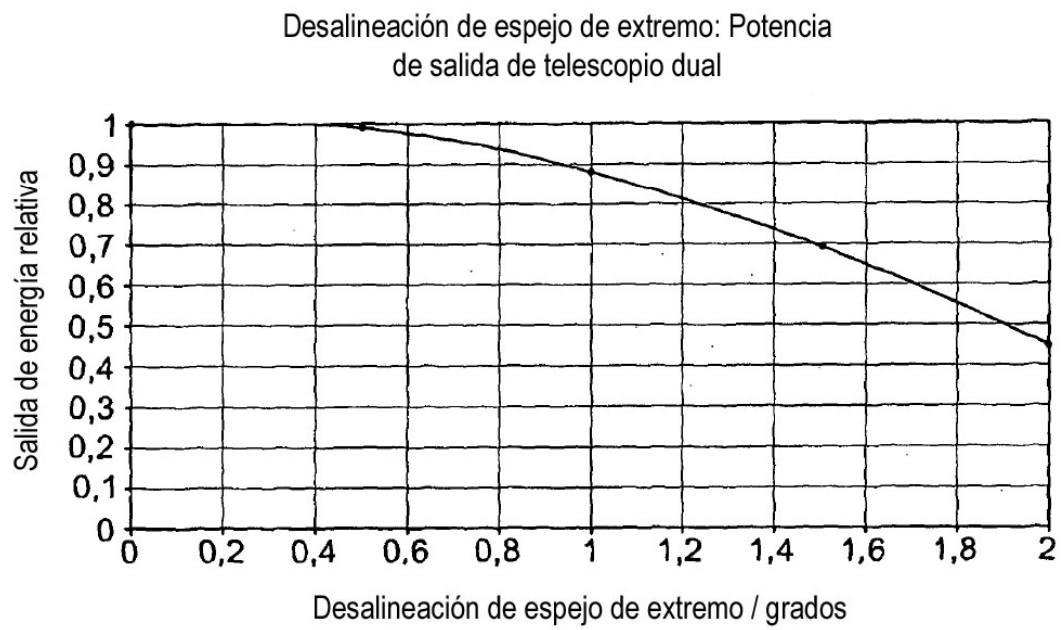


Figura 5

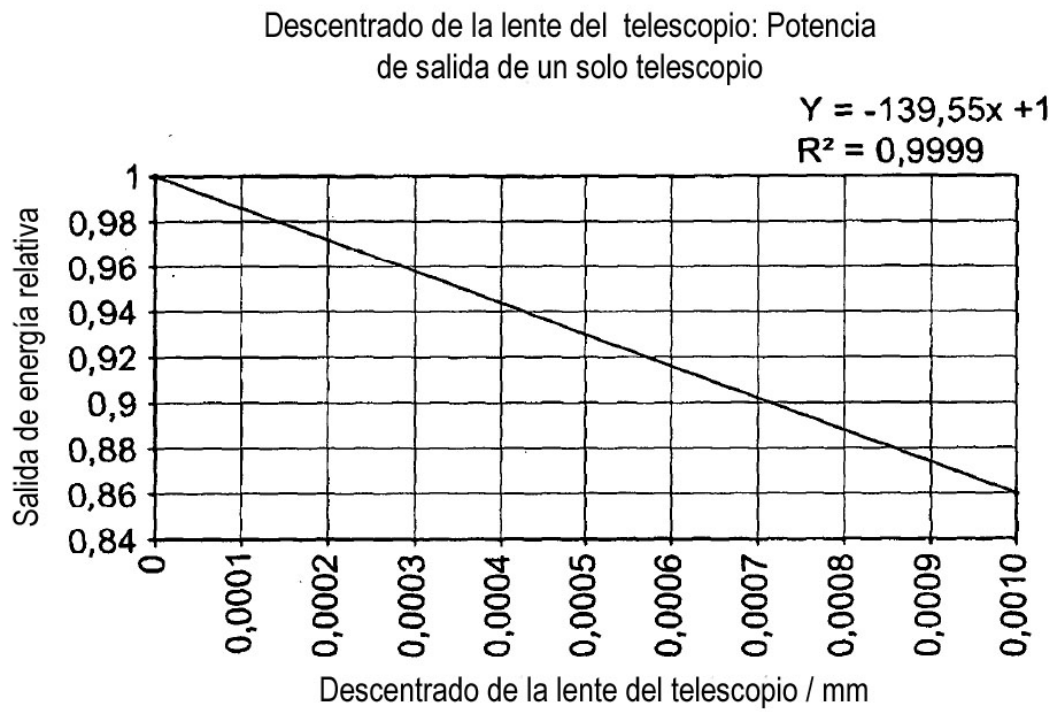


Figura 6

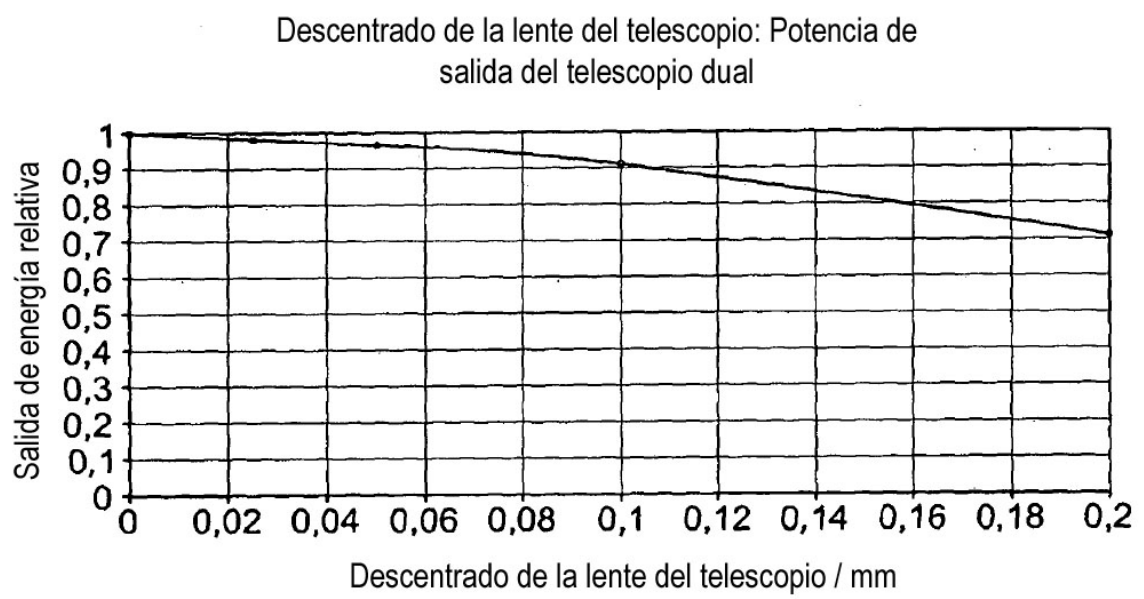


Figura 7