

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 147**

51 Int. Cl.:

G01N 21/64 (2006.01)

G01N 21/85 (2006.01)

G01N 21/88 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.08.2015 PCT/US2015/043384**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.02.2016 WO16025205**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2015 E 15832275 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 3180601**

54 Título: **Fluorómetro portátil**

30 Prioridad:

12.08.2014 US 201414457573

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

16.02.2021

73 Titular/es:

**ECOLAB USA INC. (100.0%)
1 Ecolab Place
St. Paul, MN 55102, US**

72 Inventor/es:

**TOKHTUEV, EUGENE;
SKIRDA, ANATOLY;
PILIPCHENKO, ANNA;
BOLDUC, JOHN WILHELM;
VALENSTEIN, JUSTIN SCOTT;
BAKKEN, AMANDA;
FAWBUSH, STACY y
HUTCHISON, JEFFREY**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 806 147 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

Fluorómetro portátil

5 Campo

Esta divulgación generalmente se refiere a sistemas y métodos para medir la concentración de productos químicos en una solución. Más particularmente, esta descripción se refiere a sistemas y métodos que implican un fluorómetro para medir la concentración de productos químicos en una solución.

10

Antecedentes

Las operaciones de limpieza en instalaciones públicas como restaurantes, hoteles, plantas de alimentos y bebidas, hospitales, etc., generalmente usan un producto de limpieza que tiene propiedades desinfectantes, sanitizantes y/o antimicrobianas. En algunos casos, los productos de limpieza pueden interactuar con ciertos compuestos químicos (por ejemplo, ácido dipicolínico) presentes en algunas esporas microbianas para destruir los microbios. Alternativamente, se puede agregar cierto compuesto químico a los productos de limpieza para mejorar su estabilidad química y/o vida útil. Por ejemplo, el ácido dipicolínico se puede agregar a ciertos productos de limpieza para mejorar su resistencia al calor, reduciendo así la tasa de degradación de los productos de limpieza cuando se exponen al calor y extendiendo el uso de tales productos de limpieza en regiones con climas cálidos.

La concentración de ácido dipicolínico se puede medir en varias situaciones. Por ejemplo, los estándares regulatorios pueden requerir que la concentración de esporas microbianas no exceda un valor dado en una instalación pública. Al medir la concentración de ácido dipicolínico, se puede determinar que la concentración de esporas microbianas cumple con cualquier estándar regulatorio. En otro ejemplo, puede ser necesario mantener una cierta concentración de ácido dipicolínico para mejorar la estabilidad de los productos de limpieza. Como el ácido dipicolínico exhibe fluorescencia cuando es excitado por la radiación electromagnética de ciertas longitudes de onda, la concentración de ácido dipicolínico en una solución se puede medir midiendo la fluorescencia de la solución. La intensidad de la fluorescencia emitida por la solución puede depender de la concentración de ácido dipicolínico en la solución. Por ejemplo, la intensidad de fluorescencia emitida por la solución puede ser directamente proporcional a la concentración de ácido dipicolínico. Al medir la intensidad de la fluorescencia emitida por el ácido dipicolínico, se puede determinar la concentración de ácido dipicolínico.

Los fluorómetros para medir la fluorescencia de una muestra son relativamente conocidos. Un fluorómetro ejemplar para medir la fluorescencia se describe en la patente de Estados Unidos No. 8,269,193 y la patente de Estados Unidos No. 8,352,207 ambas asignadas a Ecolab Inc., St. Paul, MN. Los fluorómetros generalmente tienen una fuente de radiación electromagnética que puede excitar una muestra (por ejemplo, una solución de ácido dipicolínico de concentración desconocida) y un detector adaptado para medir la intensidad de fluorescencia emitida por la radiación electromagnética.

El documento US2011246118 se refiere a métodos para calibrar un fluorómetro para dar cuenta de una o más propiedades ópticas de una muestra de agua que afectan las mediciones de fluorescencia. En algunos casos, una o más soluciones de calibración se preparan con agua de muestra de un sitio de campo específico. Las mediciones de fluorescencia se toman de una muestra de agua y una o más de las soluciones de calibración, y los parámetros de calibración se determinan en función de las mediciones. En algunos casos, una solución de calibración se prepara añadiendo agua de muestra para incluir una concentración más alta de un marcador fluorescente y se toman medidas para caracterizar un coeficiente de pendiente de calibración. En algunos casos, se prepara una solución de calibración agregando un ácido y se toman medidas para caracterizar una fluorescencia de fondo en la muestra.

El documento US2009046756 se refiere a un sistema óptico para uso en un escáner de micromatriz, que comprende un espejo reflector que contiene una abertura que comprende una abertura y una superficie reflectante. La abertura del espejo reflector que contiene la abertura permite que pase una luz de excitación, y la superficie reflectante del espejo reflector que contiene la abertura permite que se refleje la luz de emisión de un micromatriz. El sistema óptico también puede comprender varios otros componentes, como generadores láser, divisor de haz, espejos reflectantes, filtros de luz de excitación y emisión, lente objetivo de excitación y emisión, agujero y detector. El sistema óptico descrito aquí tiene alta eficiencia, alta sensibilidad, bajo ruido de fondo, estructuralmente simple y alta versatilidad.

El documento US2008252954 se refiere a un escáner láser de micromatriz para escaneo de micromatriz, que comprende un sistema óptico, una plataforma de escaneo y un sistema de procesamiento de datos. Durante el escaneo, el sistema óptico permanece fijo y la micromatriz colocada en la plataforma de escaneo se mueve en relación con el sistema óptico. El escáner de micromatriz descrito aquí tiene alta velocidad de escaneo, alta sensibilidad, alta resolución y alta relación señal/ruido, por lo que es ideal para usar en escaneo de micromatriz

En muchas situaciones, la concentración de una sustancia de interés (por ejemplo, ácido dipicolínico) en una solución (por ejemplo, solución de limpieza) puede ser muy baja. Por ejemplo, los requisitos reglamentarios pueden exigir que solo un nivel mínimo de la sustancia de interés (por ejemplo, microbios) esté presente en un área objetivo (por ejemplo,

un centro sanitario, una instalación de producción y envasado de alimentos y bebidas). En tales casos, la intensidad de fluorescencia emitida por tales sustancias de interés puede ser proporcional a su concentración. Las concentraciones bajas (por ejemplo, del orden de unos cientos de partes por billón) pueden dar como resultado una disminución en la intensidad de la fluorescencia emitida. Por ejemplo, la fluorescencia puede disminuir directamente proporcional a la disminución de la concentración (o al diluir la sustancia de interés). Los fluorómetros típicos conocidos en la técnica pueden no ser capaces de medir niveles tan bajos de fluorescencia con alta precisión y sensibilidad.

Resumen de la invención

Ciertas realizaciones de la invención incluyen un fluorómetro para medir la fluorescencia de una muestra.

Se proporciona un fluorómetro según la reivindicación 1 para medir la fluorescencia de una muestra que comprende ácido dipicolínico.

En algunas realizaciones, el fluorómetro incluye un primer aparato de enfoque y un segundo aparato de enfoque. El primer aparato de enfoque y el segundo aparato de enfoque pueden alojarse en el alojamiento próxima al cabezal sensor. El primer aparato de enfoque puede dirigir la radiación electromagnética procedente de la fuente de excitación y transmitida por el filtro de excitación hacia la muestra. El segundo aparato de enfoque puede dirigir la fluorescencia que se origina desde la muestra hacia el módulo detector.

En algunas realizaciones, la abertura se forma obstruyendo al menos una porción de una abertura circular. En algunas realizaciones, la abertura está conformada para evitar que la radiación electromagnética que pasa a través del primer aparato de enfoque se dirija hacia el segundo aparato de enfoque.

Los detalles de una o más realizaciones de la invención se exponen en los dibujos adjuntos y la descripción a continuación. Otras características, objetos y ventajas serán evidentes a partir de la descripción y los dibujos, y de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

Los siguientes dibujos son ilustrativos de realizaciones particulares de la presente invención y, por lo tanto, no limitan el alcance de la invención. Los dibujos no están necesariamente a escala (a menos que se indique lo contrario) y están destinados para su uso junto con las explicaciones en la siguiente descripción detallada. A continuación, se describirán realizaciones de la invención junto con los dibujos adjuntos, en los que los números similares denotan elementos similares.

La Figura 1 es una vista en perspectiva de un fluorómetro de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 2 es una vista en perspectiva despiezada del fluorómetro de la Figura 1;

La Figura 3 es una vista en perspectiva de un cabezal sensor de un fluorómetro de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 4 es una vista frontal en sección transversal del cabezal sensor de la Figura 3 tomada a lo largo del plano seccional AA;

La Figura 5 es una vista en perspectiva despiezada del cabezal sensor de la Figura 3;

La Figura 6 es una vista en perspectiva de un módulo emisor de un fluorómetro de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 7 es una vista en perspectiva despiezada del módulo emisor de la Figura 6;

La Figura 8 es una vista en perspectiva de un módulo detector de un fluorómetro de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 9 es un gráfico que muestra el espectro de emisión de excitación y fluorescencia del fluorómetro de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 10A es un gráfico que muestra los espectros de transmitancia de los filtros de excitación y emisión junto con los espectros de emisión de excitación y fluorescencia de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 10B es un gráfico que muestra los espectros de transmitancia de los filtros de excitación y emisión junto con los espectros de emisión de excitación y fluorescencia de acuerdo con otra realización de la invención;

La Figura 11 es una vista en perspectiva de una porción del módulo emisor de la Figura 3 de acuerdo con una realización de la invención;

5 La Figura 12A-12D son vistas frontales de una porción del módulo emisor de acuerdo con diversas realizaciones de la invención; y

La Figura 13 es una vista lateral de un módulo emisor de acuerdo con otra realización de la invención.

Descripción detallada

10 La siguiente descripción detallada es de naturaleza ilustrativa y no pretende limitar el alcance, la aplicabilidad o la configuración de la invención de ninguna manera. Más bien, la siguiente descripción proporciona algunas ilustraciones prácticas para implementar realizaciones ejemplares de la presente invención. Se proporcionan ejemplos de construcciones, materiales, dimensiones y procesos de fabricación para elementos seleccionados, y todos los demás elementos emplean lo que conocen los expertos en el campo de la invención. Los expertos en la materia reconocerán que muchos de los ejemplos señalados tienen una variedad de alternativas adecuadas.

15 Las Figuras 1 y 2 son vistas en perspectiva y despiezada, respectivamente, de un fluorómetro 100 de acuerdo con algunas realizaciones de la invención. El fluorómetro 100 puede ser útil para medir la fluorescencia emitida por ciertas muestras. Además, el fluorómetro 100 puede facilitar la determinación de la concentración de ciertas muestras en una solución basada en la fluorescencia medida. Dichas realizaciones pueden ser útiles para medir la intensidad de fluorescencia emitida por muestras tales como ácido dipicolínico y otros productos químicos (por ejemplo, que se encuentran en productos de limpieza). Según la intensidad medida de la fluorescencia emitida, la concentración de ácido dipicolínico en una solución (por ejemplo, se puede determinar un desinfectante, sanitizante, detergente y similares).

20 En general, el fluorómetro 100 puede medir la intensidad de la emisión fluorescente de una muestra (por ejemplo, una solución química, como un producto antimicrobiano o de limpieza) que tiene una sustancia de interés (por ejemplo, ácido dipicolínico). El fluorómetro 100 puede calcular la concentración de la sustancia en la muestra y mostrar la concentración determinada a un usuario. El usuario puede realizar cualquier acción deseada en función de la concentración determinada, como, por ejemplo, agregar más sustancia para aumentar la concentración de la sustancia. Si el fluorómetro 100 determina que la concentración es menor o mayor que una concentración umbral, el usuario puede dispensar más o menos de la sustancia. Además, el fluorómetro 100 se puede acoplar operativamente a un sensor fuera del producto. En ciertas realizaciones, cuando la concentración de la sustancia está por debajo de un umbral predeterminado, la fluorescencia emitida por la sustancia puede ser de menor intensidad. En este punto, el sensor fuera del producto puede alertar al usuario de que la concentración de la sustancia ha alcanzado por debajo de un umbral predeterminado. La señal puede ser una señal visual, de audio o cualquier otro tipo de señal conocida en la técnica. En consecuencia, el usuario puede asegurarse de que haya una cantidad y/o concentración suficiente de solución limpiadora, antimicrobiana, desinfectante y/o sanitizante, u otras sustancias de interés para lograr el efecto deseado (limpieza, reducción de microorganismos, resistencia al calor, estabilidad del producto, lubricación, etc.).

25 El funcionamiento básico de un fluorómetro 100 es bien conocido y, en consecuencia, aquí se omiten varios detalles para mayor concisión y claridad. El fluorómetro 100 puede calcular una concentración de una sustancia particular en una muestra basándose en las propiedades fluorescentes de la sustancia. Como se describirá con más detalle en el presente documento, el fluorómetro 100 incluye una fuente de excitación 158 que emite radiación electromagnética en una o más longitudes de onda seleccionadas, o continuamente dentro de un rango de longitud de onda. Cuando la sustancia de interés está expuesta a radiación electromagnética en una o más longitudes de onda seleccionadas (por ejemplo, dentro de un rango de longitud de onda), puede provocar la excitación de electrones en ciertas moléculas de la sustancia e inducirles a emitir radiación electromagnética. La radiación electromagnética emitida puede tener una energía diferente (es decir, en otro rango de longitud de onda) de la radiación electromagnética emitida por la fuente de excitación 158. La radiación electromagnética emitida por la sustancia se puede convertir en una señal eléctrica. La señal eléctrica puede indicar la intensidad de las emisiones fluorescentes. La concentración de la sustancia se puede determinar en función de una relación conocida entre la intensidad de las emisiones fluorescentes y la concentración de la sustancia (por ejemplo, mediante una calibración).

30 Se contemplan una serie de variaciones y detalles específicos de este proceso general para las realizaciones de la invención que implican fluorómetros. En un ejemplo, se pueden determinar la concentración de productos de tratamiento de agua o soluciones. En otro ejemplo, la sustancia de interés puede ser cualquier solución química. Los ejemplos incluyen, entre otros, biocidas como pesticidas y productos antimicrobianos, anticorrosión, antiincrustantes y productos antihongos, desinfectantes y otros productos de limpieza, detergentes, aditivos, tensioactivos, lubricantes, agentes antimicrobianos, disolventes, hidrotropos, agentes antirredeposición, colorantes, inhibidores de corrosión, ácidos, soluciones alcalinas, soluciones salinas y aditivos blanqueadores. Estos compuestos se pueden incorporar en productos como detergentes para lavar vajillas, abrillantadores, detergentes para la ropa, limpiadores de limpieza en el lugar, antimicrobianos, recubrimientos para pisos, tratamientos para alojamientos de carne, aves y mariscos, pesticidas, composiciones para el cuidado de vehículos, composiciones para el cuidado del agua, composiciones para piscinas y spa, composiciones de envasado aséptico, composiciones de lavado de botellas y similares. Se pueden

encontrar ejemplos de algunos de estos compuestos y aplicaciones correspondientes en las patentes de Estados Unidos No. 7,550,746 asignado al cesionario de la presente solicitud.

5 Como se ve en las Figuras 1 y 2, el fluorómetro 100 incluye un cabezal sensor 102. El cabezal sensor 102 puede estar hecha de un plástico y puede estar moldeado y/o fresado para lograr la forma y características deseadas. El cabezal sensor 102 incluye un alojamiento del cabezal sensor estanco a los fluidos 104 (por ejemplo, juntas tóricas) que facilita el funcionamiento del fluorómetro 100 cuando se sumerge parcial o totalmente en una muestra de fluido de interés, y protege varios componentes del cabezal sensor 102 de exposición a fluidos. Por consiguiente, en algunos casos, el cabezal sensor 102 tiene algunas características y/o características similares a una sonda sumergible. Por ejemplo, 10 en algunas realizaciones de la invención, el cabezal sensor 102 tiene una o más características y/o componentes similares a los descritos en las patentes de Estados Unidos No. 7,550,746, No. 7,652,267, No. 7,989,780, y No. 8,084,756 todas cedidas al cesionario de la presente solicitud. El cabezal sensor 102 puede sumergirse en un recipiente de muestra (no mostrado) para medir la fluorescencia y/o concentración. El fluorómetro 100 también incluye una pantalla electrónica 106 para mostrar datos (por ejemplo, concentración, intensidad) a un usuario, y una interfaz de entrada en forma de teclado 108 que permite al usuario interactuar con el fluorómetro 100 (por ejemplo, guardar 15 medidas concentración o intensidad, configuración de parámetros para la medición, visualización de datos de medición almacenados previamente, etc.).

20 El cabezal sensor 102 se puede conectar a un módulo controlador 110. En algunas realizaciones, el módulo controlador 110 tiene un alojamiento del controlador 112 que proporciona una forma conveniente, similar a un mango o varilla, para agarrar o sostener fácilmente el fluorómetro 100 con la mano. En algunas realizaciones, el módulo controlador 110 generalmente incluye aquellos componentes necesarios para determinar una concentración de un producto en base a una señal recibida desde el cabezal sensor 102. Como se muestra en la Figura 2, el módulo controlador 110 incluye una placa del controlador 114 que se acopla con una placa de visualización 116 a través de 25 un cable de la placa de visualización. La placa de visualización 116 permite que la pantalla electrónica 106 (por ejemplo, una pantalla LCD) muestre información (por ejemplo, concentración medida, intensidad de fluorescencia) a un usuario. El módulo controlador 110 también incluye una interfaz de entrada en forma de teclado 108. El módulo controlador 110 también incluye una fuente de energía portátil 120 (por ejemplo, batería) para alimentar el fluorómetro 100.

30 En algunos casos, el cabezal sensor 102 está conectado (por ejemplo, mediante sujetadores o adhesivos) o es integral con una superficie inferior 122 del alojamiento del controlador 112 opuesto a la pantalla electrónica 106 y está situado cerca de un extremo distal 124 del alojamiento del controlador 112. En algunas realizaciones, el alojamiento del cabezal sensor 102 está fijamente unido a la superficie inferior 122 del alojamiento del controlador 112. En algunas 35 realizaciones, el alojamiento del cabezal sensor 104 puede estar formado integralmente con al menos una parte del alojamiento del controlador 112. En un ejemplo, un usuario puede agarrar el alojamiento del controlador 112 cerca de un extremo proximal 126 del alojamiento del controlador 112 para tomar medidas de una muestra. Además, el usuario puede agarrar el alojamiento del controlador 112 cerca del extremo proximal 126 del alojamiento del controlador 112 para leer la pantalla electrónica 106 y/o manipular el teclado 108. Por ejemplo, un usuario puede sumergir el cabezal sensor 102 en una muestra manteniendo el módulo controlador 110 por encima de la superficie de una muestra (por ejemplo, en un depósito, recipiente, vaso de precipitados, etc.) con el cabezal sensor 102 sumergido parcial o completamente en la muestra. En algunas realizaciones, un usuario puede agarrar el extremo proximal 126 del módulo controlador 110 mientras asegura un recipiente de muestra al cabezal sensor 102. También son posibles otras 40 configuraciones del módulo controlador 110 y el cabezal sensor 102.

45 Con referencia de nuevo a la Figura 2, la placa del controlador 114 puede tener varios componentes discretos posicionados (por ejemplo, soldados) y acoplados entre sí en una placa de circuito impreso. La placa del controlador 114 incluye un controlador 128, que calcula una concentración basada en una señal de intensidad del módulo detector 150. El controlador 128 puede proporcionar una variedad de otras funciones, que incluyen, entre otras, realizar una rutina de calibración, aceptar y ejecutar instrucciones ingresadas en la interfaz de entrada y/o formatear datos para ver en la pantalla electrónica 106 del fluorómetro. El controlador 128 puede ser cualquiera de los controladores conocidos en la técnica, tales como un microprocesador controlado por software, un microcontrolador, una matriz de 50 compuerta programable en campo, un circuito integrado y similares. Además, el controlador 128 o la placa del controlador 114 pueden tener memoria integrada (no mostrada) que almacena instrucciones para la ejecución por parte del controlador 128.

60 La placa del controlador 114 también incluye un cable de alimentación 130 para conectar la placa del controlador 114 (por ejemplo, a través de un conector) a la fuente de alimentación 120 mostrada en la Figura 2. La placa del controlador 114 también incluye una o más fuentes de alimentación (no mostradas) para alimentar la fuente de excitación 158 en el cabezal sensor 102. En algunas realizaciones, la placa del controlador 114 incluye una batería de reloj en tiempo real, un amplificador de bloqueo, un amplificador fotodetector de referencia y conectores para la placa de visualización 116, el módulo emisor 140 y el módulo detector 150. En algunos casos, la placa del controlador 114 también puede tener un conector USB u otro tipo de conector, dispositivos de conexión (por ejemplo, tarjeta Ethernet, adaptador inalámbrico, adaptador celular y similares) para comunicarse con otros dispositivos informáticos.

En algunas realizaciones, el cabezal sensor 102 tiene una o más características y/o componentes similares a los descritos en las patentes de Estados Unidos No. 7,550,746 y U.S. Pat. No. 8,084,756, cuya descripción se incorpora aquí como referencia. Con referencia ahora a las Figuras 3 y 4, en algunas realizaciones, el alojamiento del cabezal sensor 104 aloja un módulo emisor 140 (mejor visto en las Figuras 6 y 7) y un módulo detector 150 (mejor visto en la Figura 8). Los componentes en el módulo emisor 140 y el módulo detector 150 pueden mantenerse en las cámaras "C1" y "C2" que encierran cada placa, como se ve en la Figura 5. La primera cámara "C1" recibe el módulo emisor 140. La primera cámara "C1" puede tener forma cilíndrica. La segunda cámara "C2" recibe el módulo detector 150. En algunos casos, la primera cámara C1 y la segunda cámara C2 pueden colocarse simétricamente alrededor del eje longitudinal "SA" del cabezal sensor 102 (por ejemplo, con una orientación vertical). Cada cámara "C1" y "C2" incluye un recorte, y el alojamiento del cabezal sensor 104 se extiende a través del alojamiento. Estos recortes 156 permiten que la radiación electromagnética de una fuente de excitación 158 (por ejemplo, de una fuente de LED) colocada en el módulo emisor 140 y un detector de emisiones 194 (por ejemplo, fototransistor) colocado en el módulo detector 150 se comuniquen con un área analítica fuera del sensor alojamiento de la cabeza 104. Los cables eléctricos acoplan el módulo emisor 140 y el módulo detector 150 a la placa del controlador 114, lo que permite al controlador en la placa del controlador 114 (mostrada en la Figura 2) controlar la fuente de excitación 158 y recibir señales desde el detector de emisiones 194. Aunque no se ilustra, en algunas realizaciones, el cabezal sensor 102 también incluye uno o más sensores de temperatura que pueden medir la temperatura de una muestra de agua. Por ejemplo, el módulo emisor 140 y/o el módulo detector 150 pueden incluir uno o más sensores de temperatura que se extienden dentro del alojamiento del cabezal sensor 104.

Con referencia continua a la Figura 5, la ventana de excitación 160 proporciona un camino a través de una primera pared "W1" para la radiación electromagnética emitida por la fuente de excitación 158. Una segunda pared "W2" define de manera similar una ventana del detector de emisiones 162 que proporciona un camino a través de la segunda pared "W2" para que la radiación electromagnética emitida por la muestra alcance el detector de emisiones 194. En algunas realizaciones, la ventana de excitación 160 y/o la ventana del detector de emisiones 162 definen un canal 164 que se extiende a través del alojamiento del cabezal sensor 104. Se puede colocar un aparato de enfoque 166 adyacente a cada ventana para evitar que la radiación electromagnética de la fuente de excitación 158 (por ejemplo, dirigida hacia la muestra), o la emitida por la muestra (por ejemplo, hacia el detector de emisión 194) ingrese al canal 164. El aparato de enfoque 166 puede ser una lente, espejo, prisma u otros elementos ópticos conocidos en la técnica para redirigir la radiación electromagnética. En algunas realizaciones, el aparato de enfoque 166 (por ejemplo, lentes de bola) está hecho de vidrio. Por ejemplo, en la realización ilustrada mostrada en las Figuras 3-5, un par de lentes de bola 168, 170 se coloca adyacente a la ventana del detector de excitación y emisión 194. En la realización ilustrada, el aparato de enfoque 166 (por ejemplo, lentes de bola) está hecho de zafiro. En algunas realizaciones, el aparato de enfoque 166 puede (por ejemplo, estar hecho de materiales adecuados) para ser sustancialmente transparente a las longitudes de onda de excitación y/o emisión. Por ejemplo, la primera lente esférica 168 puede ser sustancialmente transparente a la radiación electromagnética emitida por la fuente de excitación 158 y la segunda lente esférica 170 puede ser sustancialmente transparente a la radiación electromagnética emitida por la muestra. En algunas realizaciones, tanto la primera como la segunda lente de bola 168, 170 pueden ser sustancialmente transparentes a la radiación electromagnética emitida tanto por la fuente de excitación 158 como por la muestra. Como se mencionó anteriormente, el aparato de enfoque 166 puede dirigir la radiación electromagnética desde la fuente de excitación 158 hacia la muestra y la de la muestra hacia el módulo detector 150. Al mismo tiempo, el aparato de enfoque 166 puede evitar que cualquier radiación electromagnética (por ejemplo, de la fuente de excitación 158 y la muestra) ingrese al canal 164 definido por la ventana de excitación 160 y la ventana del detector de emisiones 194. En algunas realizaciones, las ventanas 160, 162 del detector de excitación y emisión también incluyen una lente, prisma u otro material ópticamente transparente a las emisiones.

Con referencia de nuevo a la Figura 1, en algunas realizaciones, el cabezal sensor 102 incluye un extremo proximal 172 y un extremo distal 174, entre los cuales se extiende el eje longitudinal "SA" y una longitud "L" del cabezal sensor 102. Como se muestra en las Figuras 1 y 3, en algunas realizaciones, el cabezal sensor 102 está conectado a la superficie inferior 122 del alojamiento del controlador 112 en o cerca del extremo proximal 172 del cabezal sensor 102. El cabezal sensor 102 puede colocarse y orientarse de manera que el eje longitudinal "SA" del cabezal sensor 102 forme un ángulo "A" con un eje longitudinal "CA" del módulo controlador 110. En algunos casos, el cabezal sensor 102 puede estar unido de forma desmontable o fija al alojamiento del controlador 112 con un sujetador (no mostrado). El sujetador puede incluir, entre otros, tornillos, pernos y/o pasadores. Alternativamente, el cabezal sensor 102 puede estar fijamente unido al alojamiento del controlador 112 mediante un adhesivo o mediante soldadura. En algunas realizaciones, el cabezal sensor 102 está asegurada con cuatro tornillos que comprimen una junta tórica colocada en una ranura entre el cabezal sensor 102 y el módulo controlador 110. En algunas realizaciones, el alojamiento del cabezal sensor 104 puede estar formado integralmente (por ejemplo, moldeado) con el módulo controlador 110.

Aunque no se ilustra, el cabezal sensor 102 también puede incluir una parte o la totalidad de un sujetador que sujeta de manera extraíble un recipiente de muestra a el cabezal sensor 102. En un ejemplo, el sujetador puede comprender uno o más pasadores colocados alrededor del alojamiento del cabezal sensor 104. Las ranuras correspondientes en el recipiente de muestra reciben los pasadores que se extienden desde el alojamiento del cabezal sensor 102. En algunas realizaciones, los pasadores y las ranuras forman un cierre de bayoneta que asegura el recipiente de muestra alrededor del cabezal sensor 102 y también alinea el recipiente de muestra en una orientación preferida (por ejemplo, rotación, posición tridimensional) alrededor del cabezal sensor 102. También se pueden incluir otros sujetadores (por

ejemplo, roscas de tornillo, elementos de presión opuestos, etc.). Alternativamente, el recipiente de muestra puede engancharse con el cabezal sensor 102 mediante un ajuste por fricción.

Aunque no se ilustra, en algunas realizaciones, el cabezal sensor 102 también incluye orificios para insertar una o más cubiertas del sensor de temperatura. Los sensores de temperatura (no mostrados) pueden detectar la temperatura de la muestra de agua que puede usarse para corregir la determinación de la concentración en función de los errores debidos a los efectos de la temperatura. El cabezal sensor 102 puede ser un cabezal sensor sumergible. En algunos casos, el cabezal sensor 102 puede sumergirse parcial o totalmente en una muestra. En consecuencia, el alojamiento del cabezal sensor 104, el alojamiento del controlador 112 y otros componentes pueden sellarse (por ejemplo, sellos resistentes a fluidos, juntas tóricas y similares) antes de la inmersión. Además, la ventana de excitación 160 y la ventana del detector de emisiones 162 también pueden sellarse con juntas tóricas y similares. En algunas realizaciones, la ventana de excitación 160 y la ventana del detector de emisiones 162 están selladas debido a un ajuste de presión entre las ventanas, el canal 164 y la primera y la segunda lentes de bola 168, 170 colocadas dentro del canal 164.

Como se discutió anteriormente, en algunas realizaciones, las mediciones de fluorescencia se pueden tomar con un fluorómetro 100 bajando manualmente el cabezal sensor 102 en una muestra de agua. Por ejemplo, un usuario puede agarrar el módulo controlador 110 y sumergir temporalmente el cabezal sensor 102 en una muestra líquida de modo que el cabezal sensor 102 esté sumergido parcial o completamente en la muestra y la muestra ocupa un área analítica cerca de las ventanas del cabezal sensor 102. En algunas realizaciones de la invención, la orientación de la unión entre el cabezal sensor 102 y el módulo controlador 110 puede establecerse para proporcionar al fluorómetro 100 una posición inclinada deseada en la superficie de soporte. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente, el cabezal sensor 102 está conectado al módulo controlador 110 de tal manera que el eje longitudinal "SA" del cabezal sensor 102 forma un ángulo "A" en el rango entre 60 grados y 90 grados con el eje longitudinal "CA" del módulo controlador 110.

Las Figuras 6 y 7 muestran diversas vistas de un módulo emisor 140 de acuerdo con algunas realizaciones de la invención. Como se ve mejor en la Figura 7, el módulo emisor 140 (también mostrado en la Figura 2 como 320) puede incluir una placa de circuito impreso que tiene una fuente de excitación 158 y un fotodetector de referencia 182 (mejor visto en la Figura 13). Opcionalmente, el módulo emisor 140 puede incluir un amplificador 184 y un conector para acoplar el módulo emisor 140 con la placa del controlador 114. La fuente de excitación 158 puede incluir una variedad de elementos posibles. Por ejemplo, la fuente de excitación 158 puede ser una lámpara de descarga de gas, una lámpara de mercurio, una lámpara de deuterio, una lámpara de vapor de metal, un diodo emisor de luz (LED) o una pluralidad de lámparas LED. Además, la fuente de excitación 158 puede emitir radiación electromagnética en varios espectros posibles dependiendo del elemento de excitación elegido y el espectro deseado. En algunas realizaciones, la fuente de excitación 158 es una lámpara LED, capaz de emitir radiación ultravioleta (UV) que tiene una longitud de onda de 250 nanómetros a 310 nanómetros. Un filtro de excitación 188 se coloca en un soporte de filtro de excitación 190 para interceptar la radiación electromagnética de la fuente de excitación 158. El filtro de excitación 188 puede filtrar la radiación electromagnética de la fuente de excitación 158 antes de que salga del cabezal sensor 102. El soporte del filtro de excitación 190 puede definir una abertura 192 para el paso de radiación electromagnética desde la fuente de excitación 158, a través del filtro de excitación 188 y hacia la muestra. La forma de la abertura 192 puede definirse formándola integralmente dentro del soporte del filtro de excitación 190 o puede definirse formándola a través de un conjunto de componentes que incluye el soporte del filtro de excitación 190.

El filtro de excitación 188 puede transmitir sustancialmente radiación electromagnética desde la fuente de excitación 158. En algunas realizaciones, el filtro de excitación 188 configurado para transmitir radiación electromagnética dentro de un intervalo de longitud de onda deseado hacia la muestra. Con referencia ahora a las Figuras 9 y 10, la fuente de excitación 158 puede emitir radiación electromagnética a una longitud de onda deseada o en un rango de longitud de onda. En la realización ilustrada en la Figura 6, la fuente de excitación 158 emite radiación electromagnética en el rango espectral entre 250 nanómetros y 300 nanómetros. Por ejemplo, si se va a medir la fluorescencia del ácido dipicolínico, la fuente de excitación 158 puede emitir radiación electromagnética en el rango espectral entre 260 nanómetros y 285 nanómetros. Opcionalmente, un operador puede ingresar (por ejemplo, a través del teclado 108) una o más longitudes de onda a las cuales la fuente de excitación 158 emitirá radiación electromagnética. El controlador 128 puede comunicarse entonces con el módulo emisor 140 de modo que la fuente de excitación 158 emite radiación electromagnética en las longitudes de onda seleccionadas por el operador. El filtro de excitación 188 puede transmitir sustancialmente al menos una porción de la radiación electromagnética en al menos una porción del espectro de excitación (por ejemplo, el pico de excitación "e" mostrado en la Figura 9). Por ejemplo, el filtro de excitación 188 puede tener una transmitancia "t1" de entre 50% y 100% en el rango espectral correspondiente a la excitación. En las realizaciones ilustradas mostradas en las Figuras 9 y 10, el filtro de excitación 188 tiene una transmitancia "t1" del 75% en el rango espectral de entre 250 nanómetros y 285 nanómetros. Sin embargo, también se pueden usar otros filtros que tienen transmitancia en un espectro que abarca el espectro de excitación. En un ejemplo, el filtro de excitación 188 puede tener una transmitancia "t1" de entre 50% y 100% en el rango espectral de entre 150 nanómetros y 380 nanómetros, para la excitación en el rango espectral de entre 250 nanómetros y 300 nanómetros. La radiación electromagnética filtrada puede ser dirigida (por ejemplo, por el aparato de enfoque 166 mostrado en las Figuras 4 y 5) hacia la muestra para inducir emisiones fluorescentes de la muestra.

La Figura 8 es una vista en perspectiva de un módulo detector 150 de acuerdo con algunas realizaciones de la invención. El módulo detector 150 se puede usar para detectar (por ejemplo, medir la intensidad de) la fluorescencia emitida por la muestra. El módulo detector 150 generalmente incluye una serie de componentes, incluido un detector de emisiones 194 colocado en una placa de circuito impreso. Opcionalmente, el módulo detector 150 también incluye un amplificador 184 y un sensor de temperatura. El detector de emisiones 194 puede ser un fotodiodo. Alternativamente, el detector de emisiones 194 puede ser un fototransistor. En algunas realizaciones, el detector de emisiones 194 puede detectar la radiación electromagnética emitida por la muestra en una pluralidad de longitudes de onda. En un ejemplo, el detector de emisiones 194 puede detectar radiación electromagnética a longitudes de onda entre 400 nanómetros y 1500 nanómetros. En la realización ilustrada mostrada en las Figuras 9 y 10, la muestra emite fluorescencia en el rango espectral entre 400 nanómetros y 700 nanómetros. La muestra puede emitir discretamente (por ejemplo, picos de intensidad discretos, "f1", "f2", "f3" y "f4" que se muestran en la Figura 9) en longitudes de onda seleccionadas (por ejemplo, 490 nanómetros, 550 nanómetros, 580 nanómetros y 620 nanómetros). El detector de emisiones 194 puede ser sensible a la fluorescencia emitida por la muestra a tales longitudes de onda discretas y tener suficiente linealidad (por ejemplo, señal medida linealmente proporcional a la intensidad de fluorescencia).

Un soporte de filtro de emisión 196 colocado alrededor del detector de emisión 194 soporta uno o más filtros de emisión 198 para filtrar radiación electromagnética indeseable y transmitir la radiación electromagnética deseada al detector de emisión 194. En la realización mostrada en la Figura 8, el filtro de emisión 198 es un filtro de policarbonato con un grosor entre 1 milímetro y 10 milímetros. En algunas realizaciones, el grosor del filtro de emisión 198 puede estar entre 2 milímetros y 4 milímetros. El filtro de emisión 198 puede tener cualquier forma (cuadrada, rectangular, elíptica) y en la realización ilustrada es de forma circular. Alternativamente, se pueden usar otros filtros (por ejemplo, vidrio de interferencia). Cualquier filtro de emisión adecuado que transmita radiación electromagnética emitida por la muestra hacia el detector de emisiones 194, y que no transmita (por ejemplo, reflejando o absorbiendo) radiación electromagnética en longitudes de onda diferentes a las emitidas por la muestra puede usarse sin pérdida de funcionalidad. El filtro de emisión 198 puede tener una transmitancia "t2" de entre 60% y 100% en el rango espectral correspondiente a la fluorescencia emitida por la muestra. En las realizaciones mostradas en la Figura 10A, el filtro de emisión 198 tiene una transmitancia "t2" del 87% en el rango espectral entre 400 nanómetros y 650 nanómetros, transmitiendo así sustancialmente la fluorescencia emitida por la muestra hacia el detector de emisiones 194. En algunas realizaciones, la sensibilidad de las mediciones de fluorescencia puede mejorarse y cualquier señal de fondo de otros componentes en la composición química puede disminuirse proporcionando un filtro de interferencia como filtro de emisión 198. En un ejemplo mostrado en la Figura 10B una banda estrecha el filtro de interferencia se usa como filtro de emisión 198, y un filtro de interferencia de paso corto se usa como filtro de excitación 188. El filtro de interferencia de paso corto utilizado como filtro de excitación 188 puede ser FF01-300-SP fabricado por Semrock Inc. (Lake Forest, Illinois) y tiene una transmitancia "t3" como se muestra en la Figura 10B. El filtro de interferencia de banda estrecha utilizado como filtro de emisión 198 puede ser FF01-543-3 fabricado por Semrock Inc. (Lake Forest, Illinois) y tiene una transmitancia "t4" que se muestra en la Figura 10B. La interferencia de banda estrecha puede tener un ancho de banda "b1". En la realización ilustrada mostrada en la Figura 10B, el ancho de banda "b1" puede corresponder al intervalo de longitud de onda sobre el cual el filtro de interferencia de banda estrecha transmite sustancialmente (por ejemplo, con una transmitancia de al menos 60%) la radiación electromagnética emitida por la muestra. El ancho de banda del filtro de interferencia de banda estrecha puede estar entre 1 nanómetro y 20 nanómetros. En la realización ilustrada, el filtro de interferencia de banda estrecha tiene un ancho de banda entre 2 nanómetros y 10 nanómetros. Dichos filtros pueden bloquear hasta 20 veces cualquier radiación electromagnética de los componentes de fondo que otros filtros conocidos en la técnica, lo que permite a un operador medir concentraciones de DPA inferiores a 0,1 partes por billón.

El módulo emisor 140 puede orientarse y colocarse de modo que se reduzca la cantidad de radiación electromagnética desde la fuente de excitación 158 dirigida hacia el módulo detector 150 (por ejemplo, a través del canal 164 definido por la ventana de excitación 160 y la ventana de emisión). Con referencia ahora a las Figuras 11 y 12A-12D, en algunas realizaciones, el soporte del filtro de excitación 190 puede estar conformado y orientado para evitar que la radiación electromagnética de la fuente de excitación 158 ingrese al módulo detector 150, evitando así la medición imprecisa de la fluorescencia emitida por la muestra. En algunas realizaciones, el soporte del filtro de excitación 190 puede permitir el paso de radiación electromagnética (por ejemplo, filtrada por el filtro de excitación 188) a través de la abertura 192 y hacia la muestra de modo que la primera trayectoria del haz defina una trayectoria de radiación electromagnética desde la fuente de excitación 158 a través del filtro de excitación a la abertura 192. La abertura 192 puede colocarse asimétricamente con respecto a la primera trayectoria del haz de manera que la abertura 192 permita que una primera porción asimétrica de la radiación electromagnética en la primera trayectoria del haz pase a través de ella y el soporte del filtro de excitación 190 bloquee el paso de una segunda porción asimétrica correspondiente de la radiación electromagnética en la trayectoria del primer haz. El paso bloqueado de la segunda porción asimétrica correspondiente de la radiación electromagnética en la primera trayectoria del haz puede reducir la cantidad de radiación electromagnética orientada directamente desde el módulo emisor 140 al módulo detector 150.

En un ejemplo, la abertura 192 definida por el soporte del filtro de excitación 190 puede tener una forma circular truncada, como se muestra en las Figuras 11 y 12A-12D. Por ejemplo, el soporte del filtro de excitación 190 puede ser de forma semicircular. Alternativamente, la abertura 192 puede tener otras formas asimétricas (por ejemplo, elipse truncada, rectangular, triangular o cuadrada). La forma circular truncada puede dirigir sustancialmente la radiación electromagnética filtrada desde la fuente de excitación 158 hacia la muestra. La forma circular truncada tiene una

primera porción "b" y una segunda porción "c". En este ejemplo, la primera trayectoria del haz se dirige desde la fuente de excitación 158 hacia la muestra, y la trayectoria del haz es desde la fuente de excitación 158 a través del filtro de excitación 188 a la abertura 192. La primera porción asimétrica de la radiación electromagnética corresponde a la radiación electromagnética dirigida hacia la muestra por la porción "b", y la segunda porción asimétrica correspondiente de la radiación electromagnética bloqueada es esa porción de la radiación electromagnética de la fuente de excitación 158 bloqueada por la porción "C".

Además, o alternativamente, la fuente de excitación 158 se puede mover desde su alineación óptica (por ejemplo, a lo largo de un eje óptico "OA" como se ve en la figura 11) con la abertura 192 a una posición asimétrica. Por ejemplo, como se ve en la Figura 11, el centro geométrico "O1" de la fuente de excitación 158, y el centro geométrico "O2" de la abertura 192 se pueden desplazar lateralmente entre sí desde su alineación mostrada en la Figura 11. En la realización ilustrada mostrada en las Figuras 11, por ejemplo, si la fuente de excitación 158 se mueve más hacia la dirección "a", casi toda la radiación emitida por la fuente de excitación 158 puede dirigirse hacia la porción "b" de la abertura 192 y más hacia la muestra. Esto puede resultar en una cantidad reducida de radiación electromagnética que se dirige a otras direcciones. La radiación dirigida hacia la porción "b" de la abertura 192 puede entonces ser dirigida por el aparato de enfoque 166 hacia la muestra. En consecuencia, la cantidad de radiación electromagnética que llega al módulo detector 150 se puede reducir. En este caso, la primera porción asimétrica de la radiación electromagnética es la que está hacia la muestra a través de la porción "b", mientras que la segunda porción asimétrica correspondiente puede referirse a cualquier radiación electromagnética no dirigida hacia la porción "b" de la abertura 192. En algunos casos, las segundas porciones asimétricas correspondientes pueden ser iguales a cero, correspondientes a un estado en el que no se dirige radiación electromagnética en una dirección distinta de la dirección hacia la muestra.

En ciertas realizaciones, la sensibilidad del fluorómetro 100 se puede mejorar reduciendo la intensidad de la radiación electromagnética perdida. Una fuente de dicha radiación electromagnética perdida puede ser la que se refleja en las superficies internas del soporte del filtro de excitación 190. La radiación electromagnética de la fuente de excitación 158 puede alcanzar las paredes del soporte del filtro de excitación 190 (a través del filtro de excitación 188). Las paredes del soporte 190 del filtro de excitación pueden reflejar la radiación electromagnética hacia áreas en el módulo emisor 140 que conducen a una sensibilidad de medición reducida. Por ejemplo, como se ve en la Figura 13, se puede colocar un fotodetector de referencia 182 en el módulo emisor 140 para controlar la intensidad de la radiación electromagnética emitida por la fuente de excitación 158. La intensidad de la radiación electromagnética emitida por la fuente de excitación 158 puede ser útil para determinar la concentración de la muestra. La radiación electromagnética perdida (por ejemplo, reflejada por el soporte del filtro de excitación 190) puede alcanzar el fotodetector de referencia 182, y dar como resultado que el fotodetector de referencia 182 esté saturado. Para evitar que el fotodetector de referencia 182 se sature, se puede colocar un atenuador 200 en al menos una parte del fotodetector de referencia 182. El atenuador 200 puede obstruir al menos una porción del fotodetector de referencia 182. El atenuador 200 puede proporcionar una atenuación espacialmente uniforme de la radiación electromagnética emitida por la fuente de excitación 158 sobre un área superficial del atenuador 200 de manera que el atenuador 200 ayude a evitar que el fotodetector de referencia 182 se sature con radiación electromagnética. En algunas realizaciones mejor vistas en la Figura 13, el atenuador 200 puede incluir una capa de politetrafluoroetileno (teflón) acoplado (por ejemplo, unido por un adhesivo) al módulo emisor 140. Alternativamente, el atenuador 200 puede estar hecho de malla de acero inoxidable. El atenuador 200 se puede acoplar al módulo emisor 140 de cualquier manera (por ejemplo, con un sujetador, adhesivo, mediante soldadura, tratamiento térmico, etc.). En algunas realizaciones, el grosor del atenuador 200 puede estar entre 0,1 milímetros y 1 milímetro. Por ejemplo, el atenuador 200 puede ser una capa de teflón de grosor de 0,5 milímetros (20 mil). Una vez que se atenúan los reflejos, el fotodetector de referencia 182 no se satura con radiación electromagnética, lo que facilita una sensibilidad y precisión mejoradas de medición.

Las realizaciones de la invención son, por lo tanto, útiles en muchas aplicaciones. Los fluorómetros de acuerdo con algunas realizaciones de la invención son adecuados para la detección de esporas bacterianas mediante la adición de cloruro de terbio a la spora microbiana (por ejemplo, esporas bacterianas, que pueden comprender ácido dipicolínico). Una dilución suficiente del ácido dipicolínico y la solución de cloruro de terbio puede producir una intensidad de fluorescencia linealmente proporcional a la concentración, mejorando así la sensibilidad de la concentración y/o la medición fluorescente. Las realizaciones de la invención también proporcionan una sensibilidad mejorada debido en parte a la proximidad inmediata de la muestra a la fuente de excitación y al detector de emisiones. Las realizaciones de la invención facilitan la eliminación a bajo costo de la radiación electromagnética perdida y una sensibilidad de medición mejorada. Una mejor precisión en la medición incluso de fluorescencia de baja intensidad puede facilitar la medición de concentraciones muy bajas de producto (por ejemplo, partes por mil millones, ppb) y/o para medir concentraciones de producto en una muestra coloreada y/o aquellas con turbidez.

Por lo tanto, se describen realizaciones de la invención. Aunque la presente invención se ha descrito con considerable detalle con referencia a ciertas realizaciones descritas, las realizaciones descritas se presentan con fines ilustrativos y no limitativos y son posibles otras realizaciones de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un fluorómetro (100) para medir la fluorescencia de una muestra que comprende ácido dipicolínico, el fluorómetro (100) que comprende:
- 5 un alojamiento;
 un controlador (110) soportado por el alojamiento (112), el controlador (110) configurado para determinar una concentración de una sustancia en la muestra en base a una emisión fluorescente detectada; y
 un cabezal sensor (102) que comprende:
- 10 un módulo emisor (140) acoplado operativamente al controlador (110) y que incluye:
- una fuente de excitación (158) configurada para emitir radiación electromagnética en una o más longitudes de onda para inducir fluorescencia en la muestra, la emisión de la radiación electromagnética se dirige a lo largo de una primera trayectoria del haz,
 15 un filtro de excitación (188) configurado para transmitir radiación electromagnética dentro de un primer rango de longitud de onda hacia la muestra, y
 un soporte de filtro de excitación (190) soportado por el alojamiento y que define una abertura (192) para el paso de la radiación electromagnética, el soporte de filtro de excitación (190) configurado para soportar el filtro de excitación (188) de modo que el filtro de excitación (188) filtre la radiación electromagnética emitida por la fuente de excitación (158) para estar dentro del primer rango de longitud de onda y permitir el paso de dicha radiación electromagnética filtrada a través de la abertura (192) y hacia la muestra por la cual la primera trayectoria del haz define una trayectoria de radiación electromagnética desde la fuente de excitación (158) a través del filtro de excitación (188), y a la abertura (192); y
- 20 el cabezal sensor (102) que comprende, además:
- un módulo detector (150),
 el módulo detector (150) acoplado operativamente al controlador (110), el módulo detector (150) configurado para detectar la fluorescencia emitida por la muestra, en donde el fluorómetro (100) muestra la concentración de la sustancia en la muestra determinada por el controlador (110), la abertura (192) que se posiciona asimétricamente con respecto a la primera trayectoria del haz de manera que a través de la abertura (192) pasa una porción asimétrica de la radiación electromagnética en la primera trayectoria del haz y el soporte de filtro de excitación (190) bloquea el paso de una porción asimétrica correspondiente de la radiación electromagnética en la primera trayectoria del haz, la porción asimétrica bloqueada de la radiación electromagnética en la primera trayectoria del haz reduce la cantidad de radiación electromagnética orientada directamente desde el módulo emisor (140) al módulo detector (150).
- 25
2. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un primer aparato de enfoque y un segundo aparato de enfoque, el primer aparato de enfoque y el segundo aparato de enfoque alojados en el alojamiento, el primer aparato de enfoque adaptado para dirigir la radiación electromagnética que se origina desde la fuente de excitación (158) y se transmite por el filtro de excitación (188) hacia la muestra, y el segundo aparato de enfoque adaptado para dirigir la fluorescencia que se origina desde la muestra hacia el módulo detector (150).
3. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la abertura (192) es de sección transversal semicircular, o en donde la abertura (192) está conformada para evitar que la radiación electromagnética que pasa a través del primer aparato de enfoque se dirija hacia el segundo aparato de enfoque, o en donde la abertura (192) se conforma obstruyendo al menos una porción de una abertura circular.
4. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un fotodetector de referencia (182) soportado por el módulo emisor (140), el fotodetector de referencia (182) configurado para medir una señal de referencia representativa de la radiación electromagnética emitida por la fuente de excitación (158).
5. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende además un atenuador (200) que obstruye al menos una parte del fotodetector de referencia (182), el atenuador (200) configurado para proporcionar una atenuación espacialmente uniforme de la radiación electromagnética emitida por la fuente de excitación (158) sobre un área de superficie del atenuador (200) de modo que el atenuador (200) ayude a evitar que el fotodetector de referencia (182) se sature con radiación electromagnética.
6. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el atenuador (200) comprende una capa de politetrafluoroetileno unida al módulo emisor (140).

7. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un filtro de emisión (198) alojado en el módulo detector (150), el filtro de emisión (198) configurado para transmitir la fluorescencia emitida por la muestra al módulo detector (150).
- 5 8. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el filtro de emisión (198) está configurado para transmitir radiación electromagnética dentro de un segundo rango de longitud de onda hacia un fotodetector (182) alojado en el módulo detector (150).
- 10 9. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el primer rango de longitud de onda es de aproximadamente 250 nanómetros a 300 nanómetros, y/o en donde el segundo rango de longitud de onda es de aproximadamente 400 nanómetros a 700 nanómetros.
10. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el fotodetector (182) comprende un fotodiodo.
- 15 11. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el filtro de emisión (198) comprende policarbonato que tiene un grosor de entre aproximadamente 2 milímetros y aproximadamente 4 milímetros, o en donde el filtro de emisión (198) comprende un filtro de interferencia de banda estrecha que tiene un ancho de banda entre aproximadamente 2 nanómetros y aproximadamente 10 nanómetros.
- 20 12. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la fuente de excitación (158) emite radiación electromagnética a 275 nanómetros para inducir fluorescencia en la muestra.
- 25 13. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el cabezal sensor (102) está dispuesto alrededor de un eje del cabezal sensor (102), el eje del cabezal sensor (102) forma un ángulo de aproximadamente 20 grados a aproximadamente 90 grados con un eje del alojamiento.
14. El fluorómetro (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la fuente de excitación (158) comprende un diodo emisor de luz.
- 30 15. Un método para medir la concentración de una sustancia en una muestra que comprende ácido dipicolínico en una solución con un fluorómetro (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende:
- 35 proporcionar un fluorómetro (100), que comprende:
- un alojamiento,
un controlador (110) soportado por el alojamiento (112), y
un cabezal sensor (102) acoplado al alojamiento, que comprende:
- 40 un módulo emisor (140) acoplado operativamente al controlador (110) y que incluye:
- una fuente de excitación (158),
un filtro de excitación (188), y
- 45 un módulo detector (150) acoplado operativamente al controlador (110),
- emitir radiación electromagnética en una o más longitudes de onda;
transmitir la radiación electromagnética emitida en un primer rango de longitud de onda hacia la muestra;
50 dirigir la radiación electromagnética hacia la muestra a lo largo de una primera trayectoria del haz, de modo que la primera trayectoria del haz define una trayectoria de radiación electromagnética desde la fuente de excitación (158) a través del filtro de excitación (188) y hacia la abertura (192);
permitir una porción asimétrica de la radiación electromagnética hacia la muestra y bloquear una porción asimétrica correspondiente de la radiación electromagnética, la porción bloqueada de radiación electromagnética reduce la cantidad de radiación electromagnética orientada directamente desde el módulo emisor (140) al módulo detector (150); y medir la fluorescencia emitida, determinando así la concentración de
55 la sustancia en la muestra.

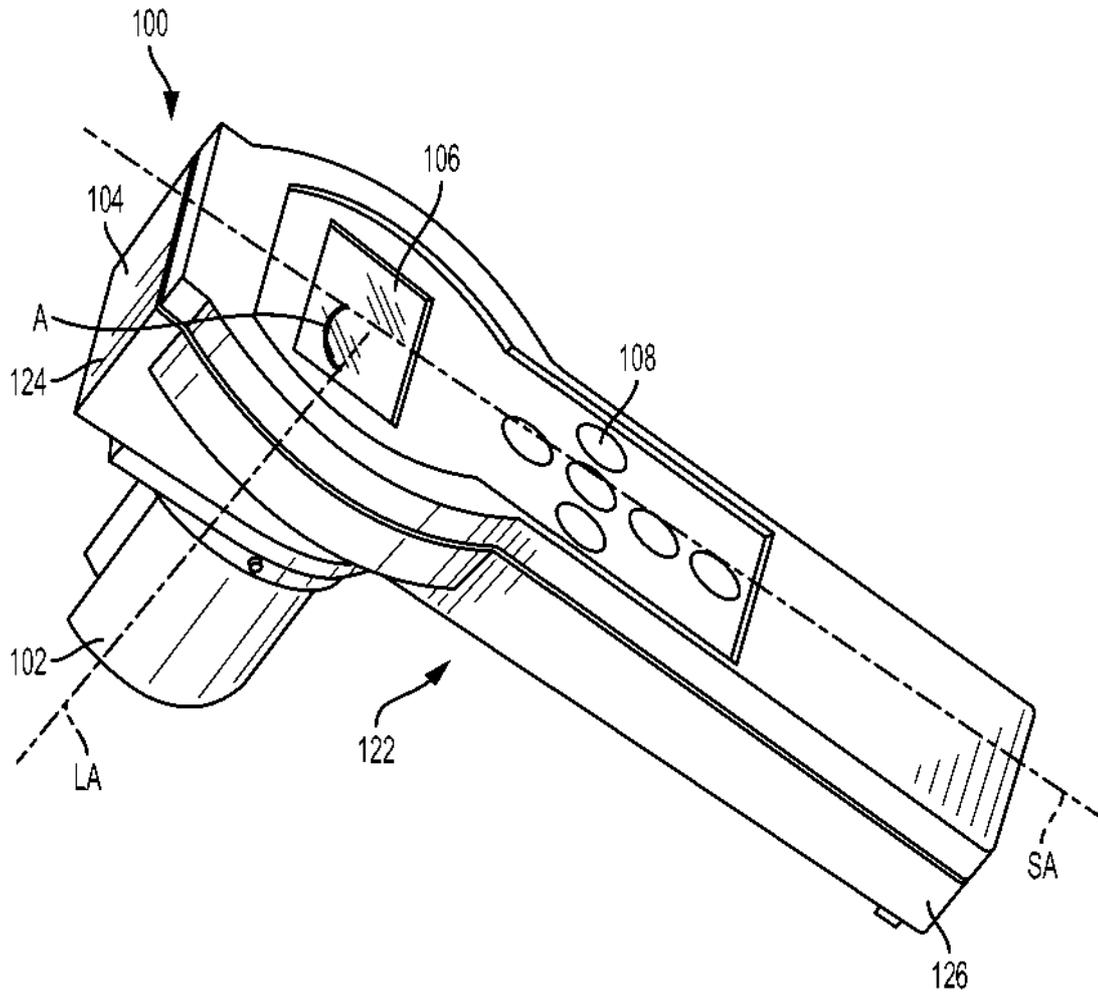


Figura 1

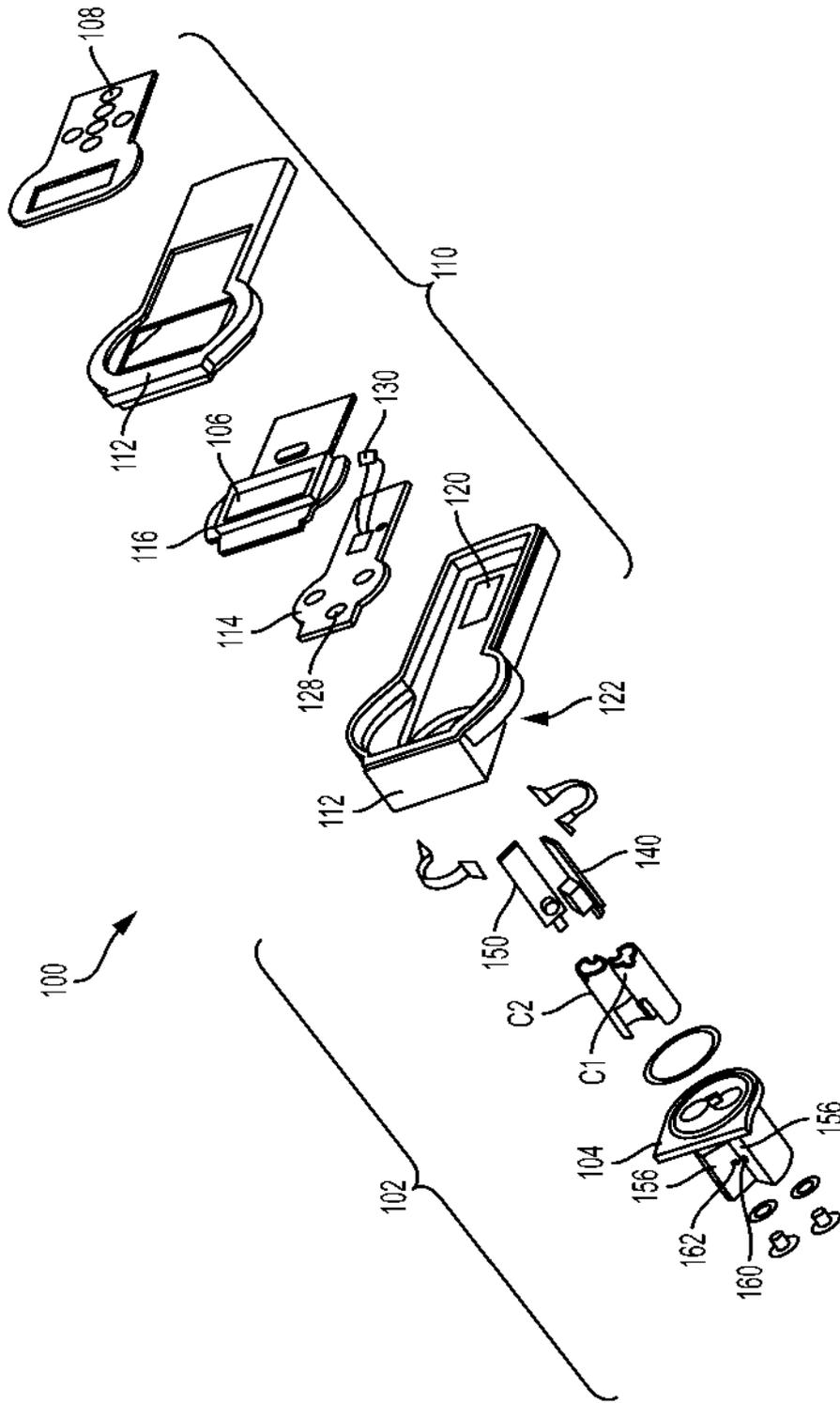


Figura 2

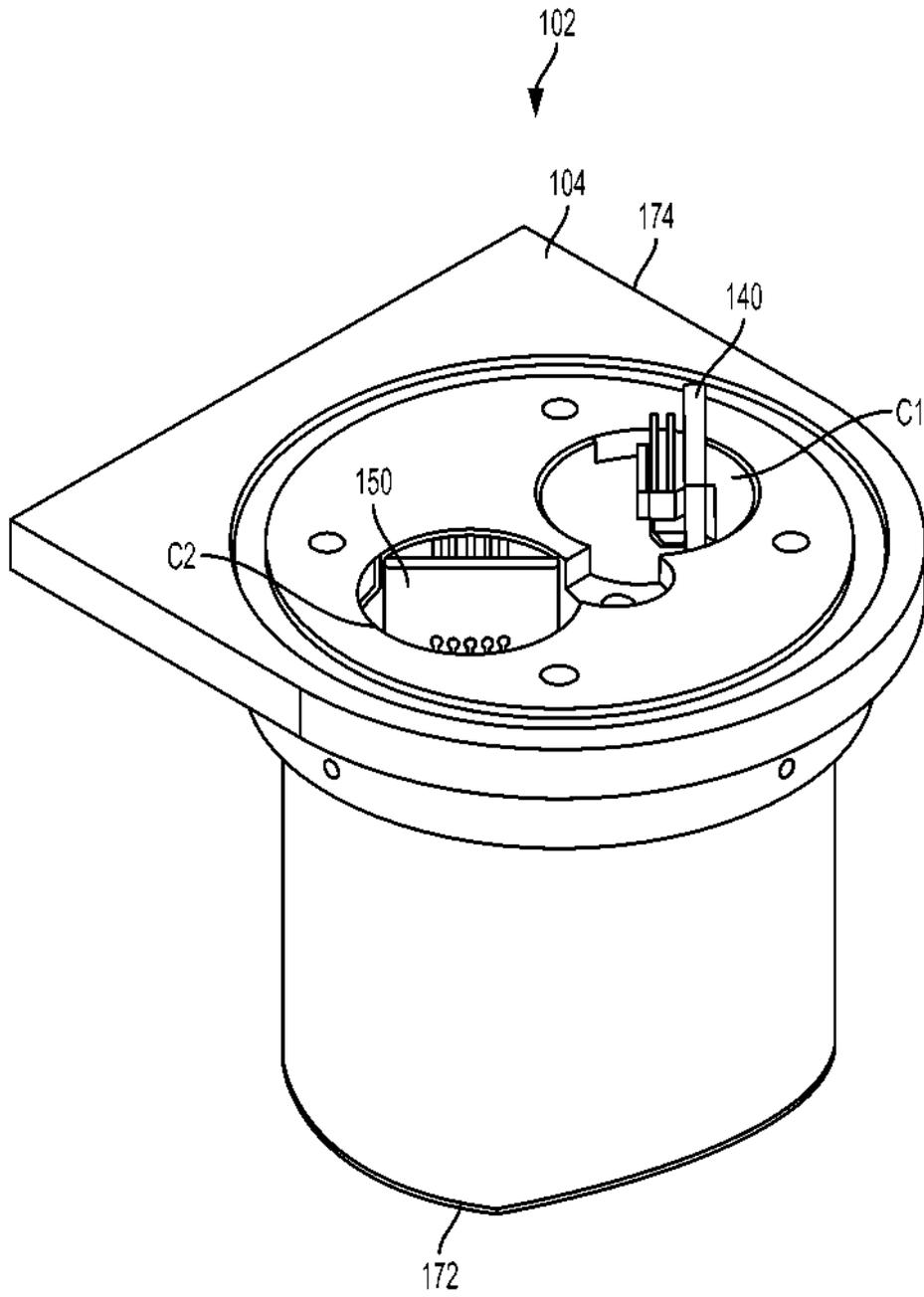


Figura 3

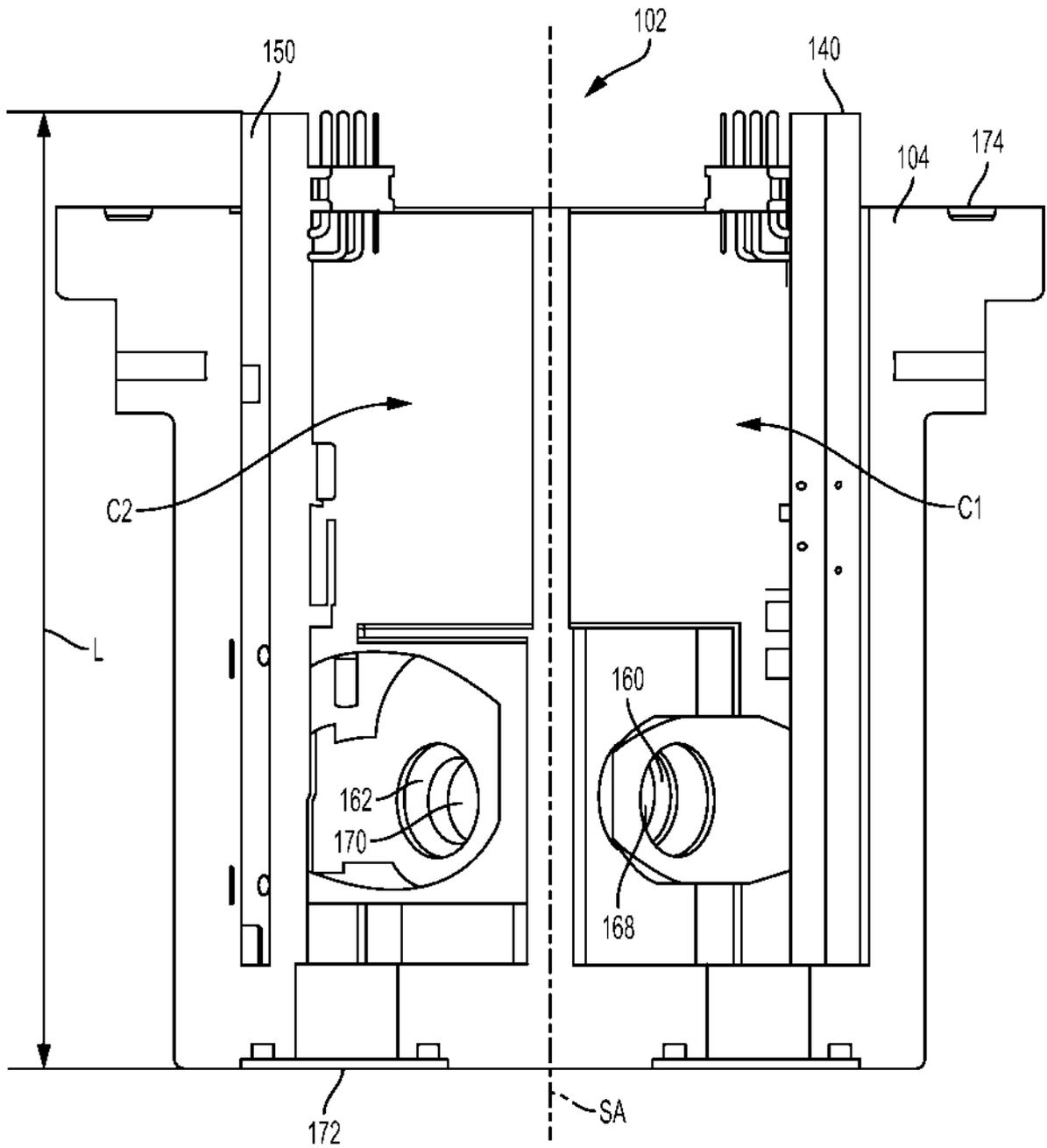


Figura 4

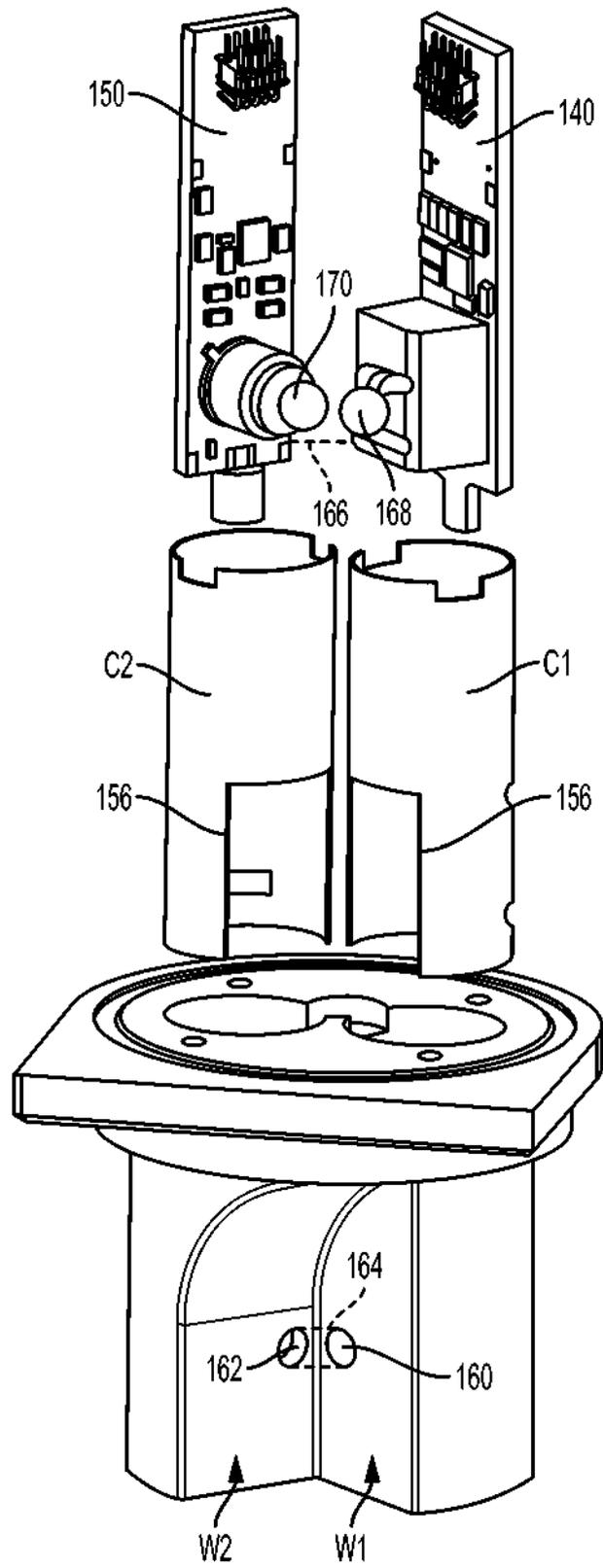


Figura 5

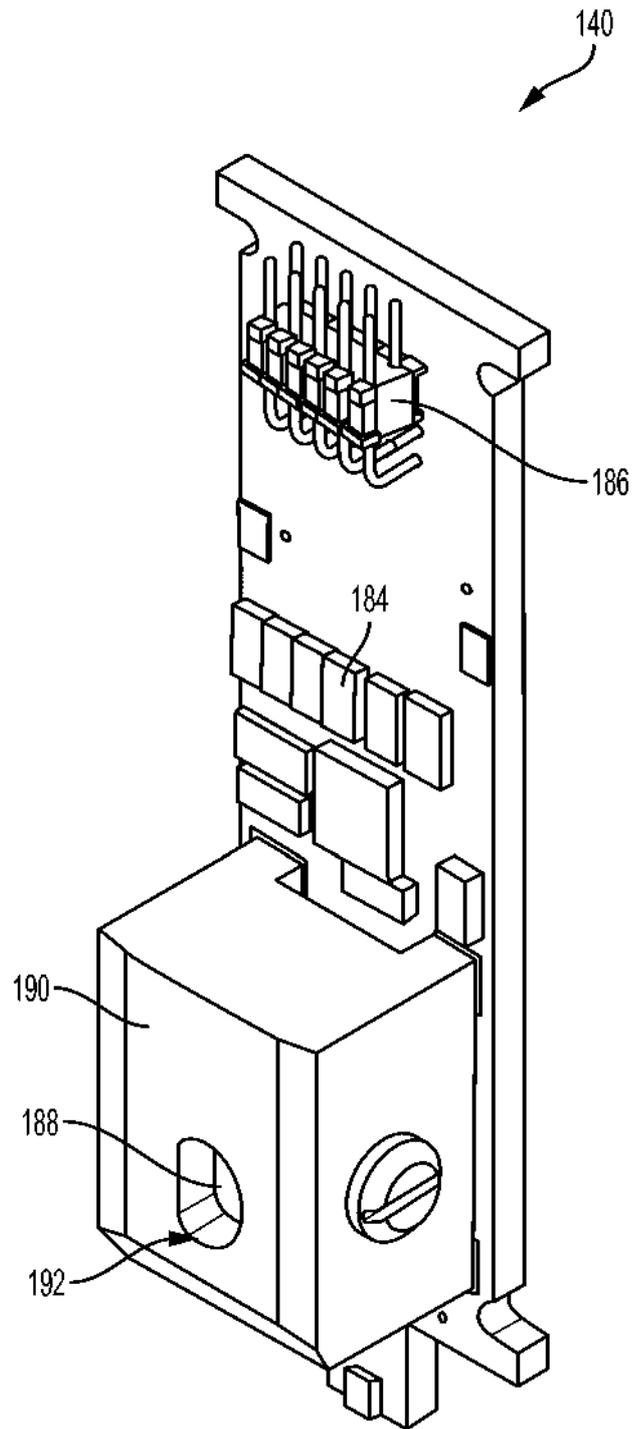


Figura 6

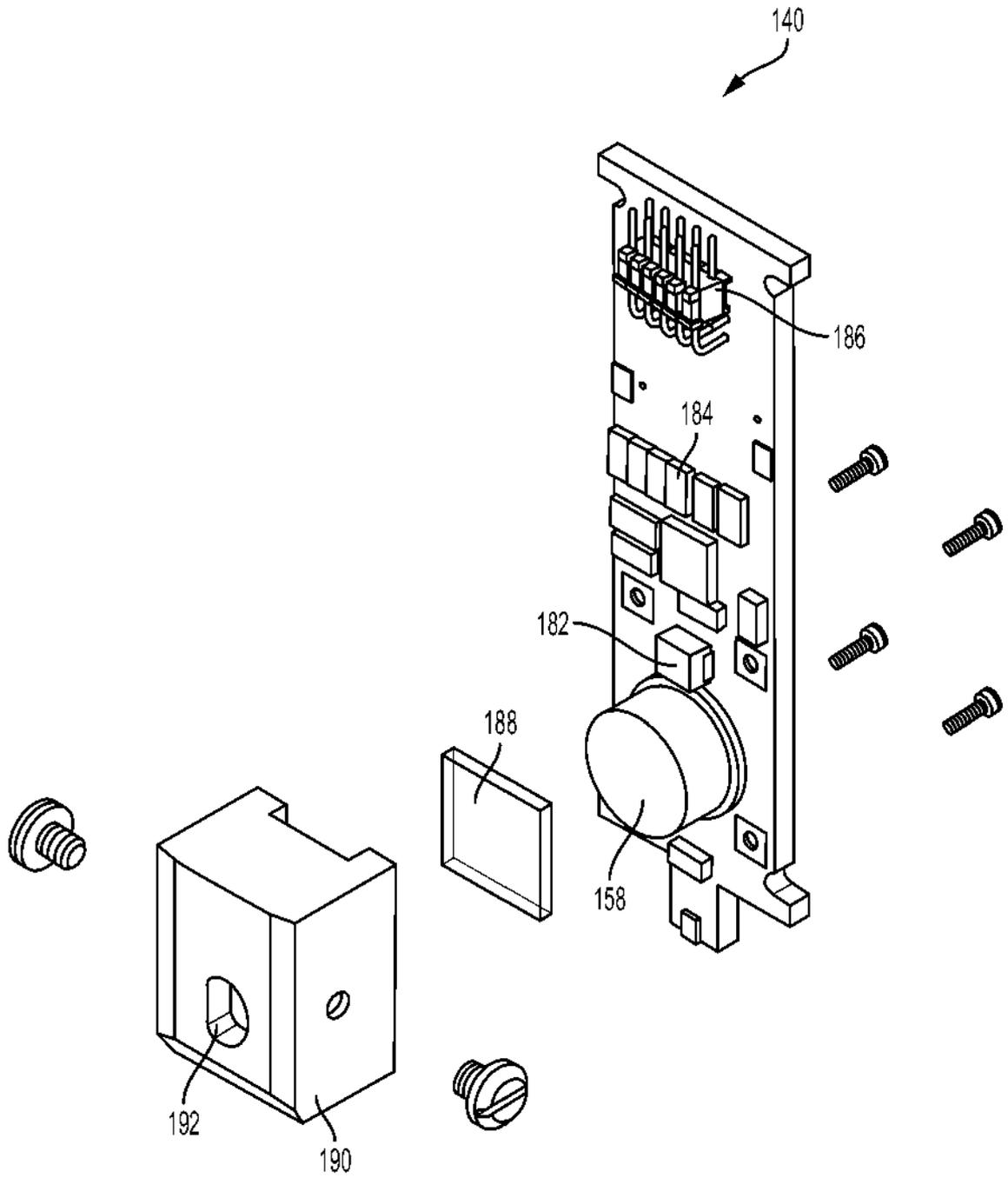


Figura 7

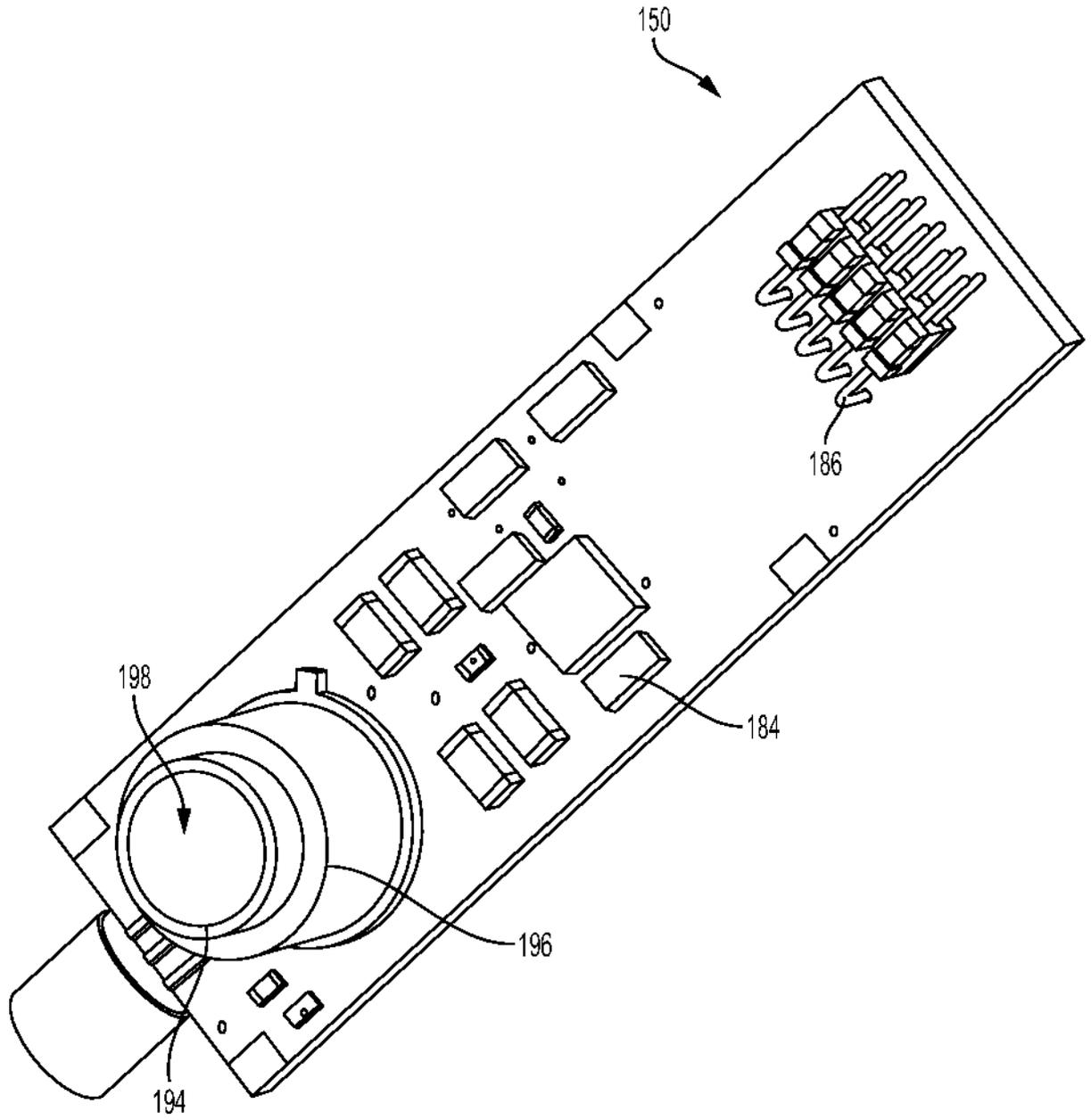


Figura 8

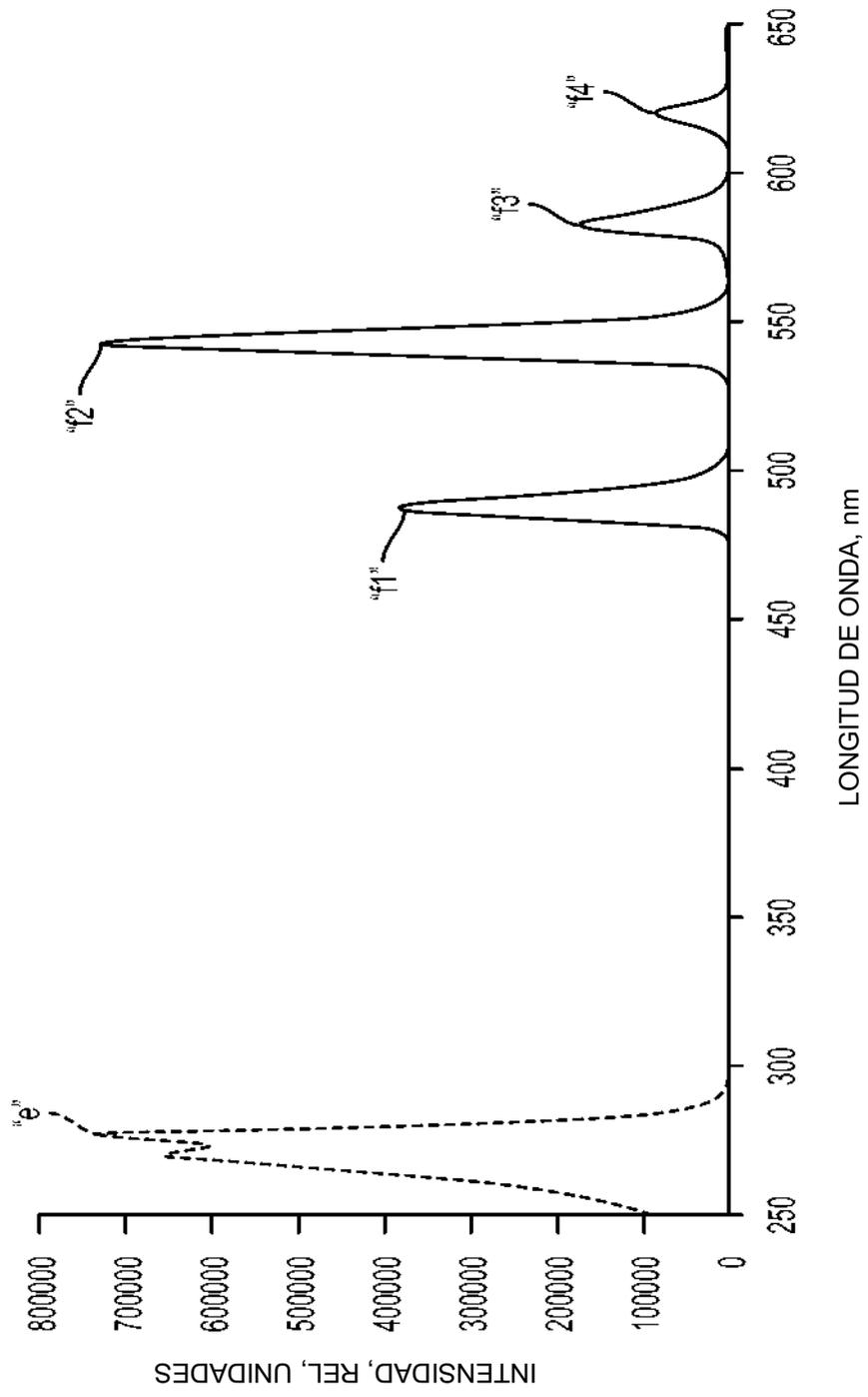


Figura 9

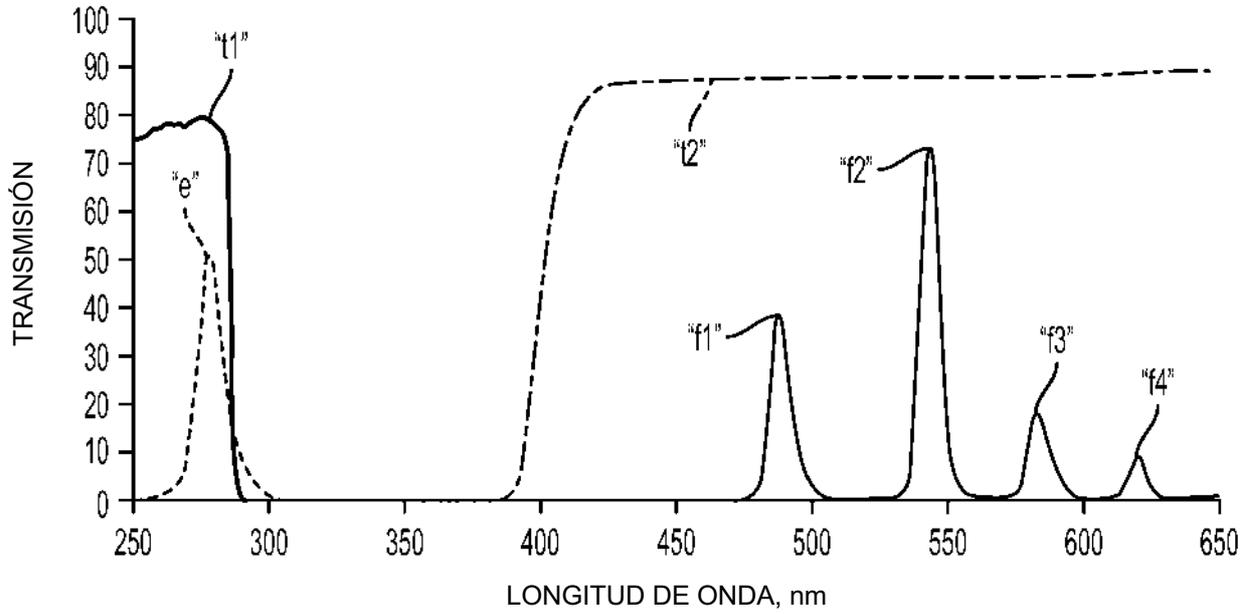


Figura 10A

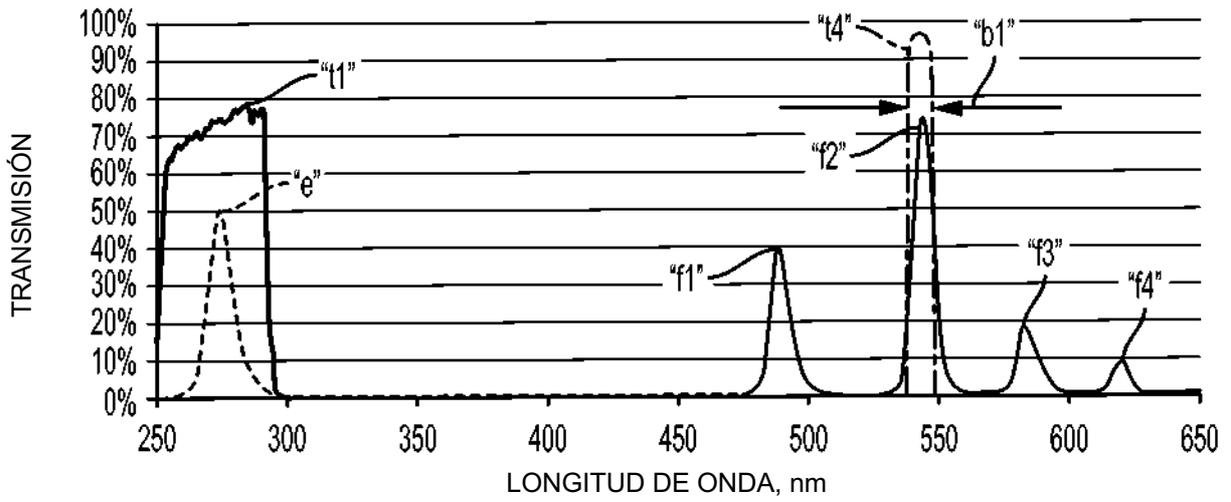


Figura 10B

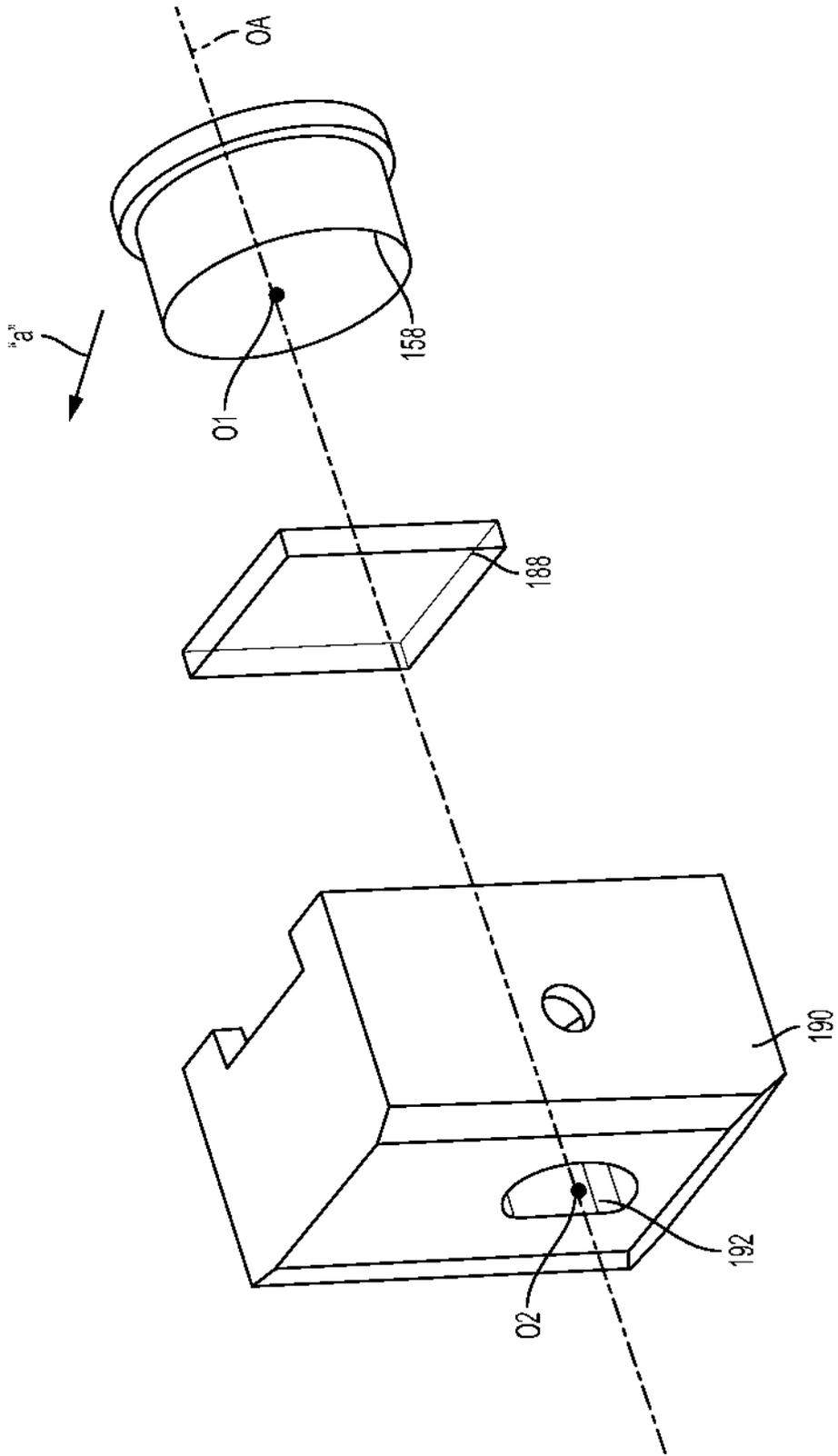


Figura 11

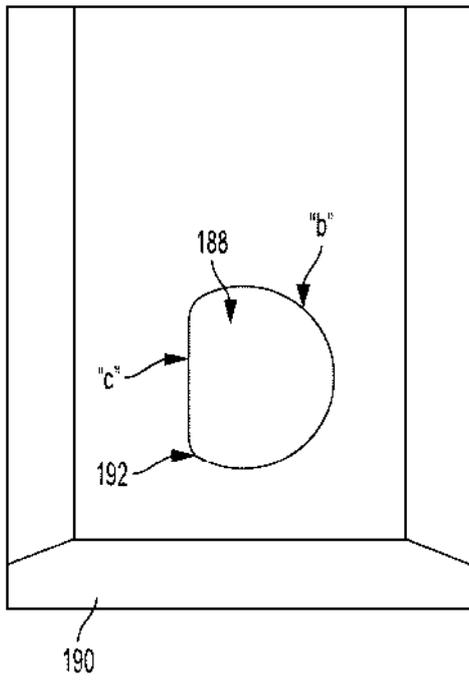


Figura 12A

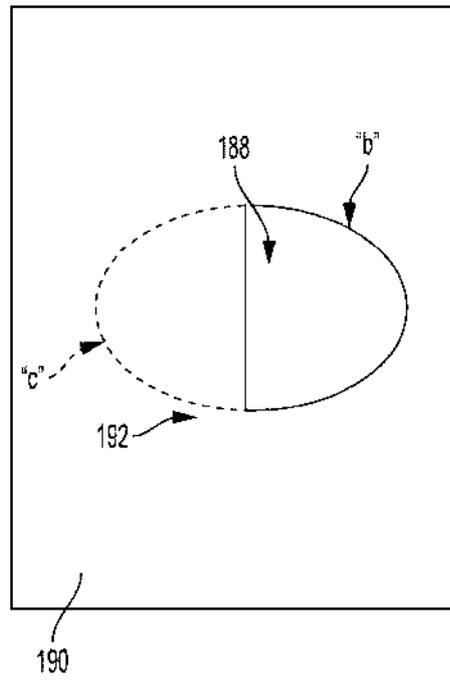


Figura 12B

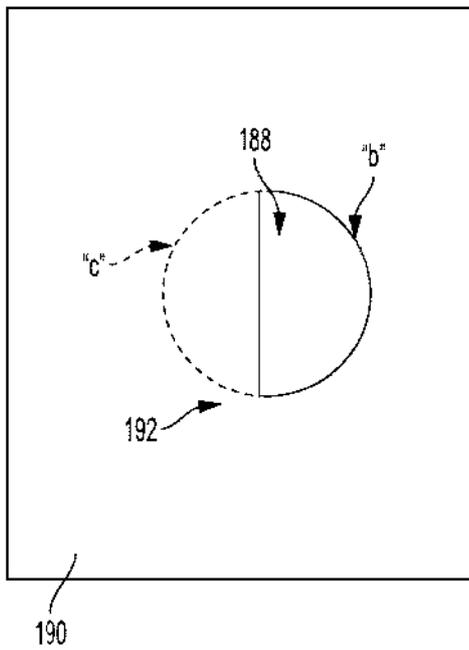


Figura 12C

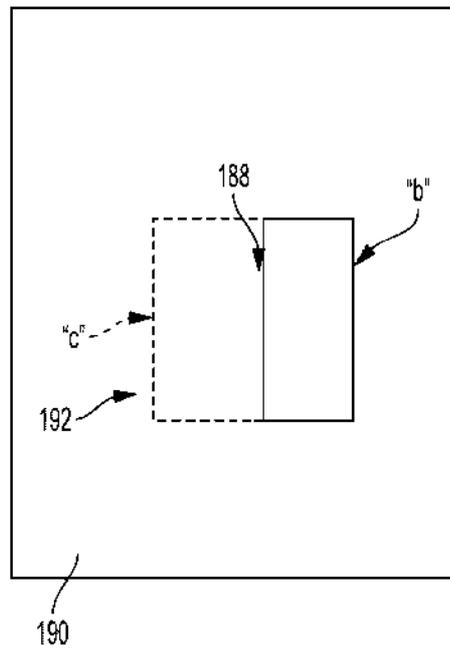


Figura 12D

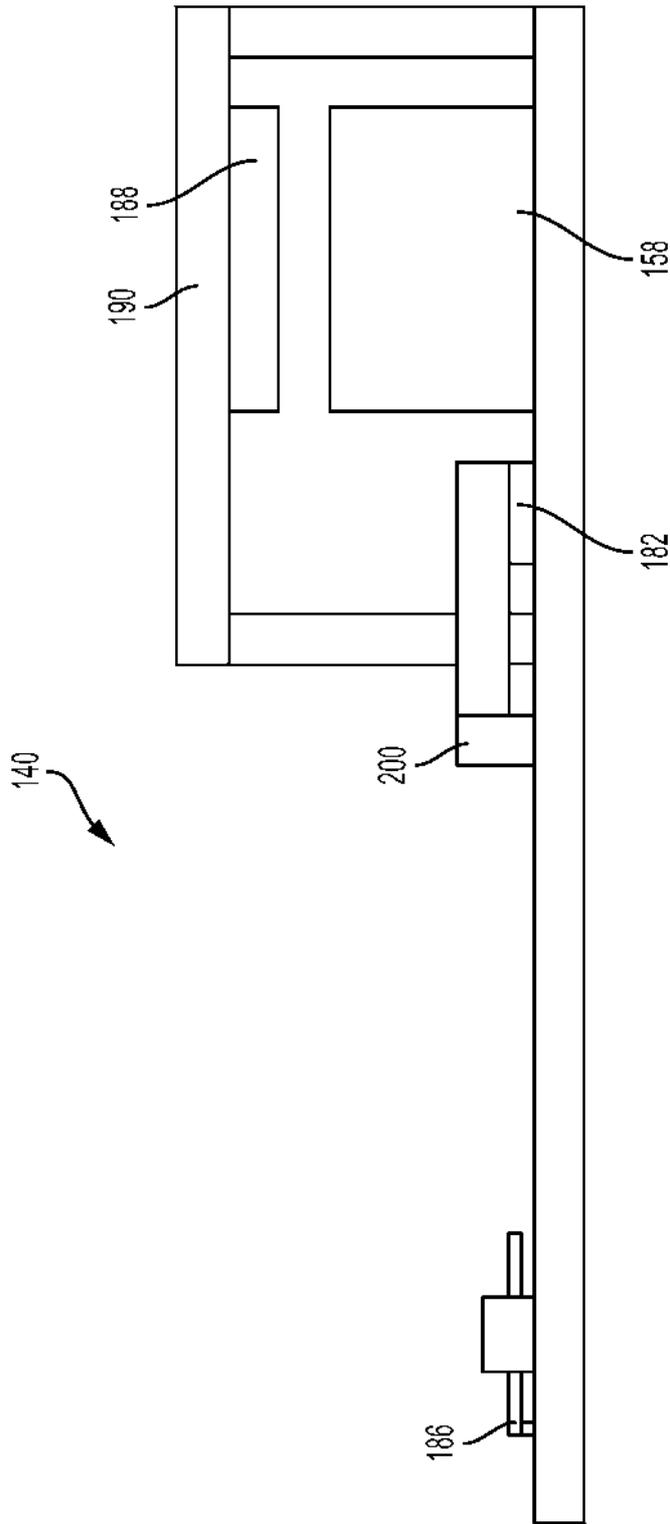


Figure 13