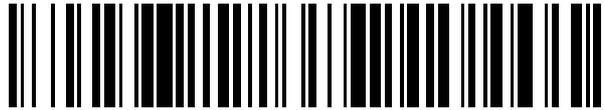


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 363**

51 Int. Cl.:

A61M 5/14 (2006.01)

A61M 5/36 (2006.01)

A61M 5/168 (2006.01)

G02B 27/10 (2006.01)

A61M 5/172 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2015 PCT/US2015/018113**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2015 WO15131108**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2015 E 15755292 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 3110474**

54 Título: **Sistema de infusión y método que utiliza detección óptica de aire en línea de doble longitud de onda**

30 Prioridad:

28.02.2014 US 201461946031 P

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

30.07.2020

73 Titular/es:

**ICU MEDICAL, INC. (100.0%)
951 Calle Amanecer
San Clemente, CA 92673, US**

72 Inventor/es:

**SHUBINSKY, GARY DAVID;
BAN, TAMAS y
MARKEY, BRIAN G.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 776 363 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

Sistema de infusión y método que utiliza detección óptica de aire en línea de doble longitud de onda

Campo de la divulgación

5 Esta divulgación se refiere a un sistema de infusión y un método, que transmite y recibe señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda para detectar si hay aire dispuesto en el sistema de infusión.

Antecedentes

10 Existen diferentes tipos de sistemas de infusión para detectar si hay aire presente en el fluido de infusión. Algunos sistemas de infusión actualmente usan uno o más sensores de ultrasonido para determinar si hay aire presente en el fluido dispuesto por el sistema de infusión. Sin embargo, algunos de estos sensores son sensibles a los desechos, como la suciedad o los residuos de la disolución de limpieza que se dispone en la ubicación de sensor en la línea de suministro de fluido, lo que puede dar lugar a resultados inexactos. Del mismo modo, algunos de estos sensores son sensibles a la alineación o el posicionamiento mecánicos, lo que afecta su precisión y estabilidad a largo plazo. Sistemas de infusión de la técnica anterior que permiten la detección de aire usando métodos ópticos se describen en el documento US 2009/097029 A1 y en el documento US 2013/201482 A1.

15 Se necesita un sistema y un método para superar uno o más problemas de uno o más de los sistemas y métodos de infusión actuales para detectar si hay aire en el fluido dispuesto por el sistema de infusión.

Compendio

20 En una realización, se describe un sistema de infusión para estar conectado operativamente a una línea de suministro de fluido conectada a un recipiente que contiene un fluido de infusión. El sistema de infusión incluye al menos dos transmisores ópticos, al menos un receptor óptico, al menos un procesador y una memoria. Los al menos dos transmisores ópticos se configuran para transmitir señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda a través de la línea de suministro de fluido. El al menos un receptor óptico se configura para recibir las señales ópticas que tienen las diferentes longitudes de onda transmitidas desde los al menos dos transmisores ópticos. El al menos un procesador está en comunicación electrónica con los al menos dos transmisores ópticos y el al menos un receptor óptico. La memoria está en comunicación electrónica con al menos un procesador. La memoria contiene código de programación para la ejecución por el al menos un procesador. El código de programación se configura para determinar si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en las señales ópticas recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda que son recibidas por el al menos un receptor óptico.

30 En otra realización, se describe un método para infundir un fluido de infusión. En una etapa, el fluido de infusión fluye a través de una línea de suministro de fluido de un sistema de infusión. En otra etapa, las señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda se transmiten a través de la línea de suministro de fluido. En todavía otra etapa, se reciben las señales ópticas transmitidas que tienen las diferentes longitudes de onda. En incluso otra etapa, al menos un procesador determina si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en las señales ópticas recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda.

35 En una realización adicional, se describe un sistema de infusión para estar conectado operativamente a una línea de suministro de fluido conectada a un recipiente que contiene un fluido de infusión. El sistema de infusión incluye un transmisor óptico, al menos un divisor de haz óptico, al menos dos filtros de haz óptico, al menos dos receptores ópticos, al menos un procesador y una memoria. El único transmisor óptico se configura para transmitir una señal óptica de amplio espectro. El al menos un divisor de haz óptico se configura para dividir la señal óptica de amplio espectro en dos haces separados. Los al menos dos filtros ópticos se configuran para filtrar los dos haces separados. Los al menos dos receptores ópticos se configuran para recibir los dos haces separados filtrados. El al menos un procesador está en comunicación electrónica con un transmisor óptico y los al menos dos receptores ópticos. La memoria está en comunicación electrónica con al menos un procesador. La memoria contiene código de programación para la ejecución por el al menos un procesador. El código de programación se configura para determinar si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en los dos haces separados filtrados recibidos que son recibidos por los al menos dos receptores ópticos.

45 El alcance de la presente divulgación se define únicamente por las reivindicaciones adjuntas y no se ve afectado por las declaraciones contenidas en este compendio.

Breve descripción de los dibujos

50 La divulgación se puede entender mejor con referencia a los siguientes dibujos y descripción. Los componentes en las figuras no están necesariamente a escala, en cambio se pone énfasis en ilustrar los principios de la divulgación.

La figura 1 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de infusión en una realización de la divulgación.

La figura 2 ilustra una vista en sección transversal lateral de una realización de dos transmisores ópticos que transmiten, usando una modulación alternativa de los transmisores, señales ópticas separadas, secuenciales, alternas

que tienen diferentes longitudes de onda a un divisor de haz óptico que dirige cada óptica separada, secuencial y alterna a lo largo del mismo eje óptico a través de una línea de suministro de fluido, a un espejo que refleja cada señal óptica separada, secuencial y alterna de regreso a través de la línea de suministro de fluido a un receptor óptico ubicado en el mismo lado de la línea de suministro de fluido que los dos transmisores ópticos y el divisor de haz óptico.

5 La figura 3 ilustra una vista en sección transversal lateral de otra realización de dos transmisores ópticos que transmiten, usando una modulación alternativa de los transmisores, señales ópticas separadas, secuenciales y alternas que tienen diferentes longitudes de onda a un divisor de haz óptico que dirige cada señal óptica separada, secuencial y alterna a lo largo del mismo eje óptico a través de una línea de suministro de fluido a un receptor óptico ubicado en el lado opuesto de la línea de suministro de fluido que los dos transmisores ópticos y el divisor de haz óptico.

10 La figura 4 ilustra una vista en sección transversal lateral de otra realización de un transmisor óptico que transmite una señal óptica de amplio espectro, usando transmisión continua, a través de una línea de suministro de fluido a un divisor de haz que divide la señal óptica de amplio espectro en dos haces que pasan respectivamente cada uno a través de filtros ópticos separados antes de ser recibidos por receptores ópticos separados, con el transmisor óptico dispuesto en un lado opuesto de la línea de suministro de fluido que el divisor de haz, los filtros ópticos separados y los receptores ópticos separados.

15 La figura 5 ilustra una vista en sección transversal lateral de otra realización de dos transmisores ópticos que transmiten señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda que se pulsan en un orden secuencial y alterno a través de un primer espejo o divisor de haz, a través de una línea de suministro de fluido, a un segundo espejo o divisor de haz que divide las señales ópticas en haces separados que son recibidos por receptores separados, con los dos transmisores ópticos, y el primer espejo o divisor de haz ubicado en un lado opuesto de la línea de suministro de fluido que el segundo espejo o divisor de haz y los receptores separados.

20 La figura 6 ilustra gráficos de una realización de un primer transmisor óptico que se enciende y apaga para transmitir una primera señal óptica de una longitud de onda, y un segundo transmisor óptico se enciende y apaga en momentos opuestos al primer transmisor óptico para transmitir una segunda señal óptica de una longitud de onda diferente.

25 La figura 7 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral obtenidos para una realización de un material plástico plano que se usó en un cartucho de bomba de infusión.

30 La figura 8 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral obtenidos para otra realización del mismo material plástico que se usó en el cartucho de bomba de infusión de la figura 7, con la excepción de que el material plástico era cóncavo.

La figura 9 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral que se obtuvieron para incluso otra realización de una membrana de silicona, que es el medio que contiene el fluido de infusión en el sistema de infusión.

35 La figura 10 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral que se obtuvieron para otra realización de una disolución de cloruro de sodio al 0,9 por ciento que se suministró a través de una línea de suministro de fluido de un sistema de infusión.

La figura 11 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral que se obtuvieron para incluso otra realización de una disolución Intralipid al 20 por ciento (emulsión de grasa) que se suministró a través de una línea de suministro de fluido de un sistema de infusión.

40 La figura 12 ilustra un diagrama de flujo para un método de adquisición de señal de acuerdo con una realización de la divulgación.

Descripción detallada

45 La figura 1 ilustra un diagrama de bloques de un sistema de infusión 100 en una realización de la divulgación. El sistema de infusión 100 comprende: un recipiente de infusión 102; una línea de suministro de fluido 104; un dispositivo de bomba 106; un dispositivo de procesamiento 108; una memoria 109; un dispositivo de alarma 110 que genera una señal de audio, visual u otra sensorial o similar para un usuario; un dispositivo de entrada/salida 112; al menos un transmisor óptico 114; al menos un receptor óptico 115; y un dispositivo de suministro 116. El sistema de infusión 100 puede comprender un sistema de infusión tal como Plum™, GemStar™, Symbiq™ u otro tipo de sistema de infusión.

50 El recipiente de infusión 102 comprende un recipiente para suministrar un fluido de infusión tal como líquido IV o un fármaco a un paciente 118. La línea de suministro de fluido 104 comprende uno o más tubos (y opcionalmente en algunas realizaciones incluye un cartucho), conectado entre el recipiente de infusión 102, el dispositivo de bomba 106 y el dispositivo de suministro 116, para transportar fluido de infusión desde el recipiente de infusión 102, a través del dispositivo de bomba 106, a través del dispositivo de suministro 116 hasta el paciente 118. La línea de suministro de fluido 104 también puede usarse para transportar sangre al paciente 118 usando el dispositivo de suministro 116, como resultado de una acción de bombeo del dispositivo de bomba 106. El dispositivo de bomba 106 comprende una bomba para bombear fluido de infusión desde el recipiente de infusión 102 o para bombear sangre al paciente 118. El

dispositivo de bomba 106 puede comprender una bomba a base de émbolo, una bomba peristáltica u otro tipo de bomba. En otras realizaciones, el sistema de infusión 100 puede no contener un dispositivo de bomba y puede usar la fuerza de la gravedad para suministrar el fluido de infusión.

5 El al menos un transmisor óptico 114 se dispone adyacente a la línea de suministro de fluido 104. El al menos un transmisor óptico 114 se configura para transmitir señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda a través de la línea de suministro de fluido 104. En una realización, las señales ópticas transmitidas comprenden luz de espectro infrarrojo cercano que tiene longitudes de onda variables que oscilan entre 600 nanómetros y 1.500 nanómetros. En otra realización, las señales ópticas transmitidas comprenden luz de espectro infrarrojo cercano que tiene longitudes de onda que oscilan entre 940 nanómetros y 1.050 nanómetros. En todavía otras realizaciones, las señales ópticas transmitidas pueden comprender luz de espectro infrarrojo cercano que tiene longitudes de onda variables. En una realización, el al menos un transmisor 114 puede transmitir las señales ópticas que tienen las diferentes longitudes de onda secuencialmente. El al menos un receptor óptico 115 se dispone adyacente a la línea de suministro de fluido 104 y se configura para recibir las señales ópticas que tienen las diferentes longitudes de onda transmitidas desde el al menos un transmisor óptico 114.

15 En una realización, las longitudes de onda de las señales ópticas transmitidas por el al menos un transmisor 114 se eligen de modo que si hay aire dispuesto en la línea de suministro de fluido 104, el aire tendrá un impacto sustancialmente mayor en una de las señales ópticas transmitidas que en otra de las señales ópticas transmitidas. Para los fines de esta divulgación, el término "sustancialmente" se define como superior al 10 %. En otra realización, las longitudes de onda de las señales ópticas transmitidas se optimizan para el tipo particular del fluido de infusión dispuesto en la línea de suministro de fluido 104 para lograr la máxima diferenciación entre el fluido de infusión dispuesto en la línea de suministro de fluido 104 y el aire dispuesto en la línea de suministro de fluido 104. En todavía otra realización, el al menos un transmisor óptico 114 y el al menos un receptor óptico 115 están modulados para lograr un alto nivel de inmunidad frente a la presencia de luz ambiental de fuentes de luz de fondo tales como luz fluorescente, luz de diodo emisor de luz, etc. y para aumentar la relación señal/ruido del sistema de adquisición de señal.

20 En una realización, el al menos un transmisor óptico 114 y el al menos un receptor óptico 115 se disponen en lados opuestos de la línea de suministro de fluido 104. En otra realización, el al menos un transmisor óptico 114 y el al menos un receptor óptico 115 se disponen en el mismo lado de la línea de suministro de fluido 104 y una superficie reflectante o refractiva 117 se puede disponer en el lado opuesto de la línea de suministro de fluido 104 para reflejar o refractar las señales ópticas transmitidas desde al menos un transmisor óptico 114, a través de la línea de suministro de fluido 104, de vuelta al por lo menos un receptor óptico 114. En otra realización, se puede usar al menos un divisor de haz óptico 119 para dividir la(s) señal(es) óptica(s) transmitida(s) por el al menos un transmisor óptico 114.

30 El dispositivo de procesamiento 108, que comprende al menos un procesador, está en comunicación electrónica con el dispositivo de bomba 106, la memoria 109, el al menos un transmisor óptico 114, el al menos un receptor óptico 115, el dispositivo de entrada/salida 112, y el dispositivo de alarma 110. La memoria 109 comprende código de programación 111 para su ejecución por el dispositivo de procesamiento 108. El código de programación 111 se configura para determinar si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido 104 basándose en las señales ópticas recibidas que tienen diferentes longitudes de onda que son recibidas por el al menos un receptor óptico 115. En una realización, el dispositivo de procesamiento 108 incluye la memoria 109 y el código de programación 111. En otra realización, el dispositivo de procesamiento 108 y la memoria 109 pueden ser componentes separados. El dispositivo de procesamiento 108 también contiene o está en comunicación con un reloj.

40 En una realización, el código de programación 111 se configura para determinar si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido 104 basándose en cómo la relación de las señales ópticas recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda que son recibidas por el al menos un receptor óptico 115 se compara con un umbral.

45 El dispositivo de alarma 110 comprende una alarma, activada o generada por el dispositivo de procesamiento 108, para notificar al clínico (también denominado "usuario" en esta memoria) cuando el sistema de infusión 100 contiene aire. El dispositivo de alarma 110 se puede configurar para detener el dispositivo de bomba 106 antes de que se suministre una cantidad significativa de aire a través de la línea de suministro de fluido 104 y el dispositivo de suministro 116 al paciente 118.

50 El dispositivo de entrada/salida 112 comprende un dispositivo, que permite que un clínico introduzca o reciba información. El dispositivo de entrada/salida 112 permite a un clínico introducir información tal como: información de medicación con respecto al fluido de infusión que se suministra desde el recipiente de infusión 102; información de infusión con respecto a la infusión del fluido de infusión que se suministra desde el recipiente de infusión 102; la selección de configuraciones para que el dispositivo de procesamiento 108 las aplique al usar el código de programación que contiene el/los algoritmo(s); u otra información que sea pertinente para la infusión. El dispositivo de entrada/salida 112 puede permitir a un clínico seleccionar y/o confirmar que el dispositivo de procesamiento 108 aplique un programa de infusión de medicación introducido por el usuario. El dispositivo de entrada/salida 112 puede enviar información adicional al clínico. En otras realizaciones, cualquiera de la información introducida en el dispositivo de entrada/salida 112 puede preinstalarse en el código de programación o en el dispositivo de procesamiento 108. En

otra realización, la información puede programarse remotamente en el dispositivo de procesamiento 108 desde un ordenador remoto o el dispositivo de entrada/salida 112 puede ser un ordenador remoto y/o portátil.

5 El dispositivo de suministro 116 comprende un dispositivo de punto de acceso vascular de paciente para suministrar fluido de infusión desde el recipiente de infusión 102 al paciente 118, o para suministrar sangre al paciente 118. El dispositivo de suministro 116 puede comprender una aguja, un catéter, una cánula u otro tipo de dispositivo de suministro. En otras realizaciones, el sistema de infusión 100 de la figura 1 puede alterarse para variar los componentes, eliminar uno o más componentes o agregar uno o más componentes.

10 La figura 2 ilustra una vista en sección transversal lateral de una realización de dos transmisores ópticos 114 que transmiten señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda a un divisor de haz óptico 119 que dirige las señales ópticas separadas a lo largo del mismo eje óptico a través de una línea de suministro de fluido 104 a un espejo 121 que refleja las señales ópticas de vuelta a través de la línea de suministro de fluido 104 a un receptor óptico 115. En esta realización, las señales ópticas transmitidas de diferentes longitudes de onda pueden ser pulsadas en un orden secuencial y alterno. A lo largo de esta divulgación, cada vez que se usa el término espejo o divisor de haz óptico, en otras realizaciones, se puede sustituir cualquier tipo de dispositivo de división de haz, superficie reflectante o superficie refractiva.

15 La figura 3 ilustra una vista en sección transversal lateral de otra realización de dos transmisores ópticos 114 que transmiten señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda a un divisor de haz óptico 119 que dirige las señales ópticas transmitidas a lo largo del mismo eje óptico a través de la línea de suministro de fluido 104 a una receptor óptico 115. El receptor óptico 115 se ubica en el lado opuesto de la línea de suministro de fluido 104 que los dos transmisores ópticos 114 y el divisor de haz óptico 119. En esta realización, las señales ópticas transmitidas de diferentes longitudes de onda pueden pulsarse en orden secuencial y alterno.

20 La figura 4 ilustra una vista en sección transversal lateral de todavía otra realización de un transmisor óptico 114 que transmite continuamente una señal óptica de amplio espectro que tiene un espectro de longitudes de onda a través de la línea de suministro de fluido 104 a un divisor de haz óptico 119. El divisor de haz óptico 119 divide la señal óptica en dos haces ópticos (o dos señales ópticas) que luego pasan respectivamente cada una a través de filtros ópticos separados 123 antes de ser recibidos por receptores ópticos separados 115. Los dos filtros ópticos 123 se configuran para filtrar los dos haces separados de modo que los dos haces separados tienen dos longitudes de onda distintivamente diferentes entre sí cuando llegan a los receptores respectivos 115. El transmisor óptico 114 se dispone en un lado opuesto de la línea de suministro de fluido 104 como el divisor de haz óptico 119, los filtros ópticos 123, y los receptores ópticos 115.

25 La figura 5 ilustra una vista en sección transversal lateral de todavía otra realización de dos transmisores ópticos 114 que transmiten señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda a través de un primer divisor de haz o espejo 119, a través de la línea de suministro de fluido 104 a un segundo divisor de haz o espejo 119 que divide el haz en dos haces (es decir, dos señales ópticas) que son recibidos por receptores ópticos separados 115. Los dos transmisores ópticos 114 y el primer divisor de haz o espejo 119 se ubican en un lado opuesto de la línea de suministro de fluido 104 que el segundo divisor de haz o espejo 119 y los receptores ópticos separados 115. En esta realización, las señales ópticas transmitidas de diferentes longitudes de onda pueden pulsarse en orden secuencial y alterno.

30 La figura 6 ilustra gráficos de una realización de un primer transmisor óptico 114a que se ENCIENDE y APAGA para transmitir una primera señal óptica de una longitud de onda, y un segundo transmisor óptico 114b se enciende y apaga en momentos opuestos al primer transmisor óptico 114a para transmitir una segunda señal óptica de una longitud de onda diferente.

35 Con referencia nuevamente a la figura 3, la transmisión óptica $T_{\lambda 1}$ de la primera señal óptica que tiene una primera longitud de onda transmitida por el transmisor óptico 114, a través de la línea de suministro de fluido 104 que contiene fluido, y al receptor óptico 115 se determina usando la ecuación $T_{\lambda 1} = C(T_{\text{tubo}}, T_{\text{fluido}}, T_{\text{desechos}})$. La ecuación ilustra que la transmisión óptica $T_{\lambda 1}$ de la primera señal óptica es una función de la transmisión óptica de la primera señal óptica a través del tubo de línea de suministro de fluido T_{tubo} , a través del fluido T_{fluido} , y a través de la acumulación de desechos (es decir, suciedad, residuos debido a la disolución de limpieza, ruido óptico de fuentes ambientales, etc.) en el tubo de suministro de fluido T_{desechos} . Del mismo modo, la transmisión óptica $T_{\lambda 2}$ de la segunda señal óptica que tiene una segunda longitud de onda diferente transmitida por el transmisor óptico 114, a través de la línea de suministro de fluido 104 que contiene fluido, y al receptor óptico 115 se determina usando la ecuación $T_{\lambda 2} = f(T_{\text{tubo}}, T_{\text{fluido}}, T_{\text{desechos}})$. La ecuación nuevamente ilustra que la transmisión óptica $T_{\lambda 2}$ de la segunda señal óptica es una función de la transmisión óptica de la segunda señal óptica a través del tubo de línea de suministro de fluido T_{tubo} , a través del fluido T_{fluido} , y a través de la acumulación de desechos en la tubería de la línea de suministro de fluido T_{desechos} .

40 La primera señal óptica $S_{1\lambda 1}$ detectada por el receptor óptico 115 es una función de la primera señal original $S_{0\lambda 1}$ que tiene la primera longitud de onda transmitida por el transmisor óptico 114 y la transmisión óptica de la primera señal original $S_{0\lambda 1}$ a través de la tubería de suministro de fluido T_{tubo} , a través del fluido T_{fluido} , y a través de la acumulación de desechos en la tubería de la línea de suministro de fluido T_{desechos} como se muestra en la ecuación $S_{1\lambda 1} = S_{0\lambda 1} f(T_{\text{tubo}}, T_{\text{fluido}}, T_{\text{desechos}})$. La segunda señal óptica $S_{2\lambda 2}$ detectada por el receptor óptico 115 es una función de la segunda señal original $S_{0\lambda 2}$ que tiene la segunda longitud de onda diferente transmitida por el transmisor óptico 114 y la

transmisión óptica de la segunda señal original $S_{0\lambda 2}$ a través de la tubería de suministro de fluido T_{tubo} , a través del fluido T_{fluido} , y a través de la acumulación de desechos en el tubo T_{desechos} como se muestra en la ecuación $S_{2\lambda 2} = S_{0\lambda 2} f(T_{\text{tubo}}, T_{\text{fluido}}, T_{\text{desechos}})$. Al tomar una relación de $S_{\lambda 1/\lambda 2} = S_{1\lambda 1}/S_{2\lambda 2} = S_{0\lambda 1} f(T_{\text{tubo}}, T_{\text{fluido}}, T_{\text{desechos}})/S_{0\lambda 2} f(T_{\text{tubo}}, T_{\text{fluido}}, T_{\text{desechos}}) = S_{0\lambda 1} f(T_{\text{fluido}})/S_{0\lambda 2} f(T_{\text{fluido}})$ la parte de la señal efectuada por el tubo de la línea de suministro de fluido y las transmisiones de desechos se cancelan entre sí, ya que permanecen iguales durante el proceso de recepción de la señal óptica, y la ecuación resultante es una función de las señales originales y la transmisión del fluido. Además, el hecho de que los dos transmisores ópticos funcionan en el mismo eje óptico y estén modulados a una frecuencia alta asegura la medición a través de la misma sección del fluido en movimiento. Para ilustrar esto, el teorema de Nyquist establece que la velocidad de muestreo del fotodetector debe ser mayor (al menos dos veces) que el movimiento del fluido para garantizar que cada longitud de onda transmitida viaje a través de la misma sección de la región fluido/aire. A un caudal máximo de 1.000 mililitros por hora, el fluido se mueve a una velocidad de 133,84 milímetros por segundo en un tubo de línea intravenosa típico de 1,33 milímetros de diámetro interno para un tubo de PVC. Una columna de fluido de 0,48 milímetros en un tubo de diámetro interno de 1,33 milímetros tiene un volumen de 1 microlitro. Si esta columna de fluido se mueve a una velocidad de 133,84 milímetros por segundo, la columna de fluido de 1 microlitro abandona completamente la región en aproximadamente 0,003 segundos; por lo tanto, indica una frecuencia mínima de muestreo de 666 Hercios (por ejemplo, $2 \cdot$ frecuencia de Nyquist de 333 Hercios). Alternativamente, se requiere una frecuencia de muestra mínima de 666 Hertz para tomar muestras de una columna de fluido de 1 microlitro en un tubo IV de 1,33 milímetros de diámetro interno. Los diodos emisores de luz (LED) se pueden modular en la región de megahercios y pueden muestrear adecuadamente y acomodar prácticamente cualquier caudal utilizado en las terapias de infusión.

Una versión simplificada de la ecuación cuando el fluido en la línea de suministro de fluido 104 es fluido comprende $S_{\lambda 1/\lambda 2_fluido} = S_{1\lambda 1}/S_{2\lambda 2} = S_{0\lambda 1} f(T_{\text{fluido}})/S_{0\lambda 2} f(T_{\text{fluido}}) = A_{\text{fluido}}$. Una versión simplificada de la ecuación cuando el aire está dispuesto en la línea de suministro de fluido 104 comprende $S_{\lambda 1/\lambda 2_aire} = S_{1\lambda 1}/S_{2\lambda 2} = S_{0\lambda 1} f(T_{\text{aire}})/S_{0\lambda 2} f(T_{\text{aire}}) = A_{\text{aire}}$. Las ecuaciones simplificadas ilustran que las relaciones dan diferentes valores distintos con A_{fluido} indicando que el fluido está dispuesto en la línea de suministro de fluido 104 y con A_{aire} indicando que el aire está dispuesto en la línea de suministro de fluido 104. Como resultado, estas ecuaciones/relaciones se pueden usar para detectar cuándo hay aire en la línea de suministro de fluido 104. Las ecuaciones/relaciones pueden dar resultados variables para diferentes líquidos que se disponen en el línea de suministro de fluido 104 pero son fácilmente distinguibles de los resultados de las ecuaciones cuando hay dispuesto y presente aire en la línea de suministro de fluido 104.

La Ley de Beer-Lambert (o la Ley de Beer) junto con el método ratiométrico propuesto respalda la presente divulgación. La Ley de Beer relaciona la absorción de la luz con las propiedades del material a través del que viaja la luz. La Ley de Beer establece que existe una dependencia exponencial entre la transmisión de la luz a través de una sustancia y el producto del coeficiente de absorción (es decir, en este caso tubos, fluido/aire, suciedad, residuos debido a disoluciones de limpieza, etc.) de la sustancia y la distancia que viaja la luz a través de la sustancia (es decir, el eje

óptico). En particular, la Ley de Beer establece que $T = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha L}$, donde T es transmisión, I es intensidad, I_0 es la intensidad inicial, α es el coeficiente de absorción y L es la longitud de camino óptico. El coeficiente de absorción se compone de los coeficientes de absorción de la tubería, fluido/aire/espuma y cualquier residuo debido a las disoluciones de limpieza o aceite y suciedad. Más específicamente, la ecuación puede reescribirse para las intensidades que el receptor óptico "observará" a partir de las dos longitudes de onda ópticas diferentes, a saber $I_1 = I_0 e^{-a_1 L}$ y $I_2 = I_0 e^{-a_2 L}$, porque L es una constante y como resultado de la estrecha separación de las diferentes longitudes de onda, $a_1 \equiv a_2$. Tomar la relación de I_1 y I_2 cancela los elementos comunes, como los residuos debidos a la disolución de limpieza o al aceite y la suciedad, y los parámetros de material del tubo dejan la ecuación para contener solo la relación de las intensidades iniciales (que se conocen). Dado que las longitudes de onda transmitidas comparten el mismo camino óptico, tubos, residuos ("ruido") y muestrean la misma sección de la columna de fluido, la única diferencia significativa es si la región muestreada contiene aire o aire; ofreciendo así inmunidad al ruido y dando como resultado una alta relación señal/ruido. Un planteamiento similar es válido para todas las realizaciones descritas en esta divulgación, incluido el uso de al menos un transmisor y al menos un receptor. La divulgación no transmite un límite en el número de transmisores o receptores que pueden usarse en realizaciones alternativas.

Debido a que esta divulgación proporciona inmunidad contra el ruido ambiental (suciedad, luz ambiental, residuos de disoluciones de limpieza, etc.) existe la ventaja de la autocalibración del sensor óptico. Un método para utilizar la autocalibración en una bomba de infusión es proporcionar una lectura de referencia sin la presencia del tubo IV (y el cartucho) y antes de cargar el tubo IV (y el cartucho) en el infusor. Debido a que esta divulgación no es un sistema de sensor óptico basado en la amplitud, sino más bien un método ratiométrico, la lectura de referencia inicial (sin la presencia del tubo y/o cartucho IV) proporciona una lectura de referencia. El estado de la técnica actual de los sensores de aire en la bomba de infusión típica se basa en la tecnología de ultrasonido que no brinda la oportunidad de autocalibrar el sensor de ultrasonido ni proporciona inmunidad a cambios mecánicos o factores de ruido externos (suciedad, etc.). Generalmente se necesita calibración de rutina para estos sensores de aire del estado de la técnica en bombas de infusión como parte de la gestión general del ciclo de vida. La presente divulgación no requiere calibración en el campo o en la instalación de servicio ya que el dispositivo se autocalibra automáticamente antes de cada uso.

- 5 La figura 7 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral que se obtuvieron para un material plástico plano que se usó en un cartucho de bomba de infusión que comprende parte de una línea de suministro de fluido 104. La longitud de onda se traza en el eje X y el porcentaje de transmitancia se traza en el eje Y. El gráfico muestra que desde aproximadamente 400 nanómetros hasta aproximadamente 1.600 nanómetros, la transmitancia está por encima del 70 por ciento con una ligera caída en alrededor de 1.600 nanómetros, y regresa a aproximadamente el 70 por ciento antes de indicar que no hay transmitancia ya que la longitud de onda continúa aumentando con el escaneo que termina en aproximadamente 4.000 nanómetros. La transmitancia es mayor del 70 por ciento en el intervalo de 1.000 nanómetros a 1.500 nanómetros. La figura 7 demuestra que variar las longitudes de onda de las señales ópticas da como resultado cambios sustanciales en la transmitancia.
- 10 La figura 8 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral que se obtuvieron para el mismo material plástico que se utilizó en el cartucho de bomba de infusión de la figura 7, con la excepción de que el material plástico era cóncavo. La longitud de onda se traza en el eje X y el porcentaje de transmitancia se traza en el eje Y. El gráfico muestra que la transmitancia es mayor del 80 por ciento en el intervalo de 1.000 nanómetros a 1.500 nanómetros. La figura 8 demuestra que variar las longitudes de onda de las señales ópticas da como resultado cambios sustanciales en la transmitancia.
- 15 La figura 9 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral que se obtuvieron para un material de membrana de silicona que se usó en un cartucho de bomba de infusión. La longitud de onda se traza en el eje X y el porcentaje de transmitancia se traza en el eje Y. El gráfico muestra que la transmitancia es mayor del 40 por ciento en el intervalo de 1.000 nanómetros a 1.500 nanómetros. La figura 9 demuestra que variar las longitudes de onda de las señales ópticas da como resultado cambios sustanciales en la transmitancia.
- 20 La figura 10 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral que se obtuvieron para una disolución de cloruro de sodio al 0,9 por ciento que se suministró a través de una línea de suministro de fluido de un sistema de infusión. La longitud de onda se traza en el eje X y el porcentaje de transmitancia se traza en el eje Y. El gráfico muestra que la transmitancia es mayor del 90 por ciento en el intervalo de 400 nanómetros a 1.800 nanómetros. La longitud del eje óptico fue de 1 mm. La figura 10 demuestra que variar las longitudes de onda de las señales ópticas da como resultado cambios sustanciales en la transmitancia.
- 25 La figura 11 es un gráfico que ilustra los resultados de escaneo espectral que se obtuvieron para una disolución Intralipid al 20 por ciento (emulsión de grasa) utilizada en una línea de suministro de fluido de un sistema de infusión. La longitud de onda se traza en el eje X y el porcentaje de transmitancia se traza en el eje Y. El gráfico muestra que la transmitancia es mínima en el intervalo de 400 nanómetros a aproximadamente 1.200 nanómetros y luego aumenta con la longitud de onda hasta el final de la escaneo a aproximadamente 1.800 nanómetros. La longitud del eje óptico fue de 1 nanómetro. La figura 11 demuestra que variar las longitudes de onda de las señales ópticas da como resultado cambios sustanciales en la transmitancia.
- 30 La figura 12 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un método 120 para infundir un fluido de infusión. El método 120 puede utilizar el sistema de infusión 100 de la figura 1. En otras realizaciones, el método 120 puede utilizar sistemas variables que incluyen, pero no se limitan a estos, cualquier sistema descrito en este documento. En la etapa 122, el fluido de infusión fluye a través de una línea de suministro de fluido de un sistema de infusión. En la etapa 124, se transmiten señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda a través de la línea de suministro de fluido. En una realización, las diferentes longitudes de onda de las señales ópticas se optimizaron para el tipo particular de fluido de infusión dispuesto en la línea de suministro de fluido para lograr la máxima diferenciación entre el fluido de infusión dispuesto en la línea de suministro de fluido y el aire dispuesto en la línea de suministro de fluido.
- 35 En una realización, las señales ópticas comprenden luz de espectro infrarrojo cercano que tiene longitudes de onda variables que oscilan entre 600 nanómetros y 1.500 nanómetros. En otra realización, las señales ópticas transmitidas comprenden luz de espectro infrarrojo cercano que tiene longitudes de onda variables que oscilan entre 940 nanómetros y 1.050 nanómetros. En otras realizaciones, las señales ópticas transmitidas pueden comprender luz que tiene longitudes de onda variables. En otra realización, el al menos un transmisor óptico que transmite las señales ópticas puede modularse para lograr un alto nivel de inmunidad frente a la presencia de luz ambiental de fuentes de luz de fondo tales como luz fluorescente, luz de diodo emisor de luz, etc. y para aumentar la relación señal/ruido del sistema de adquisición de señal. En la etapa 126, se reciben las señales ópticas transmitidas que tienen las diferentes longitudes de onda.
- 40 En la etapa 128, al menos un procesador determina si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en las señales ópticas recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda. En una realización, la etapa 128 comprende el al menos un procesador que determina si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en cómo una relación de las señales ópticas recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda se compara con un umbral. En una realización, la etapa 128 comprende el al menos un procesador que determina la propiedad de transmitancia del fluido de infusión o aire entre dos regiones espectrales. En la etapa 130, si se realiza la determinación en la etapa 128 de que hay aire en el sistema de infusión, el al menos un procesador 108 genera una alarma y el dispositivo de alarma 110 genera el sonido o la exposición visual apropiada para notificar al usuario. En una realización, la etapa 130 puede comprender que al menos un procesador que apaga una bomba del sistema de infusión si suena la alarma.
- 45
- 50
- 55
- 60

- 5 En una realización, las etapas 124, 126 y 128 comprenden: en la etapa 124, transmitir una primera señal óptica que tiene una primera longitud de onda y transmitir una segunda señal óptica que tiene una segunda longitud de onda diferente de la primera longitud de onda a través de la línea de suministro de fluido; en la etapa 126, recibir la primera señal óptica y la segunda señal óptica; y en la etapa 128, determinar con el al menos un procesador si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en las señales ópticas recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda con el al menos un procesador que encuentra que el aire dispuesto en la línea de suministro de fluido tiene un impacto sustancialmente mayor en la primera señal óptica recibida que en la segunda señal óptica recibida.
- 10 En una realización, las etapas 124 y 126 comprenden: en la etapa 124, dos transmisores ópticos que transmiten las señales ópticas que tienen las diferentes longitudes de onda a través de la línea de suministro de fluido; y en la etapa 126, solo un receptor óptico que recibe las señales ópticas transmitidas que tienen las diferentes longitudes de onda.
- En una realización, las etapas 124 y 126 comprenden: en la etapa 124, dos transmisores ópticos que transmiten las señales ópticas que tienen las diferentes longitudes de onda a través de la línea de suministro de fluido; y en la etapa 126, dos receptores ópticos que reciben las señales ópticas transmitidas que tienen las diferentes longitudes de onda.
- 15 En una realización, las etapas 124 y 126 pueden utilizar al menos un transmisor óptico y al menos un receptor óptico dispuestos en lados opuestos de la línea de suministro de fluido. En otra realización, las etapas 124 y 126 pueden utilizar al menos un transmisor óptico y al menos un receptor óptico dispuestos en el mismo lado de la línea de suministro de fluido, y una superficie reflectante o refractiva dispuesta en el lado opuesto de la línea de suministro de fluido para reflejar o refractar las señales ópticas transmitidas desde al menos un transmisor óptico, a través de la
- 20 línea de suministro de fluido, de vuelta al por lo menos un receptor óptico.
- En otras realizaciones, se puede usar cualquier número, configuración, orientación o ubicación de transmisores ópticos y receptores ópticos. En todavía otras realizaciones, se puede usar un divisor de haz óptico para dirigir las señales ópticas para que viajen a lo largo de un eje óptico común. En realizaciones adicionales, se puede usar una superficie reflectante o refractiva para reflejar o refractar las señales ópticas que tienen las diferentes longitudes de onda al por
- 25 lo menos un receptor óptico. En otras realizaciones, se pueden usar componentes adicionales en combinación con al menos un transmisor óptico y al menos un receptor óptico para ayudar a transmitir o recibir las señales ópticas. En otras realizaciones, el método 120 puede alterarse para variar el orden o la sustancia de cualquiera de las etapas, para eliminar una o más etapas, o para agregar una o más etapas.
- El solicitante ha realizado pruebas utilizando diversos fluidos de infusión (incluido el cloruro de sodio al 0,9 por ciento; dextrosa al 50 por ciento; Intralipid al 20 por ciento y clara de huevo al 4,7 por ciento) y varios caudales (incluidos 250
- 30 mililitros por hora; 500 mililitros por hora; y 1.000 mililitros por hora) para comparar los resultados de usar el sistema óptico y el método de la divulgación para determinar si hay aire dispuesto en la línea de suministro de fluido de un sistema de infusión versus usar un sistema de sensor de ultrasonido (par receptor-transmisor de cristal piezoeléctrico interconectados con un oscilador electrónico de barrido de voltaje que barre a través de la frecuencia de acoplamiento
- 35 máxima del sensor) para hacer esta determinación. Las pruebas han revelado que el sistema óptico y el método de la divulgación tienen resultados sustanciales inesperados sobre el uso del sensor de ultrasonido. El uso del sistema óptico y el método de divulgación dieron como resultado una mejora en la resolución, definida como el tamaño de burbuja más pequeño que el sensor puede detectar, para todos los fluidos de infusión probados en cada uno de los diversos caudales hasta un 72 por ciento de mejora sobre el uso del sensor de ultrasonido. El uso del sistema óptico
- 40 y el método de divulgación dieron como resultado una mejora en la precisión, definida como la velocidad de detección, para todos los fluidos de infusión probados en cada uno de los diversos caudales en un intervalo del 6 al 72 por ciento de mejora sobre el uso del sensor de ultrasonido. El uso del sistema óptico y el método de la divulgación dieron como resultado una mejora en el cálculo de señal/ruido para todos los fluidos de infusión probados en cada uno de los diversos caudales en un intervalo de mejora del 280 al 800 por ciento sobre el uso del sensor de ultrasonido. El uso
- 45 del sistema óptico y el método de la divulgación dieron como resultado una mejora en el rango dinámico, definido como la diferencia entre la burbuja más grande y la más pequeña que el sensor pudo detectar, para todos los fluidos de infusión probados en cada uno de los diversos caudales hasta un 10,7 por ciento de mejora sobre el uso del sensor de ultrasonido.
- El compendio se proporciona para permitir al lector determinar rápidamente la naturaleza de la divulgación técnica. Se
- 50 presenta con el entendimiento de que no se utilizará para interpretar o limitar el alcance o el significado de las reivindicaciones. Además, en la descripción detallada anterior, se puede ver que en diversas realizaciones se agrupan juntas varias características con el fin de racionalizar la divulgación. Este método de divulgación no debe interpretarse como un reflejo de la intención de que las realizaciones reivindicadas requieran más características de las que se mencionan expresamente en cada reivindicación.
- 55 Si bien se han mostrado y descrito aspectos particulares de la presente materia aquí descrita, será evidente para los expertos en la materia que, basándose en las enseñanzas de este documento, se pueden hacer cambios y modificaciones sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de infusión para conectarse operativamente a una línea de suministro de fluido y a un recipiente de infusión que contiene un fluido de infusión, comprendiendo el sistema de infusión:
- 5 al menos dos transmisores ópticos configurados para transmitir señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda a través de la línea de suministro de fluido;
- en donde una primera señal óptica transmitida por un primer transmisor óptico tiene una primera longitud de onda y una segunda señal óptica transmitida por un segundo transmisor óptico tiene una segunda longitud de onda diferente a la primera longitud de onda,
- 10 al menos un receptor óptico configurado para recibir las señales ópticas primera y segunda que tienen las diferentes longitudes de onda transmitidas desde los transmisores ópticos primero y segundo;
- al menos un procesador en comunicación electrónica con los al menos dos transmisores ópticos y el al menos un receptor óptico; y
- una memoria en comunicación electrónica con al menos un procesador,
- 15 en donde la memoria comprende un código de programación para la ejecución por al menos un procesador, y el código de programación se configura para determinar si hay aire o fluido de infusión dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en las señales ópticas primera y segunda recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda que son recibidos por el al menos un receptor óptico,
- caracterizado por que
- 20 el sistema de infusión comprende además un divisor de haz óptico que dirige las señales ópticas primera y segunda transmitidas a lo largo del mismo eje óptico a través de la línea de suministro de fluido.
2. El sistema de infusión de la reivindicación 1 en donde el código de programación se configura para determinar si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido en función de cómo una relación de las señales ópticas recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda, que recibe al menos un receptor óptico, se compara con un umbral.
- 25 3. El sistema de infusión de la reivindicación 1 en donde las señales ópticas comprenden luz de espectro infrarrojo cercano.
4. El sistema de infusión de la reivindicación 1 en donde si el aire está dispuesto en la línea de suministro de fluido, el aire tendrá un impacto sustancialmente mayor en la primera señal óptica recibida por el al menos un receptor óptico que en la segunda señal óptica recibida por el al menos un receptor óptico.
- 30 5. El sistema de infusión de la reivindicación 1 en donde las longitudes de onda de las señales ópticas están optimizadas para el tipo particular del fluido de infusión dispuesto en la línea de suministro de fluido para lograr la máxima diferenciación entre el aire dispuesto en la línea de suministro de fluido y el fluido de infusión dispuesto en el fluido línea de entrega.
- 35 6. El sistema de infusión de la reivindicación 1 en donde los al menos dos transmisores ópticos se configuran para transmitir las señales ópticas de forma alternativa y secuencial.
7. Un método para infundir un fluido de infusión que comprende:
- hacer fluir el fluido de infusión a través de una línea de suministro de fluido de un sistema de infusión;
- 40 transmitir una primera señal óptica que tiene una primera longitud de onda y transmitir una segunda señal óptica que tiene una segunda longitud de onda diferente de la primera longitud de onda a través de una línea de suministro de fluido;
- dirigir las señales ópticas primera y segunda a lo largo del mismo eje óptico a través de la línea de suministro de fluido con un divisor de haz óptico,
- recibir la primera señal óptica y la segunda señal óptica; y
- 45 determinar, con al menos un procesador, si hay aire o fluido de infusión dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en las señales ópticas primera y segunda recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda.
8. El método de la reivindicación 7, en donde el al menos un procesador determina si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en cómo una relación de las señales ópticas recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda se compara con un umbral.

9. El método de la reivindicación 7 en donde las señales ópticas comprenden luz de espectro infrarrojo cercano.
10. El método de la reivindicación 7, en donde determinar con el al menos un procesador si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en las señales ópticas recibidas que tienen las diferentes longitudes de onda comprende el al menos un procesador que determina que el aire dispuesto en la línea de suministro de fluido tiene un impacto sustancialmente mayor en la primera señal óptica recibida que en la segunda señal óptica recibida.
11. El método de la reivindicación 7, que comprende además optimizar las longitudes de onda de las señales ópticas para el tipo particular de fluido de infusión dispuesto en la línea de suministro de fluido para lograr la máxima diferenciación entre el aire dispuesto en la línea de suministro de fluido y el fluido de infusión dispuesto en la línea de suministro de fluido.
12. El método de la reivindicación 7, en donde la transmisión de las señales ópticas que tienen diferentes longitudes de onda a través de la línea de suministro de fluido comprende al menos dos transmisores ópticos que transmiten de forma alternativa y secuencial las señales ópticas que tienen las diferentes longitudes de onda a través de la línea de suministro de fluido a lo largo de un mismo eje de haz óptico utilizando al menos un divisor de haz óptico, al menos un espejo, al menos una superficie reflectante o al menos una superficie refractiva.
13. El sistema de infusión de la reivindicación 1, que comprende:
un transmisor óptico configurado para transmitir una señal óptica de amplio espectro;
al menos un divisor de haz óptico configurado para dividir la señal óptica de amplio espectro en dos haces separados;
al menos dos filtros ópticos configurados para filtrar los dos haces separados de modo que los dos haces separados tengan dos longitudes de onda distintivamente diferentes entre sí;
al menos dos receptores ópticos configurados para recibir los dos haces separados filtrados que tienen las dos longitudes de onda distintivamente diferentes;
al menos un procesador en comunicación electrónica con un transmisor óptico y los al menos dos receptores ópticos;
y
- una memoria en comunicación electrónica con el al menos un procesador, en donde la memoria comprende un código de programación para la ejecución por el al menos un procesador, y el código de programación se configura para determinar si hay aire o fluido de infusión dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en los dos haces separados filtrados recibidos que tienen las dos longitudes de onda distintivamente diferentes que son recibidas por al menos dos receptores ópticos.
14. El sistema de infusión de la reivindicación 13, en donde el único transmisor óptico se configura para transmitir la señal óptica de amplio espectro continuamente, y el código de programación se configura para determinar si el aire o el fluido de infusión están dispuestos en la línea de suministro de fluido basándose en cómo los dos haces separados filtrados recibidos por los al menos dos receptores ópticos se compara con un umbral.

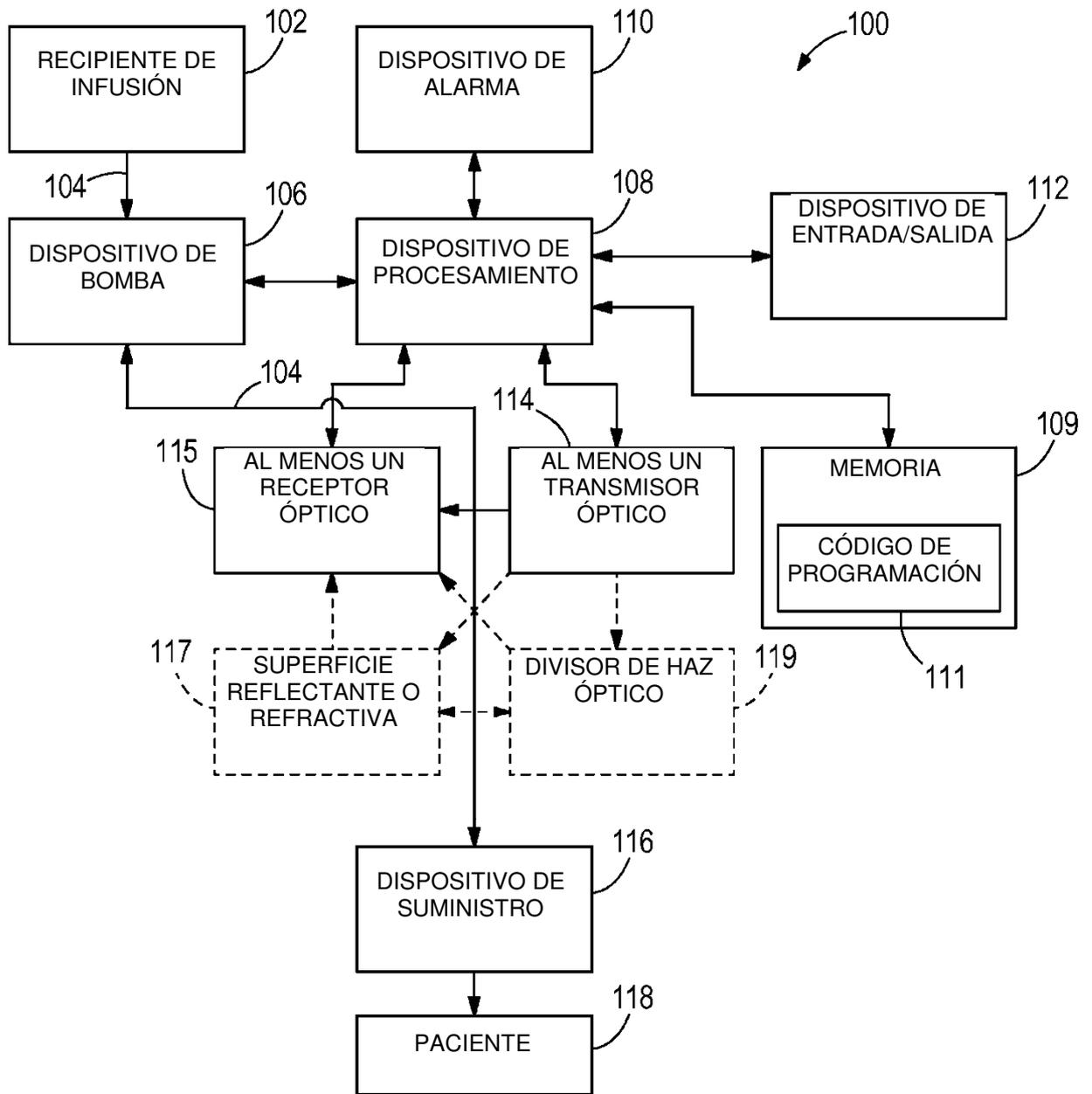


FIG. 1

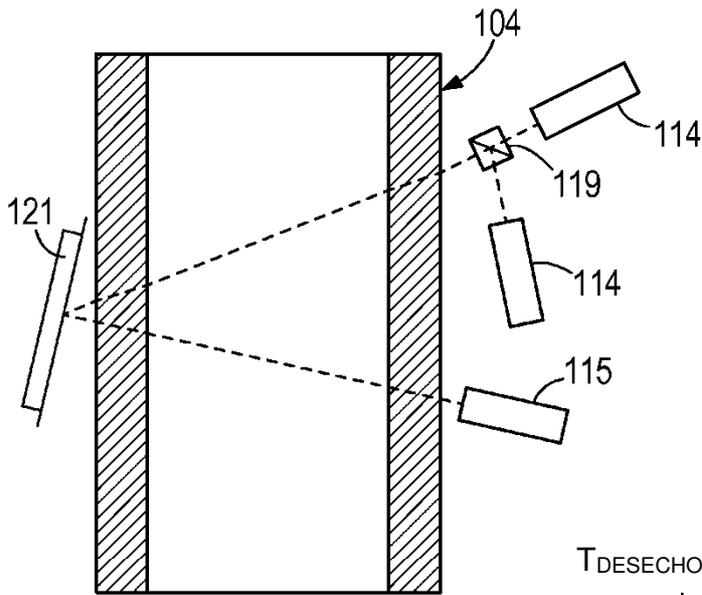


FIG. 2

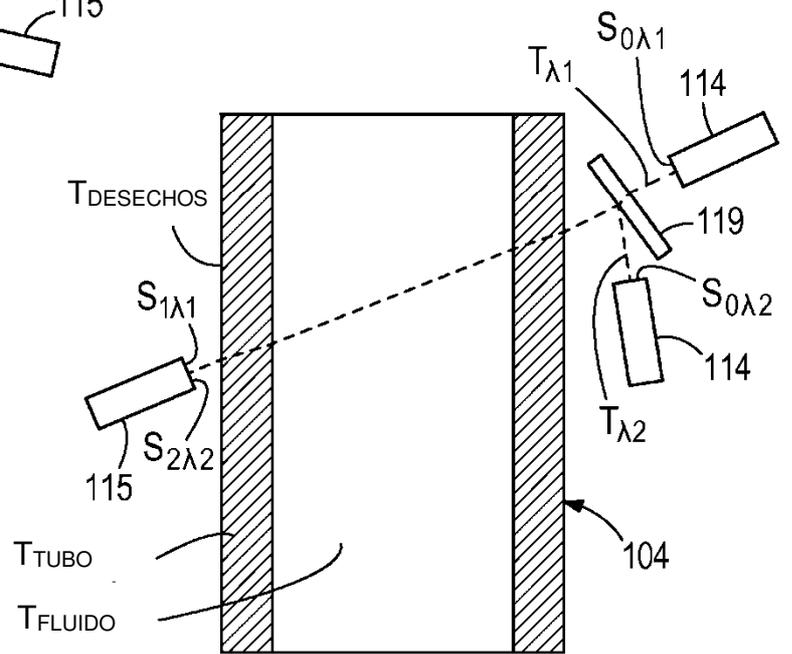


FIG. 3

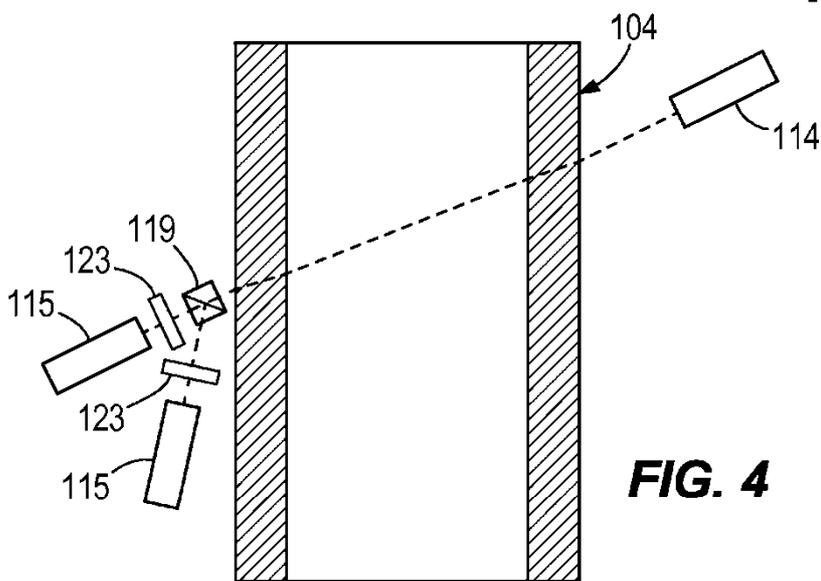


FIG. 4

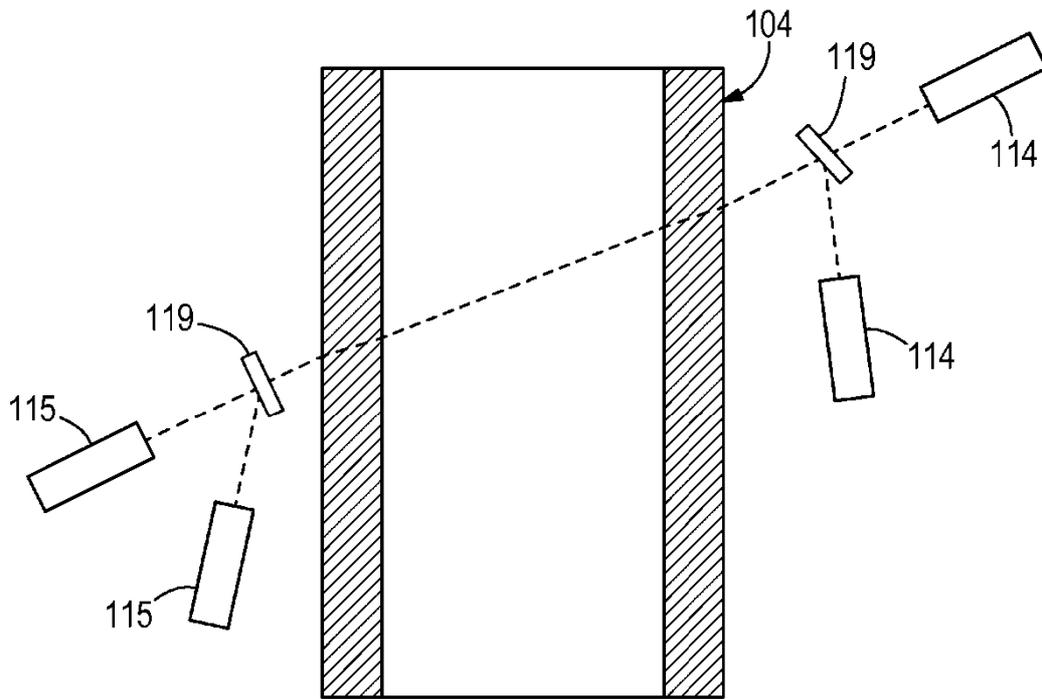


FIG. 5

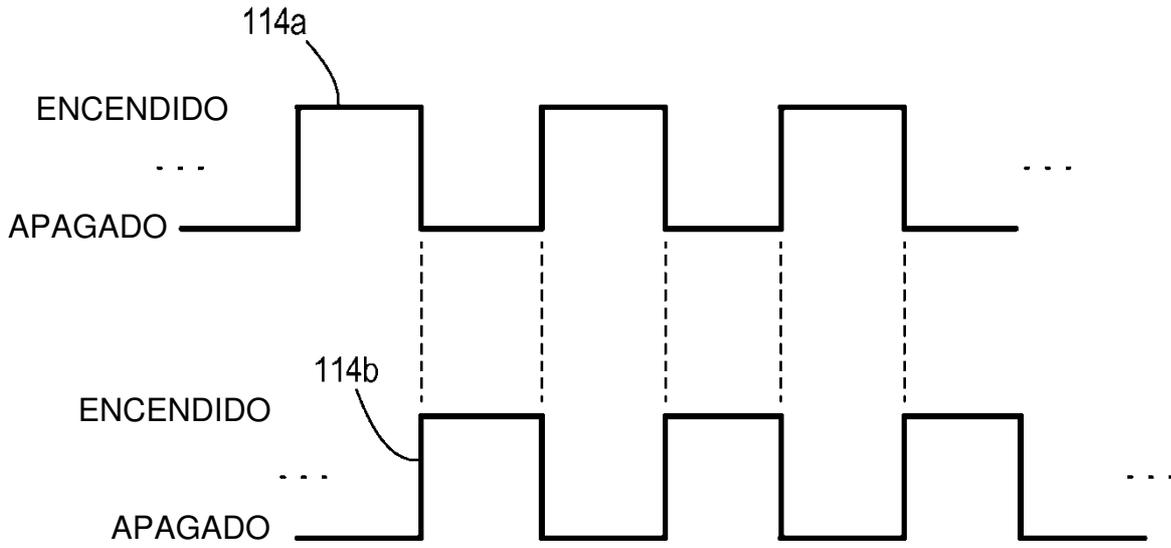


FIG. 6

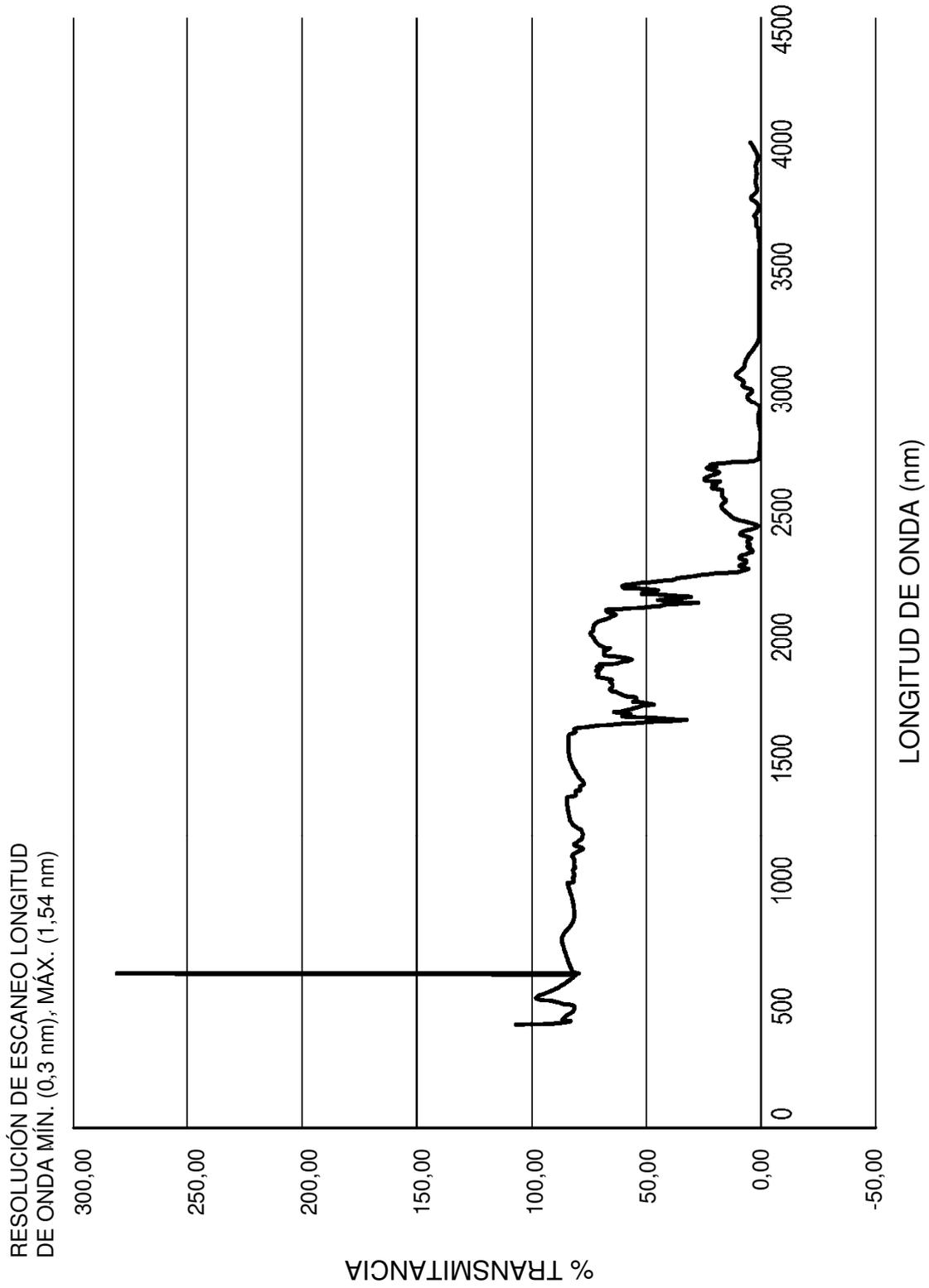


FIG. 7

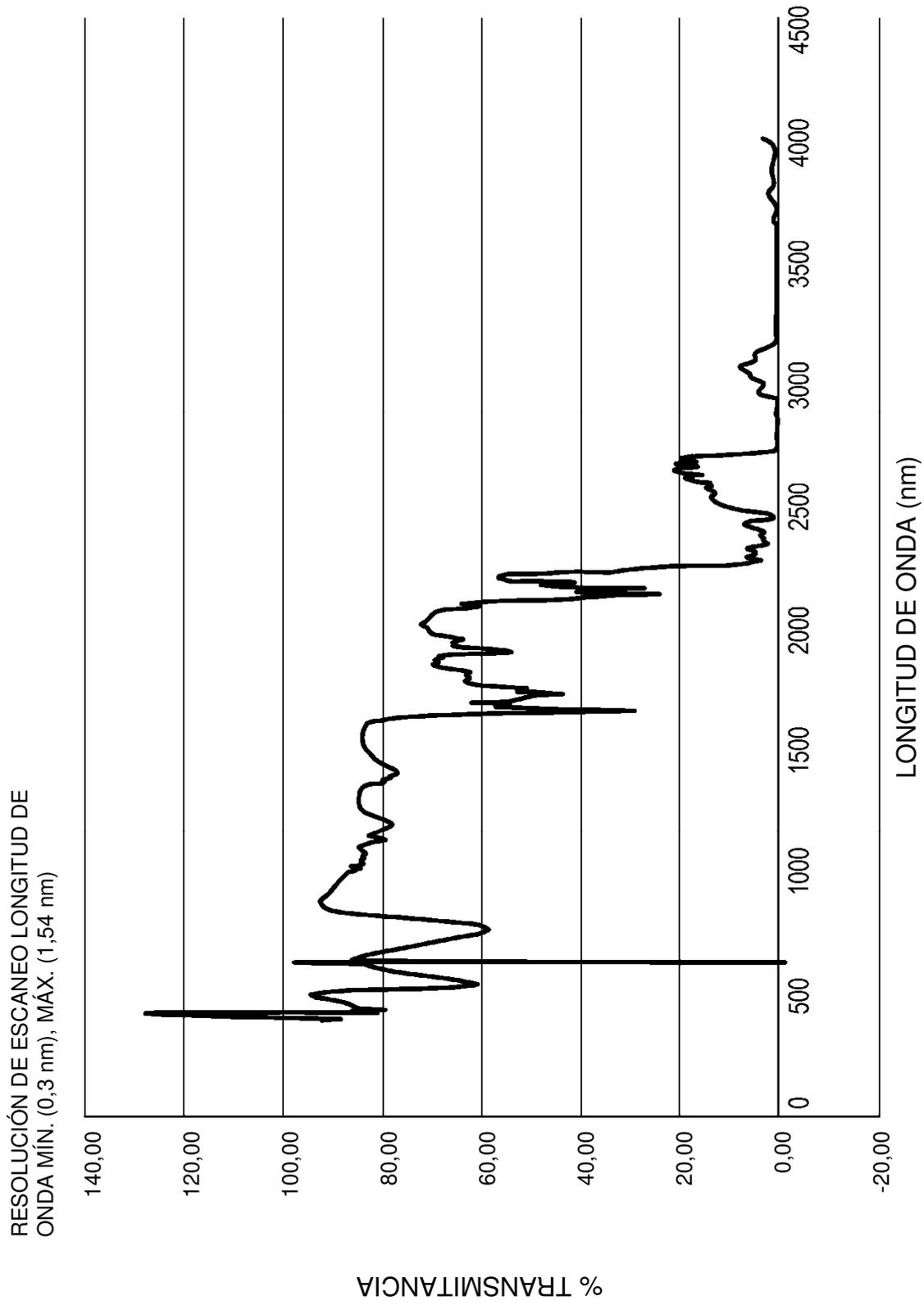


FIG. 8

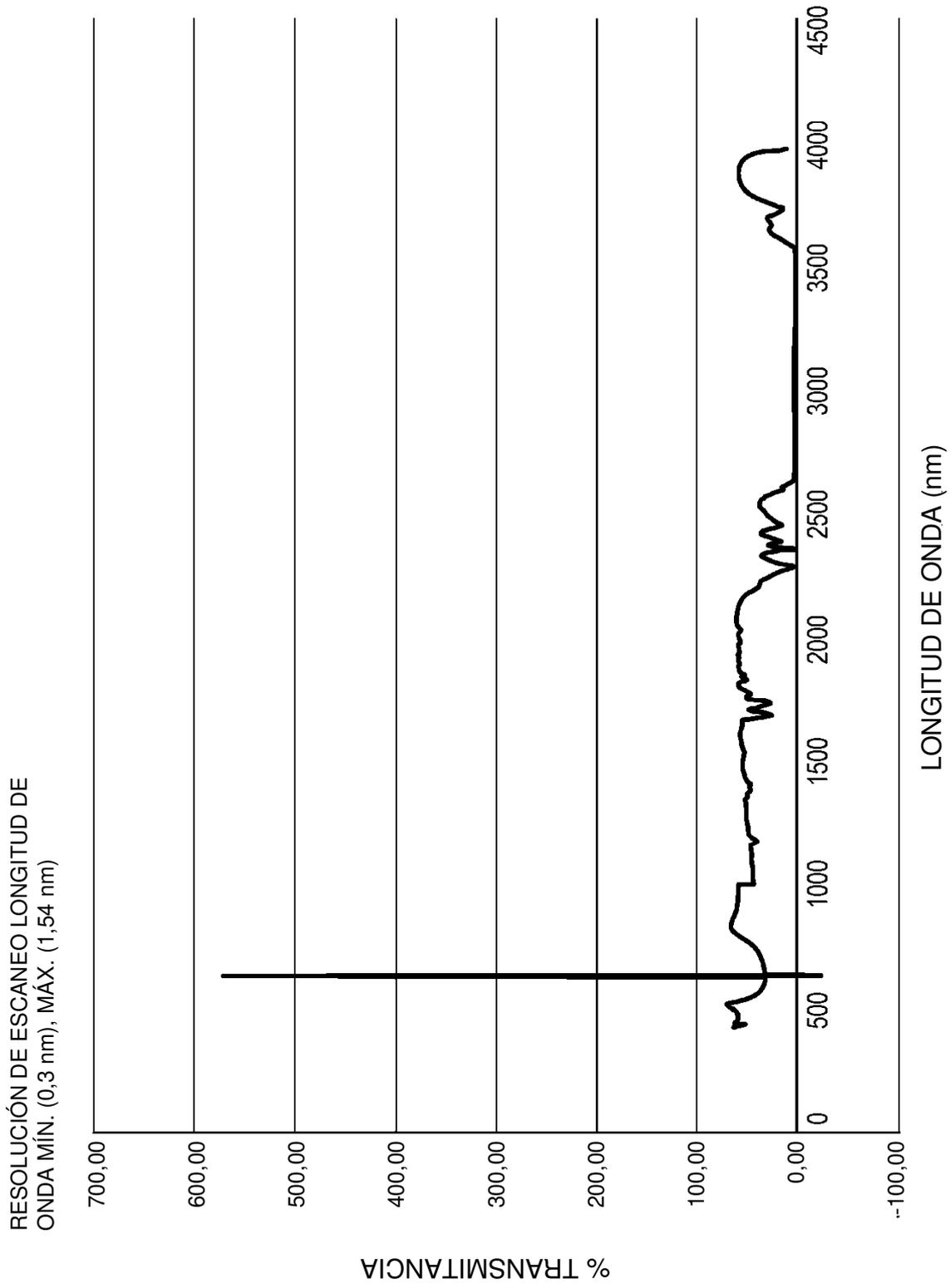


FIG. 9

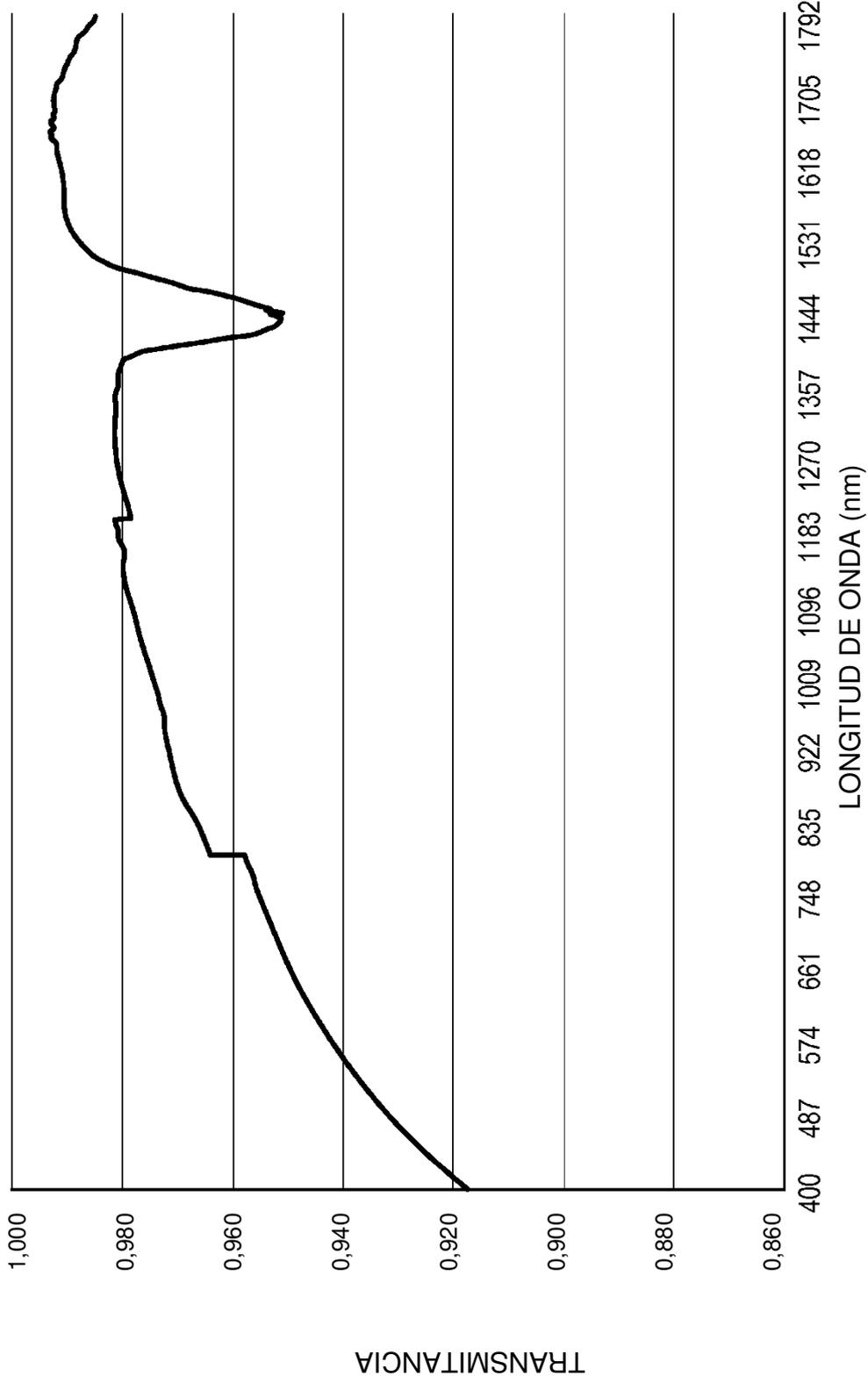


FIG. 10

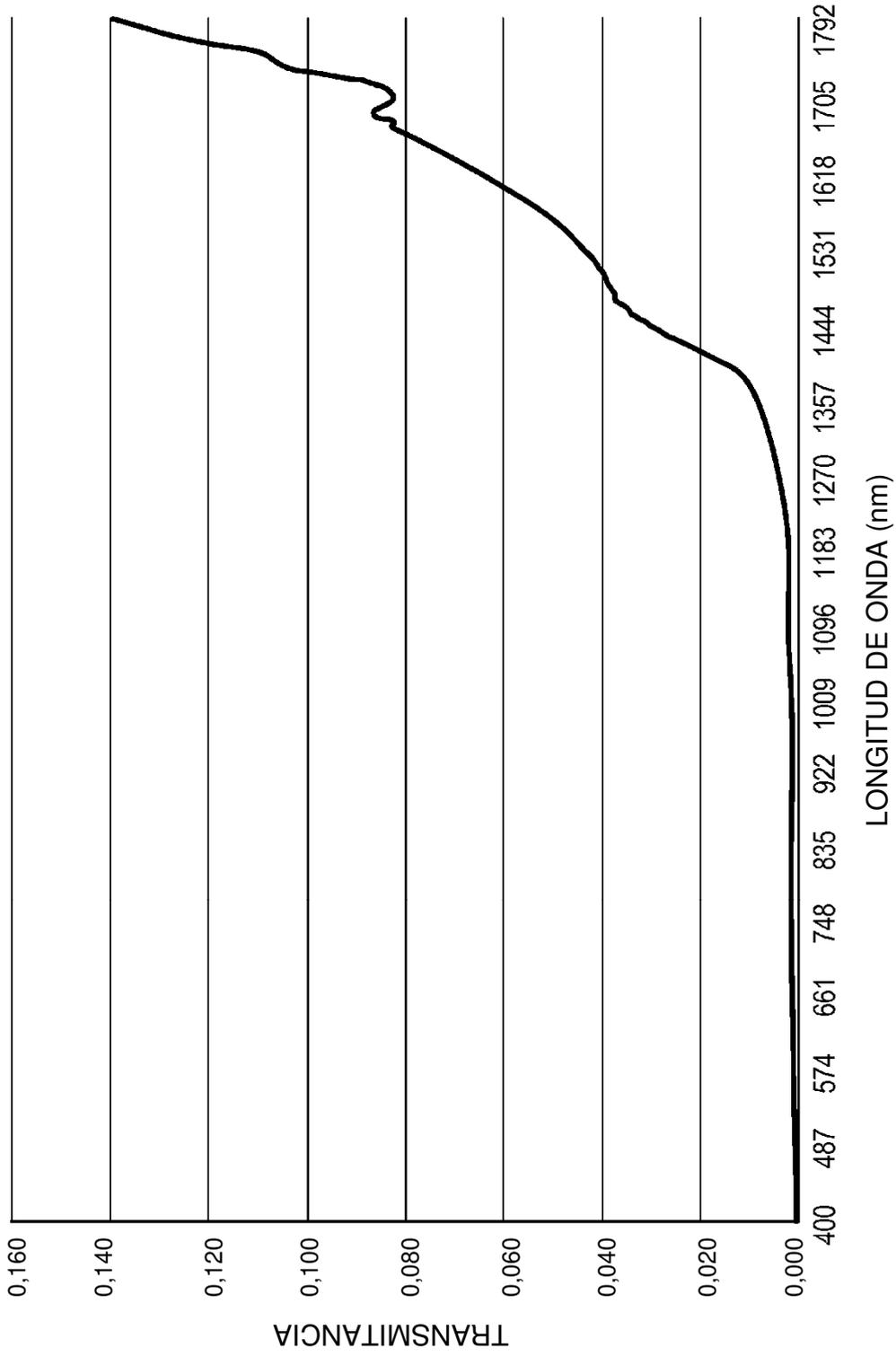


FIG. 11

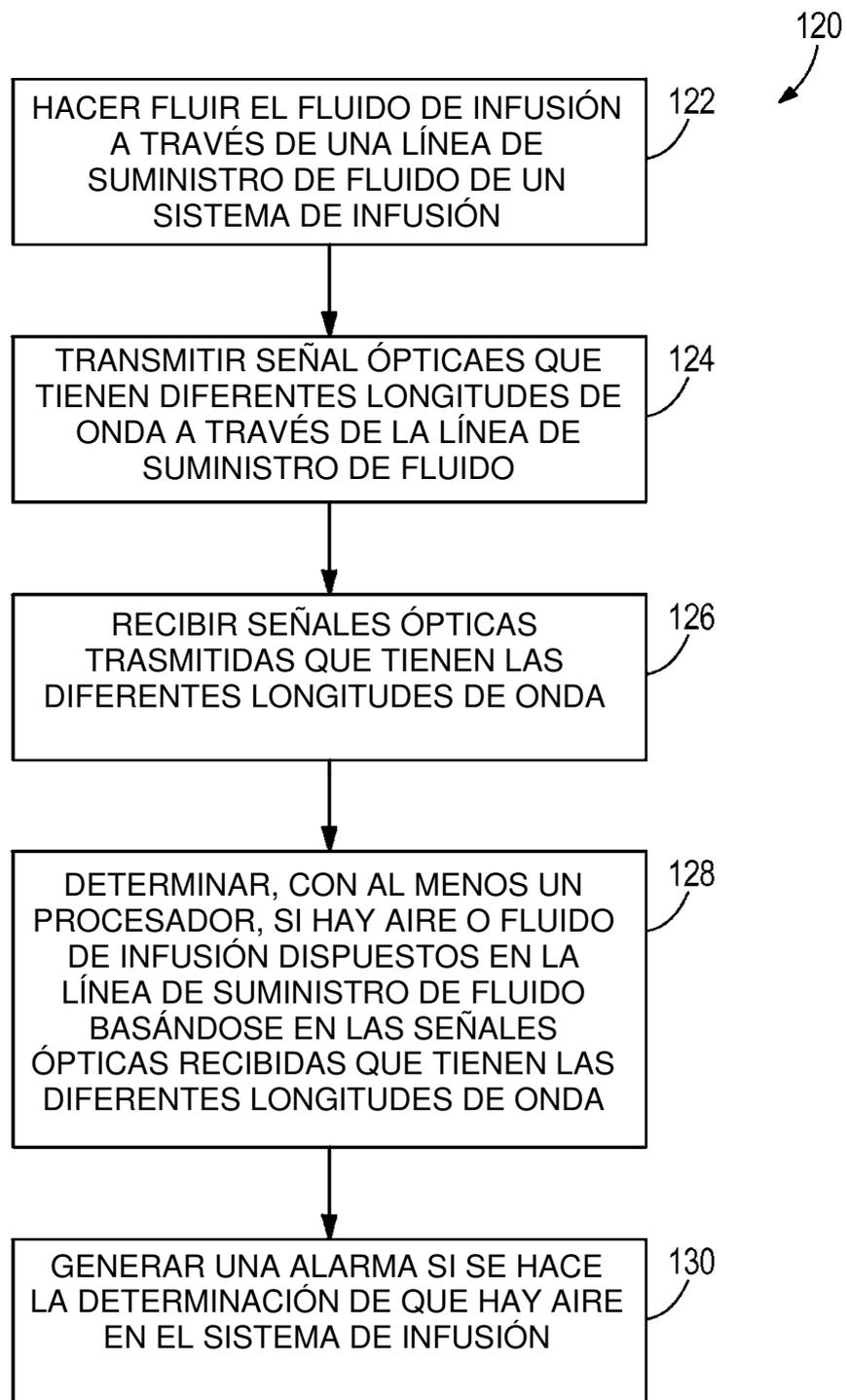


FIG. 12