

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 770 028**

51 Int. Cl.:

**A61M 5/168** (2006.01)

**B41J 2/045** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2014** **E 17175334 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019** **EP 3360589**

54 Título: **Sistema de formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes**

30 Prioridad:

**14.03.2013 US 201313828744**

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

**30.06.2020**

73 Titular/es:

**BAXTER INTERNATIONAL INC (50.0%)**  
**One Baxter Parkway**  
**Deerfield, IL 60015, US y**  
**BAXTER HEALTHCARE S.A. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**MUNRO, JAMES F**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 770 028 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 formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes

**Campo técnico**

- 5 La presente invención se refiere generalmente a un procedimiento para calcular un volumen de una gota colgante y a un sistema de formación de imágenes óptico para calcular un volumen de una gota colgante. También describe una bomba de infusión con multiplexación cromática, en particular, la bomba usa únicas o múltiples fuentes de luz, una única lente, espejos y combinadores de haz para posibilitar el uso de un único sensor de imagen de color para proporcionar distintas imágenes para múltiples distintas porciones de la bomba.

**Antecedentes**

- 10 Los sensores de imagen monocromo son generalmente menos costosos que los sensores de imagen a color. Sin embargo, para múltiples imágenes recibidas simultáneamente, los sensores monocromo no pueden usarse para separar las respectivas imágenes, por ejemplo, para generar, visualizar u operar en las respectivas imágenes, usando procesamiento de señal convencional. Por ejemplo, cuando un píxel en el sensor monocromo recibe luz, el sensor no puede determinar a cuál de las respectivas imágenes pertenece la luz.

**Sumario**

- 15 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un procedimiento implementado por ordenador para calcular un volumen de una gota colgante mediante el uso de un microprocesador de acuerdo con la reivindicación 1. La presente invención también proporciona un sistema de formación de imágenes óptico para calcular un volumen de una gota colgante de acuerdo con la reivindicación 12.

- 20 También se describe un sistema de formación de imágenes óptico para su uso con un tubo de infusión que tiene una cámara de goteo que incluye una primera porción con un tubo de goteo, una segunda porción con un puerto de salida y una tercera porción localizada entre la primera y segunda porciones, incluyendo el sistema de formación de imágenes óptico: al menos una fuente de luz para emitir al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz; un sistema óptico que incluye una única lente para recibir y transmitir al menos dos del primer espectro de luz transmitida a través de la primera porción, el segundo espectro de luz transmitida a través de la segunda porción o el tercer espectro de luz transmitida a través de la tercera porción. El sistema óptico incluye un único sensor de imagen para recibir los al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz desde la lente única y generar y transmitir datos que caracterizan los al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz recibidos desde la lente única. El sistema de formación de imágenes incluye un elemento de memoria para almacenar instrucciones ejecutables por ordenador; y al menos un procesador configurado para ejecutar las instrucciones ejecutables por ordenador para generar, usando los datos, al menos dos de la primera, segunda o tercera imágenes de la primera, segunda o tercera porciones, respectivamente.

- 35 También se describe un sistema de formación de imágenes óptico para su uso con un tubo de infusión que tiene una cámara de goteo que incluye una primera porción con un tubo de goteo, una segunda porción con un puerto de salida y una tercera porción localizada entre la primera y segunda porciones, incluyendo el sistema de formación de imágenes óptico: una única fuente de luz para emitir al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz; y un sistema óptico que incluye una única lente para recibir y transmitir al menos dos de: el primer espectro de luz transmitida a través de la primera porción; el segundo espectro de luz transmitida a través de la segunda porción; y el tercer espectro de luz transmitida a través de la tercera porción; y un único sensor de imagen de color para: recibir los al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz desde la lente única; y generar y transmitir datos que caracterizan los al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz recibidos desde la lente única. El sistema de formación de imágenes incluye un elemento de memoria para almacenar instrucciones ejecutables por ordenador, y al menos un procesador configurado para ejecutar las instrucciones ejecutables por ordenador para generar, usando los datos, al menos dos de la primera, segunda o tercera imágenes de la primera, segunda o tercera porciones, respectivamente.

- 45 También describe un sistema de formación de imágenes óptico para su uso con un tubo de infusión que tiene una cámara de goteo que incluye una primera porción con un tubo de goteo, una segunda porción con un puerto de salida y una tercera porción localizada entre la primera y segunda porciones. El sistema de formación de imágenes óptico incluye: al menos una de una primera fuente de luz para emitir únicamente un primer espectro de luz, una segunda fuente de luz para emitir únicamente un segundo espectro de luz, o la tercera fuente de luz para emitir únicamente un tercer espectro de luz; y un sistema óptico que incluye una única lente para recibir y transmitir al menos uno de: el primer espectro de luz transmitida a través de la primera porción; el segundo espectro de luz transmitida a través de la segunda porción; y el tercer espectro de luz transmitida a través de la tercera porción. El sistema óptico incluye un único sensor de imagen de color para recibir el al menos uno del primer, segundo o tercer espectros de luz desde la lente única y generar y transmitir datos que caracterizan el al menos uno del primer, segundo o tercer espectros de luz recibidos desde la lente única. El sistema de formación de imágenes incluye un elemento de memoria para almacenar instrucciones ejecutables por ordenador, y al menos un procesador configurado para ejecutar las instrucciones ejecutables por ordenador para generar, usando los datos, al menos una de la primera, segunda o tercera imágenes de la primera, segunda o tercera porciones, respectivamente. El primer, segundo y tercer espectros

de luz son libres de solapar longitudes de onda entre sí.

También se describe un procedimiento de formación de imágenes de un tubo de infusión que tiene una cámara de goteo que incluye una primera porción con un tubo de goteo, una segunda porción con un puerto de salida y una tercera porción localizada entre la primera y segunda porciones, que incluye: almacenar, en un elemento de memoria, instrucciones ejecutables por ordenador; emitir al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz desde al menos una fuente de luz; recibir y transmitir, usando una única lente al menos dos de: el primer espectro de luz transmitida a través de la primera porción; el segundo espectro de luz transmitida a través de la segunda porción; o el tercer espectro de luz transmitida a través de la tercera porción; recibir, usando un único sensor de imagen, los al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz desde la lente única; generar y transmitir, usando los únicos datos de sensor de imagen que caracterizan los al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz recibidos desde la lente única; y ejecutar, usando el al menos un procesador, las instrucciones ejecutables por ordenador para generar, usando los datos, al menos dos de la primera, segunda o tercera imágenes de la primera, segunda o tercera porciones, respectivamente.

También se describe un procedimiento de formación de imágenes de un tubo de infusión que tiene una cámara de goteo que incluye una primera porción con un tubo de goteo, una segunda porción con un puerto de salida y una tercera porción localizada entre la primera y segunda porciones, que incluye: almacenar instrucciones ejecutables por ordenador en un elemento de memoria; emitir, usando una única fuente de luz, al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz: recibir y transmitir, usando una única lente al menos dos de: el primer espectro de luz transmitida a través de la primera porción; el segundo espectro de luz transmitida a través de la segunda porción; o el tercer espectro de luz transmitida a través de la tercera porción; recibir, usando un único sensor de imagen de color, los al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz desde la lente única; generar y transmitir, usando un único sensor de imagen de color, datos que caracterizan los al menos dos del primer, segundo o tercer espectros de luz recibidos desde la lente única; y ejecutar, usando al menos un procesador, las instrucciones ejecutables por ordenador para generar, usando los datos, al menos dos de la primera, segunda o tercera imágenes de la primera, segunda o tercera porciones, respectivamente.

También se describe un procedimiento de formación de imágenes de un tubo de infusión que tiene una cámara de goteo que incluye una primera porción con un tubo de goteo, una segunda porción con un puerto de salida y una tercera porción localizada entre la primera y segunda porciones, que incluye: almacenar instrucciones ejecutables por ordenador en un elemento de memoria; y emitir al menos uno de un primer espectro de luz únicamente usando una primera fuente de luz, un segundo espectro de luz únicamente usando una segunda fuente de luz; o un tercer espectro de luz únicamente usando una tercera fuente de luz. El procedimiento incluye: recibir y transmitir, usando una única lente al menos uno de: el primer espectro de luz transmitida a través de la primera porción; el segundo espectro de luz transmitida a través de la segunda porción; o el tercer espectro de luz transmitida a través de la tercera porción; recibir, usando un único sensor de imagen de color, el al menos uno del primer, segundo o tercer espectros de luz desde la lente única; generar y transmitir, usando el único sensor de imagen de color, datos que caracterizan el al menos uno del primer, segundo o tercer espectros de luz recibidos desde la lente única; y ejecutar, usando al menos un procesador, las instrucciones ejecutables por ordenador para generar, usando los datos, al menos una de la primera, segunda o tercera imágenes de la primera, segunda o tercera porciones, respectivamente. El primer, segundo y tercer espectros de luz son libres de solapar longitudes de onda entre sí.

#### **Breve descripción de los dibujos**

La naturaleza y modo de operación de la presente invención se describirá ahora más completamente en la siguiente descripción detallada de la invención tomada con las figuras de los dibujos adjuntos, en las que:

La Figura 1 es una representación esquemática de definiciones para una bomba de infusión;

La Figura 2 es una representación de bloques esquemática de una bomba de infusión con un sistema de formación de imágenes óptico;

Las Figuras 3A a 3F ilustran realizaciones de ejemplo del sistema de iluminación mostrado en la Figura 2;

Las Figuras 4A a 4C son representaciones esquemáticas de realizaciones para un sistema óptico;

Las Figuras 5A a 5C ilustran definiciones de procesamiento de formación de imágenes;

La Figura 6 ilustra una imagen de una gota que incluye un círculo incluido al menos parcialmente dentro de un límite externo de la gota;

La Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra la operación de una bomba con un sistema de formación de imágenes óptico;

Las Figuras 8A y 8B son detalles esquemáticos para una bomba que implementa una operación para determinar un vector de gravedad;

Las Figuras 9A y 9B son detalles esquemáticos de una bomba que usa inyección de luz;

Las Figuras 10A y 10B son detalles esquemáticos de una bomba con una disposición detección de menisco;

La Figura 11 es una representación de bloques esquemática de dos bombas de infusión con respectivos sistemas de formación de imágenes ópticos en una configuración primaria y secundaria;

La Figura 12 es un diagrama de bloques de nivel superior que ilustra la operación de una bomba con un sistema de formación de imágenes óptico;

La Figura 13 es un diagrama de bloques que ilustra el procesamiento de señal y control de realimentación de

ejemplo para una bomba con un sistema de formación de imágenes óptico;

La Figura 14 es un diagrama de bloques que ilustra filtración digital de ejemplo en una bomba con un sistema de formación de imágenes óptico;

5 La Figura 15 es una representación esquemática de filtración espacial de ejemplo en una bomba con un sistema de formación de imágenes óptico;

La Figura 16 es una representación esquemática de un sistema de formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes y una única fuente de luz;

La Figura 17 es una representación esquemática de un sistema de formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes y una única fuente de luz;

10 La Figura 18 es una representación esquemática de un sistema de formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes y una única fuente de luz;

La Figura 19 es una representación esquemática de un sistema de formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes y múltiples fuentes de luz; y,

15 La Figura 20 es una representación esquemática de un sistema de formación de imágenes óptico con formación de imágenes óptica de dos canales y una única fuente de luz.

### Descripción detallada

Al principio, debería apreciarse que los números de los dibujos similares en diferentes vistas de dibujo identifican elementos estructurales, o funcionalmente similares, idénticos de la invención. Aunque la presente invención se describe con respecto a lo que actualmente se considera que son los aspectos preferidos, se ha de entender que la invención según se reivindica no está limitada a los aspectos desvelados.

Adicionalmente, se entiende que esta invención no está limitada a la metodología particular, materiales y modificaciones descritas y como tal, por supuesto pueden variar. Se entiende también que la terminología usada en el presente documento es para el fin de describir aspectos particulares únicamente, y no se pretende para limitar el ámbito de la presente invención, que está limitado únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

25 A menos que se defina de otra manera, todos los términos técnicos y científicos usados en el presente documento tienen el mismo significado que el comúnmente entendido para un experto en la materia al que pertenece esta invención.

La Figura 1 es una representación esquemática de definiciones para una bomba de infusión.

30 La Figura 2 es una representación de bloques esquemática de la bomba **100** de infusión con sistema **102** de formación de imágenes óptico. La bomba **100** incluye el microprocesador **104** programado especialmente, la cámara **106** de goteo para conexión al tubo **108** de salida, y el tubo **110** de goteo para conectar la cámara de goteo a una fuente de fluido **112**, por ejemplo, una bolsa IV. El tubo de goteo incluye el extremo **114** dispuesto en la cámara de goteo. El sistema de formación de imágenes incluye el sistema **118** de iluminación y el sistema **120** óptico. El sistema **118** incluye el elemento **122** de iluminación para transmitir luz a través de la pared **123** de la cámara de goteo en o alrededor de la gota **124** del fluido suspendido desde el extremo del tubo de goteo, por ejemplo, se ilumina uno o ambos de la gota y extremo **114**. El sistema **118** también controla las propiedades de iluminación de la luz transmitida a la gota. El sistema **120** recibe, por ejemplo, usando el sensor **126** óptico, luz transmitida a través de la gota, o a través de o alrededor del extremo **114** y transmite, al microprocesador, datos **129** con respecto a la luz recibida. La bomba **100** también incluye el mecanismo **127** de bombeo. En una realización, el mecanismo incluye los restrictores superior e inferior y usa accionadores peristálticos, tales como rodillos, para desplazar fluido a través del tubo **108**.

45 Las Figuras 3A a 3F ilustran realizaciones de ejemplo del sistema **118** en la Figura 2. Como se muestra en la Figura 3A, los rayos **128** de luz desde un sistema de iluminación colimado son paralelos. Como se muestra en la Figura 3B, los rayos **130** de luz desde un sistema de iluminación difuso se emiten en un patrón con forma de cono desde cada punto de emisión de luz en un plano de iluminación. Como se muestra en la Figura 3C, los rayos **132** de luz desde la fuente **122** de iluminación pasan a través de la lente **134** telecéntrica y se forman en grupos de rayos **136**. Los rayos en los grupos **136** son paralelos muy cercanos. Los grupos de rayos proporcionan definición aguda de bordes de imagen y minimizan la distorsión de profundidad. Como se muestra en la Figura 3D, un elemento de iluminación estructurado conforma la iluminación, por ejemplo, los rayos **138**, para controlar la luz lateral o indeseada y para acentuar los bordes de un objeto que se está iluminando. Un elemento de iluminación estructurado puede incluir la barrera **139**, dispuesta entre una fuente de iluminación y un objeto que se está iluminando, por ejemplo, la gota **124**, para conformar la iluminación, por ejemplo, bloqueando o alternado la luz que emana desde la fuente.

55 La Figura 3E ilustra el uso de interferencia láser para proyectar patrones de rayas para medir la gota **124**. La fuente **122** de iluminación incluye las fuentes **187** de luz láser. Las fuentes **187** proyectan patrones de luz que consisten en muchas rayas a la vez, o de ribetes arbitrarios. Esta técnica posibilita la adquisición de una multitud de muestras con respecto a una imagen de gota **124**, de manera simultánea. Como se observa desde diferentes puntos de vista, el patrón proyectado aparece geoméricamente distorsionado debido a la forma de la superficie del objeto. En un ejemplo, se usan patrones de rayas paralelas; sin embargo, debería entenderse que pueden usarse otros patrones. El desplazamiento de las rayas permite una recuperación exacta de las coordenadas tridimensionales (3D) de detalles sobre la superficie de un objeto, la superficie de la gota **124**. La interferencia láser funciona con dos partes delanteras

189 planares anchas desde los haces 191 láser. La interferencia de las partes delanteras da como resultado patrones 193 regulares, de línea equidistante o interferencia. Pueden obtenerse diferentes tamaños de patrón cambiando el ángulo entre los haces. El procedimiento permite la generación exacta y fácil de patrones muy precisos con profundidad de campo ilimitada. La Figura 3E es una vista superior de la bomba 100 y las fuentes 187 se muestran dispuestas radialmente alrededor del eje 195 para el tubo 110 de gota. Sin embargo, debería entenderse que son posibles otras configuraciones de las fuentes 187 con respecto a la bomba, por ejemplo, paralelas al eje 195.

La Figura 3F ilustra el uso de la lente 196 de proyección en el sistema 118. En la Figura 3F, la fuente de iluminación del sistema 118 transmite la luz 197 a través de la lente 196. La superficie 198 de la lente se modifica como es conocido en la técnica, por ejemplo, grabada o a través de deposición de cromo u otros materiales, para producir un patrón en la superficie. La luz 197 que pasa a través de la lente proyecta una imagen del patrón en y alrededor de la gota 124. En un ejemplo, el patrón 199 proyectado es en forma de una barra de intervalo constante y onda cuadrada espacial, tal como la regla de Ronchi o rejilla de Ronchi.

La fuente de iluminación para un elemento de iluminación estructurado puede ser colimada, difusa o telecéntrica. La iluminación estructurada puede controlar la luz lateral o indeseada y acentuar los bordes de la imagen. En una realización, el sistema de iluminación incluye un elemento de iluminación telecéntrico. En una realización, el sistema de iluminación incluye un elemento de iluminación estructurado.

Volviendo a la Figura 2, el microprocesador 104 incluye el segmento 140 de procesamiento de datos y el segmento 142 de adquisición y control de datos. La bomba también incluye el panel 144 de control, por ejemplo, cualquier interfaz de usuario gráfica conocida en la técnica. La salida desde el sistema óptico, por ejemplo, los datos 129 desde el sensor 126, se introducen en el segmento 142. El panel 144 u otra entrada de operador, se usa para introducir un caudal deseado a través de la cámara de goteo, así como otros datos necesarios tales como el tipo de fármaco e información de tratamiento. El microprocesador 104 puede ser cualquier microprocesador conocido en la técnica.

La bomba 100 usa detección óptica de gotas colgantes, es decir gotas que cuelgan desde o se suspenden desde el extremo 114, para medir flujo de fluido a través de la cámara de goteo al tubo de salida y para proporcionar entrada a un procedimiento de control de bomba de bucle cerrado controlado por el microprocesador. El fluido desde la fuente 112 fluye a través del tubo de goteo hasta el extremo 114 del tubo de goteo. El fluido forma la gota 124 en el extremo 114 y cuando las condiciones en el tubo de goteo, analizadas más adelante, son adecuadas, la gota cae desde el extremo 114 en el fluido 146 en la cámara de goteo. En general, una gota colgante aumenta en volumen en proporción a la secreción de fluido 146 desde la cámara de goteo a través del tubo 108. Es decir, un aumento en el volumen de la gota colgante durante un marco de tiempo es igual al volumen de fluido que pasa desde la cámara de goteo al tubo 108 en el periodo de tiempo. La relación anterior está basada en las siguientes suposiciones: el fluido desde la fuente no es comprimible; la fuente 112, el tubo de goteo, la cámara de goteo, el tubo 108 y un paciente al que está conectado el tubo 108 están encerrados a atmósfera exterior. Cada medición del volumen de gota se procesa para proporcionar una medición de volumen (o masa) de fluido. Sucesivas mediciones de volumen de gota sobre intervalos de tiempo conocidos se usan por el microprocesador para calcular el caudal de fluido a través del sistema.

Por lo tanto, en una realización, la operación del mecanismo 127 de bombeo se controla por el microprocesador usando el punto de ajuste deseado para el flujo a través de la cámara de goteo y los datos con respecto a un caudal medido de fluido a través de la cámara de goteo. Por ejemplo, el microprocesador ejecuta un bucle de realimentación que compara el caudal deseado con el caudal medido, y ajusta el mecanismo de bombeo para corregir cualquier desviación entre caudales deseados y medidos.

Las Figuras 4A a 4C son representaciones esquemáticas de realizaciones para el sistema 120 óptico. Las realizaciones mostradas en las Figuras 4A a 4C forman imágenes conjugadas, reales, por ejemplo, de la gota 124 en una matriz de plano focal formada por el sensor 126. Las Figuras 4A y 4B usan óptica refractiva, tal como única lente 148 o combinaciones 150 de lentes, respectivamente. La Figura 4C muestra óptica refractiva, tal como la combinación 150 de lentes, y óptica reflectiva, tal como el espejo 152 plegable. La lente 148, la combinación 150 y el espejo 152 pueden ser cualquier lente, combinación de lentes, o espejo conocidos en la técnica. La combinación 150 puede incluir diferentes lentes en las Figuras 4B y 4C.

Volviendo a la Figura 2, en una realización, el sensor óptico 126 es una matriz de plano focal formada por cualquier medio conocido en la técnica, que incluye, pero sin limitación un dispositivo de carga acoplada (CCD), un detector CMOS, una matriz de formación de imágenes híbrida tal como InGaAs unida a un circuito integrado de lectura CMOS. El sistema 120 incluye óptica, tal como la lente 148, enfocada en la localización de la gota 124. Debería entenderse que puede usarse otra óptica en el sistema 120. En una realización, la cámara 106 está sustancialmente despejada de manera óptica y el sistema 118 dirige la luz a través de las paredes de la cámara al sistema óptico, por ejemplo, al sensor 126. La luz puede proporcionar iluminación trasera o lateral de la gota. En una realización, el sistema 102 está configurado de manera que la gota 124 y la matriz de plano focal son conjugados ópticos y la matriz de plano focal registra una imagen real de la gota. El sistema de formación de imágenes captura imágenes de gota a una tasa suficiente para observar el crecimiento y desprendimiento de una única gota.

En una realización, la bomba 100 satisface dos métricas clave con respecto a la gota 124 de formación de imágenes. En primer lugar, la velocidad de fotograma (imágenes por segundo) es suficiente para capturar una secuencia de

imágenes a medida que la gota crece en tamaño y se desprende. En segundo lugar, el tiempo de exposición (la cantidad de tiempo que se recoge la luz en el sensor para cada imagen específica) es lo suficientemente corto para congelar el movimiento de la gota. La bomba **100** genera imágenes con definición de borde despejado, suficiente ampliación (en términos de número de píxeles a través de la gota), y un número mínimo de artefactos tal como deslumbramiento.

En una realización, el sistema **102** de formación de imágenes y el microprocesador producen una imagen precisa de la gota que se analiza más adelante como se describe a continuación para determinar el volumen de la gota. Puesto que la gota de fluido tiene una densidad uniforme, y cualquier burbuja (oclusiones) o arrastre son lo suficientemente pequeños para que sean despreciables, en un procedimiento, únicamente se mide la superficie exterior de la gota para calcular el volumen de la gota. La medición anterior se consigue realizando formación de imágenes de la gota con suficiente resolución espacial para medir de manera precisa la superficie de límite. Una integral numérica sobre este límite entonces proporciona el volumen de la gotita.

Las Figuras 5A a 5C ilustran definiciones de procesamiento de formación de imágenes. En un procedimiento, se establece un fotograma de referencia/alineación y una escala de imagen (píxeles por mm) localizando el punto **114** de extremo del orificio del tubo de goteo, como se muestra en la Figura 5A. El punto de extremo tiene un tamaño conocido y por lo tanto proporciona calibración de escala. El punto de extremo también representa el límite superior de la gota, que se usa en cálculos de volumen descritos a continuación. En una realización, se identifica el vértice **154** de la gota (un punto más alejado desde el punto fijado/de referencia) y se usa en la determinación del volumen de la gota. Por ejemplo, el sistema óptico, por ejemplo, el sensor **126**, recibe la luz transmitida en o a través del tubo de goteo y transmite, al microprocesador, datos con respecto a la luz recibida. En una disposición, el microprocesador es para determinar, usando los datos, un límite de punto **114** de extremo y usar el límite de punto **114** de extremo como un punto de referencia para determinar un volumen, forma o localización de la gota, como se describirá adicionalmente más adelante.

En la invención, como se describirá adicionalmente más adelante, se determina la dirección de gravedad (vector **156** de gravedad) con respecto una gota **124**. Un punto de referencia, por ejemplo, el límite del punto **114** de extremo, y el vector de gravedad se usan para establecer un fotograma de referencia para el procesamiento de imagen.

En un procedimiento, el volumen de la gota **124** se calcula usando el microprocesador para recibir datos **129** y generar una imagen de la gota a partir de los datos. El microprocesador localiza un borde exterior de la gota en la imagen para definir el límite **157** de la gota. El microprocesador integra un área encerrada por el límite y calcula un volumen de revolución para la gota con respecto al eje **159** para la gota que intersecta el extremo del tubo de goteo, suponiendo simetría de la gota con respecto al eje.

El cálculo anterior del volumen de gota **124** puede calcularse usando al menos dos amplios enfoques. El primer enfoque, denominado Volumen De Límite Restringido y mostrado en la Figura 5B, usa la localización exterior de la imagen de la gota para calcular el volumen total. Cada fila **158** horizontal de datos de píxel desde la imagen tiene asociado con ella un límite izquierdo y derecho exterior. El área entre estos límites se trata como la proyección bidimensional de un volumen de disco circular (el volumen simétrico de rotación del área). La imagen de la gota está integrada desde el punto **114** de extremo al vértice sumando el volumen de cada fila. El Volumen De Límite Restringido obtiene resolución máxima para cada fila de datos.

El segundo enfoque se denomina Volumen de Ajuste Restringido y se muestra en la Figura 5C. Es decir, el volumen de gota **124** se determina ajustando una función paramétrica a la imagen de límite de la gota e integrando la función paramétrica, de nuevo, suponiendo simetría rotacional. Existe un número de posibles algoritmos de ajuste, como se analizará a continuación, pero el resultado de cualquier ajuste es un conjunto de parámetros para la función supuesta que representa el límite total **157**. El Volumen de Ajuste Restringido suaviza el detalle de la fila.

En un ejemplo, el microprocesador crea una pluralidad de imágenes temporalmente sucesivas de la gota a partir de los datos **129** y calcula un respectivo volumen para la gota en cada imagen sucesiva o calcula respectivos periodos de tiempo entre desprendimiento de gotas sucesivas desde el extremo del tubo de goteo. Por imágenes temporalmente sucesivas, queremos decir una serie de imágenes tomadas a lo largo de un periodo de tiempo en orden cronológico. El microprocesador calcula una velocidad de aumento para el volumen de la gota usando los respectivos volúmenes o los respectivos periodos de tiempo. Como se ha indicado anteriormente, el flujo fuera del tubo de goteo es sustancialmente igual al aumento en el volumen de la gota; por lo tanto, los periodos de tiempo entre gotas que se desprenden desde el extremo del tubo de goteo pueden correlacionarse a los aumentos de volumen de las gotas sucesivas. Por ejemplo, en una realización, el microprocesador calcula un respectivo volumen para la gota en cada imagen sucesiva, por ejemplo, usando las operaciones anterior y posteriormente descritas; calcula cambios en los respectivos volúmenes; y calcula un caudal de fluido al tubo de salida basándose en los cambios en los respectivos volúmenes. En una realización, el microprocesador controla el mecanismo **127** para adaptar el caudal calculado con un caudal deseado, por ejemplo, almacenado en el microprocesador.

En una realización, el microprocesador es para generar una alarma de flujo libre o una alarma de condición fuera de límites cuando la velocidad de aumento para el volumen de las gotas supera un valor predeterminado, por ejemplo, almacenado en el microprocesador. En una realización, el microprocesador es para operar el mecanismo **127** para

cortar el flujo al tubo de salida cuando se genera la alarma de flujo libre o la alarma de condición fuera de límites. En una realización el microprocesador genera una alarma de oclusión aguas abajo cuando la velocidad de aumento del volumen de la gota es menor que un valor predeterminado. En una realización, el microprocesador determina que una gota está ausente del extremo del tubo de goteo durante un periodo de tiempo especificado y genera una alarma de bolsa vacía o una alarma de aire en línea.

5 En una realización, la bomba incluye el procesador **163** usado para operar el mecanismo **127** para cortar el flujo al tubo de salida cuando se genera la alarma de flujo libre o la alarma de condición fuera de límite. Es decir, como un factor de seguridad y redundancia, se usa un segundo microprocesador en la bomba.

10 La gota está colgando inicialmente desde un punto fijado en la cámara de goteo, por ejemplo, el extremo **114**. En una realización, el microprocesador es para identificar cuándo se separa la gota del punto fijado en la cámara de goteo como un medio de determinación de cuándo ha alcanzado la gota el volumen máximo. El microprocesador realiza la identificación anterior creando una pluralidad de imágenes temporalmente sucesivas de la gota y analizando estas imágenes. Por imágenes temporalmente sucesivas, queremos decir una serie de imágenes tomadas a lo largo de un periodo de tiempo en orden cronológico.

15 En una realización, el microprocesador identifica, en cada imagen sucesiva, un punto respectivo en el límite, por ejemplo, el vértice **154**, y determina una distancia de cada punto respectivo desde el extremo **114**. El microprocesador a continuación identifica dos imágenes sucesivas de la gota en las que la distancia, anteriormente indicada, en la segunda imagen en la serie es menor que la distancia en la primera imagen en la serie. Esta reducción de la distancia indica que la gota se desprende del punto fijado en el intervalo entre la primera y segunda imágenes, que indica adicionalmente que la gota alcanza un tamaño máximo en la primera imagen. El microprocesador calcula el volumen de la gota usando la primera imagen.

20 La Figura 6 ilustra la imagen **160** de la gota **124** que incluye el círculo **162** al menos parcialmente incluido dentro de un límite **164** exterior de la gota. La Figura 6 ilustra un ejemplo específico del enfoque de Volumen de Ajuste Restringido. En un ejemplo, el microprocesador identifica los respectivos círculos **162** dentro de cada imagen temporalmente sucesiva. Los círculos se definen parcialmente por unos respectivos límites **164** externos de las imágenes temporalmente sucesivas. El microprocesador identifica una respectiva localización, con respecto al punto fijado en la cámara de goteo, para cada respectivo círculo y calcula un volumen de la gota a partir de los datos y usando los respectivos círculos.

30 En un ejemplo, identificar la respectiva localización para cada dicho respectivo círculo incluye identificar la imagen que corresponde al tamaño más grande de la gota, por ejemplo, la última imagen antes de que la gota se desprende del punto de extremo del tubo de goteo. Por ejemplo, el microprocesador identifica un respectivo punto en cada respectivo círculo a una distancia más alejada del punto fijado en la cámara de goteo, por ejemplo, el punto **114** de extremo. El microprocesador a continuación determina cuál de los respectivos puntos está más alejado del punto fijado e identifica una imagen que incluye el respectivo punto más alejado del punto fijado. Es decir, el microprocesador identifica la gota más grande identificando la gota que tiene el círculo más grande. En un ejemplo, la gota más grande se identifica determinando una primera imagen en la que la distancia del vértice del punto fijado se reduce con respecto a la distancia del vértice del punto fijado para una segunda imagen inmediatamente precedente a la primera imagen. Esta reducción indica que la gota se desprendió del punto fijado en el intervalo entre la primera y segunda imágenes, que indica adicionalmente que la gota alcanza un tamaño máximo en la primera imagen. El microprocesador calcula el volumen de la gota usando la imagen que incluye el respectivo punto más alejado del punto fijado.

40 En un ejemplo, el microprocesador identifica los respectivos límites externos para cada una de las imágenes temporales de manera que cada límite externo incluye un respectivo borde de la gota más alejado del punto fijado en la cámara de goteo y el respectivo círculo incluye el respectivo borde. Es decir, el microprocesador alinea los círculos descritos anteriormente con los bordes reales de las gotas de manera que los puntos de los círculos más alejados del punto fijado, por ejemplo, el extremo **114**, son parte del borde de la gota. En un ejemplo, el microprocesador identifica respectivos arcos circulares que corresponden a los respectivos bordes y que incluye los respectivos arcos circulares en los respectivos círculos.

50 En un ejemplo, identificar la imagen que corresponde al tamaño más grande de la gota, por ejemplo, la última imagen antes de que la gota se desprenda del punto de extremo del tubo de goteo, incluye usar los puntos centrales de los círculos. Por ejemplo, el microprocesador calcula los respectivos puntos **166** centrales para los círculos y calcula las posiciones de los puntos centrales con respecto al punto fijado, por ejemplo, punto **114** de extremo. El microprocesador a continuación determina cuáles de los puntos centrales está más alejados del punto fijado e identifica una imagen que incluye el punto central más alejado del punto fijado. Es decir, el microprocesador identifica la gota más grande identificando la gota que tiene el círculo más grande. El microprocesador calcula el volumen de la gota usando la imagen que incluye el punto central más alejado del punto fijado.

55 La Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra la operación de la bomba **100** con un sistema de formación de imágenes óptico. La Figura 7 ilustra un algoritmo de ejemplo usable por la bomba **100**. Debería entenderse que son usables otros algoritmos por la bomba. La imagen de la gota **124** se filtra y limita para crear una imagen binaria. Las operaciones de filtro pueden incluir filtración de mediana (para eliminar el deslumbramiento aislado), corrección de

uniformidad de fondo y de imagen (para eliminar fuentes de ruido debido al ruido oscuro, ruido de lectura, no uniformidad de píxel y no uniformidad de iluminación), y definición de borde (usando técnicas tales como enmascaramiento de convolución o desenfoco). Las imágenes resultantes se limitan para producir imágenes binarias. Una imagen binaria consiste en valores que son o negros o blancos, sin valores de escala de grises intermedios. Las imágenes se procesan también (en paralelo con las operaciones anteriores) para encontrar la localización de referencia, por ejemplo, el punto **114** de extremo, usando técnicas tales como detección de característica, coincidencia de patrón, o técnicas de transformada tales como la transformada de Radon. La localización de punto de extremo se usa para formar una máscara de imagen. Una máscara aísla una región de una imagen para procesamiento adicional. El uso de una máscara aumenta la velocidad computacional, así como elimina que se procese adicionalmente la información de artefactos.

En una realización, las imágenes enmascaradas convertidas a binario se procesan a continuación fila a fila para hallar los límites derecho e izquierdo extremos. Este ajuste de límite restringido es una estimación de la forma de borde de la gota. En una realización, las imágenes se procesan también usando un algoritmo de ajuste restringido. Un algoritmo de este tipo aplica restricciones basándose en suposiciones acerca de la forma de la gota según se ha analizado anteriormente y más adelante. Las restricciones se usan en un esquema de optimización de mínimos cuadrados no lineal para minimizar el error entre la función o funciones de restricción parametrizada y el conjunto de imágenes de borde convertidas a binario.

Las dos aproximaciones de borde diferentes se proporcionan a un algoritmo de Estimador de Borde que compara las imágenes de ajuste restringido a imágenes de límite restringido. En la ejemplificación más sencilla, las imágenes se comparan fila a fila. Las imágenes de límite restringido se considera que son el resultado "correcto" a menos que se desvíen de las imágenes de ajuste restringido en más de un cierto parámetro (este parámetro se ajusta durante la calibración). Si la desviación es demasiado grande, el valor de la imagen de ajuste restringido se usa para sustituir el de la imagen de límite restringido para esa fila. Lo anterior se pretende para ilustrar el concepto detrás del estimador. En uso real, se usan algoritmos más sofisticados para optimizar simultáneamente la diferencia entre las dos estimaciones iniciales. Un ejemplo de un algoritmo de este tipo es el filtro de Kalman, aunque pueden utilizarse también otros algoritmos familiares para los expertos en la materia.

La salida del Estimador de Borde proporciona también la localización del vértice de la gota, que se usa, por ejemplo, para calcular el vector de gravedad dependiente del tiempo. Esta operación requiere acceso a estimaciones anteriores del valor de vértice (para calcular el cambio), y por lo tanto se almacena un número de valores anteriores en una memoria intermedia. Se requiere el vector de gravedad para algunas de las funciones de ajuste paramétrico que se usan en los algoritmos de estimación de borde de ajuste restringido. Por lo tanto, el vector de gravedad se usa en un bucle de realimentación para los algoritmos de ajuste de borde.

Las Figuras 8A y 8B son detalles esquemáticos para la bomba **100** que implementa una operación para determinar el vector **156** de gravedad. En una realización, el sistema **118** ilumina el punto **114** de extremo y la gota **124** y el sistema óptico, por ejemplo, el sensor **126**, recibe luz que emana desde el punto de extremo y luz que emana desde la gota y transmite datos **129** con respecto a la luz recibida. El microprocesador genera, usando los datos, respectivas imágenes de la gota y el extremo del tubo de goteo y localiza un vértice de la gota, siendo el vértice una porción de la gota a una distancia más alejada desde el extremo del tubo de goteo. El microprocesador determina, usando la localización del vértice, una orientación de la gota con respecto al extremo del tubo de goteo y calcula, usando la orientación de la gota con respecto al extremo del tubo de goteo, una orientación de la cámara de goteo. En una realización, el microprocesador compara la orientación de la cámara de goteo a un punto de ajuste, por ejemplo, una cierta orientación con respecto al nivel almacenado en el microprocesador, y genera una alarma de condición fuera de límite cuando la orientación equivale al punto de ajuste o varía del punto de ajuste en una cantidad predeterminada. Por ejemplo, si la cámara de goteo está demasiado lejos del nivel, la operación de nivel **100** puede comprometerse y se genera la alarma.

Por ejemplo, en la Figura 8A la línea **168** para la orientación real de la gota y el eje **170** para la cámara de goteo son co-lineales. Puesto que la gota debe necesariamente alinearse con las fuerzas de gravedad (está a nivel), la cámara de goteo está en una orientación a nivel en la Figura 8A. También, la línea **168** está alineada con el vector **156** de gravedad. En la Figura 8B, las líneas **168** y **170** no son co-lineales y la cámara de goteo no está a nivel. Por lo tanto, en una realización, el microprocesador genera las líneas **168** y **170** y compara las respectivas localizaciones u orientación de las líneas. Es decir, el microprocesador calcula la orientación de la cámara de goteo con respecto al vector de gravedad. En una realización, cuando se usan los datos **129** para generar respectivas imágenes durante un periodo de tiempo (imágenes temporalmente secuenciales), el vector de gravedad se determina midiendo en las imágenes del extremo del tubo de goteo y la gota, la localización del vértice de la gota colgante como si creciera con el tiempo y rastreando el cambio direccional dependiente del tiempo de los vértices sobre una serie de estas mediciones. En una realización, el límite del extremo **114** se calcula como se ha descrito anteriormente y el límite se usa como el plano de referencia para calcular la orientación de la gota y/o la cámara de goteo.

En una realización, el sistema de iluminación controla las propiedades de iluminación de la luz que ilumina el extremo del tubo de goteo y la gota y el microprocesador: identifica respectivos límites del extremo del tubo de goteo y la gota desde las respectivas imágenes; ajusta una función paramétrica a los respectivos límites; e integra la función paramétrica para obtener un volumen de la gota, por ejemplo, como se ha descrito anteriormente.



En una realización, la localización de punto de extremo, vector de gravedad y estimación de borde óptimo se introducen en una rutina de cálculo de volumen que integra la imagen de borde usando la suposición de “disco circular” analizada anteriormente. La localización del extremo del tubo de goteo se usa para determinar el límite superior de integración, mientras que el vector de gravedad se usa para determinar la dirección de la horizontal (a ángulos rectos al vector de gravedad). Estos valores de datos de extremo y gravedad se proporcionan junto con el volumen como salida del algoritmo. En una realización, el algoritmo también pasa los parámetros del ajuste de borde, así como datos estadísticos tales como variaciones de ajuste. En una realización, la información anterior se usa en la cadena de procesamiento de señal digital analizada a continuación.

Puede usarse un número de procedimientos para ajustar una restricción a la imagen medida. En una realización, un enfoque de “gota colgante”, implica resolver la ecuación de Laplace-Young (LYE) para tensión superficial. Una gota que cuelga de un punto de contacto (el punto de extremo) tiene una forma que se controla por el equilibrio de la tensión superficial (relacionada con la viscosidad) y la gravedad. La suposición es únicamente válida de manera estricta cuando la gota está en equilibrio; las oscilaciones (debido a la vibración o fluctuaciones de presión) distorsionarán la forma de la gota de la predicción de Laplace-Young. Sin embargo, las pequeñas oscilaciones no provocarán que el ajuste falle; de hecho, la desviación de un ajuste es en sí misma un buen indicador de la presencia de tales oscilaciones.

En una realización, se usa una Transformada de Hough Circular (CHT) en la imagen para identificar el componente de la imagen que representa la parte inferior curvada de la gota. Aunque no estrictamente un “ajuste”, la CHT proporciona una representación paramétrica de la gota que está caracterizada por el valor y origen de un círculo. El algoritmo de CHT es representativo de una restricción que se determina o aplica en un espacio de transformada matemática de la imagen. Otras transformadas ampliamente usadas, familiares para los expertos en la materia, son las transformadas de Fourier y de onícula, así como la transformada de Radon.

Los procedimientos de ajuste paramétrico anteriormente descritos aplican fuertes restricciones en la posible localización del borde de la gota. Junto con la suposición de continuidad (un borde de fluido no puede desviarse de sus vecinos sobre distancias suficientemente cortas), y el requisito de que el borde de la gota termine en el orificio de tubo de goteo, los procedimientos se usan para aumentar y corregir la imagen de límite restringido, como se ha analizado anteriormente. Otros procedimientos de ajuste funcionan de manera similar a aquellos analizados en el presente documento.

Las Figuras 9A y 9B son detalles esquemáticos de la bomba **100** que usa inyección de luz. El tubo **110** de goteo, la cámara **106** de goteo, el tubo **108**, la gota **124**, el sistema **120** de formación de imágenes y el sensor **126** son como se describen para la Figura 2. El sistema **118** de iluminación incluye la fuente **172** de iluminación para transmitir, o inyectar, luz **174** en el tubo de goteo. La luz se refleja fuera una pluralidad de porciones de la superficie enfrentada internamente **176** del tubo de goteo y la luz reflejada se transmite a través del punto **114** de extremo del tubo de goteo en el interior **177** de la gota **124** de manera que el interior se ilumina de manera uniforme. El sistema óptico recibe luz **178** transmitida desde el interior de la gota y transmite, al procesador informático, datos con respecto a la luz recibida. Los datos con respecto a la luz recibida pueden operarse después de usar cualquiera de las operaciones anteriormente indicadas. Por ejemplo, en una realización, el sistema de iluminación es para controlar las propiedades de iluminación de la luz transmitida a la gota, y el sistema óptico es para recibir luz desde la gota. El microprocesador es para: generar una imagen a partir de los datos, incluyendo la imagen un límite de la gota; ajustar una función paramétrica al borde de la gota; e integrar la función paramétrica para obtener un volumen de la gota.

Por lo tanto, la luz **174** se forma en un haz, que se inyecta en el tubo de goteo transparente para experimentar reflejo interno significativo (es decir, igual o mayor al denominado “ángulo crítico”). El diámetro cilíndrico del tubo provoca que los reflejos internos diverjan dentro del tubo (rellenando el diámetro del tubo), mientras que las imperfecciones en la superficie del tubo introducen dispersión de luz. El resultado es que la gota se ilumina internamente. Bajo estas condiciones la óptica de formación de imágenes en el sistema **120** recibe únicamente luz que se dispersa de la superficie de la gota (no hay trayectoria de rayo directa para que la luz alcance la lente). Además de una imagen de borde de alto contraste, este enfoque posibilita el uso de un elemento de iluminación muy compacto.

La Figura 10A es un detalle esquemático de la bomba **100** con una disposición detección de menisco. El tubo **110** de goteo, la cámara **106** de goteo, el tubo **108** y el fluido **146** son como se describen para la Figura 2. El sistema **102** de formación de imágenes incluye la fuente de luz, por ejemplo, un láser, para transmitir luz **182** a un ángulo agudo con respecto al eje **184** longitudinal para la cámara de goteo, en la cámara de goteo de manera que refleja la luz, en el ángulo agudo, fuera de una superficie **186** de fluido agrupado en la cámara de goteo. El sistema **102** también incluye el sensor **188**, o el detector de sensibilidad de posición, para recibir la luz **182** reflejada y transmitir, al procesador informático, datos con respecto a la luz recibida. El microprocesador es para calcular una posición de la superficie **186** usando los datos con respecto a la luz recibida.

La localización en el sensor **188** que recibe la luz **182** depende de la localización de la superficie **186**. Los niveles **190A** y **190B** muestran dos posibles niveles para el fluido **146** y, por lo tanto, dos posibles localizaciones para la superficie **186**. Como se observa en la Figura 10B, la luz **182A** y **182B** que se refleja desde los niveles **190A** y **190B**, respectivamente, impacta diferentes porciones del sensor **188**. El microprocesador usa la diferencia entre las localizaciones en el sensor **188** para determinar el nivel de fluido **146**, es decir, el menisco, en la cámara de goteo. El

sensor **188** puede ser cualquier detector sensible posicional conocido en la técnica, por ejemplo, un sensor segmentado o un sensor lateral. En una realización, el microprocesador genera una alarma de bolsa vacía o una alarma de aire en línea para un caso en el que la luz transmitida desde la fuente **188** de luz no se recibe por el sistema óptico, por ejemplo, la cámara de goteo está vacía o el nivel **186** es tan bajo que la luz **182** no impacta el fluido **146**.

5 Un detector sensible posicional segmentado incluye múltiples áreas activas, por ejemplo, cuatro áreas activas o cuadrantes, separados por un pequeño hueco o región muerta. Cuando un punto de luz simétrico es igualmente incidente en todo el cuadrante, el dispositivo genera cuatro corrientes iguales, y el punto se dice que está localizado en el centro eléctrico del dispositivo. A medida que el punto se traslada a través del área activa, la corriente emitida para cada segmento puede usarse para calcular la posición del punto. Un detector sensible posicional lateral incluye  
10 un único elemento activo en el que se usa la resistencia superficial de fotodiodo para determinar la posición. Se obtiene información de posición precisa independiente del perfil de intensidad de punto de luz, simetría o tamaño. La respuesta del dispositivo es uniforme a través de la apertura del detector, sin espacios muertos.

La Figura 10B es un detalle esquemático de la bomba **100** con una disposición de detección de menisco. En una realización, el sistema **102** de formación de imágenes incluye el espejo **192** en el lado opuesto del tubo de goteo para reflejar la luz **182** de vuelta a través del tubo de goteo y el divisor **194** de haz para dirigir la luz reflejada al sensor **188**. Esta configuración posibilita la colocación de toda la electrónica para los componentes ópticos en el mismo lado del tubo.

Lo siguiente proporciona detalle adicional con respecto a la medición de nivel de menisco. La cámara de goteo permanece parcialmente rellena con fluido en todo momento durante la operación. El aire atrapado en la cámara de goteo está en equilibrio de presión con el fluido por encima y por debajo del mismo. La diferencia en presión a través del hueco de aire acciona el fluido fuera de la parte inferior de la cámara de goteo y a través de la entubación **108** aguas abajo. El fluido entra y deja la cámara de tubo de goteo continuamente a medida que la gota crece en volumen, y por lo tanto el nivel de menisco del fluido permanece casi constante. Sin embargo, los cambios en el nivel de menisco pueden tener lugar por varias razones: pueden tener lugar cambios transitorios cuando se desprende una gota y cae en el fluido por debajo; o pueden tener lugar fluctuaciones debido a las oscilaciones de presión en el fluido (debido a vibración de la bomba, movimiento del conjunto de entubación o movimiento del paciente). Estos cambios transitorios fluctuarán alrededor de un valor de menisco medio, y por lo tanto no indican cambios en el caudal sobre tiempos largos en comparación con los tiempos de fluctuación característicos.

Las variaciones que cambian el nivel de menisco medio durante tiempos más largos pueden tener lugar debido a cambios en el entorno de presión externo (por ejemplo, en un vehículo o aeronave que viaja), cambios en la contrapresión que surge de problemas médicos con el paciente, o debido a oclusiones u otros funcionamientos incorrectos en el procedimiento de bombeo. Estos cambios de nivel de menisco a largo plazo representan un cambio concomitante en el caudal global, y pueden usarse para proporcionar un perfeccionamiento a las mediciones de flujo anteriormente descritas. Por lo tanto, puede desearse monitorizar el nivel del menisco durante la infusión, y usar la información derivada en el mismo como un indicador de problemas operacionales con el sistema de infusión, o como un complemento a la medición óptica de flujo primaria.

El procedimiento anteriormente descrito para medir el nivel de fluido **146** usa el reflejo de un haz de luz desde la superficie superior del fluido en la cámara de goteo. El eje del haz reflejado se desplaza (desvía) lateralmente a medida que el nivel de fluido cambia, por ejemplo, como se muestra por la luz **182A** y **182B**. La cantidad de desvío depende únicamente del nivel de cambio de fluido, y del ángulo incidente del haz. Aunque se muestra una fuente de luz láser en la figura, la técnica es compatible con cualquier haz de luz. Además, aunque el haz se muestra propagándose libremente, el sistema puede incorporar también elementos de lente para controlar el haz.

En una realización (no mostrada), el sensor **126** (la matriz de plano focal de formación de imágenes) se usa tanto para formar imágenes de la gota **124** como medir el menisco de fluido **146** mediante divisores de haz y otra óptica sencilla. El sensor **126** puede compartirse de al menos dos maneras: una porción del sensor que no se usa para formación de imágenes de gota colgante puede registrar simultáneamente el haz desviado; o el sistema **118** de iluminación para formación de imágenes de gota colgante y medición de nivel de menisco puede alternarse en el tiempo, de manera que el sensor registra de manera alterna la imagen de la gota y la imagen del haz desviado. Por ejemplo, la bomba **100** puede combinar los sistemas **102** de formación de imágenes mostrados en las Figuras 2 y 10A/10B o mostrados en las Figuras 2 y 9A.

Por lo tanto, en una realización, el sistema **102** incluye una primera fuente de luz, tal como la fuente **172** de luz para transmitir luz en el tubo de goteo de manera que la luz se refleja fuera de una superficie enfrentada internamente del tubo de goteo, y la luz reflejada se transmite a través del extremo del tubo de goteo en un interior de una gota del fluido de IV que se descuelga desde el primer extremo del tubo de goteo. El sistema **102** también incluye una segunda fuente de luz, tal como la fuente de luz **188**, que transmite luz, a un ángulo agudo con respecto a un eje longitudinal para la cámara de goteo, en la cámara de goteo de manera que la luz se refleja, a ángulo agudo, fuera de una superficie para fluido de IV dispuesto en la cámara de goteo. El sensor **126** óptico es para: recibir la luz reflejada transmitida desde el interior de la gota; recibir la luz reflejada desde la segunda fuente de luz; y transmitir, al procesador informático, datos con respecto a la luz recibida desde la primera y segunda fuentes de luz. El microprocesador es para calcular un volumen de la gota usando los datos con respecto a la luz recibida desde la primera fuente de luz, y

calcular una posición de la superficie usando los datos con respecto a la luz recibida desde la segunda fuente de luz, como se ha descrito anteriormente.

La Figura 11 es una representación de bloques esquemática de los conjuntos **200A** y **200B** de bomba con respectivo sistema de formación de imágenes óptico en una configuración primaria y secundaria. Los conjuntos incluyen los componentes para la bomba **100** anteriormente descritos, con la excepción del procesador y el panel de control. En general, la descripción anterior con respecto a la operación de la bomba **100** es aplicable a la operación de los conjuntos **200A** y **200B**. El conjunto **200A** está conectado a la fuente **112A** de fluido primario. La bomba **200B** está conectada a la fuente **112B** de fluido primario. Las fuentes **112A** y **112B** están dispuestas en una configuración de infusión primaria/secundaria. Por ejemplo, una medicación primaria en la fuente **112A** se administra en coordinación con una medicación secundaria en la fuente **112B**. Como es conocido en la técnica, en configuración primaria/secundaria, la medicación en la fuente secundaria se infunde antes de la medicación en la fuente primaria. Las entubaciones **108A** y **108B** desde los mecanismos **127A** y **127B** de bomba, respectivamente, están conectadas a una entubación **202** común.

En una realización, un único procesador y panel de control, por ejemplo, el procesador **104** y el panel **144** se usan para los conjuntos **200A** y **200B**. El procesador opera el conjunto **200B** de acuerdo con protocolos apropiados hasta que se completa el régimen para el fluido en la fuente **112B**. A continuación, el procesador desactiva automáticamente el conjunto **200B** según se requiera y comienza la infusión del fluido en la fuente **112A**. En una realización (no mostrada), cada conjunto tiene un procesador y panel de control separados o cada conjunto tiene un procesador separado y un panel de control común.

La Figura 12 es un diagrama de bloques de nivel superior que ilustra la operación de la bomba **100** con un sistema de formación de imágenes óptico. En una realización, la medición de volumen, y las métricas de ajuste si fueran aplicables, anteriormente descritas, se alimentan en un algoritmo de procesamiento de señal digital que calcula el caudal y proporciona la realimentación al sistema de control de la bomba. La planta **210** incluye la fuente **112**, la cámara de goteo, el tubo de goteo y el mecanismo **127** de bomba. El microprocesador emite las Métricas **212** de Volumen y Ajuste, que se filtran por el filtro **214** digital en una porción del microprocesador para proporcionar el caudal **216** medido. El caudal medido se compara con el caudal deseado, por ejemplo, la entrada en el microprocesador mediante panel **144**, que cierra el bucle de realimentación para la bomba **100**.

La Figura 13 es un diagrama de bloques que ilustra el procesamiento de señal y control de realimentación de ejemplo para la bomba **100** con un sistema de formación de imágenes óptico. El mecanismo **127** incluye el accionador **218** y el motor **220**. Los datos de formación de imágenes del sistema **102** se procesan por el bloque **222** de procesamiento de imagen para generar un Volumen de Gota Medido, y los resultados se introducen en el bloque **224** de filtro. La salida del bloque de filtro es el caudal medido. El caudal medido se compara al caudal deseado por el comparador **226**, que proporciona el Caudal de Error (estimación de error). El Caudal de Error se alimenta en una serie escalonada de algoritmos **228** de control de PID (Proporcional, Integral, Derivativo). Cada bloque de PID opera en una escala de tiempo sucesivamente más rápida. El bloque **228A** controla el caudal, el bloque **228B** controla la velocidad de motor de la bomba, y el bloque **228C** controla la corriente del motor de la bomba. El control de velocidad incorpora la realimentación desde el codificador **230** de posición de motor. El control de corriente incorpora la realimentación desde el sensor de corriente de motor en el motor **220**.

La Figura 14 es un diagrama de bloques que ilustra la filtración digital de ejemplo en la bomba **100** con un sistema de formación de imágenes óptico. El filtro **232** puede ser cualquier filtro conocido en la técnica, por ejemplo, la clase general de los filtros de FIR/IIR conocidos por los expertos en la materia. Un ejemplo sencillo es un filtro de FIR que implementa un promedio de tiempo a través de un número de muestras.

La Figura 15 es una representación esquemática de filtración espacial de ejemplo en la bomba **100** con un sistema de formación de imágenes óptico. El objetivo de alta resolución y definición de borde para imágenes de la gota **124** se obtiene, por ejemplo, mediante técnicas de iluminación, técnicas ópticas, o ambas, como se ha descrito anteriormente. En una realización, las técnicas de filtración espacial se usan en la óptica para el sistema **120**. Por ejemplo, la máscara **240** en el plano focal trasero del sistema **102** de formación de imágenes modifica (mediante la transformada de Fourier óptica) la imagen generada por el sistema óptico, por ejemplo, el sensor **126**. Un filtro de bloque de DC se muestra en la Figura 15. Este filtro bloquea el cono central de la luz transmitida y potencia las imágenes de borde (asociadas con luz dispersada).

En una realización, la sensibilidad del sensor **126** se adapta al espectro de iluminación de la fuente de luz en el sistema **118**. En una realización, el sensor **126** es un sensor de luz visible de bajo coste (longitud de onda de 400-1000 nm) y la fuente **122** genera luz que está fuera del rango de la percepción visual humana (es decir, 800-1000 nm). En este caso el operador no se distraerá por la fuente de iluminación de brillo.

Debería entenderse que la bomba **100** puede ser cualquier mecanismo de bomba o aplicación de bomba conocido en la técnica y no está limitado a únicamente aplicaciones de bomba de infusión de IV. En el caso de un sistema de alimentación por gravedad, el mecanismo de bombeo puede sustituirse por una válvula o restrictor de flujo, y será aún compatible con las configuraciones y operaciones anteriormente descritas.

La Figura 16 es una representación esquemática del sistema **300** de formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes. En una realización de ejemplo, el sistema **300** se usa con el tubo **302** de infusión que incluye la cámara **304** de goteo. La cámara **304** de goteo incluye la porción **306** con el tubo **308** de goteo, la porción **310** que incluye el puerto de salida **312**, y la porción **314** entre las porciones **306** y **310**. El tubo **316** de salida puede conectarse al puerto **312** de salida para hacer fluir flujo fuera de la cámara **304** de goteo. El tubo **308** de goteo es para conexión a la fuente **317** de fluido, por ejemplo, la bolsa **317** de medicación. El sistema **300** incluye al menos una fuente **318** de luz para emitir los espectros **S1**, **S2** y **S3** de luz, y el sistema **319** óptico.

La fuente **318** de luz puede ser cualquier fuente de luz conocida en la técnica, incluyendo, pero sin limitación un diodo de emisión de luz (LED), una matriz de LED, un diodo láser, una lámpara incandescente o una lámpara fluorescente.

El sistema óptico incluye la única lente **320** para recibir y transmitir **S1T**, **S2T** y **S3T**. **S1T**, **S2T** y **S3T** incluyen los espectros **S1**, **S2** y **S3**, transmitidos a través de las porciones **306**, **310**, y **314**, respectivamente. El sistema **319** óptico incluye el único sensor **322** de imagen para recibir **S1T**, **S2T** y **S3T** desde la única lente **320**. El sensor **322** genera y transmite los datos **324**, **326** y **328**, que caracterizan **S1T**, **S2T** y **S3T**, respectivamente, recibidos por la lente **320**. El sistema **300** incluye el elemento **329** de memoria y al menos un procesador **330** especialmente programado. El elemento **329** de memoria está configurado para almacenar las instrucciones **331** ejecutables por ordenador. El procesador **330** está configurado para ejecutar las instrucciones **331** para generar, usando los datos **324**, **326** y **328**, las imágenes **332**, **334** y **336** de las porciones **306**, **310** y **314**, respectivamente.

Por "caracterizar" queremos decir que los respectivos datos describen, o cuantifican, el espectro de luz, por ejemplo, que proporcionan parámetros que posibilitan la generación de una imagen usando los respectivos datos. Por "emitir luz" queremos decir que el elemento en cuestión genera la luz. Por "transmitido por" queremos decir pasar luz a través del elemento en cuestión, por ejemplo, luz emitida por la fuente **318** de luz que pasa a través de las porciones **306**, **310** y **314**.

En una realización de ejemplo, el sensor **322** es un sensor de imagen a color. En una realización de ejemplo, la fuente **318** de luz es una única fuente de luz.

En una realización de ejemplo, la porción **306** incluye la gota **338** colgante desde el tubo **308** de goteo y la imagen **332** incluye una imagen de la gota **338**. El procesador **330** está configurado para ejecutar las instrucciones **331** para determinar un volumen de gota **338** colgante usando la imagen **332**. El volumen puede usarse en esquemas de control para regular el flujo de fluido a través del tubo **302** de infusión.

En una realización de ejemplo, la porción **314** incluye el menisco **342** para fluido en la cámara **304** de goteo y la imagen **336** incluye una imagen de menisco **342**. El procesador **330** está configurado para ejecutar las instrucciones **331** para determinar una posición **342** de menisco usando la imagen **336**. La posición puede usarse en esquemas de control y de alarma para regular el flujo de fluido a través de tubo **302** de infusión. En una realización de ejemplo, la burbuja **344** de aire está presente en la porción **310** y el procesador **330** está configurado para ejecutar las instrucciones **331** para determinar un volumen de la burbuja **344** de aire usando la imagen **334**. El volumen puede usarse en esquemas de alarma para asegurar la operación segura del tubo **302** de infusión.

En una realización de ejemplo, la fuente **318** de luz emite luz de espectro rojo, azul y verde. En una realización de ejemplo, **S1T** consiste en una de la luz de espectro rojo, azul o verde, **S2T** consiste en una de la luz de espectro rojo, azul o verde no incluido en **S1T**, y **S3T** consiste en uno de los espectros de luz rojo, azul o verde no incluidos en **S1T** o **S2T**. Por lo tanto, cada uno de **S1T**, **S2T** y **S3T** consiste en una de luz roja, azul o verde no incluida en el otro de **S1T**, **S2T** y **S3T**. Es decir, cada uno de **S1T**, **S2T** y **S3T** es diferente de los otros. Por "luz de espectro rojo" queremos decir luz que incluye longitudes de onda entre aproximadamente 610 nm y 675 nm, con intensidad de pico a aproximadamente 625 nm. Por "luz de espectro azul" queremos decir luz que incluye longitudes de onda entre aproximadamente 410 nm y 480 nm, con intensidad de pico a aproximadamente 470 nm. Por "luz de espectro verde" queremos decir luz que incluye longitudes de onda entre aproximadamente 500 nm y 575 nm, con intensidad de pico a aproximadamente 525 nm. Por lo tanto, los respectivos espectros para luz roja, azul y verde no tienen longitudes de onda solapantes.

En una realización de ejemplo, el sistema **300** incluye el espejo **346** para reflejar únicamente uno de **S1T**, **S2T** y **S3T**. Por ejemplo, el espejo **346A** refleja **S1T**. En una realización de ejemplo, el sistema **300** incluye el espejo **346A** para reflejar únicamente uno de **S1T**, **S2T** o **S3T**, y el espejo **346B** para reflejar únicamente otro de **S1T**, **S2T** o **S3T**, por ejemplo, **S3T**. En una realización de ejemplo, el sistema **300** incluye el combinador **348A** de haz para reflejar únicamente dos de **S1T**, **S2T** o **S3T**. Por ejemplo, en la Figura 16, el combinador **348A** de haz refleja **S1T** y **S3T** y transmite **S2T**.

Lo siguiente proporciona detalles adicionales con respecto a la Figura 16. Como se describe a continuación, se usan diversas operaciones de filtración para generar **S1T**, **S2T** y **S3T**. El espejo **346A** recibe los espectros rojo, azul y verde combinados emitidos por la fuente **318** y transmitidos por la porción **306** de la cámara **304** de goteo, pero refleja únicamente el espectro **S1T**. El espejo **346B** recibe los espectros rojo, azul y verde combinados emitidos por la fuente **318** y transmitidos por la porción **310** del tubo **316** de salida, pero refleja únicamente el espectro **S3T**. Por lo tanto, el espejo **348A** y **348B** son de filtración de color.

En una realización de ejemplo, el sensor **322** no es monocromo, es decir, el sensor **322** es un sensor de imagen a color. El combinador **348A** de haz transmite únicamente el espectro **S2T** emitido por la fuente **318** y transmitido por la porción **314** de la cámara **304** de goteo. Específicamente, el combinador **348A** de haz recibe los espectros rojo, azul y verde combinados emitidos por la fuente **318** y transmitidos por la porción **314** de la cámara **304** de goteo, pero únicamente transmite el espectro **S2T**. El combinador de haz también refleja el espectro **S1T** reflejado por el espejo **346A** y el espectro **S3T** reflejado por el espejo **346B**. Obsérvese que las operaciones reflectantes del combinador **348A** de haz pueden implementarse usando reflexión de banda ancha, puesto que los espejos **346A** y **346B** tienen filtrados los espectros **S2T** y **S3T** y los espectros **S1T** y **S2T**, respectivamente.

La Figura 17 es una representación esquemática del sistema **400** de formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes. El análisis con respecto al sistema **300** es aplicable a la bomba **400** excepto lo siguiente. En una realización de ejemplo: el sistema **319** óptico incluye un espejo para transmitir a una de las porciones **306**, **310** o **314** únicamente uno de **S1**, **S2** o **S3**; o el sistema **319** óptico incluye un espejo para reflejar a una de las porciones **306**, **310** o **314**, únicamente uno de **S1**, **S2** o **S3**. Por ejemplo: el espejo **346C** transmite **S1** a la porción **306** y refleja **S2** y **S3**; el espejo **346D** transmite **S3** y refleja **S2** a la porción **314**; y el espejo **346E** refleja **S3** a la porción **310**. En una realización de ejemplo, el espejo **346E** es un espejo reflectante de banda ancha.

El espejo **346F** es para reflejar el espectro **S1T** transmitido por la porción **306** de la cámara **304** de goteo al combinador **348A** de haz. En una realización de ejemplo, el espejo **346F** es un espejo reflectante de banda ancha. El espejo **346G** es para reflejar el espectro **S3T** transmitido por la porción **310** de la cámara **304** de goteo al combinador **348A** de haz. En una realización de ejemplo, el espejo **346G** es un espejo reflectante de banda ancha. Puesto que la luz que entra en el combinador **348A** de haz se ha separado en espectros discretos, por ejemplo, la luz desde el espejo **346G** es únicamente el espectro **S2T**, pueden usarse las operaciones de transmisión y reflexión de banda ancha en el combinador **348A** de haz.

La Figura 18 es una representación esquemática del sistema **500** de formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes. Los respectivos análisis con respecto a los sistemas **300** y **400** son aplicables al sistema **500** excepto lo siguiente. En una realización de ejemplo, el sistema **319** óptico sustituye un combinador de haz con espejos **346H** y **346I**. El espejo **346H** transmite **S1T** reflejado por el espejo **346F** y refleja **S2T** (desde el espejo **346D**). El espejo **346I** transmite **S3T** (desde el espejo **346E**) y refleja **S1T** (transmitido por el espejo **346H**) y **S2T** (reflejado por el espejo **346H**).

En la Figura 16, la longitud **L1** de la fuente **318** de luz debe ser suficiente para abarcar las porciones **306**, **310** y **314**, puesto que la fuente **318** de luz debe emitir luz directamente a través de las porciones **306**, **310** y **314**. Sin embargo, en las Figuras 17 y 18 la longitud **L1** de la fuente **318** de luz es considerablemente menor, por ejemplo, igual a únicamente la longitud **L2** de la porción **306**. En las Figuras 17 y 18, la fuente **318** de luz es luz de emisión directamente a través de la porción **306**; sin embargo, se usan combinaciones de espejos para reflejar luz a las porciones **310** y **314**. Por lo tanto, puede usarse un dispositivo más pequeño y menos costoso para la fuente **318** de luz en las Figuras 17 y 18.

La Figura 19 es una representación esquemática del sistema **600** de formación de imágenes óptico con múltiple detección óptica de canal de formación de imágenes. El análisis con respecto al sistema **300** es aplicable al sistema **600** excepto lo siguiente. El sistema **600** incluye tres fuentes de luz: la fuente **318A** de luz para emitir únicamente el espectro **S1**, la fuente **318B** de luz para emitir únicamente el espectro **S2**, y la fuente **318C** de luz para emitir únicamente el espectro **S3**. El sistema **319** óptico incluye el espejo **346J** para reflejar **S1T** y el espejo **346K** para reflejar **S3T**. El combinador **348B** de haz transmite **S2T** y refleja **S1T** y **S3T**. En una realización de ejemplo, uno o ambos de los espejos **346J** y **346K** son espejos de reflexión de banda ancha. En una realización de ejemplo, el combinador **348B** de haz tiene transmisión de banda ancha y funcionalidad de reflexión.

En respectivas realizaciones de ejemplo para el sistema **300**, **400**, **500** y **600**, se realiza formación de imágenes de dos canales para únicamente dos porciones **306**, **310** o **314** y la formación de imágenes no se realiza en la porción **306**, **310** o **314** restante.

La Figura 20 es una representación esquemática del sistema **700** de formación de imágenes óptico con formación de imágenes óptica de dos canales y una única fuente de luz. En el sistema **700**, se implementa multiplexación cromática para únicamente dos porciones **306**, **310** o **314**. El sistema **700** puede usar el sistema **400** como un punto de inicio. Lo siguiente describe las diferencias entre los sistemas **400** y **700** como se muestra. En la Figura 20, la formación de imágenes óptica de dos canales se implementa para las porciones **306** y **314**. Los espejos **346E** y **346G** se eliminan. El espejo **346D** ya no se requiere para transmitir **S3**. El combinador **348A** de haz ya no se requiere para reflejar **S3T**. De otra manera, las operaciones con respecto a las porciones **306** y **314** son las mismas que las descritas para la Figura 17. En una realización de ejemplo, la formación de imágenes de la porción **310** se implementa añadiendo la lente **702** para recibir la luz **S1T/S2T/S3T** transmitida a través de la porción **310** desde la fuente **318** de luz. La lente **702** transmite **S1T/S2T/S3T** para el sensor **704** de imagen, que genera los datos **326**. El procesador **330** genera la imagen **334** a partir de los datos **326**. El sensor **704** de imagen puede ser monocromático, puesto que la multiplexación cromática no se está implementando para la porción **310**.

Otras combinaciones de la detección óptica de dos canales son posibles para el sistema **700** como es evidente para

un experto en la materia. Por ejemplo, el espejo **346D** puede retirarse de manera que se realiza la detección óptica de dos canales para las porciones **306** y **310** únicamente. Las operaciones como se describe para las porciones **306** y **310** para la Figura 17 son sustancialmente las mismas. La lente **702** recibe **S1T/S2T/S3T** transmitidos por la porción **314** y transmite **S1T/S2T/S3T** para el sensor **704** de imagen, que genera los datos **328**. El procesador **330** genera la imagen **336** a partir de los datos **328**. El sensor **704** de imagen puede ser monocromático. Por ejemplo, el espejo **346F** puede retirarse de manera que se realiza la detección óptica de dos canales para las porciones **310** y **314** únicamente. Las operaciones que se describen para las porciones **310** y **314** para la Figura 17 son sustancialmente las mismas. La lente **702** recibe **S1T/S2T/S3T** transmitidos por la porción **306** y transmite **S1T/S2T/S3T** para el sensor **704** de imagen, que genera los datos **324**. El procesador **330** genera la imagen **332** a partir de los datos **324**. El sensor **704** de imagen puede ser monocromático. Debería entenderse que son posibles otras configuraciones de componentes en el sistema **400** para implementar la formación de imágenes óptica de dos canales. En una realización de ejemplo, la formación de imágenes de dos canales se realiza para únicamente dos porciones **306**, **310** o **314** y la formación de imágenes no se realiza en la porción **306**, **310** o **314** restante. Es decir, no se emplea una segunda lente y el sensor de imagen para formar la imagen de la porción **306**, **310** o **314** restante.

El sistema **300** puede modificarse para la operación de dos canales como es evidente para un experto en la materia. Por ejemplo, la operación de dos canales puede implementarse para las porciones **306** y **314** únicamente eliminando el espejo **346B**. Las operaciones que se describen para las porciones **306** y **314** para la Figura 16 son sustancialmente las mismas. Se recibe **S1T/S2T/S3T** desde la porción **310** por una segunda lente (no mostrada) y se transmite a un segundo sensor de imagen (no mostrado) que puede ser monocromático. El segundo sensor genera datos **326** para generar la imagen **334**. Por ejemplo, la operación de dos canales puede implementarse para las porciones **310** y **314** únicamente eliminando el espejo **346A**. Las operaciones que se describen para las porciones **310** y **314** para la Figura 16 son sustancialmente las mismas. Se recibe **S1T/S2T/S3T** desde la porción **306** por una segunda lente (no mostrada) y se transmite a un segundo sensor de imagen (no mostrado) que puede ser monocromático. El segundo sensor genera datos **324** para generar la imagen **332**. Por ejemplo, la operación de dos canales puede implementarse para las porciones **306** y **310** únicamente. Las operaciones que se describen para las porciones **306** y **310** para la Figura 16 son sustancialmente las mismas. Se recibe **S1T/S2T/S3T** desde la porción **314** por una segunda lente (no mostrada) y se transmite a un segundo sensor de imagen (no mostrado) que puede ser monocromático. El segundo sensor genera datos **328** para generar la imagen **336**. Debería entenderse que son posibles otras configuraciones de componentes en el sistema **300** para implementar la formación de imágenes óptica de dos canales. En una realización de ejemplo, la formación de imágenes de dos canales se realiza para únicamente dos porciones **306**, **310** o **314** y la formación de imágenes no se realiza en la porción **306**, **310** o **314** restante. Es decir, no se emplea una segunda lente y el sensor de imagen para formar la imagen de la porción **306**, **310** o **314** restante.

El sistema **500** puede modificarse para la operación de dos canales como es evidente para un experto en la materia. Por ejemplo, para implementar la operación de dos canales para las porciones **306** y **314** únicamente, el espejo **346E** puede retirarse. Las operaciones que se describen para las porciones **306** y **314** para la Figura 18 son sustancialmente las mismas. Se recibe **S1T/S2T/S3T** desde la porción **310** por una segunda lente (no mostrada) y se transmite a un segundo sensor de imagen (no mostrado) que puede ser monocromático. El segundo sensor genera datos **326** para generar la imagen **334**. Por ejemplo, para implementar la operación de dos canales para las porciones **310** y **314** únicamente, el espejo **346F** puede retirarse. Las operaciones que se describen para las porciones **310** y **314** para la Figura 18 son sustancialmente las mismas. Se recibe **S1T/S2T/S3T** desde la porción **306** por una segunda lente (no mostrada) y se transmite a un segundo sensor de imagen (no mostrado) que puede ser monocromático. El segundo sensor genera datos **324** para generar la imagen **332**. Por ejemplo, para implementar la operación de dos canales para las porciones **306** y **310** únicamente, los espejos **346D** y **346H** pueden retirarse. Las operaciones que se describen para las porciones **306** y **310** para la Figura 18 son sustancialmente las mismas. Se recibe **S1T/S2T/S3T** desde la porción **314** por una segunda lente (no mostrada) y se transmite a un segundo sensor de imagen (no mostrado) que puede ser monocromático. El segundo sensor genera datos **328** para generar la imagen **336**. Debería entenderse que son posibles otras configuraciones de componentes en el sistema **500** para implementar la formación de imágenes ópticas de dos canales. En una realización de ejemplo, la formación de imágenes de dos canales se realiza para únicamente dos porciones **306**, **310** o **314** y la formación de imágenes no se realiza en la porción **306**, **310** o **314** restante. Es decir, no se emplea una segunda lente y el sensor de imagen para formar la imagen de la porción **306**, **310** o **314** restante.

El sistema **600** puede modificarse para la operación de dos canales como es evidente para un experto en la materia. Por ejemplo, para implementar la operación de dos canales para las porciones **306** y **314** únicamente, el espejo **346K** puede retirarse. Las operaciones que se describen para las porciones **306** y **314** para la Figura 19 son sustancialmente las mismas. Se recibe **S3T** desde la porción **310** por una segunda lente (no mostrada) y se transmite a un segundo sensor de imagen (no mostrado) que puede ser monocromático. La fuente **318C** de luz puede ser de banda ancha (emite **S1/S2/S3**). El segundo sensor genera datos **326** para generar la imagen **334**. Por ejemplo, para implementar la operación de dos canales para las porciones **310** y **314** únicamente, el espejo **346J** puede retirarse. Las operaciones que se describen para las porciones **310** y **314** para la Figura 19 son sustancialmente las mismas. Se recibe **S1T** desde la porción **306** por una segunda lente (no mostrada) y se transmite a un segundo sensor de imagen (no mostrado) que puede ser monocromático. La fuente **318A** de luz puede ser de banda ancha (emite **S1/S2/S3**). El segundo sensor genera datos **324** para generar la imagen **332**. Por ejemplo, para implementar la operación de dos canales para las porciones **306** y **310** únicamente, se recibe **S2T** desde la porción **314** por una segunda lente (no

mostrada) y se transmite a un segundo sensor de imagen (no mostrado) que puede ser monocromático. La fuente **318B** de luz puede ser de banda ancha (emite **S1/S2/S3**). El segundo sensor genera datos **328** para generar la imagen **336**. Las operaciones que se describen para las porciones **306** y **310** para la Figura 19 son sustancialmente las mismas. Debería entenderse que son posibles otras configuraciones de componentes en el sistema **600** para implementar la formación de imágenes óptica de dos canales. En una realización de ejemplo, la formación de imágenes de dos canales se realiza para únicamente dos porciones **306**, **310** o **314** y la formación de imágenes no se realiza en la porción restante **306**, **310** o **314**. Es decir, no se emplea una segunda lente y el sensor de imagen para formar la imagen de la porción **306**, **310** o **314** restante.

Por motivos de brevedad, las porciones del siguiente análisis se refieren al sistema **300** en la Figura 16; sin embargo, debería entenderse que el análisis es aplicable a las Figuras 17 a 19 también. Además, el siguiente análisis se refiere a realizaciones en las que se implementa detección óptica de múltiples canales para todas las tres porciones **306**, **310** y **314**. Sin embargo, debería entenderse que el análisis es aplicable a las realizaciones de dos canales analizadas anteriormente. Usar una única lente, tal como la lente **320**, y el sensor de imagen, tal como el sensor **322**, en lugar de tres lentes y sensores, reduce el coste y complejidad del sistema **300**. Todos los tres espectros **S1**, **S2** y **S3**, transmitidos por la lente **320** se reciben simultáneamente por el único sensor de imagen **322**. Sin embargo, si el sensor **322** es un sensor monocromo, el procesamiento de señal convencional no puede usarse para generar las imágenes **332**, **334** y **346**. Por ejemplo, un sensor monocromo no puede distinguir entre el rojo, azul y verde y no puede usar procesamiento de señal convencional para separar los espectros **S1T**, **S2T** y **S3T** para generar las imágenes **332**, **334** y **346**. Ventajosamente, el sistema **300** usa un sensor de formación de imágenes a color para el sensor **322**, que puede distinguir entre los espectros **S1T**, **S2T**, y **S3T**.

Puesto que se usa un único respectivo color separado de los espectros rojo, azul y verde para cada uno de los espectros **S1T**, **S2T** y **S3T**, el generador **322** de imágenes puede transmitir los datos **324**, **326** y **328** para los únicos respectivos espectros y, por lo tanto, puede generarse una única imagen respectiva de cada una de las porciones **306**, **310** o **314** usando operaciones de procesamiento de señal convencional. Por ejemplo, los espectros **S1T**, **S2T** y **S3T** pueden consistir en luz de espectro rojo, azul y verde, respectivamente. Los píxeles sensibles al rojo del espectro del cabezal del sensor **S1T**, los píxeles sensibles al azul del espectro de cabezal del sensor **S2T**, y los píxeles sensibles al verde del espectro del cabezal del sensor **S3T**.

Por lo tanto, los píxeles sensibles al rojo registran una imagen de la gota **338**, los píxeles sensibles al azul registran una imagen del menisco **342**, y los píxeles sensibles al verde registran una imagen de la porción **310**. Por lo tanto, cada grupo de píxeles sensible (por ejemplo, los píxeles sensibles al rojo) permanecen sin respuesta a, en esencia filtrados de, las imágenes de otras imágenes que corresponden a los grupos restantes de píxeles sensibles (por ejemplo, los píxeles sensibles a azul y a verde). Por lo tanto, no existe solapamiento de espectros o imágenes incluidos en datos transmitidos al procesador **330** y puede usarse procesamiento de señal convencional para generar las imágenes **332**, **334** y **346**.

El uso de espejos de reflejo/operaciones de reflejo de banda ancha en lugar de reflejo de filtración de color y transmisión pueden reducir el coste de los respectivos sistemas **319** ópticos en las Figuras 17 a 19.

En una realización de ejemplo (no mostrada), una única lente, tal como la lente **320**, y un único sensor de imagen monocromo se usan en una disposición de multiplexación de tiempo en una bomba de infusión. Por ejemplo, usando la Figura 19 como una referencia, cada una de las fuentes **318A/B/C** de luz emite el mismo espectro de luz. La luz emitida se transmite a través de las porciones de un tubo de infusión, tal como el tubo **302** de infusión, análogo a las porciones **306**, **310** y **314** anteriormente descritas. Mediante una disposición similar a los espejos **346A/346B** y el combinador **348A** de haz, la luz, transmitida a través de las porciones análogas, se transmite a la lente única, que transmite la luz a un procesador, tal como el procesador **330**. Como se ha indicado anteriormente, un sensor monocromo no puede distinguir, usando procesamiento de señal convencional, tres imágenes recibidas simultáneamente. Sin embargo, en la realización de ejemplo, las tres fuentes de luz se les proporciona energía secuencialmente de manera que únicamente una fuente de luz se le suministra energía por fotograma de imagen del sensor de imagen. Por ejemplo, en un primer fotograma, la fuente de luz que emite luz transmitida a través de la porción análoga a la porción **306** se le suministra energía, en el siguiente fotograma, la fuente de luz que emite luz transmitida a través de la porción análoga a la porción **310** se le suministra energía, y en el siguiente fotograma la fuente de luz que emite luz transmitida a través de la porción análoga a la porción **314** se le suministra energía. El procesador recibe únicamente una imagen por fotograma y puede transmitir respectivos datos para cada imagen en cada fotograma al procesador. El procesador a su vez puede generar imágenes separadas para cada una de las porciones análogas de la bomba. El uso de un sensor de imagen monocromo y tres retroiluminaciones que emiten el mismo espectro reduce el coste de la bomba en la realización de ejemplo.

El siguiente análisis proporciona detalle adicional con respecto a las Figuras 16 a 19. Debería entenderse que el siguiente análisis es aplicable a las realizaciones de dos canales analizadas anteriormente. En una realización de ejemplo, los elementos de lente (no mostrados) pueden añadirse a respectivas trayectorias de imagen (trayectorias atravesadas por la luz desde una fuente de luz a un sensor de imagen) para los sistemas **300** a **600** para compensar trayectorias de imagen desiguales. En una realización de ejemplo, un espectro de luz en el rango cercano al infra rojo (por ejemplo, entre 700 nm y 1.000 nm) puede usarse para iluminar las porciones **306**, **310** o **314**. En una realización de ejemplo, la fuente **318** de luz y/o las fuentes **318A/B/C** de luz son LED y los LED se pulsan para mejorar la eficacia

de operación o para crear un efecto estroboscópico que elimina el desenfoque de movimiento de artefactos en movimiento. La pulsación se sincroniza con la velocidad de obturador del sensor **322** de imagen. En una realización de ejemplo, la configuración general de la Figura 18, que no usa un combinador de haz, se modifica usando tres fuentes de luz como se muestra en la Figura 19. La combinación resultante usa menos espejos que los mostrados en la Figura 18, reduciendo el coste de la realización.

5

Por lo tanto, se observa que los objetos de la invención se obtienen de manera eficaz, aunque deberían ser fácilmente evidentes cambios y modificaciones a la invención para los expertos en la materia, sin alejarse del ámbito de la invención según se reivindica. Aunque la invención se describe por referencia a una realización preferida específica, es evidente que pueden realizarse variaciones sin alejarse del ámbito de la invención según se reivindica.

10



**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento implementado por ordenador para calcular un volumen de una gota colgante mediante el uso de un microprocesador, que comprende:
  - 5 generar, mediante el uso del microprocesador, un vector de gravedad en función de una dirección de gravedad con respecto a la gota colgante;
  - establecer, mediante el uso del microprocesador, un fotograma de referencia de la gota colgante para un procesamiento de imagen en función de un punto de referencia de la gota colgante y el vector de gravedad;
  - generar, mediante el uso del microprocesador, una primera línea de referencia asociada al fotograma de referencia para representar una orientación real de la gota colgante;
  - 10 generar, mediante el uso del microprocesador, una segunda línea de referencia asociada al fotograma de referencia para representar un eje longitudinal de una cámara en la que se localiza la gota colgante;
  - comparar, mediante el uso del microprocesador, las líneas de referencia primera y segunda con respecto al vector de gravedad; y
  - 15 calcular, mediante el uso del microprocesador, el volumen de la gota colgante en función de la comparación de las líneas de referencia primera y segunda y el vector de gravedad.
2. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además determinar si la alineación de las líneas de referencia primera y segunda es co-lineal.
3. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además calcular una orientación de la cámara con respecto al vector de gravedad.
- 20 4. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además calcular el volumen de la gota colgante en función del vector de gravedad mediante la integración de una imagen de borde de la gota colgante.
5. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además calcular el vector de gravedad en función de una localización de un vértice de la gota colgante.
- 25 6. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además utilizar el vector de gravedad en una función de ajuste paramétrico en un algoritmo de estimación de borde de ajuste restringido para calcular el volumen de la gota colgante.
7. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además utilizar el vector de gravedad en un sistema de bucle de realimentación para un algoritmo de ajuste de borde para calcular el volumen de la gota colgante.
- 30 8. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además determinar el vector de gravedad en función de mediciones relacionadas con al menos una de: una imagen de la gota colgante, una localización de un vértice de la gota colgante, y un cambio dependiente del tiempo de un vértice de la gota colgante durante un periodo de tiempo predeterminado.
- 35 9. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además determinar una dirección de un límite horizontal de integración de borde de la gota colgante en relación con el vector de gravedad.
10. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además generar un parámetro de ajuste de borde y datos estadísticos asociados a una distorsión de la forma de la gota colgante en función del vector de gravedad durante un periodo de tiempo predeterminado.
- 40 11. El procedimiento implementado por ordenador según la reivindicación 1, que comprende además usar una Transformada de Hough Circular en una imagen de la gota colgante para representar una parte inferior curvada de la gota colgante.
12. Un sistema de formación de imágenes óptico para calcular un volumen de una gota colgante, que comprende: un microprocesador que ejecuta instrucciones ejecutables por ordenador para:
  - 45 generar, mediante el uso del microprocesador, un vector de gravedad en función de una dirección de gravedad con respecto a la gota colgante;
  - establecer, mediante el uso del microprocesador, un fotograma de referencia de la gota colgante para un procesamiento de imagen en función de un punto de referencia de la gota colgante y el vector de gravedad;
  - 50 generar, mediante el uso del microprocesador, una primera línea de referencia asociada al fotograma de referencia para representar una orientación real de la gota colgante;
  - generar, mediante el uso del microprocesador, una segunda línea de referencia asociada al fotograma de referencia para representar un eje longitudinal de una cámara en la que se localiza la gota colgante;
  - comparar, mediante el uso del microprocesador, las líneas de referencia primera y segunda con respecto al vector de gravedad; y

calcular, mediante el uso del microprocesador, el volumen de la gota colgante en función de la comparación de las líneas de referencia primera y segunda y el vector de gravedad.

13. El sistema de formación de imágenes óptico según la reivindicación 12, que comprende además instrucciones ejecutables por ordenador para determinar si la alineación de las líneas de referencia primera y segunda es co-lineal.
- 5 14. El sistema de formación de imágenes óptico según la reivindicación 12, que comprende además instrucciones ejecutables por ordenador para calcular una orientación de la cámara con respecto al vector de gravedad.
15. El sistema de formación de imágenes óptico según la reivindicación 12, que comprende además instrucciones ejecutables por ordenador para calcular el volumen de la gota colgante en función del vector de gravedad mediante la integración de una imagen de borde de la gota colgante.
- 10 16. El sistema de formación de imágenes óptico según la reivindicación 12, que comprende además instrucciones ejecutables por ordenador para calcular el vector de gravedad en función de una localización de un vértice de la gota colgante,
- 15 17. El sistema de formación de imágenes óptico según la reivindicación 12, que comprende además instrucciones ejecutables por ordenador para utilizar el vector de gravedad en una función de ajuste paramétrico en un algoritmo de estimación de borde de ajuste restringido para calcular el volumen de la gota colgante.
18. El sistema de formación de imágenes óptico según la reivindicación 12, que comprende además instrucciones ejecutables por ordenador para utilizar el vector de gravedad en un sistema de bucle de realimentación para un algoritmo de ajuste de borde para calcular el volumen de la gota colgante.
- 20 19. El sistema de formación de imágenes óptico según la reivindicación 12, que comprende además instrucciones ejecutables por ordenador para determinar el vector de gravedad en función de mediciones relacionadas con al menos una de:
- una imagen de la gota colgante, una localización de un vértice de la gota colgante y un cambio dependiente del tiempo del vértice de la gota colgante durante un periodo de tiempo predeterminado.
- 25 20. El sistema de formación de imágenes óptico según la reivindicación 12, que comprende además instrucciones ejecutables por ordenador para:
- determinar una dirección de un límite horizontal de integración de borde de la gota colgante en relación con el vector de gravedad;
- generar un parámetro de ajuste de borde y datos estadísticos asociados a una distorsión de la forma de la gota colgante en función del vector de gravedad durante un periodo de tiempo predeterminado; y
- 30 usar una Transformada de Hough Circular en una imagen de la gota colgante para representar una parte inferior curvada de la gota colgante.

TÉCNICA ANTERIOR

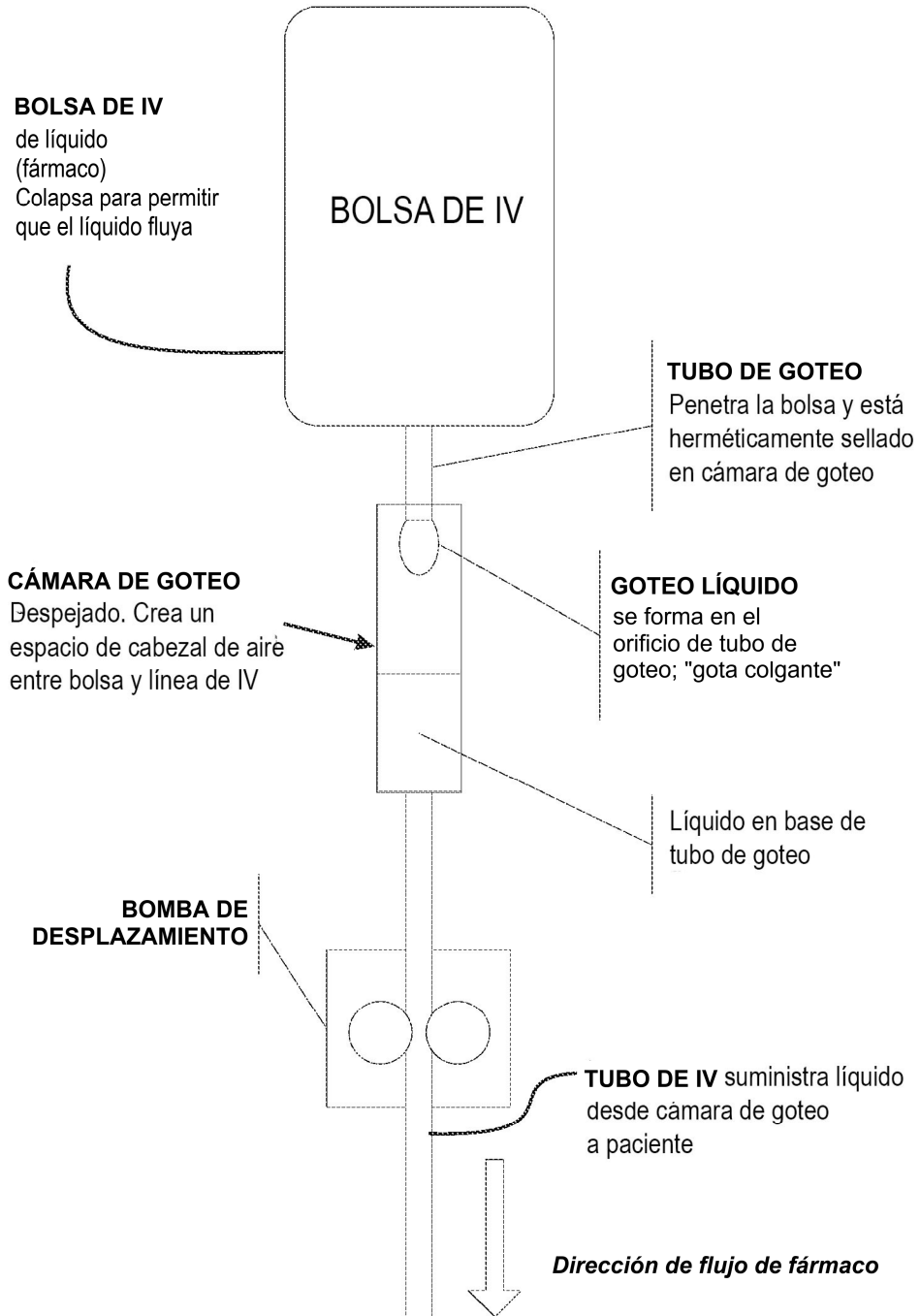


Fig. 1

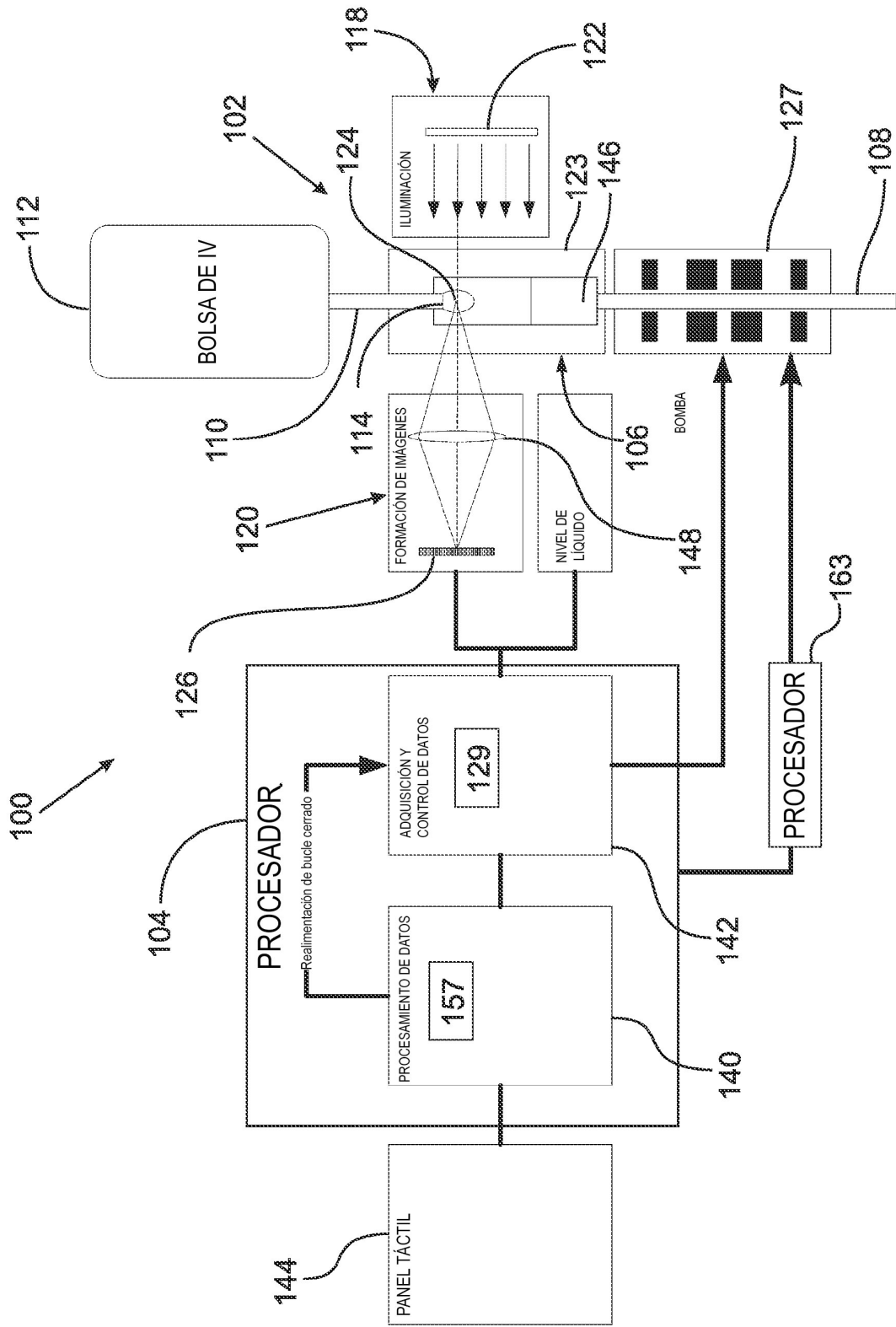
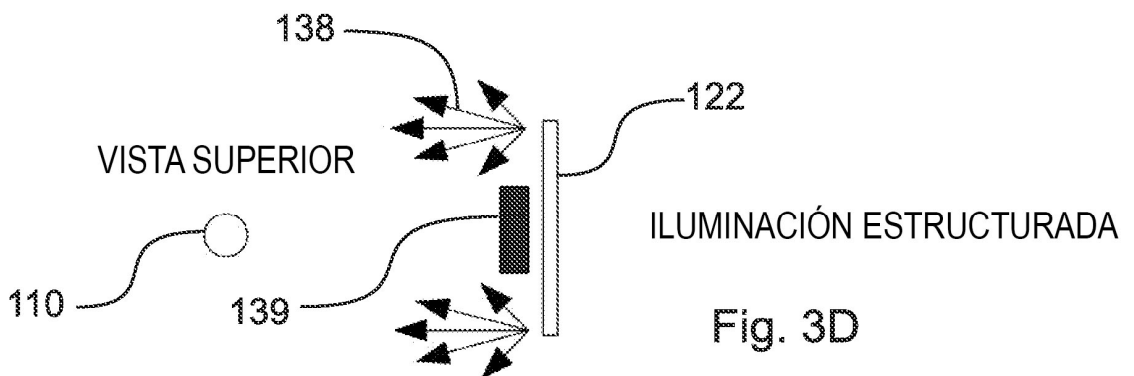
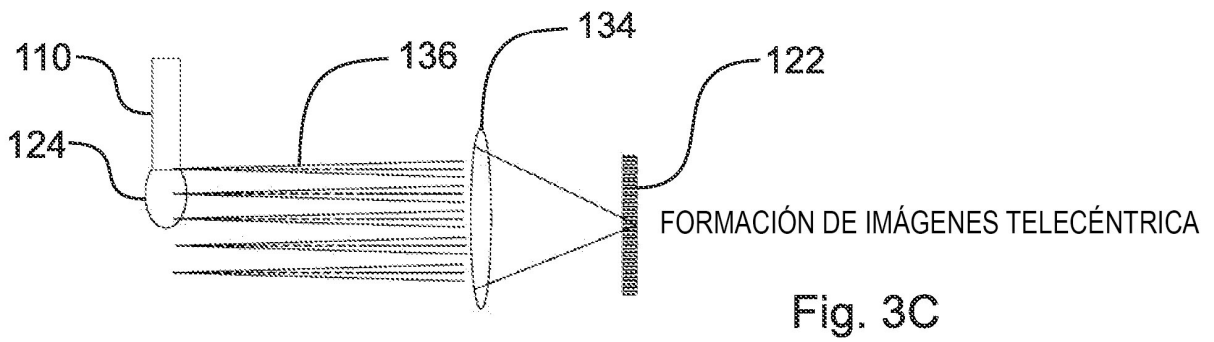
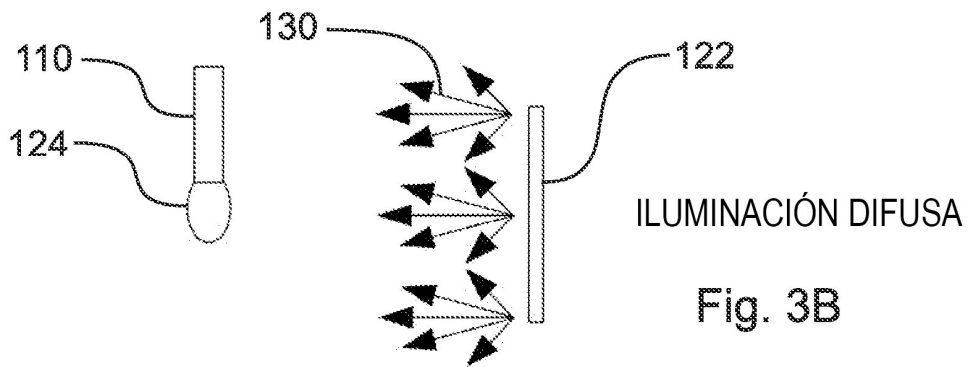
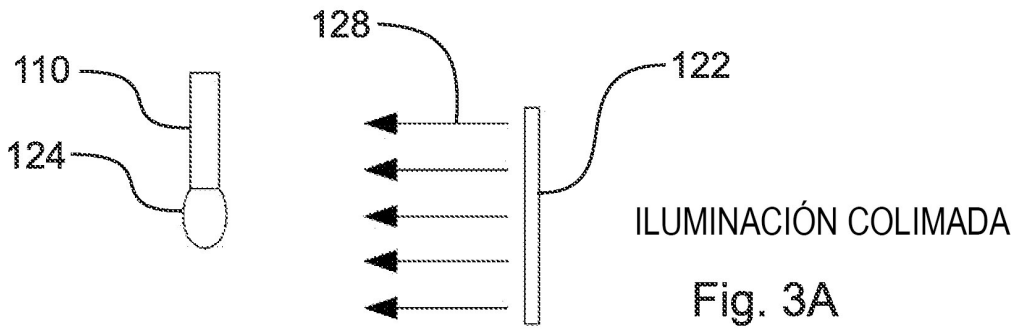
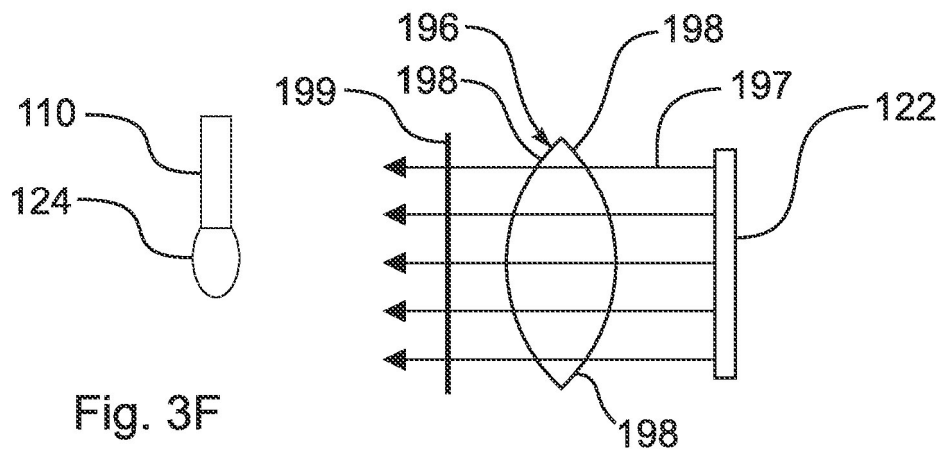
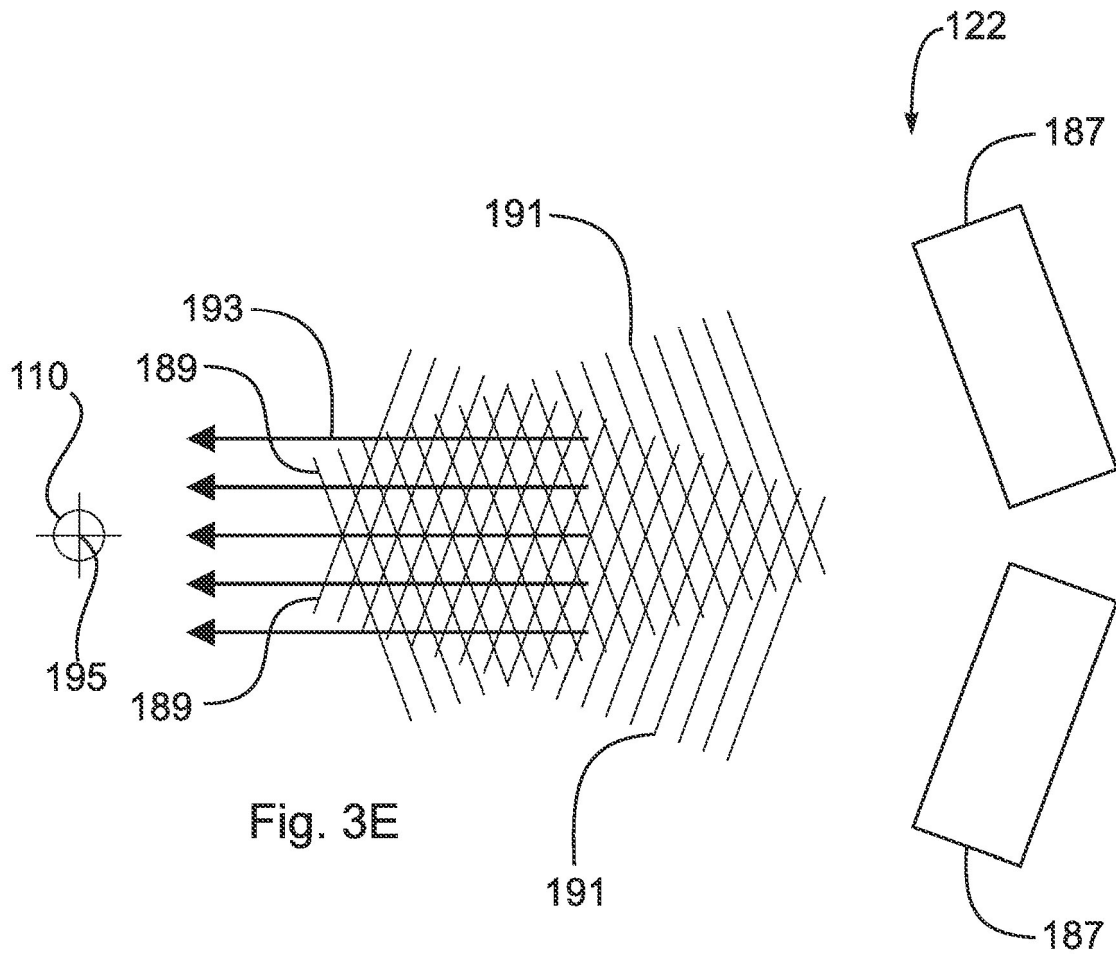
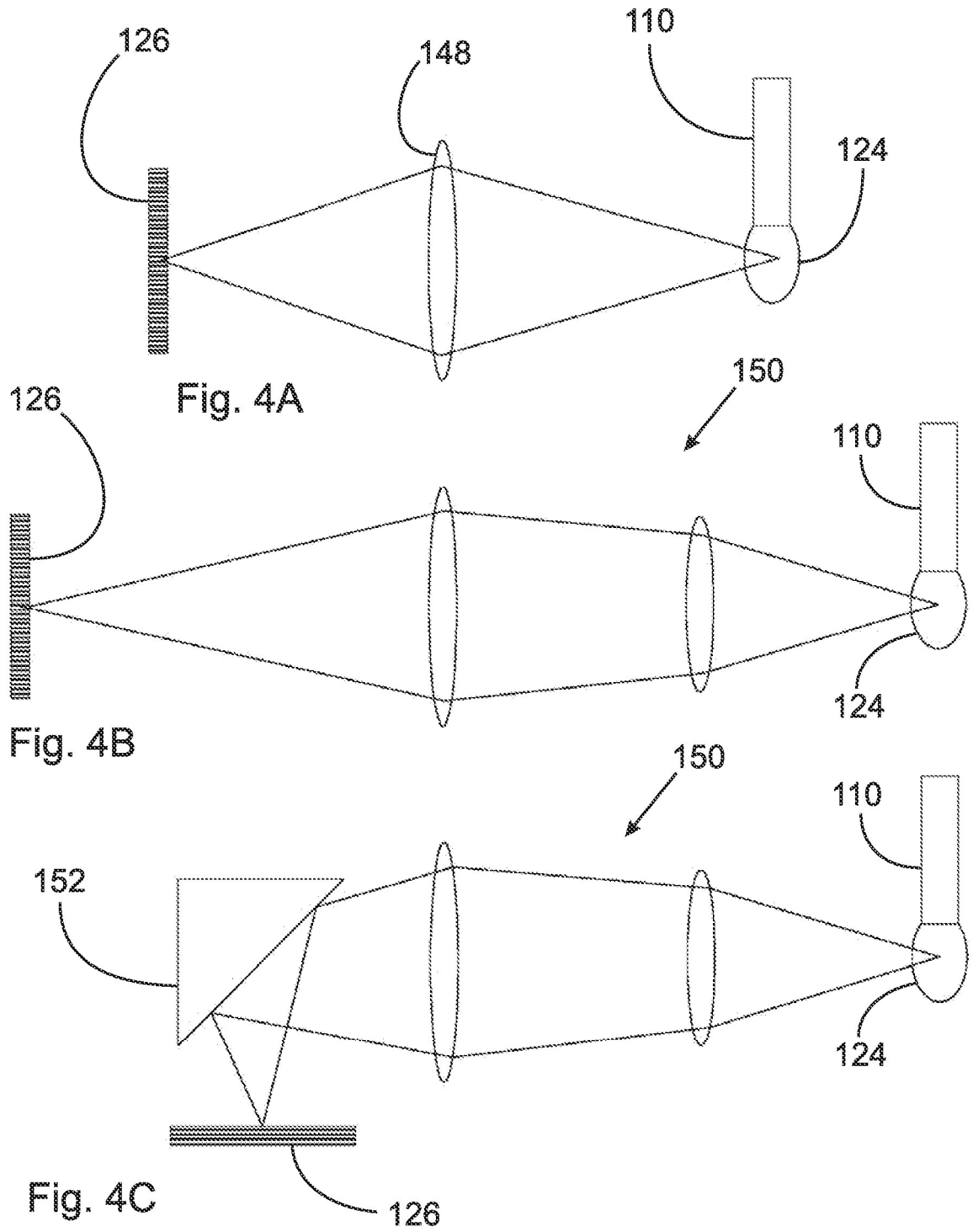


Fig. 2







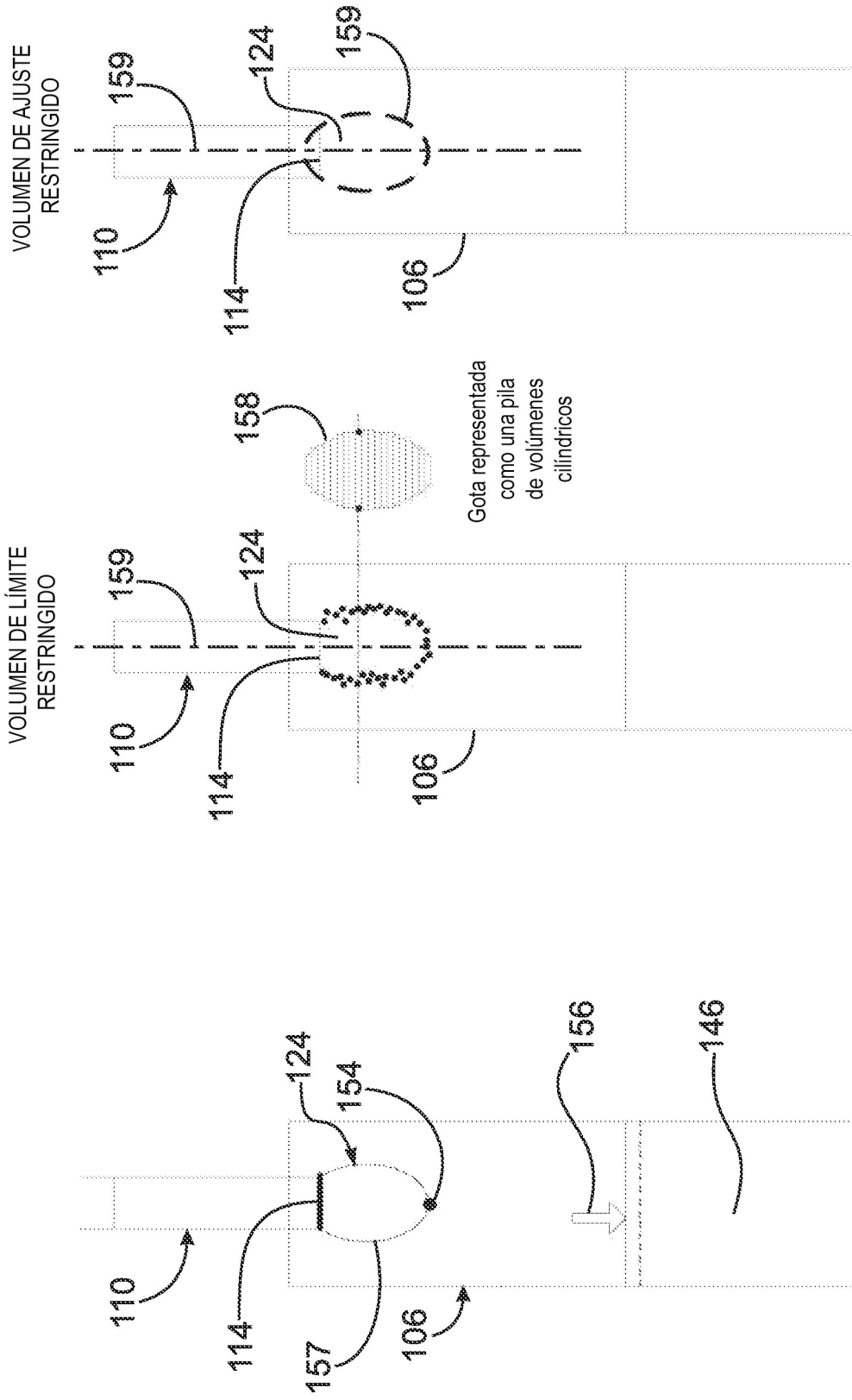


Fig. 5C

Fig. 5B

Fig. 5A



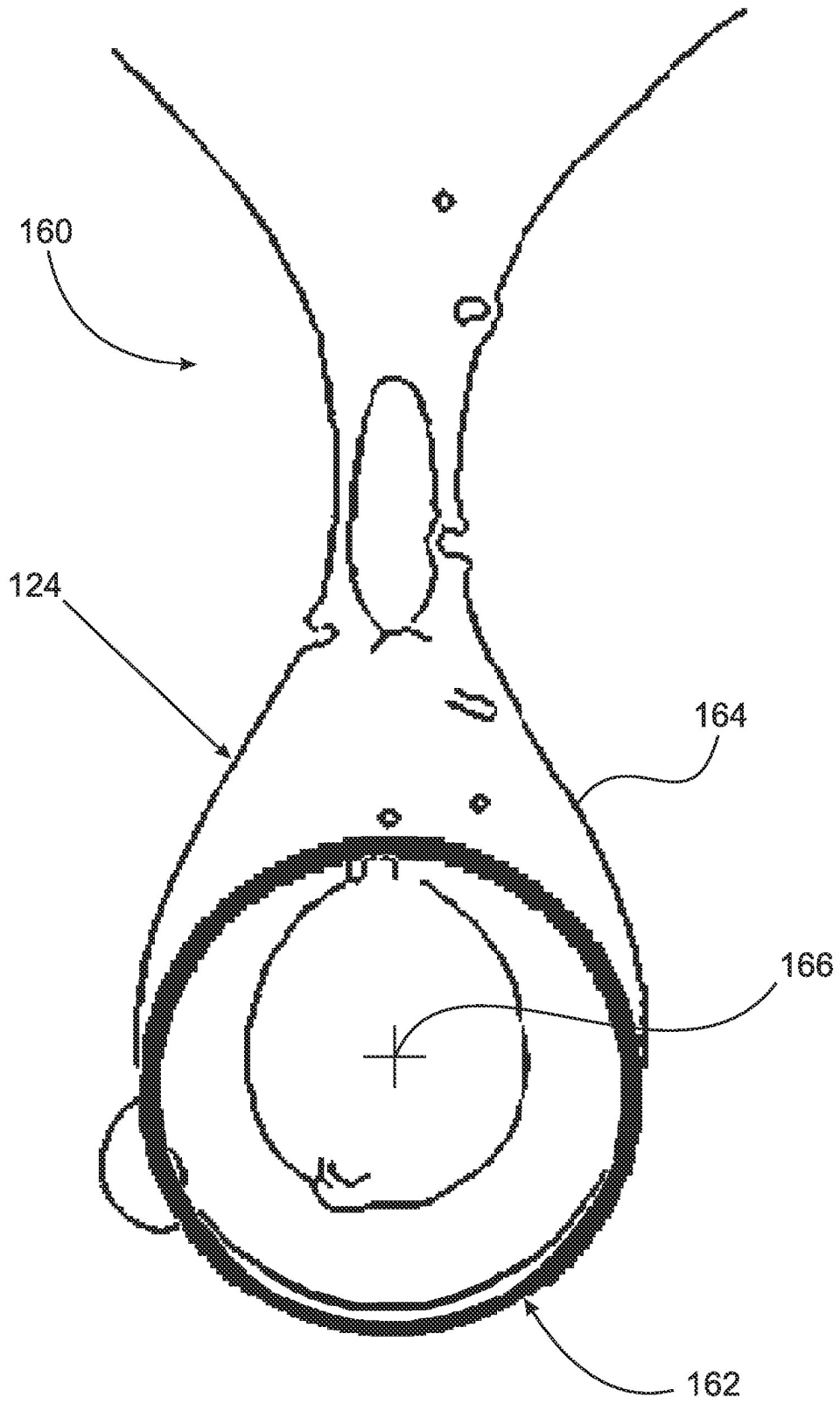


Fig. 6

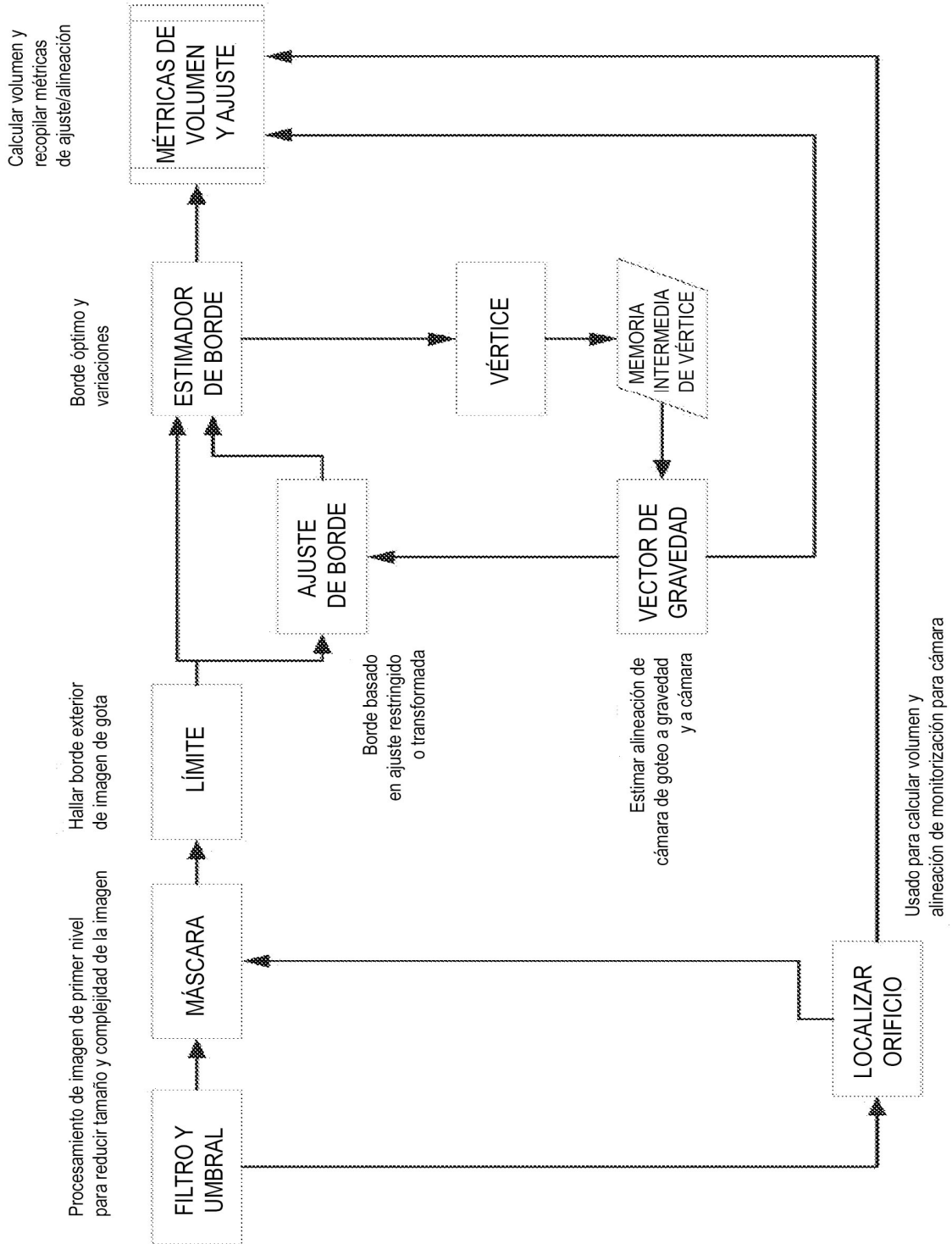


Fig. 7

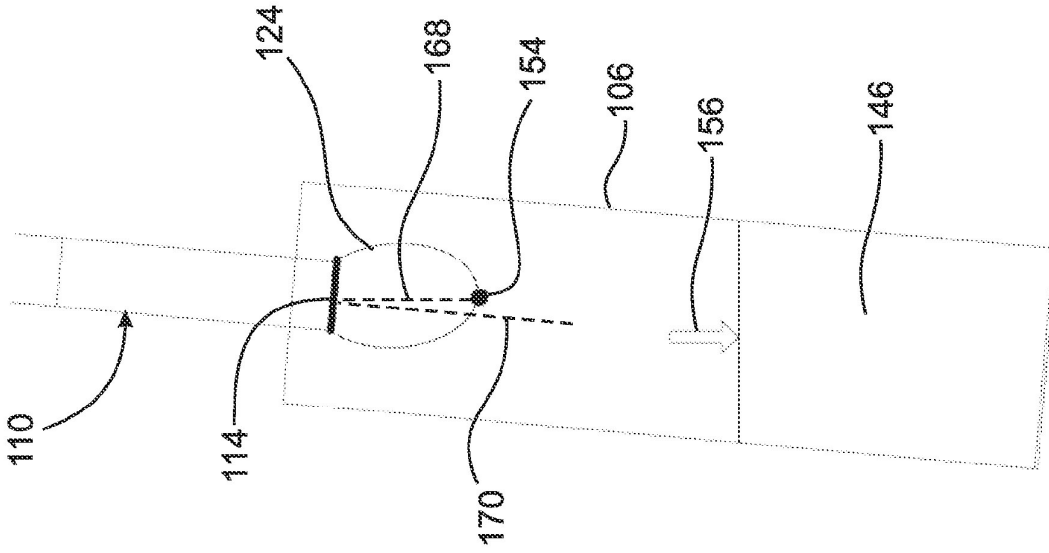


Fig. 8B

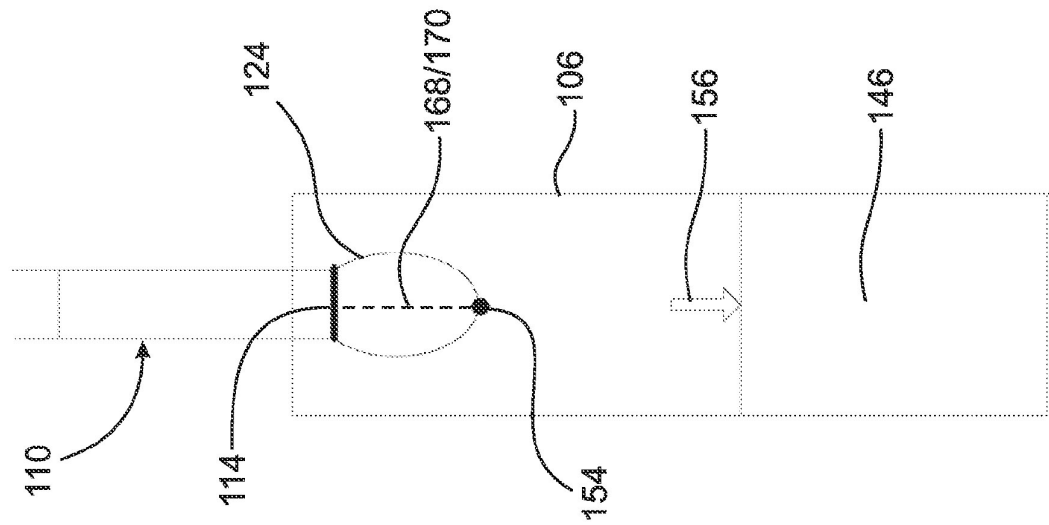
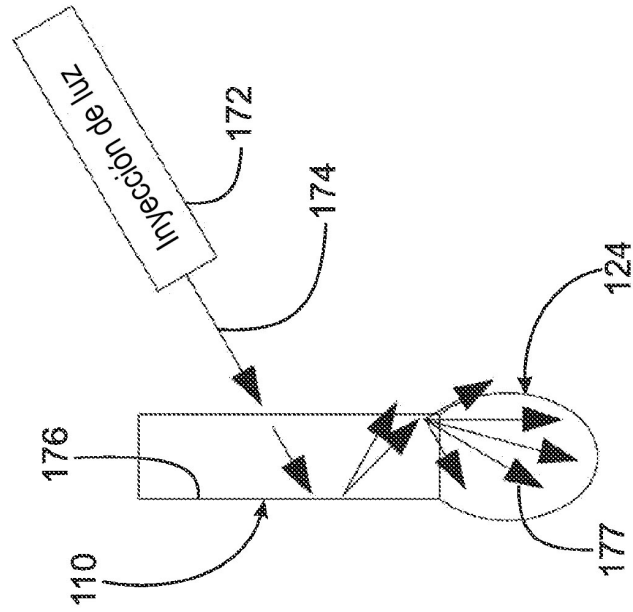
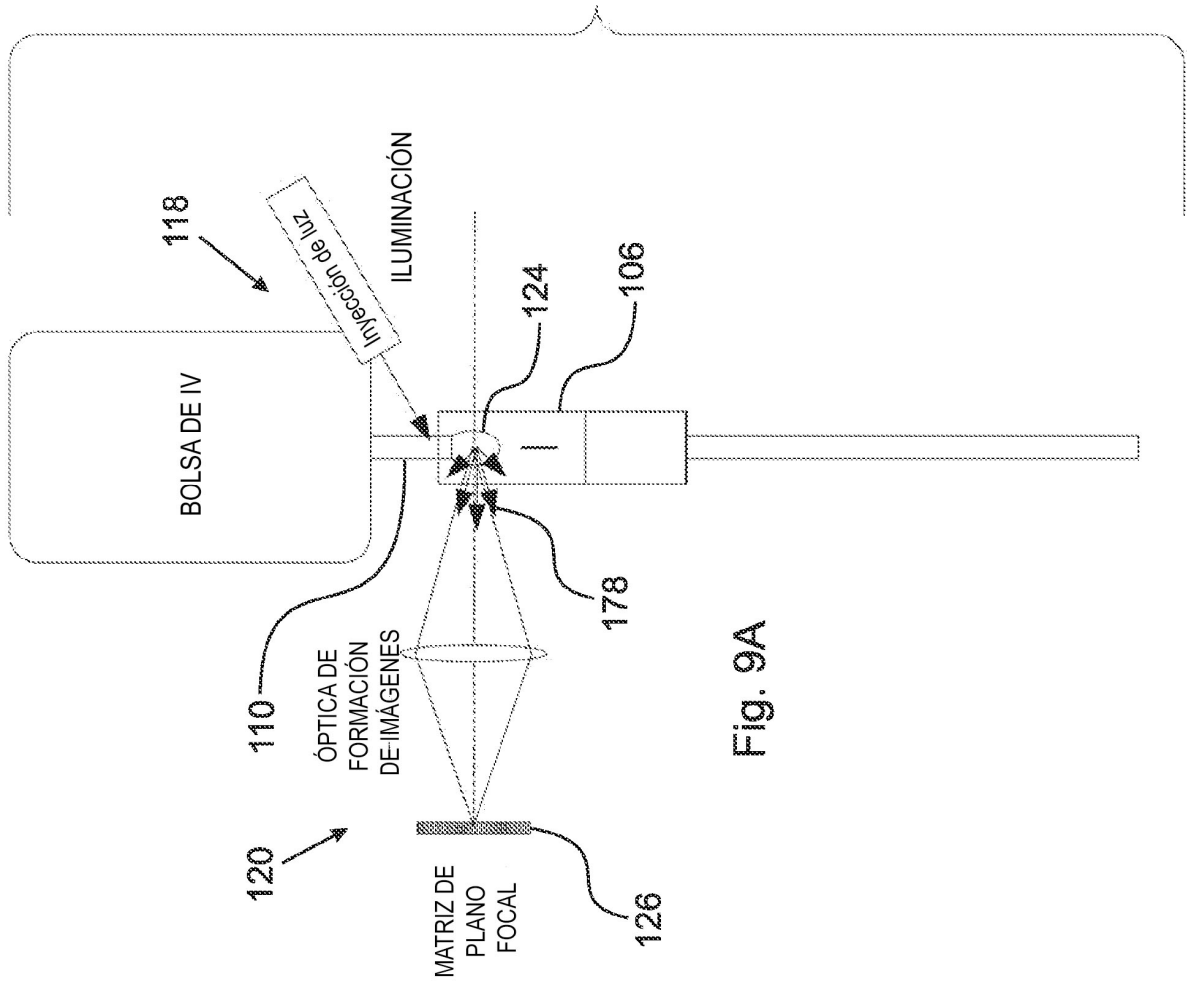


Fig. 8A



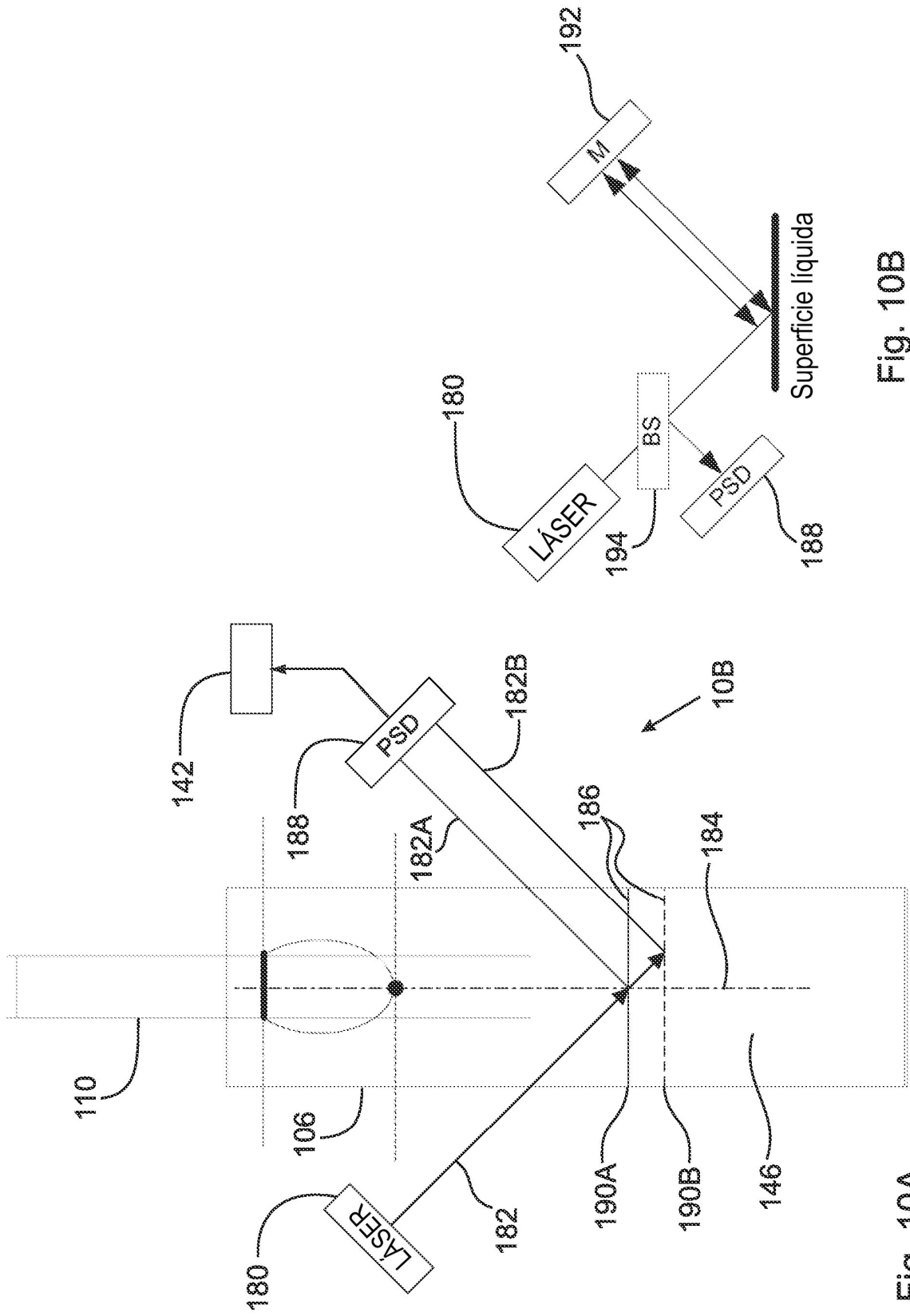


Fig. 10B

Fig. 10A

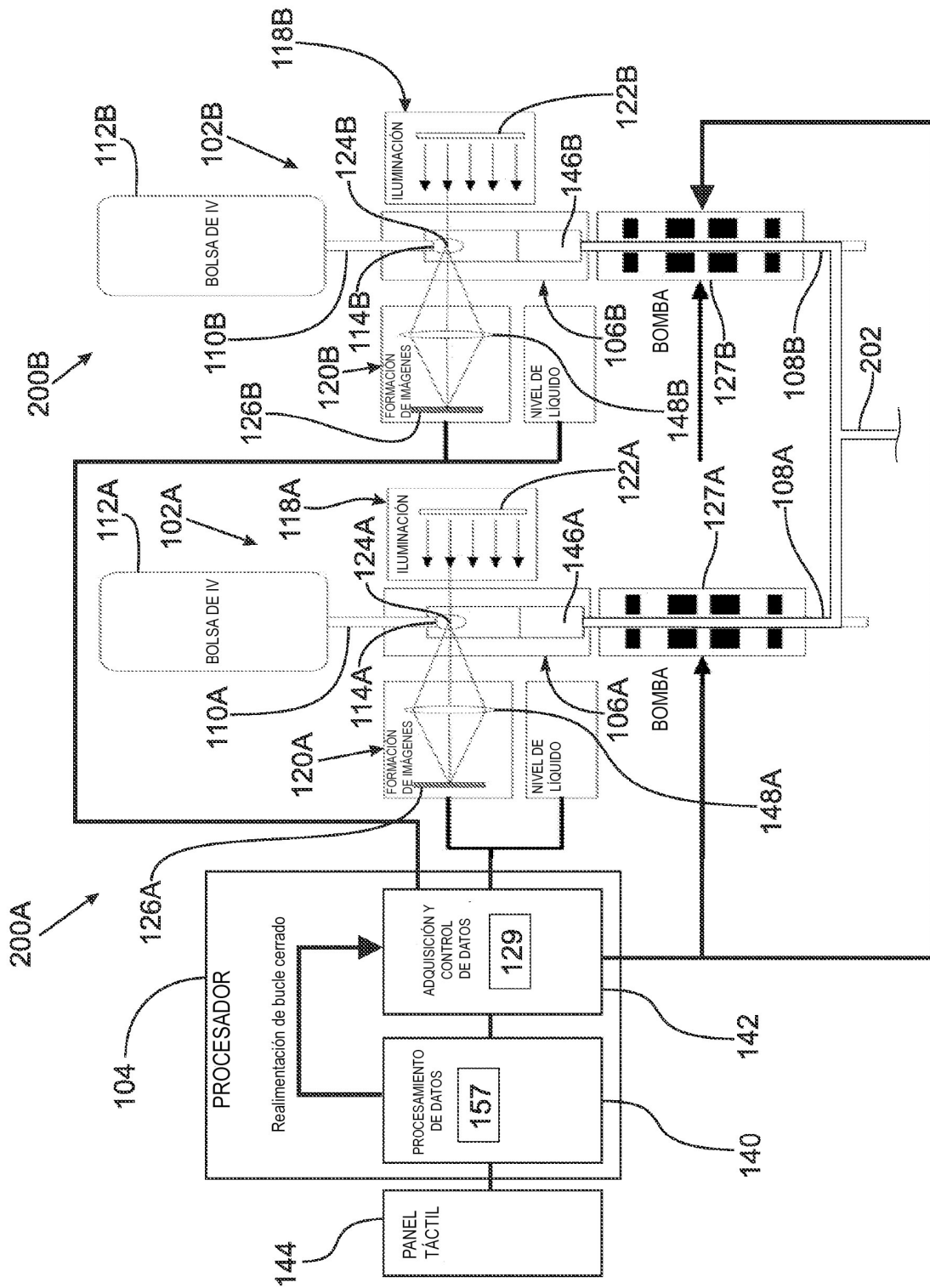


Fig. 11

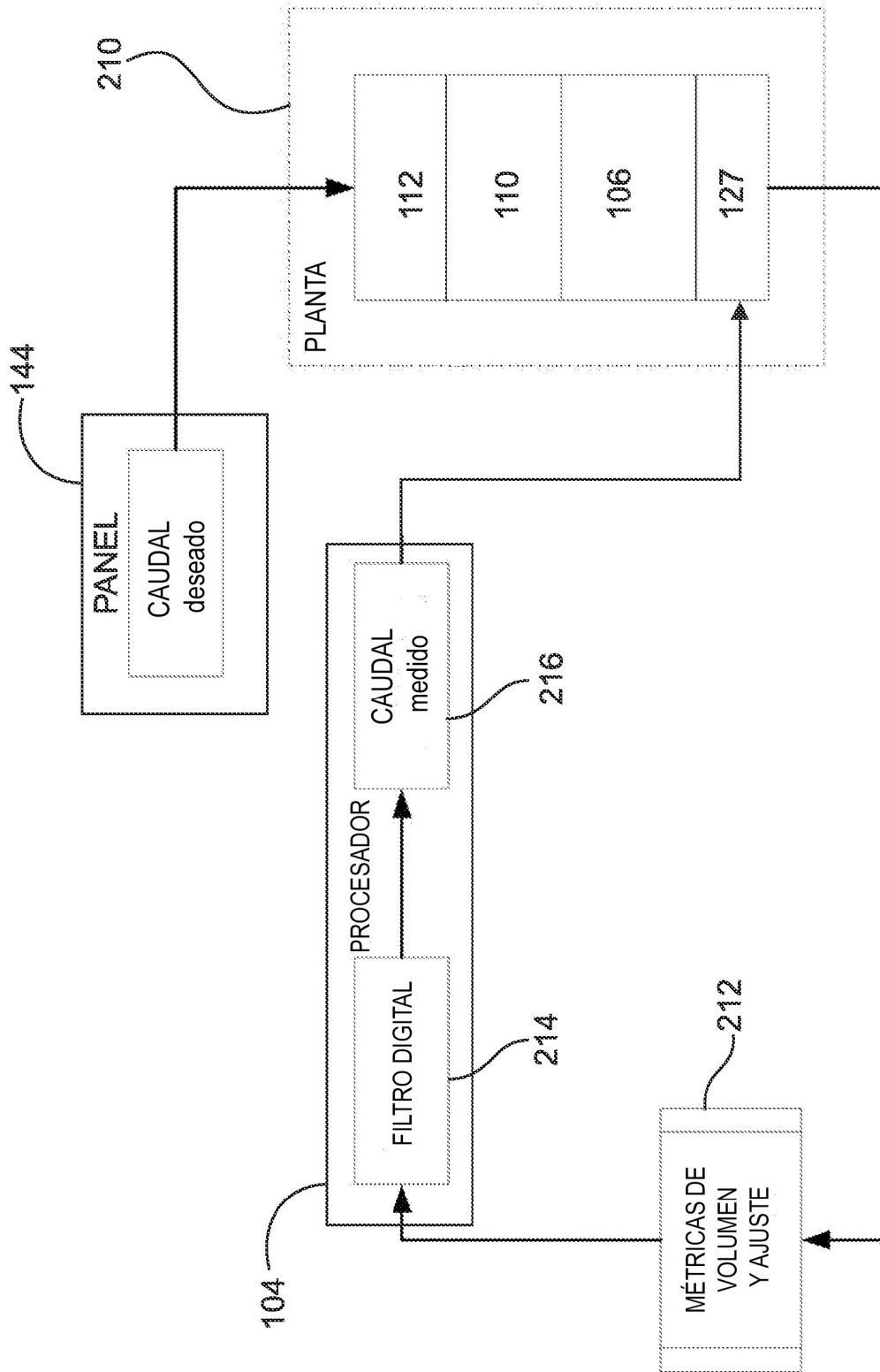


Fig. 12

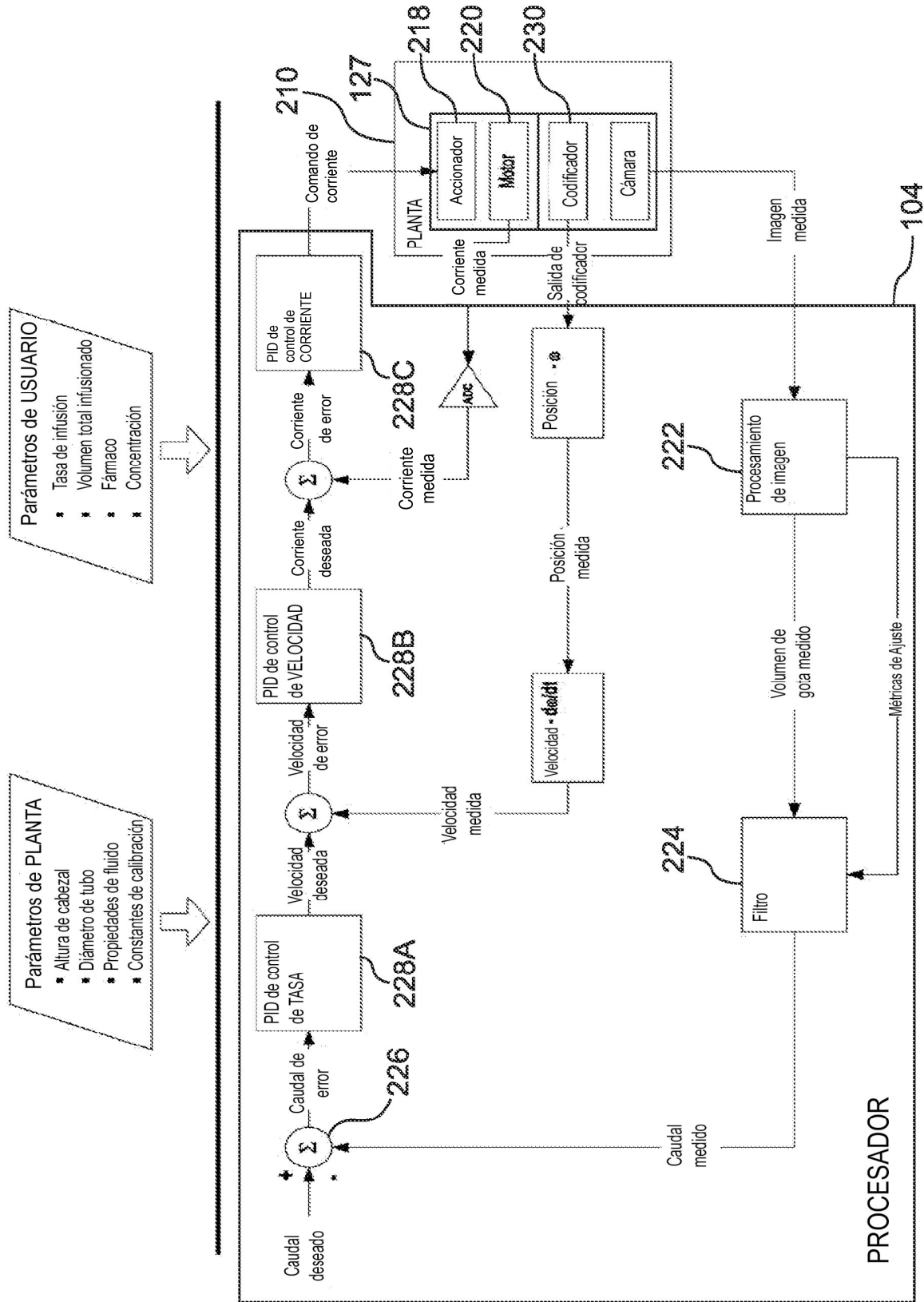


Fig. 13



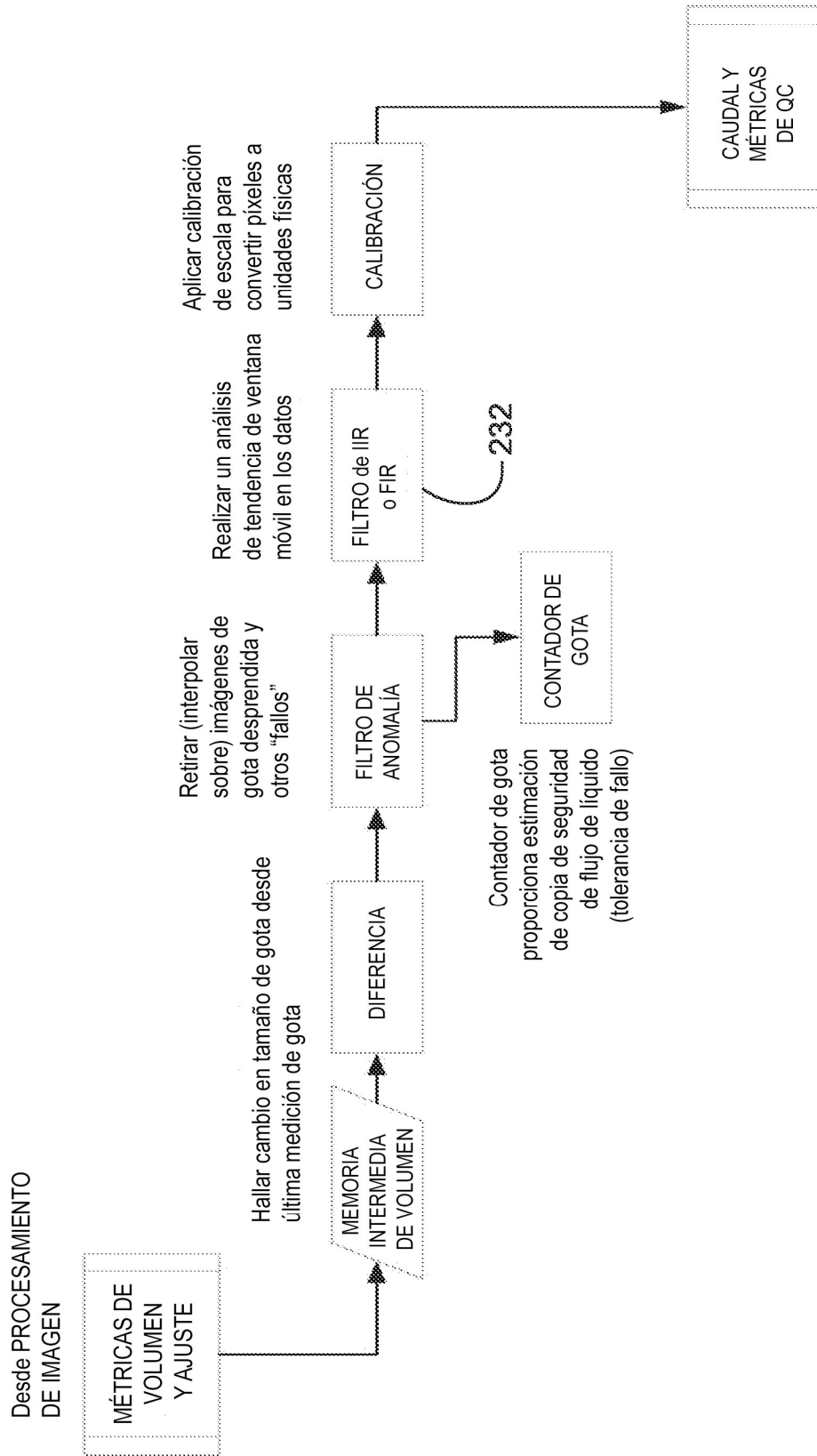


Fig. 14

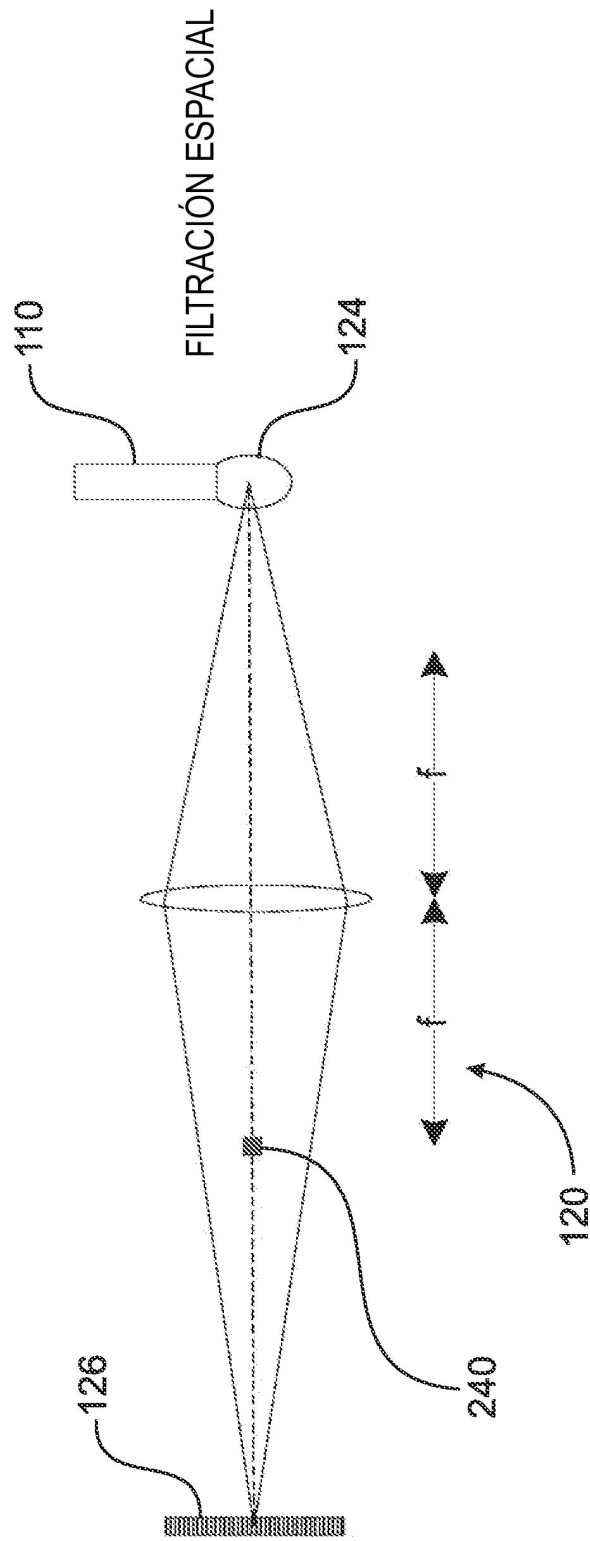


Fig. 15

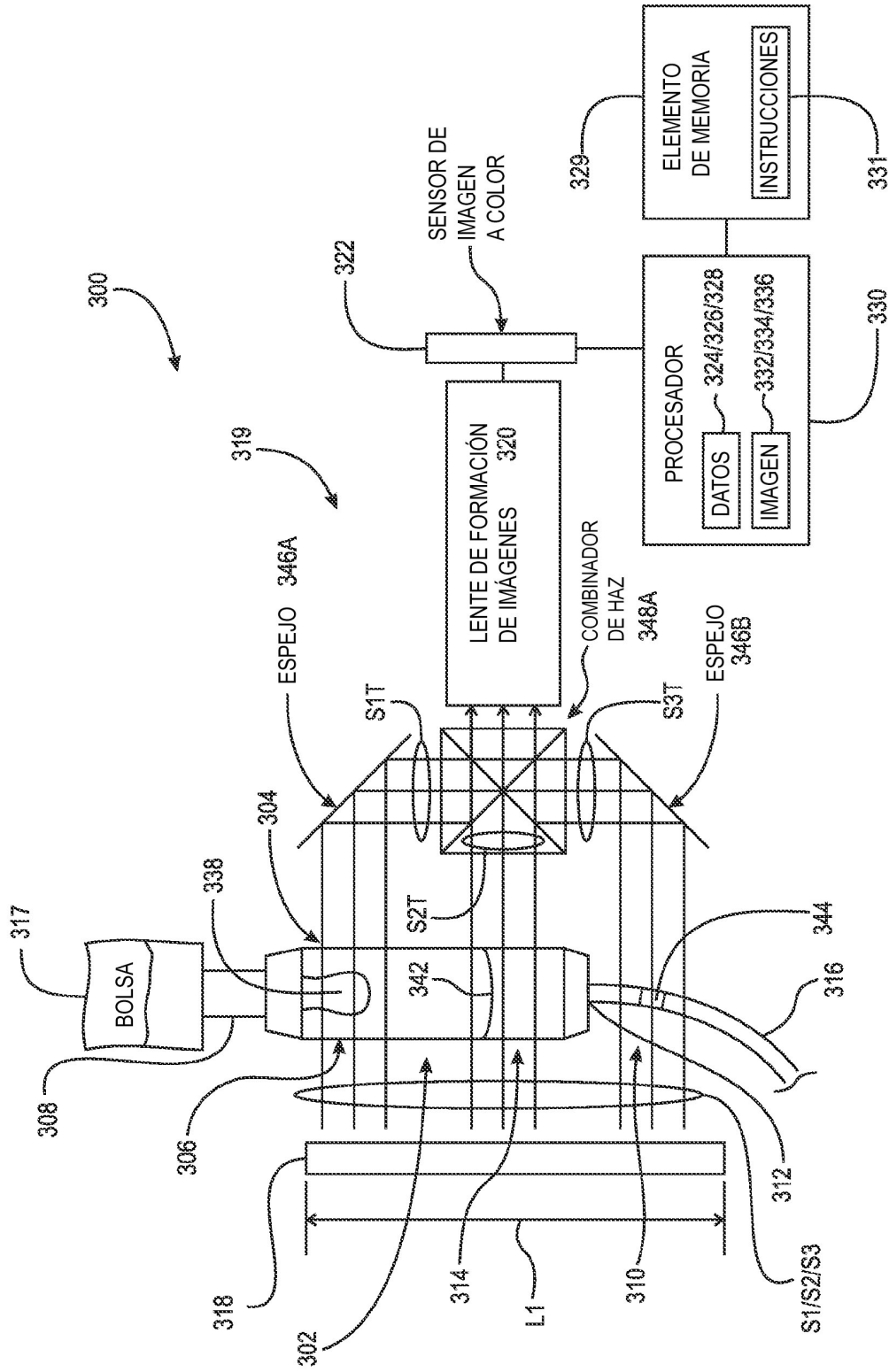


Fig. 16

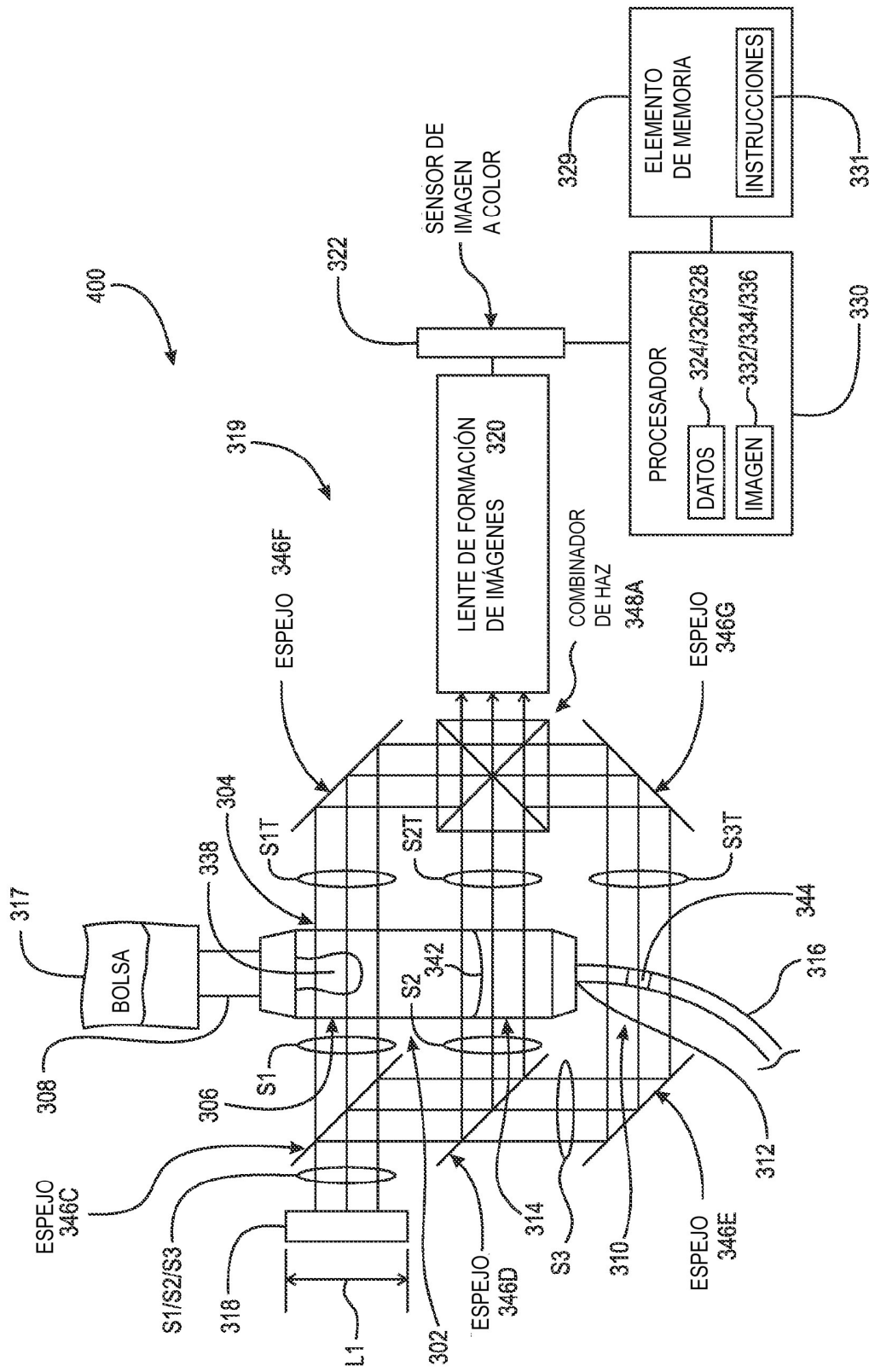


Fig. 17

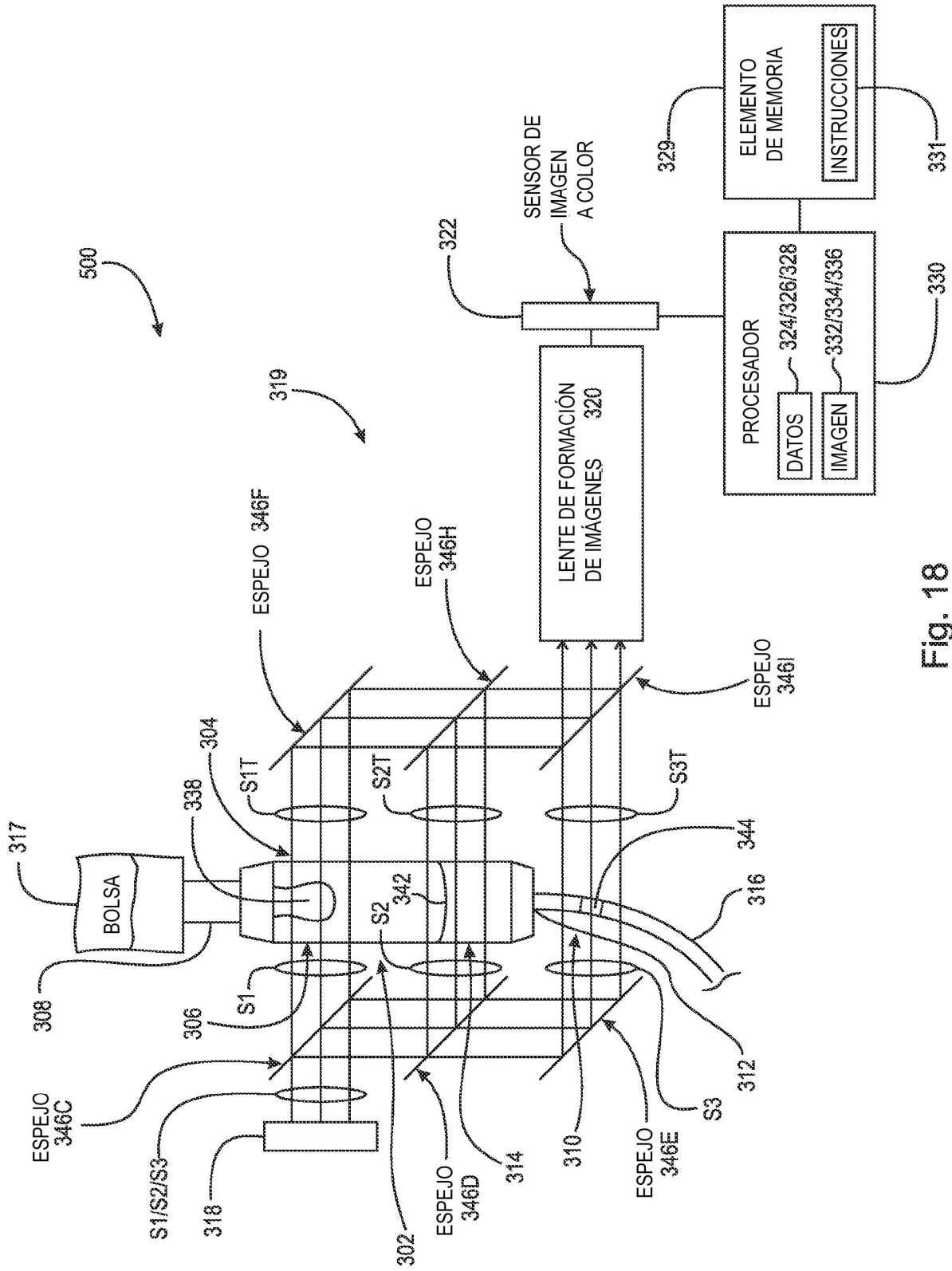


Fig. 18

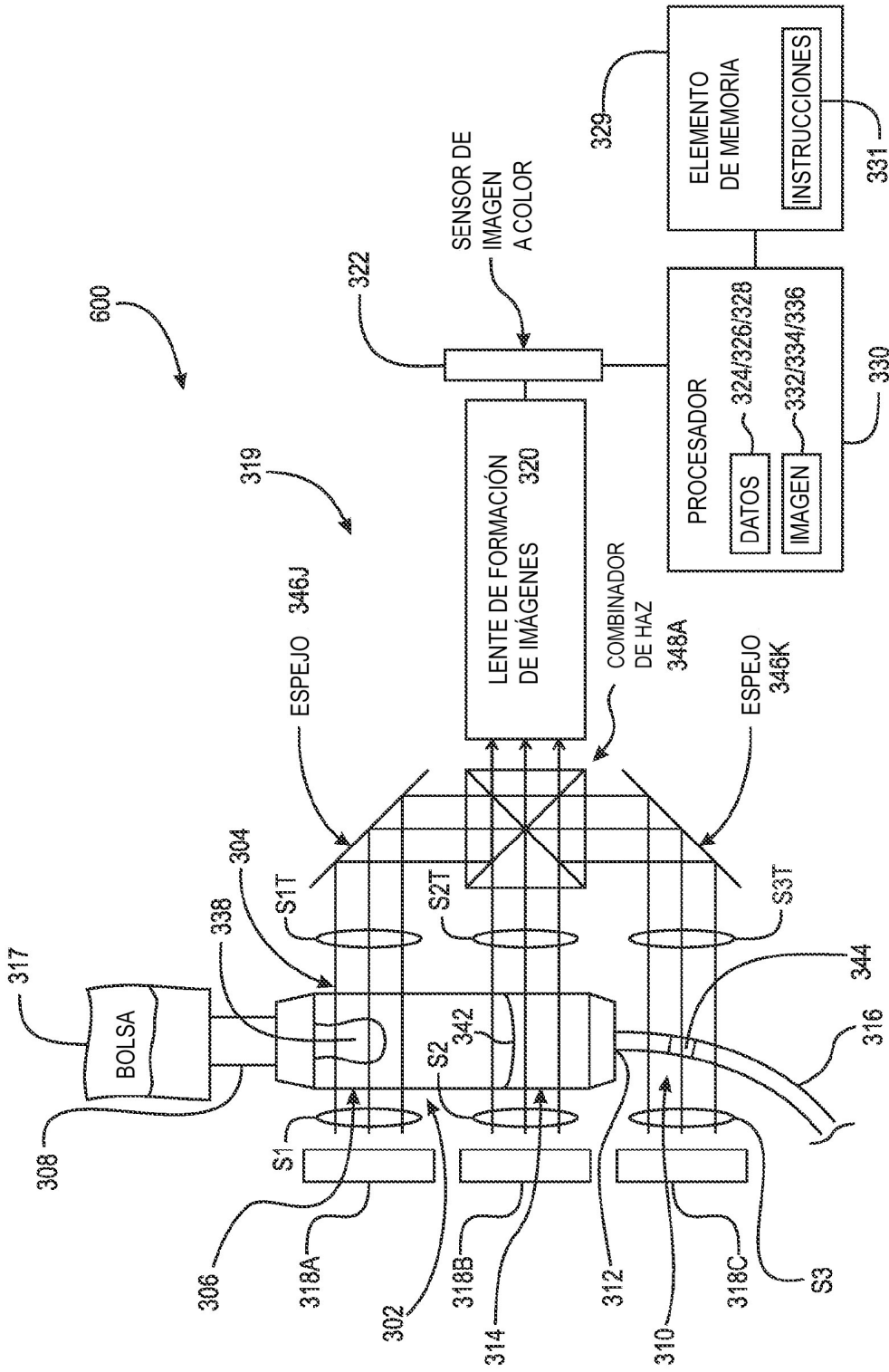


Fig. 19

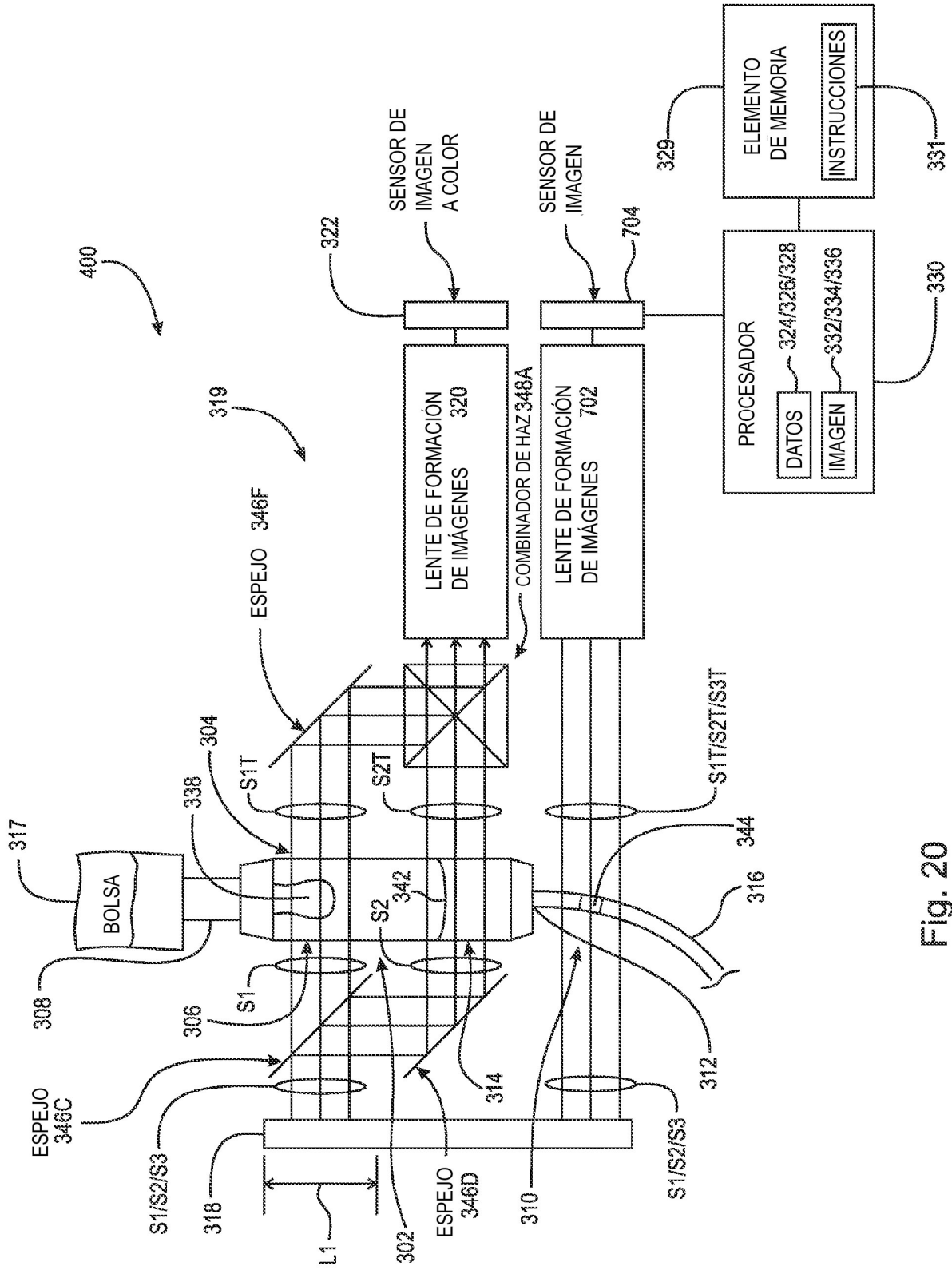


Fig. 20