

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 337**

51 Int. Cl.:

**G01J 1/42** (2006.01)  
**G01J 1/04** (2006.01)  
**G02B 17/00** (2006.01)  
**G02B 27/09** (2006.01)  
**G02B 27/10** (2006.01)  
**H01S 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.12.2014 PCT/EP2014/076175**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.06.2015 WO15082435**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2014 E 14806603 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.03.2018 EP 3078086**

54 Título: **Dispositivo de muestreo de un haz láser de alta energía y gran tamaño asociado a un compresor**

30 Prioridad:

**04.12.2013 FR 1302820**

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

**06.06.2018**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
TOUR CARPE DIEM PLACE DES COROLLES  
ESPLANADE NORD  
92400 COURBEVOIE, FR**

72 Inventor/es:

**LAUX, SEBASTIEN;  
JOUGLA, PAUL y  
LUREAU, FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 671 337 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**

Dispositivo de muestreo de un haz láser de alta energía y gran tamaño asociado a un compresor

El ámbito de la invención es el del muestreo de un haz láser pulsado de alta energía generalmente superior a 1 J y, de gran tamaño, es decir, que tiene un diámetro generalmente superior a 1 cm. Los pulsos láser considerados tienen generalmente una duración inferior a 1 ps, incluso del orden de los fs.

Para realizar un análisis representativo de un haz láser, se toma una muestra de este haz (=se muestrea el haz).

Se recuerda que un haz láser pulsado de alta energía y gran tamaño se obtiene por medio de un equipo CPA, acrónimo de la expresión anglosajona "Chirped Pulse Amplifier" (o equipo de amplificación láser por compresión de pulsos) que se puede ver en la figura 1 y que consta en la entrada de un estirador 1 adecuado para estirar un pulso láser de baja energía en función de la longitud de onda, conectado a un amplificador 2 adecuado para amplificar el pulso estirado en un pulso estirado de alta energía y, conectado a un compresor 3 al vacío adecuado para compensar el pulso estirado y amplificado. A la salida del compresor se obtiene un pulso láser de alta energía y de gran tamaño, transmitido al vacío para energías superiores a 4 TW. En los láseres de clase TW o multi PW, el diámetro del pulso láser a la salida del compresor es de clase centimétrica o, incluso, métrica.

Para realizar la caracterización espacio-temporal de un tal sistema de gran energía, es necesario tomar solo una parte muy pequeña del haz para no dañar el dispositivo de análisis y, reducir su tamaño con el fin de adaptarlo al del dispositivo de análisis, conservando sus propiedades.

Se conoce muestrear un tal haz con ayuda:

- de un espejo 32 llamado "de fuga" mostrado en la figura 2, colocado en el recinto 31 al vacío del compresor, pero a la salida de los elementos de compresión y aguas arriba de una ventana 33 de salida y que presenta una transmisión inferior al 2 % para tomar solo una pequeña muestra del haz principal comprimido,
- de un sistema 42 óptico afocal reductor de aberraciones, ubicado aguas abajo de la ventana de salida del compresor, y
- de un dispositivo 43 de medición del haz muestreado reducido.

Se recuerda que el sentido aguas arriba y aguas abajo es el de la propagación del haz láser.

Sin embargo, un tal dispositivo de muestreo presenta varios inconvenientes:

- El haz muestreado atravesó el espejo 32 de fuga antes de medirse. En el caso de una medición de duración ultra corta de pulso, es necesario asegurar que la trayectoria óptica recorrida por cada longitud de onda (es decir, la fase espectral) que constituye el pulso sea la misma sobre el haz principal y el haz muestreado. También es necesario conservar de manera fiel la distribución espectral de la energía (es decir, la intensidad espectral). Por lo tanto, es necesario compensar este cruce en la trayectoria óptica del haz principal comprimido que se le ha reflejado y, por lo tanto, no ha atravesado el material del espejo 32. Sin embargo, un tal compensador es difícil de realizar teniendo en cuenta la energía del haz principal a la salida del compresor. De hecho, un tal haz dañaría cualquier material que se cruzará.
- Por otra parte, el haz muestreado sufre las distorsiones del espejo de fuga, que también son difíciles de compensar sobre el haz principal.
- Además, una transmisión muy pequeña (es decir, <2%) necesita una muy buena homogeneidad de toma de muestra en toda la pupila del espejo y sobre toda la banda espectral del espejo. Obtener transmisiones inferiores al 2 % con variaciones inferiores al 0,2 % es muy difícil de realizar por los fabricantes de espejos de fuga.

El documento US 2011 0268 389 desvela un dispositivo de muestreo y de medición de un haz láser pulsado de alta energía y de gran diámetro, que consta de un dispositivo de toma de muestra del haz situado aguas arriba del compresor. En consecuencia, sigue habiendo hasta la fecha una necesidad de un sistema que permita, para estos haces de alta energía y de gran tamaño, realizar un muestreo sin transformarle las propiedades espacio-temporales.

Más específicamente, la invención tiene como objeto un dispositivo de muestreo de un haz láser pulsado de alta energía y de gran diámetro como se define en la reivindicación 1. En esta configuración, se ha reemplazado el uso de un espejo de fuga por la reflexión en una dioptría. Esta solución permite, por lo tanto, obtener un haz muestreado homogéneo sobre una gran pupila y representativo del haz que se analizará. De hecho, el haz muestreado no sufre distorsiones debidas a una falta de homogeneidad de la toma de muestra, el haz extraído es función únicamente del índice óptico n de la toma de muestra que es idéntica, independientemente de la posición en la pupila del haz que se analizará. Por lo tanto, se puede usar el haz muestreado para sondear el compresor de gran abertura y usar un compensador de pequeña abertura fácilmente caracterizable aplicado a la señal muestreada.

Según esta configuración, el haz muestreado atraviesa menos material que el haz original, a diferencia del caso presentado en el preámbulo, con un espejo de fuga. Entonces, es posible compensar el cruce de material sobre la trayectoria óptica de la señal muestreada a través de un compensador fácilmente caracterizable.

Según una característica de la invención, el dispositivo de muestreo consta, en el trayecto del haz muestreado, de un compensador de trayectoria óptica, adecuado para aumentar la trayectoria óptica de este haz muestreado.

5 La invención tiene también por objeto un dispositivo de análisis de un haz láser pulsado de alta energía y de gran diámetro procedente de un compresor, que comprende un dispositivo de muestreo tal como se describió anteriormente y destinado a asociarse a dicho compresor y, un dispositivo de medición del haz muestreado y comprimido.

La invención se refiere igualmente a un equipo de amplificación láser por compresión de pulsos que comprende un estirador, un amplificador, un compresor, adecuado para producir a la salida del compresor un haz láser pulsado de alta energía y de gran diámetro, caracterizado porque comprende un dispositivo de análisis tal como se describe.

10 Otras características y ventajas de la invención resultarán evidentes tras la lectura de la descripción detallada que sigue, realizada a título de ejemplo no limitante y en referencia a los dibujos adjuntos en los que:

la figura 1 ya descrita representa esquemáticamente una cadena amplificadora según la técnica anterior,  
 la figura 2 ya descrita representa esquemáticamente un compresor asociado a un dispositivo de muestreo según la técnica anterior,  
 15 la figura 3 representa esquemáticamente un ejemplo de compresor asociado a un dispositivo de muestreo según la invención,  
 la figura 4 ilustra esquemáticamente ejemplos de huellas del haz muestreado y del haz principal en la abertura útil de un compresor asociado a un dispositivo de muestreo según la invención,  
 las figuras 5 ilustran la comparación entre el coeficiente de transmisión de un espejo de fuga con el de la reflexión en una dioptría de sílice fundido (figura 5a) y, la intensidad espectral de un espectro gaussiano obtenido en estos dos casos (figura 5b),  
 20 la figura 6 ilustra la diferencia de intensidad espectral de un espectro gaussiano después de atravesar un espejo de fuga y después de la reflexión en una dioptría, cuando el pulso ya no está centrado en la misma longitud de onda,  
 25 la figura 7 ilustra la diferencia de intensidad temporal de un pulso gaussiano temporal antes y después de atravesar un material de espesor  $e$  (40 mm) en un ángulo de  $45^\circ$ .

De una figura a otra, los mismos elementos se localizan por las mismas referencias.

Para realizar un análisis representativo del pulso láser de alta energía y de gran tamaño obtenido a la salida del compresor, es necesario para esto asegurar que el haz principal y el haz muestreado sufran las mismas modificaciones espacio-temporales, a lo largo de sus trayectos respectivos.

30 Se detallará primero los problemas planteados por un dispositivo de muestreo de espejo de fuga:

- la transmisión del espejo de fuga o su espesor deben ser pequeños para evitar efectos no lineales de tipo SPM, acrónimo de la expresión anglosajona "Self Phase Modulation" durante la transmisión del láser en el espejo. Se recuerda que los efectos no lineales dependen, en particular, de la potencia pico del pulso a la entrada y del espesor de material atravesado. Para mantener los efectos no lineales dentro de los límites razonables como, por ejemplo, una integral B del pulso transmitido inferior a 1, la tasa de transmisión del espejo de fuga debe, por lo tanto, ser del orden del 0,1 %, lo que plantea el siguiente problema.
- A título de ilustración tomemos un espejo de alta reflectancia o HR cuya reflectancia es del 99,9 % en la longitud de onda  $\lambda_1$  y el 99,8 % en la longitud de onda  $\lambda_2$ . La distorsión del pulso reflejado, que es la distorsión entre las dos longitudes de onda, es de  $((99,9-99,8)/(99,9)) = 0,001$ . La distorsión del pulso reflejado es, por lo tanto, muy pequeña. En el caso del pulso transmitido, la longitud de onda  $\lambda_1$  se transmite al 0,2 % y la longitud de onda  $\lambda_2$  y se transmite al 0,1 %. Para el pulso transmitido, la distorsión entre las dos longitudes de onda es de  $((0,2-0,1)/(0,2)) = 50$  %. La distorsión en este caso es, por lo tanto, muy alta. El perfil espectral del haz transmitido (= haz muestreado) no es, por lo tanto, en absoluto, similar al haz útil reflejado: es más grande y puede centrarse en otra longitud de onda. Las mediciones temporales se falsearán por estas distorsiones.
- En los láseres de clase TW o, incluso, multi PW, donde el diámetro del pulso láser en el compresor es de clase centimétrica o, incluso, métrica, el espesor del espejo de fuga puede ser, por lo tanto, de varios cm para garantizar un frente de onda reflejado de buena calidad (sin aberraciones de frente de onda), mientras que este espesor debe ser pequeño para limitar los efectos no lineales, como se vio anteriormente.
- Por otra parte, el haz original se refleja por el espejo HR, no atraviesa ningún material. El propio haz muestreado, atraviesa el sustrato del espejo. La trayectoria óptica recorrida por los dos haces, por lo tanto, es diferente, los dos haces no sufren, por lo tanto, las mismas distorsiones espacio-temporales.

La solución según la invención consiste en realizar la toma de muestra de la muestra aguas arriba del compresor. Para después reducir el tamaño del haz muestreado para adaptarlo al tamaño del aparato de medición, se yuxtapone con el haz principal para comprimirse por el compresor en las mismas condiciones espacio-temporales que el haz principal.

Más específicamente, el dispositivo de muestreo descrito en relación con la figura 3, consta, aguas arriba del compresor 3:

- 5 - de un dispositivo de toma de muestra asegurado por una dioptría 44 de muestreo, por ejemplo, de sílice o del BK7, adecuado para transmitir T% de haz láser pulsado que se compensará ( $T > 90$  o, incluso, superior a 99), designándose el haz transmitido como haz principal o, de referencia, todo a lo largo de su trayecto aguas abajo de esta dioptría 44 y, para reflejar en ella  $(1-T)\%$ , designándose el haz reflejado como haz muestreado. Durante el cruce de la dioptría 44, no se produce ningún efecto no lineal ya que se trata del haz estirado que aún no presenta la potencia pico que alcanzará a la salida del compresor.
- 10 - sobre el trayecto del haz muestreado:
  - 10 ◦ un sistema 42 óptico afocal adecuado para reducir el tamaño del haz muestreado, que consta, preferentemente, de ópticas catadióptricas para conservar las propiedades del haz muestreado;
  - 15 ◦ un dispositivo de reinyección del haz muestreado reducido en la abertura útil del compresor 3. Este dispositivo de reinyección es, por ejemplo, un espejo 45 destinado a reflejar el haz muestreado reducido hacia la abertura útil del compresor 3 yuxtaponiéndolo al haz principal. Un compresor consta de manera clásica de uno o varios elementos dispersivos tales como dioptrías o redes dispersivas en reflexión 34, 35, 20 36, 37 o, redes dispersivas en transmisión, teniendo cada uno de estos elementos una abertura útil como se ilustra en la figura 4. En esta figura se representa la abertura útil de la red 34, por una parte, sobre la cual llega el haz principal y el haz muestreado reducido que aún no han sufrido dispersión espectral y, la abertura útil de la red 35, por otra parte, sobre la cual llega el haz principal y el haz muestreado reducido que han sufrido ambos una primera dispersión por la red 34 (tres longitudes de onda se representan en esta figura); cabe señalar que el haz muestreado y el haz principal se yuxtaponen en cada caso. Se recuerda que la abertura útil del compresor se define por la parte común a las aberturas útiles de todos estos elementos dispersivos.
- 25 - posiblemente, se coloca sobre el trayecto del haz principal aguas arriba del compresor, una dioptría 46 simétrica de la dioptría 44 de muestreo. Esta dioptría puede constar de una parte que asegura la función del espejo 45 de reinyección, destinándose la otra parte a transmitir el haz principal; yuxtaponiéndose los dos haces en esta dioptría, entonces, se designa dioptría 46 de recombinación.

El haz principal y el haz muestreado ha atravesado diferentes sustratos. El haz principal comprimido ha atravesado la dioptría 44 de muestreo y, posiblemente, una dioptría 46 de recombinación. El haz muestreado comprimido ha 30 atravesado en cuanto a él la ventana 33 de salida hacia el dispositivo 43 de medición. El dispositivo de muestreo consta, por lo tanto, además, de un compensador 47 de trayectoria óptica para que la trayectoria óptica de cada uno de estos dos haces sea idéntica. Se trata de un compensador de dispersión colocado sobre el trayecto del haz muestreado aguas abajo del compresor 3 como se muestra en la figura (o, posiblemente, aguas arriba) con el fin de obtener la misma dispersión en los dos haces. Este compensador 47 de pequeña abertura y fácilmente 35 caracterizable es, por ejemplo, una dioptría de espesor ajustable que puede constituirse de dos prismas, como se muestra en la figura, y que permite aumentar la trayectoria óptica recorrida por cada longitud de onda del haz muestreado comprimido (es decir, fase espectral). Esto es posible porque el haz principal comprimido atraviesa más espesor de material que el haz muestreado comprimido, a diferencia del dispositivo de muestreo con espejo de fuga descrito en el preámbulo, donde es el haz muestreado el que atraviesa el sustrato del espejo.

40 Según la invención, el muestreo se realiza en tiempo real.

El solicitante ha comparado los resultados obtenidos con un dispositivo de muestreo con espejo de fuga y con un dispositivo de muestreo según la invención.

La figura 5a presenta una comparación entre el coeficiente de la transmisión de un espejo de fuga con el de la reflexión sobre una dioptría de sílice fundido. La respuesta de la dioptría es relativamente lineal en comparación con 45 la del espejo de fuga en intervalos del orden de 100 nm centrado en 820 nm, lo que confirma la figura 5b, que presenta la intensidad espectral de un pulso gaussiano temporal de duración de 25 fs, de una anchura de 40 nm a media altura centrado en 820 nm. Se observa, en efecto, que el pulso de referencia y el pulso reflejado en la dioptría son idénticos, mientras que el pulso transmitido a través del espejo de fuga distorsiona mucho la señal: el pulso transmitido, por lo tanto, no es representativo del pulso reflejado.

50 Otra ventaja de la toma de muestra en una dioptría es la sensibilidad a la longitud de onda central de la señal. La figura 6 muestra la diferencia de comportamiento entre el espejo de fuga y la dioptría cuando el pulso ya no está centrado en 820 nm, sino en 800 nm, lo que puede pasar. Se observa que la intensidad de la toma de muestra a través de una dioptría es insensible a la longitud de onda central, a diferencia de la de la extracción por un espejo de fuga.

55 En cuanto a la diferencia de la trayectoria óptica (es decir, la fase espectral), la figura 7 ilustra la influencia del cruce de un material de espesor  $e$  (40 mm) en un ángulo de  $45^\circ$  en un pulso gaussiano temporal de duración de 25 fs y de anchura a media altura de 40 nm centrado en 820 nm. Se observa que la intensidad de la toma de muestra a través del espejo de fuga distorsiona fuertemente la señal: el pulso transmitido, por lo tanto, no es representativo del pulso

reflejado. Cabe señalar que, si esta distorsión se aplica igualmente durante el cruce de la dioptría 44 de muestreo por el haz principal, entonces se compensa por el compresor ajustado en consecuencia. El pulso muestreado reducido sufre igualmente en el compresor ajustado de este modo una distorsión inversa; sin embargo, el compensador 47 colocado en la trayectoria óptica del haz de muestra permite compensar esta diferencia.

**REIVINDICACIONES**

1. Conjunto de muestreo y de medición de un haz láser pulsado de alta energía y de gran diámetro, destinado a ser asociado a un compresor (3) que presenta una abertura útil, comprendiendo dicho conjunto:
- 5           - un dispositivo de toma de muestras de dicho haz, destinado a ser colocado aguas arriba de un compresor (3), estando provisto este dispositivo de toma de muestras de una dioptría (44) de muestreo adecuada para transmitir T % de un haz láser pulsado a comprimir, siendo T superior a 90 y a reflejar (1-T) % del haz láser pulsado a comprimir, designándose el haz reflejado como haz muestreado,
- 10          - un sistema (42) óptico afocal adecuado para reducir el tamaño del haz muestreado y destinado a ser colocado aguas arriba de dicho compresor (3),
- un dispositivo (45) de reinyección dispuesto después de dicho sistema (42) óptico afocal, dicho dispositivo (45) de reinyección destinado a ser colocado aguas arriba de dicho compresor (3) y a reinyectar el haz muestreado reducido en dicha abertura útil del compresor (3), y
- un dispositivo (43) de medición del haz muestreado y comprimido destinado a ser colocado aguas abajo del compresor (3).
- 15   2. Conjunto de muestreo y de medición según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** comprende, en el trayecto del haz muestreado, un compensador (47) de trayectoria óptica, adecuado para aumentar la trayectoria óptica de este haz muestreado.
3. Conjunto de muestreo y de medición según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** el compensador (47) está situado aguas abajo del compresor (3) y delante del dispositivo (43) de medición del haz muestreado.
- 20   4. Conjunto de muestreo y de medición según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el haz láser pulsado tiene una energía superior a 1 J y un diámetro superior a 1 cm.
5. Dispositivo de análisis de un haz láser pulsado que comprende un compresor (3) y un conjunto de muestreo y de medición según una de las reivindicaciones anteriores.
- 25   6. Equipo de amplificación láser por compresión de pulsos que comprende un estirador (1), un amplificador (2) y un dispositivo de análisis de un haz láser pulsado según la reivindicación anterior.

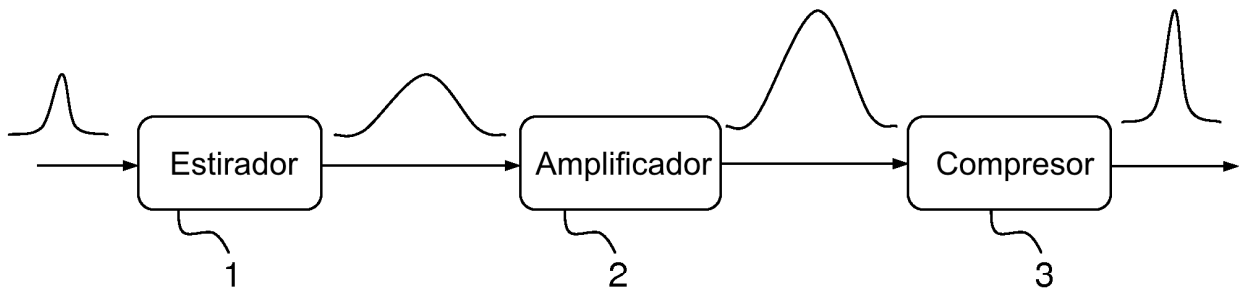


FIG.1

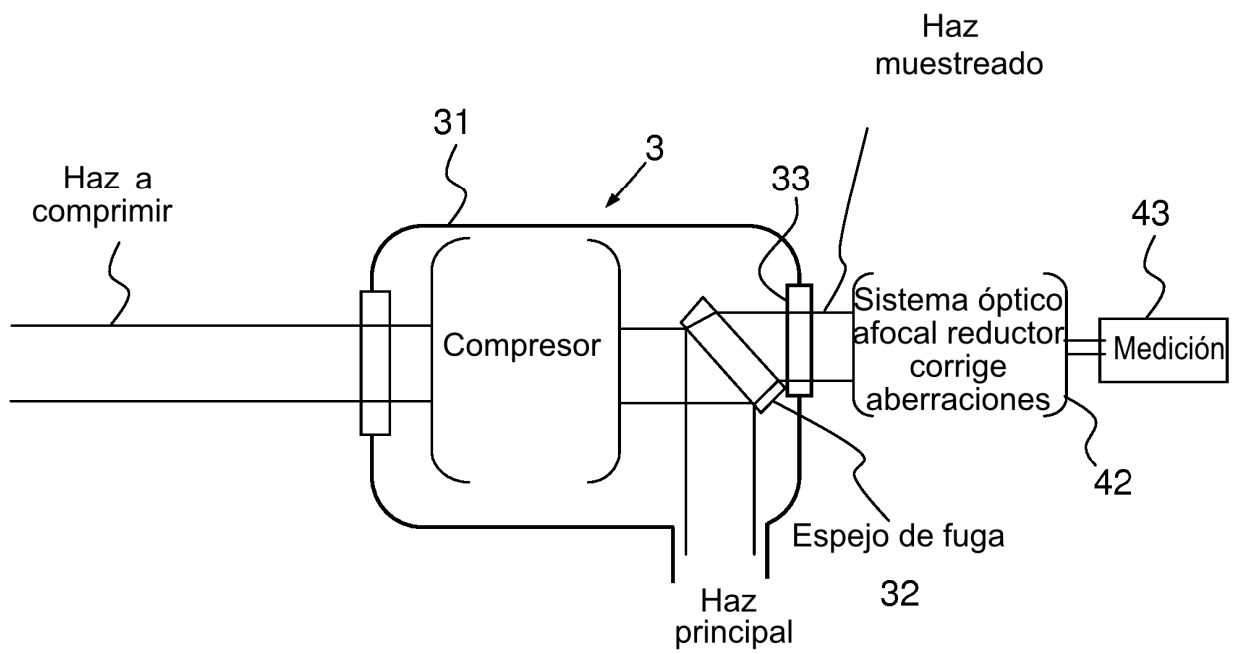
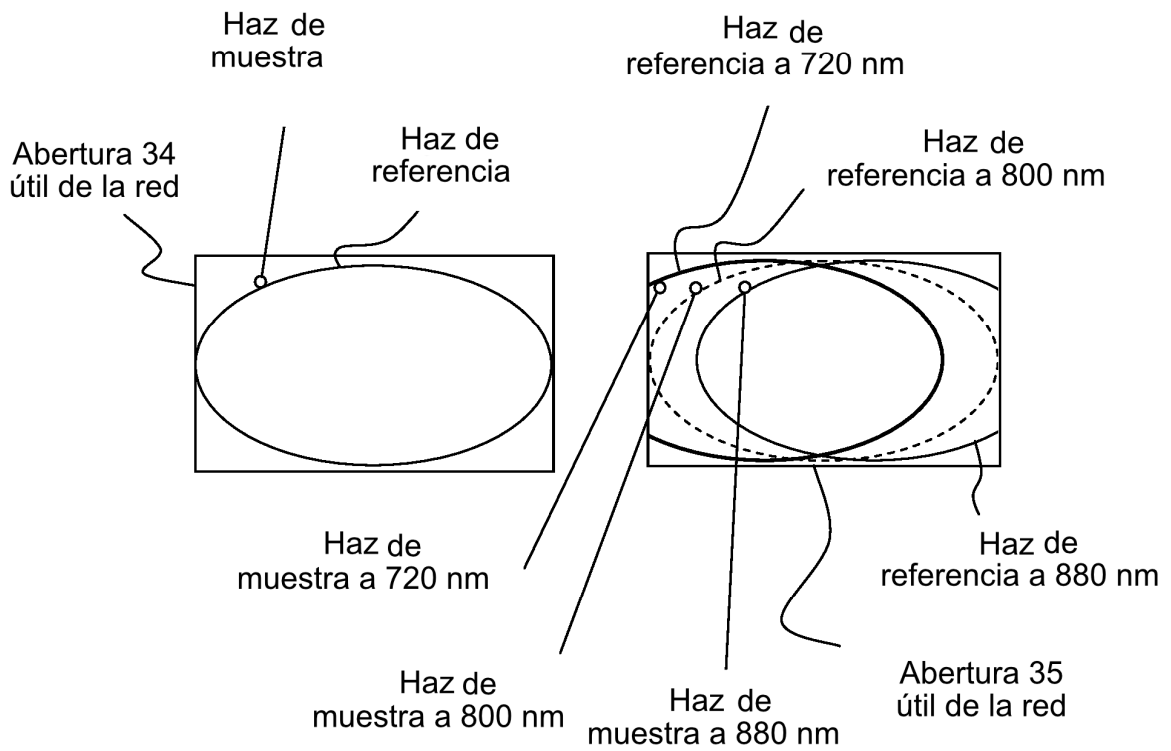
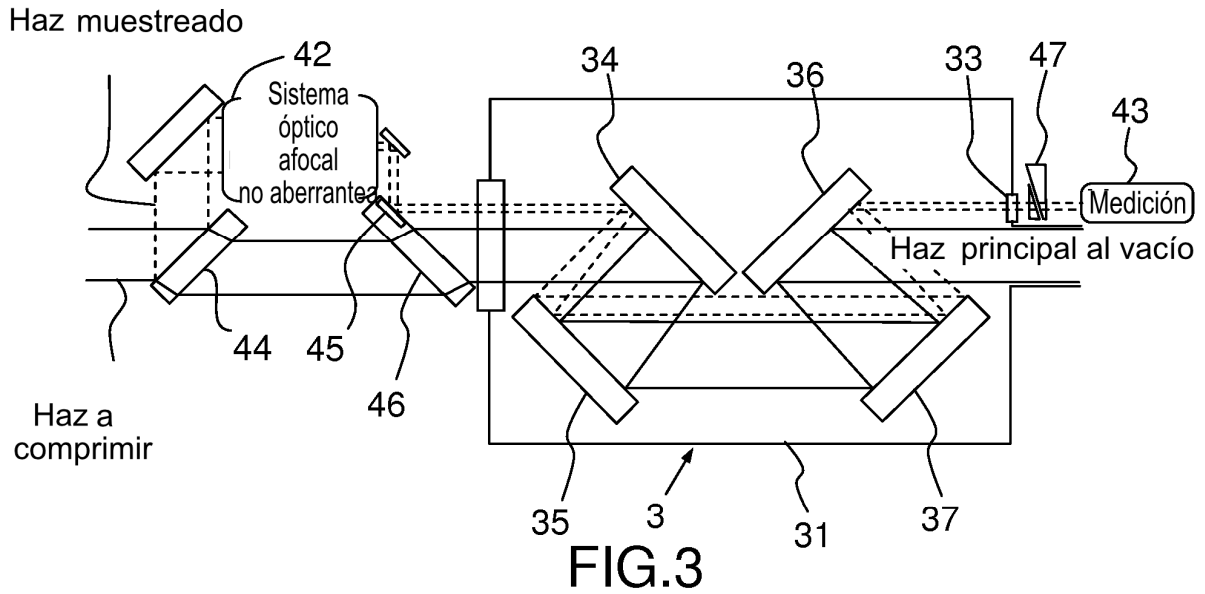


FIG.2





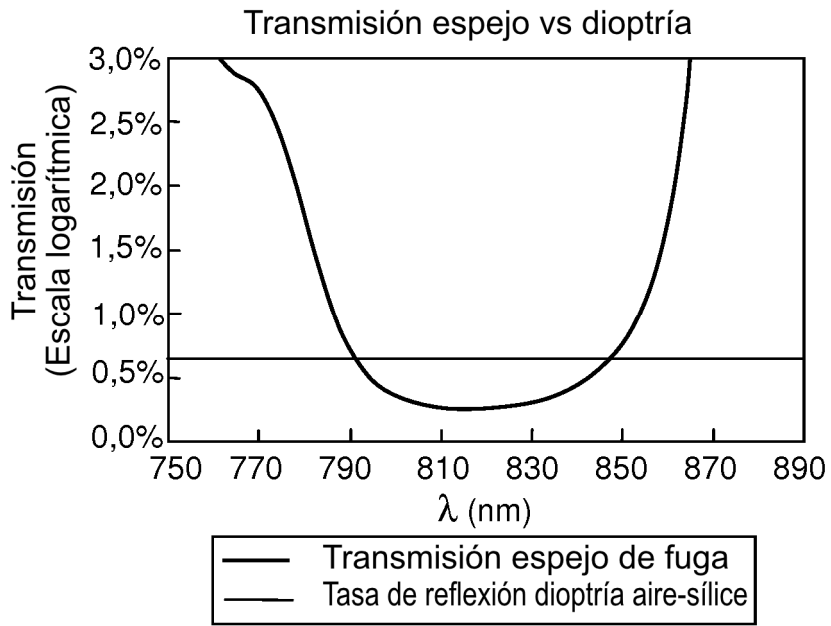


FIG.5a

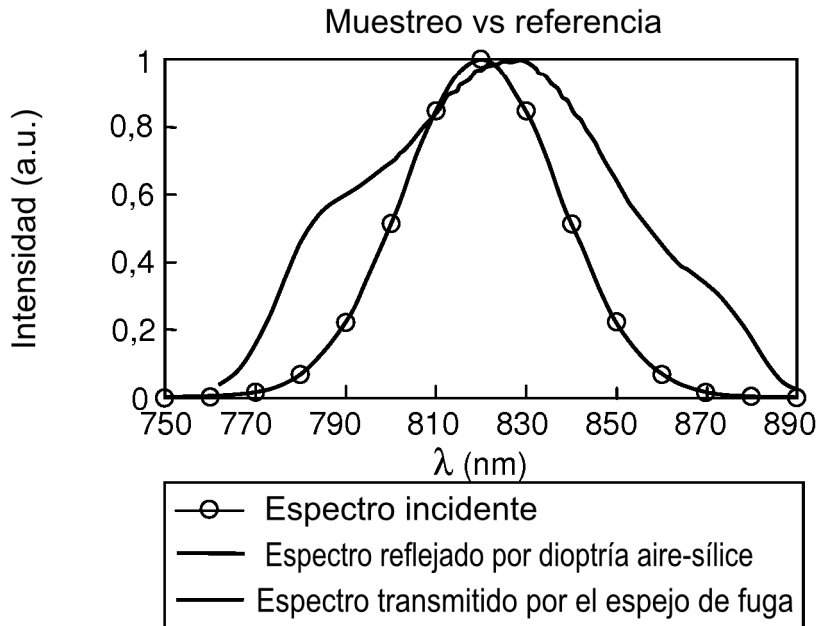


FIG.5b

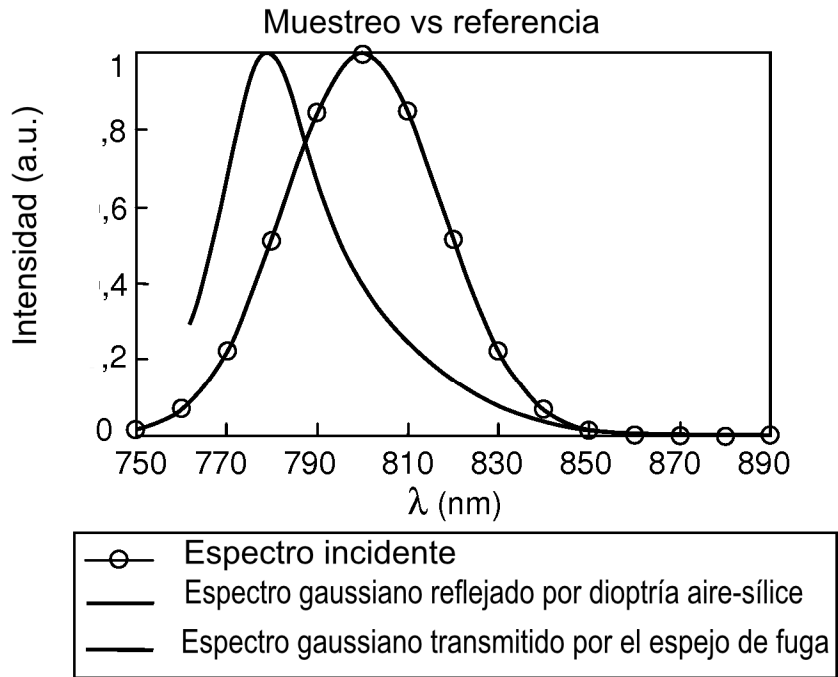


FIG.6

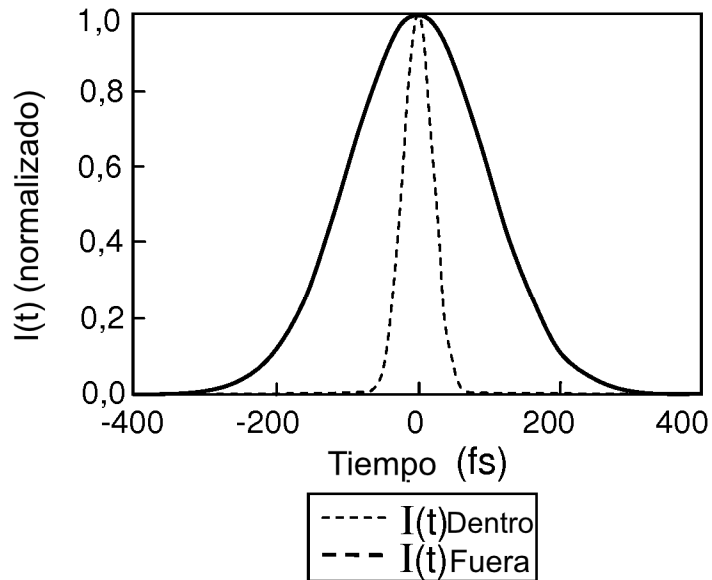


FIG.7