

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 433**

51 Int. Cl.:

G01N 15/02 (2006.01)

H04N 5/235 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.01.2017 E 17382007 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019 EP 3348993**

54 Título: **Sistema de monitorización y método para detectar objetos microscópicos que fluyen**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.09.2020

73 Titular/es:

**ATTEN2 ADVANCED MONITORING
TECHNOLOGIES S.L. (100.0%)
Polo tecnológico de Éibar, C/ Iñaki Goenaga 5
20600 Eibar (Gipuzkoa), ES**

72 Inventor/es:

MABE ÁLVAREZ, JON

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 784 433 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 monitorización y método para detectar objetos microscópicos que fluyen

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere al campo de la monitorización de fluidos para determinar el estado general de los fluidos, tales como su degradación y contenido de partículas. Esta monitorización es, por ejemplo, aplicable a aceites lubricantes, dado que su estado de degradación y contenido de partículas proporciona información sobre la maquinaria lubricada por dicho aceite.

Antecedentes de la invención

Las máquinas industriales a menudo sufren paradas imprevistas y fallos, a menudo asociado a aspectos relacionados con la lubricación. El aceite lubricante es uno de los componentes clave en algunas de estas máquinas y proporciona mucha información sobre el estado de las máquinas. Puede ser interesante monitorear algunos parámetros en el aceite lubricante, como la determinación de partículas (por ejemplo, cuantificación, clasificación de tamaño o determinación de forma), contenido de burbujas en el sistema o degradación del aceite en función del color. La degradación del aceite es un indicador clave de la calidad del aceite y de cómo cumple su misión de lubricación. No proporciona información sobre la máquina directamente, sino indirectamente, de la velocidad de la degradación, es posible extraer información sobre el funcionamiento de la máquina.

La solicitud de patente europea EP2980557A1 describe un sistema para inspeccionar aceite, que comprende una celda a través de la cual el aceite fluye a lo largo de una tubería. El sistema se basa en un sistema de iluminación que tiene un diodo LED, configurado para suministrar un haz de luz al flujo de aceite, y un sistema de captura de imágenes situado en el lado opuesto de la tubería con respecto al sistema de iluminación. El sistema de captura de imágenes está configurado para capturar una secuencia de imágenes del aceite que fluye dentro de la tubería. El sistema de iluminación y el sistema de captura de imágenes están dispuestos dentro de la celda. Un procesador procesa la secuencia de imágenes y determina la presencia de partículas y un valor para la degradación del aceite. De manera similar, el documento EP0507746A2 describe un método y un dispositivo para medir la distribución del tamaño de partícula de una muestra por medio de un análisis de imágenes adecuado para muestras fluidas.

El sistema descrito en el documento EP2980557A1 funciona como se esperaba cuando el aceite, y por lo tanto las partículas comprendidas en él, viajan a lo largo de la tubería a baja velocidad. Sin embargo, se ha observado que cuando la velocidad instantánea de las partículas es relativamente alta, cuando pasan por el área de captura de imágenes, el sistema no puede capturar una imagen de las partículas que pasan o logra capturar una imagen en la que las partículas tienen una morfología incorrecta. Esto se ha observado, por ejemplo, para partículas que viajan con una velocidad instantánea que varía entre 3 y 20 m/s (cuanto más pequeña es la partícula, menor será el umbral de velocidad instantánea por encima del cual la partícula no se captura en la imagen o se captura con una morfología incorrecta).

Capturar imágenes sin distorsiones de objetos que se mueven a una velocidad relativamente alta en el área de captura de imágenes es un problema tradicional. Si la frecuencia de muestreo de cada píxel no es lo suficientemente rápida, las imágenes capturadas tenderán a ser borrosas y con formas que no se corresponden con la realidad. La frecuencia de muestreo de cada píxel depende principalmente de dos factores: el tiempo de exposición (el tiempo durante el cual cada píxel recolecta la luz instantánea que le llega) y el tiempo de lectura de cada píxel (la frecuencia máxima a la que la información de cada píxel en el la cámara se transfiere a una memoria intermedia). La captura de imágenes en aceites muy oscuros se puede compensar con un aumento del tiempo de exposición o con un aumento de la intensidad en la fuente de luz. Si bien el tiempo de exposición depende de cada aplicación y es una función de la potencia de iluminación máxima disponible y de la opacidad del fluido a analizar, el tiempo de lectura de cada píxel depende de la tecnología del sensor de vídeo.

Precisamente, el problema de los objetos en movimiento puede evitarse por medios mecánicos utilizando dispositivos para la regulación del flujo (para reducir la velocidad del flujo) o válvulas solenoides para detener la muestra de aceite bajo análisis. Sin embargo, detener o reducir el caudal del fluido impacta directamente la importancia de la medición, porque las muestras no se toman en condiciones reales. Reguladores de flujo, como las válvulas de aguja, por ejemplo, tienden a filtrar las partículas por sí mismas y se pueden detener fácilmente por la acumulación de residuos de desgaste en fluidos altamente contaminados (como los que se usan en la presente invención) y las válvulas solo permiten la medición de muestras estáticas sin flujo alguno, que impacta en la velocidad de muestreo y en la representatividad de la muestra. Idealmente, la reducción del número de elementos hidráulicos mejora la importancia de la medición de un sensor en línea o de derivación.

Además, se han desarrollado ciertas técnicas para superar el problema de capturar imágenes de objetos en movimiento en el área de captura de imágenes. Una de las técnicas tradicionales se llama obturador rodante (RS). En RS, los píxeles se activan secuencialmente uno tras otro. La diferencia temporal de la activación de un píxel con las próximas causas hace que las imágenes capturadas aparezcan movidas y no enfocadas si los objetos se

mueven más rápido que la velocidad de lectura de cada píxel. Otra técnica se llama obturador global: Esta tecnología permite que todos los píxeles se activen simultáneamente, así que, independientemente de la velocidad del objeto a capturar, parece estático en la imagen capturada. Una tercera técnica se llama obturador rodante con inicio global (RSGS): Esta tecnología es un caso particular del obturador rodante y permite que todos los píxeles se activen en el mismo instante, aunque la duración de la activación depende del instante de lectura de cada uno, que sigue siendo secuencial, lo que hace que algunos píxeles estén activos más tiempo que otros. Por ejemplo, el documento EP1533996A1 describe un sistema de control de luz estroboscópica para un sistema de inspección de una pieza de trabajo.

10 Sin embargo, para aplicar estas técnicas a la detección de partículas microscópicas comprendidas en un fluido en movimiento, algunos parámetros deben ser considerados: (a) la resolución del detector (altura x ancho en píxeles), (b) el tamaño de píxel y (c) el área del sensor, porque estos tres parámetros determinan (1) el tamaño mínimo detectable de una partícula (que depende de la relación entre resolución y tamaño de píxel) y (2) el volumen de fluido analizado en cada imagen (que depende del área activa del sensor). Por este motivo, se desaconsejan las técnicas de obturación global para la detección de partículas pequeñas en un fluido en movimiento porque en las soluciones más avanzadas, debido a su mayor complejidad en la estructura de píxeles, tienden a ofrecer resoluciones más bajas y tamaños de píxeles más grandes. Además, incluso si la solución obturador rodante puede ofrecer resoluciones decentes, los tamaños de píxeles para esta aplicación específica no son una opción debido a sus limitaciones para capturar imágenes nítidas de objetos en movimiento. Por el contrario, el RSGS permite mantener las ventajas de los sensores RS al tiempo que ofrece un rendimiento en la captura de objetos en movimiento similares al GS, bajo ciertas condiciones, como el aislamiento del detector CMOS de las fuentes de luz no controladas (por ejemplo, iluminación ambiental).

25 No obstante, cuando se aplican las configuraciones tradicionales de RSGS a la detección de partículas en un fluido en movimiento, se ha observado que el sistema no funciona como se esperaba por dos razones: (1) el sistema de captura de imágenes no recibe suficiente luz (ganancia de destello), que normalmente se requiere para que las imágenes y partículas suspendidas en el fluido tengan suficiente contraste para permitir su discriminación; y (2) el tiempo durante el cual el sistema de iluminación está encendido (duración del destello) es demasiado elevado y, por lo tanto, las imágenes no se capturan de manera clara.

30 La solicitud de patente china CN2899386 revela una fuente de matriz de LED para inspeccionar una imagen de impresión, en el que la fuente de LED proporciona una señal pulsada sincronizada con la velocidad de impresión de la imagen. Para sincronizar la señal de pulso con la velocidad de impresión, un circuito está diseñado para ajustar la frecuencia de la señal de pulso. Sin embargo, esta divulgación no da ninguna pista sobre cómo proporcionar pulsos de muy alta potencia de una fuente de corriente continua de baja corriente convencional. Adicionalmente, en sistemas para inspeccionar un fluido en movimiento, los pulsos de luz no pueden sincronizarse con la velocidad de la partícula porque el sistema de inspección no conoce esta velocidad.

40 Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema para inspeccionar un fluido en movimiento que supere los inconvenientes anteriores.

Descripción de la invención

45 La presente invención intenta resolver los inconvenientes mencionados anteriormente por medio de un sistema de monitorización y un método para detectar objetos microscópicos dispuestos en un fluido que fluye. Los objetos microscópicos fluyen a altos caudales. En el contexto de la presente invención, el término "alto" en "caudales altos" se refiere a caudales que varían entre 1 y 40 m/s, dicho de otra forma, caudales de hasta 40 m/s. El sistema de monitorización utiliza un sistema de iluminación pulsada, dicho de otra forma, un sistema de iluminación que produce destellos de luz regulares, sincronizado con la velocidad de captura de vídeo. En el contexto de la presente invención, el término "microscópico" se refiere a objetos que tienen una dimensión más grande (es decir, diámetro) menor que 20 μm . Se ha comprobado que el sistema de monitorización de la invención detecta e identifica correctamente objetos en movimiento (objetos suspendidos en un fluido que fluye) que tienen una dimensión mayor menor que 10 μm e incluso menor que 3 μm cuando se mueven a una velocidad instantánea de 20 m/s. El sistema de iluminación pulsada garantiza que la luz que proporciona esté encendida (duración del destello) de forma controlada, en particular durante un tiempo más corto que el tiempo de exposición seleccionado en el sensor (es decir, CMOS) del sistema de captura de imágenes, ya que de esa manera, una vez que se apaga la fuente de luz, incluso si todavía hay píxeles activos (hasta que finalice el tiempo de exposición) los píxeles activos no tendrán efecto, ya que no hay más fotones para recibir (el CMOS está aislado de cualquier fuente de luz externa). Además, el sistema de iluminación se sincroniza con el sistema de captura de imágenes para activar los pulsos de destello al comienzo de cada nuevo cuadro de vídeo. Lo que es más, el sistema está diseñado para que el sistema de captura de imágenes reciba suficiente ganancia de destello para discriminar correctamente las partículas dentro del fluido en movimiento. En este contexto, el tiempo de exposición es el tiempo durante el cual cada píxel recoge la luz instantánea que llega a él y está limitado en la práctica por la duración del pulso del destello.

65 Como se mencionó antes, porque el sistema de monitorización está aislado de la luz exterior (la única fuente de luz es la del sistema de monitorización) y el sistema de iluminación permite un apagado total, es posible aplicar la

técnica RSGS.

Por lo tanto, el sistema y el método para inspeccionar un fluido logran funcionar correctamente sin necesidad de actuar sobre la velocidad del flujo del fluido. En otras palabras, el sistema de la invención es capaz de capturar imágenes de las partículas que pasan en flujo continuo y de determinar el tamaño real y la forma de los objetos microscópicos mostrados en las imágenes capturadas (y no una versión distorsionada de los objetos).

En un primer aspecto de la invención, se proporciona un sistema para detectar objetos microscópicos ubicados en un fluido que fluye. El sistema comprende: un sistema de iluminación que comprende al menos un diodo LED y configurado para suministrar luz al fluido que fluye; un sistema de captura de imágenes situado en el lado opuesto del fluido que fluye con respecto al sistema de iluminación, el sistema de captura de imágenes está configurado para capturar una secuencia de imágenes del fluido que fluye, el sistema de captura de imágenes comprende una cámara que a su vez comprende una pluralidad de píxeles; medios de procesamiento configurados para procesar la secuencia de imágenes y determinar la presencia de objetos microscópicos dentro del fluido que fluye y la forma de los objetos microscópicos. El sistema de iluminación está configurado para suministrar pulsos de luz de alta potencia que tienen una amplitud I_0 y una duración de tiempo muy corta $T_{ENCENDIDO}$. En el contexto de la presente invención, el término "alta" en "pulsos de luz de alta potencia" se refiere a pulsos de potencia que varían entre 20 mA y 20 A, preferiblemente entre 2 A y 15 A. En el contexto de la presente invención, la expresión "muy breve" en "duración de tiempo muy breve" se refiere a la duración de tiempo que varía entre 50 ns y 50 μ s, preferiblemente entre 50 ns y 20 μ s, más preferiblemente entre 50 ns y 10 μ s y aún más preferiblemente variando entre 50 ns y 5 μ s. El instante de tiempo en el que se activan estos pulsos se sincroniza con los instantes de tiempo en los que los píxeles del sistema de captura de imágenes comienzan a capturar un cuadro de imagen. Los medios de procesamiento están configurados para controlar la amplitud I_0 y la duración de tiempo $T_{ENCENDIDO}$ de los pulsos de luz suministrados por el sistema de iluminación mediante el cálculo, Del I_{cuadro} de intensidad de luz de cada cuadro de imagen capturada, un punto de ajuste de amplitud de pulso (PAS) y un punto de ajuste de duración de pulso (PDS) para ajustar los potenciómetros respectivos configurados para fijar respectivamente la amplitud I_0 y la duración del pulso $T_{ENCENDIDO}$. Los medios para calcular el punto de ajuste de amplitud de pulso (PAS) y el punto de ajuste de duración de pulso (PDS) están configurados para ejecutar un algoritmo que prioriza los aumentos de amplitud sobre los aumentos de duración de pulso. El sistema de iluminación también comprende un sistema de carga de energía configurado para hacer que el requisito de amplitud y el tiempo de respuesta del sistema de iluminación sean independientes de una unidad de suministro de energía del sistema.

Preferentemente, el sistema de captura de imágenes funciona en modo RSGS.

En realizaciones de la invención, el sistema de captura de imágenes está configurado para proporcionar a los medios de procesamiento un cuadro de imagen capturado cada segundo de T_{cuadro} , T_{cuadro} siendo mayor o igual que T_{EXP} , en el que T_{EXP} es el tiempo de exposición de los píxeles comprendidos en el sistema de captura de imágenes.

En realizaciones de la invención, el sistema de iluminación comprende un generador de pulso para generar desde el punto de ajuste de duración del pulso (PDS) y desde una señal estroboscópica proporcionada por el sistema de captura de imágenes, teniendo una señal pulsada un período T_{cuadro} y teniendo pulsos de duración $T_{ENCENDIDO}$, $T_{ENCENDIDO} \ll T_{EXP} \leq T_{cuadro}$, la duración $T_{ENCENDIDO}$ se obtiene del punto de ajuste de duración de pulso (PDS) y dicha señal estroboscópica se usa para sincronizar los pulsos de duración $T_{ENCENDIDO}$ con el instante de tiempo en el que los píxeles en el sistema de captura de imágenes comienzan a capturar un cuadro de imagen. En una realización particular, el generador de pulsos está implicado con una única formación monoestable reactivable, junto con el potenciómetro ajustable por el punto de ajuste de duración del pulso (PDS), una red RC configurada para fijar la duración del pulso $T_{ENCENDIDO}$.

En realizaciones de la invención, el sistema de iluminación comprende además un multiplexor configurado para proporcionar una tensión de referencia V_{MUX} de duración $T_{ENCENDIDO}$, y una tensión sustancialmente nula de duración $T_{cuadro} - T_{ENCENDIDO}$, en el que la tensión de referencia V_{MUX} se calcula a partir del punto de ajuste de amplitud de pulso (PAS) obtenido en los medios de procesamiento, la tensión de referencia V_{MUX} se utiliza para obtener una corriente de polarización de al menos un LED.

En realizaciones de la invención, el sistema de carga de energía comprende una fuente de alimentación de modo conmutado configurada para proporcionar una tensión V_{int} y una corriente baja I_{int} desde una fuente de alimentación de CC V_{salida} ; y una red RC que comprende al menos un condensador y una resistencia, en el que el al menos un condensador funciona como un medio de almacenamiento de energía de pulso y la resistencia regula la velocidad de carga de los medios de almacenamiento de energía de pulso. La red RC está configurada para que el al menos un condensador se cargue completamente en una duración de tiempo $T_{cuadro} - T_{ENCENDIDO}$, en el que T_{cuadro} es el período de tiempo entre dos cuadros de imagen consecutivos capturados por el sistema de captura de imágenes, la fuente de alimentación de modo conmutado proporciona así una tensión V_{led} que a su vez permite proporcionar al menos un LED con corriente I_0 .

En realizaciones de la invención, el sistema comprende además un difusor situado entre el sistema de iluminación y el flujo de fluido, configurado para proporcionar iluminación homogénea al área a iluminar.

En realizaciones de la invención, el difusor está situado cerrando y sellando un orificio hecho en la tubería a través de la cual fluye el fluido.

- 5 En realizaciones de la invención, el sistema comprende además una lente situada entre el sistema de captura de imágenes y el flujo de fluido, configurado para enfocar las imágenes capturadas.

En realizaciones de la invención, el sistema comprende además un dispositivo de calibración situado entre la lente y el flujo de fluido.

- 10 En realizaciones de la invención, los medios de procesamiento están configurados para determinar la presencia y la forma de los objetos que tienen una dimensión más grande menor que 20 μm .

- 15 En realizaciones de la invención, los pulsos de luz suministrados por el sistema de iluminación tienen una amplitud I_0 que varía entre 20 mA y 20 A y una duración de tiempo $T_{\text{ENCENDIDO}}$ que varía entre 50 ns y 50 μs .

- En otro aspecto de la invención, se describe un método para detectar objetos microscópicos ubicados en un fluido que fluye. Comprende: suministrar luz emitida por al menos un LED a un fluido que fluye con objetos microscópicos suspendidos sobre el mismo; capturar una secuencia de imágenes del fluido que fluye por medio de un sistema de
 20 captura de imágenes que comprende una pluralidad de píxeles; procesar la secuencia de imágenes y determinar la presencia de objetos microscópicos dentro del fluido que fluye y la forma del mismo; en el sistema de captura de imágenes, capturando un cuadro de imagen cada T_{cuadro} segundos, T_{cuadro} siendo mayor o igual que T_{EXP} , en el que T_{EXP} es el tiempo de exposición de los píxeles comprendidos en el sistema de captura de imágenes; proporcionar una señal estroboscópica a dicho sistema de captura de imágenes; para cada cuadro de imagen, calcular (controlar)
 25 un punto de ajuste de amplitud de pulso (PAS) y un punto de ajuste de duración de pulso (PDS) a partir de la intensidad de cada cuadro I_{cuadro} mediante la ejecución de un algoritmo que prioriza aumentos en la amplitud de pulso (PAS) en lugar de aumentos en la duración del pulso (PDS); en un generador de pulsos (655), recibir el punto de ajuste de duración de pulso (PDS) y generar a partir del punto de ajuste de duración de pulso (PDS) y de la señal estroboscópica una señal de pulso que tiene un período T_{cuadro} y que tiene pulsos de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$, $T_{\text{ENCENDIDO}} \ll T_{\text{cuadro}}$, la duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$ se obtiene del punto de ajuste de duración de pulso (PDS) y la señal estroboscópica se usa para sincronizar los pulsos de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$ con el instante de tiempo en el que los píxeles en el sistema de captura de imagen comienzan a capturar una imagen; calcular una tensión de referencia V_{MUX} de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$ desde el punto de ajuste de amplitud de pulso (PAS), la tensión de referencia V_{MUX} se usa para obtener una corriente de polarización de al menos un LED; proporcionando una tensión V_{led} que permite
 35 proporcionar una corriente I_0 al al menos un LED con pulsos de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$, la tensión V_{led} es proporcionado por una red RC que comprende al menos un condensador y una resistencia, donde el al menos un condensador funciona como un medio de almacenamiento de energía de pulso y la resistencia regula la velocidad de carga de los medios de almacenamiento de energía de pulso, la red RC está configurada para que al menos un condensador se cargue completamente.

- 40 En realizaciones de la invención, el escenario de, para cada cuadro, calcular un punto de ajuste de amplitud de pulso (PAS) y un punto de ajuste de duración de pulso (PDS) a partir de la intensidad de cada cuadro (I_{cuadro}), se realiza de la siguiente manera: desde el PAS actual, PDS y luminancia generados con el PAS y PDS, comprobar si la luminancia actual está dentro de un rango de diseño $LUMA_{\text{MIN}} < LUMA_{\text{actual}} < LUMA_{\text{MAX}}$; si $LUMA_{\text{MIN}} < LUMA_{\text{actual}} < LUMA_{\text{MAX}}$, entonces no se requiere control; de otra manera, se verifica si la duración del tiempo de la desviación con respecto al rango establecido ($LUMA_{\text{MIN}}$, $LUMA_{\text{MAX}}$) es mayor que el tiempo de histéresis de diseño y si la luminancia actual está fuera del rango de diseño por un tiempo menor que el tiempo de histéresis definido, entonces no se requiere control; de otra manera, se verifica si la ajuste de amplitud de pulso actual PAS corresponde o no a un valor máximo de intensidad y, si no, entonces se realiza el siguiente cálculo: nuevo_PAS = ($I_{\text{cuadro}} - I_{\text{punto de ajuste}}$) x Ganancia_PAS, el valor nuevo_PAS que se usa para actualizar dicho potenciómetro; si el punto de
 50 ajuste de amplitud de pulso de corriente PAS corresponde a un valor máximo de intensidad, la duración del pulso se ajusta de la siguiente manera: nuevo PDS = ($I_{\text{cuadro}} - I_{\text{punto de ajuste del cuadro}}$) x Ganancia_PDS, El valor de nuevo_PDS que se utiliza para actualizar dicho potenciómetro.

- 55 En otro aspecto de la invención, un programa informático que comprende medios de código de programa informático adaptado para realizar las etapas del método anterior cuando el programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señal digital, una matriz de puerta programable en campo, un circuito integrado específico de la aplicación, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

- 60 En suma, el sistema y método propuestos permiten trabajar con fuentes convencionales de tensión DC de muy baja corriente, a pesar del hecho de que los pulsos de luz que iluminan el fluido bajo inspección son de corriente muy alta. Con el sistema y método propuestos, por ejemplo, una fuente de alimentación convencional de 24 V CC y 1 mA es suficiente para alimentar pulsos de 6 A y una duración de 4 μs a frecuencias de, por ejemplo, 1 KHz. Esto permite operar con cualquier fuente de alimentación disponible convencionalmente, normalmente no puede alimentar
 65 directamente la energía para pulsos cortos (4 μs) de alta corriente (por ejemplo, 6 A) debido a sus tiempos de rampa de encendido y apagado.

Una ventaja colateral del sistema de la invención es la eliminación de la necesidad de controlar la fuente de luz para amortiguar los cambios de eficiencia de la fuente de luz en función de la temperatura, porque la fuente de luz no se calienta automáticamente, ya que funciona en ciclos de trabajo pequeños (< 1 %).

5 Las ventajas y características adicionales de la invención se harán evidentes a partir de la descripción detallada que sigue y se señalarán particularmente en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

10 Como complemento de la descripción y con el fin de contribuir a una mejor comprensión de las características de la invención, según un ejemplo de un ejemplo práctico del mismo, se adjunta un conjunto de dibujos como parte integral de esta descripción, que a modo de ilustración, y no de limitación, representa lo siguiente:

15 La figura 1 representa un esquema general del sistema de supervisión o inspección de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 2 representa el problema observado al aplicar RS en un sistema para inspeccionar un fluido en movimiento.

20 La figura 3 representa la potencia recibida en un sistema para inspeccionar un fluido en movimiento cuando se aplica RS convencional.

25 La figura 4 muestra el área de enfoque de un sensor CMOS típico, en el que las partículas se mueven a velocidades que varían entre 3 y 22 m/s.

La figura 5 muestra una comparación del rendimiento de RS en fluidos en movimiento con respecto al tamaño de las partículas comprendidas en el fluido en movimiento.

30 La figura 6 muestra la energía recibida en un sistema para inspeccionar un fluido en movimiento de acuerdo con una realización de la invención, en el que la duración de la luz del destello aplicada por el sistema de iluminación es mucho más corta que el tiempo de exposición de los píxeles del sistema de captura de imágenes.

35 La figura 7 muestra en diagrama de bloques el sistema de captura de imágenes, medios de procesamiento y sistema de iluminación del sistema de monitorización según una realización de la invención.

La figura 8 muestra un esquema más detallado del sistema de iluminación del sistema de monitorización de acuerdo con una realización de la invención.

40 La figura 9 muestra un diagrama de flujo de un algoritmo para calcular un punto de ajuste de amplitud de pulso y un punto de ajuste de duración de pulso a partir de la intensidad de luz del cuadro según una realización de la invención.

45 La figura 10 muestra un ejemplo de tiempo de exposición T_{EXP} , T_{cuadro} y $T_{ENCENDIDO}$ según una realización de la invención.

La figura 11 muestra una comparación del rendimiento de un sistema según la invención (derecha) frente a un sistema convencional basado en obturador rodante (izquierda).

50 Descripción de una realización de la invención

La figura 1 representa un esquema general de un sistema de supervisión o inspección 1 de acuerdo con una realización de la invención. En el sistema de monitorización 1 se toman mediciones de un fluido en movimiento. Este sistema 1 ha sido concebido como un sistema autónomo con un funcionamiento totalmente independiente, que ofrece mediciones auto interpretables, calibrado y corregido para todo el rango operativo definido. En otras palabras, el sistema de medición 1 entrega valores de medición que no necesitan procesamiento adicional. El sistema está diseñado específicamente para su integración directa en los sistemas de lubricación de maquinaria sin afectar las condiciones de funcionamiento de la misma. Esto se logra mediante una tubería hidráulica (no mostrada) que permite realizar un muestreo controlado en el fluido lubricante (por ejemplo, aceite) ya sea por derivación o por instalación en línea. Las interfaces de comunicación y las unidades de suministro de energía también se utilizan para llevar los resultados del sistema a la máquina en cuestión o donde sea necesario. Se observa que cualquier fuente de energía convencional de baja corriente (como, pero no limitativa, una fuente de alimentación convencional de 24 V (CC) y una corriente de 1 mA) es suficiente para alimentar el sistema propuesto, a pesar de que el sistema de iluminación requiere ser alimentado con pulsos que tienen, por ejemplo, 6 A (corriente) y una duración extremadamente corta (por ejemplo, alrededor de 4 μ s) en frecuencias de alrededor de 1 kHz. Esto se habilita mediante el circuito de conducción propuesto para el sistema de iluminación, que se describe en detalle más

adelante en este texto.

5 El sistema 1 debe tener un tamaño pequeño y ser lo más compacto posible para ser instalado en subsistemas hidráulicos más grandes, tales como filtros o válvulas. El sistema de medición 1 opera en una celda micromecánica 20 a través de la cual circula el fluido 21 bajo supervisión. En una realización preferente, este fluido es aceite, más preferiblemente aceite lubricante o hidráulico. El fluido 21 es conducido dentro de medios de canalización, como, por ejemplo, una tubería normal y circula gracias a una pequeña diferencia de presión entre la entrada y la salida del sistema (0,05 Bar o más es suficiente).

10 El sistema de medición 1 comprende una parte óptica y una parte electrónica (o subsistema de adquisición y procesamiento de vídeo). El subsistema de adquisición y procesamiento de vídeo lleva a cabo las actividades relacionadas con las mediciones, entre otras cosas. Está compuesto por un sistema de captura de imágenes incrustado 201 y por un sistema electrónico 206 que comprende medios de procesamiento 2061. El sistema de medición 1 se basa en un sistema de medición de visión artificial incorporado, en el que por medio de un sistema de
15 captura de imágenes 201 se captura una secuencia de vídeo que se procesa en los medios de procesamiento 2061, como un procesador incorporado. En algunas realizaciones de la invención, el medio de procesamiento 2061 es un dispositivo DSP (*Procesador de señal digital*) o una CPU (Unidad central de procesamiento). El objetivo del procesamiento es determinar la presencia de partículas y/o burbujas y el valor de degradación del fluido (por ejemplo, aceite) y para determinar la forma de las partículas. Con este propósito, los medios de procesamiento 2061
20 comprenden medios de software, formado por un grupo de algoritmos para la detección y clasificación de partículas, detección de burbujas y determinación de degradación. La flecha que conecta el sistema de captura de imágenes 201 y los medios de procesamiento 2061 describe los datos de vídeo y las líneas de control.

25 El sistema de captura de imágenes 201 está configurado para funcionar en modo RSGS. En una posible realización, se utiliza un sistema de adquisición y procesamiento de 4 cuadros por segundo (4FPS). Por ejemplo, se puede usar un dispositivo 5 Mpix On Semiconductor.

30 La parte óptica comprende un sistema de iluminación 205 para someter el flujo de fluido 21 a un haz de luz, de tal manera que el sistema de captura de imágenes 201 captura una secuencia de vídeo que luego se procesará en los medios de procesamiento 2061. El sistema de iluminación 205 está diseñado para suministrar un haz pulsado de luz blanca al fluido. El sistema de iluminación 205 es un sistema de iluminación estroboscópico donde los pulsos de luz se sincronizan con la captura de vídeo. Preferentemente, el sistema de iluminación 205 se basa en uno o más diodos LED que iluminan el flujo 21 que circula a través de la celda micromecánica 20 a destellos regulares de luz. En otras palabras, el sistema de iluminación comprende preferiblemente al menos un emisor LED 205. Más
35 preferentemente, se utiliza una pluralidad de diodos LED. En realizaciones de la invención, se utilizan entre 3 y 6 diodos LED. Cuando se usa más de un LED, la pluralidad de LED puede estar dispuesta en configuración en serie o en configuración en paralelo. El sistema de iluminación 205 se describe en detalle más adelante en este texto.

40 Entre el sistema de iluminación 205 y el flujo de fluido 21 (que circula dentro de una tubería), se puede colocar un difusor 204 para difundir la cantidad de luz emitida por el sistema de iluminación 205 para obtener una iluminación homogénea en toda el área (cantidad de fluido) que se está inspeccionando. En realizaciones de la invención, el difusor 204 es una ventana, entendido como un elemento que proporciona acceso visual al fluido bajo inspección. El difusor o ventana del difusor permite iluminar el área bajo inspección de manera homogénea. El difusor o ventana de difusor 204 puede implementarse como cierre de un orificio hecho en la tubería a través del cual fluye el fluido 21. El
45 difusor 204 además está hecho de un material transparente, como un vidrio, por ejemplo un vidrio esmerilado, lo que permite que la luz lo atravesase después de difundirlo.

50 Frente al sistema de iluminación 205, en el otro lado de la tubería a través del cual circula el flujo 21, el sistema de captura de imágenes 201 está situado para capturar la secuencia de vídeo (un tren de imágenes) de la zona de interés en el paso del fluido. Esta captura de imagen se lleva a cabo con una resolución espacial definida y manteniendo los criterios generales de tamaño reducido y bajo coste. En otras palabras, la "resolución espacial definida" se refiere al hecho de que el sistema de captura 201 es capaz de determinar un tamaño mínimo de partícula definido (incluso las partículas que tienen una dimensión mayor de 1 μm (por ejemplo, diámetro de 1 μm) pueden medirse) teniendo en cuenta) La velocidad instantánea del fluido en el que se suspenden las partículas. Esto se ejemplifica más adelante con respecto a la figura 5.

60 El sistema de captura de imágenes 201 es una cámara que implementa un obturador rodante con funcionalidad de inicio global (RSGS). Más preferentemente, es una cámara RSGS basada en un sensor CMOS o un detector CMOS (el sensor CMOS es el componente de la cámara que recibe la imagen). Por lo tanto, Una cámara CMOS tiene una matriz 2D de fotorreceptores fabricados con tecnología CMOS. Por este motivo, ocasionalmente en este texto la expresión "sensor CMOS" o "detector CMOS" se usa para referirse al sistema de captura de imágenes 201. De manera alternativa, el sistema de captura de imagen 201 es una cámara de dispositivo acoplado a carga (cámara CCD) que implementa la funcionalidad (RSGS). Las imágenes capturadas por esta cámara se procesan en los medios de procesamiento 2061, que analiza para cada imagen si hay burbujas y partículas (y, en realizaciones de la
65 invención, los cuenta) y determina el tamaño y la forma de los objetos detectados (burbujas y partículas). En otras palabras, el procesador extrae la imagen del CMOS y la procesa. Para hacer esto, tiene una memoria intermedia (no

se muestra) para su posterior procesamiento. En una posible realización, esta memoria intermedia es una memoria externa DDR2.

5 Entre el sistema de captura de imágenes 201 y el flujo de fluido 21 bajo inspección puede haber una lente 202, preferiblemente una lente macro, para transportar la imagen del objeto a la cámara 201. La lente permite enfocar objetos en el elemento reactivo a la luz y capturar objetos. La lente lleva la luz enfocada al área de recepción de luz.

10 Entre la lente 202 y la tubería que recoge el flujo de fluido 21 bajo inspección puede haber una ventana óptica 203 que sella un orificio hecho en la tubería. Este orificio está opuesto al orificio descrito anteriormente (y cubierto por el difusor 204). Esta segunda ventana óptica 203 también está hecha de un material transparente que permite que la luz pase a través de ella. La ventana 203 es una ventana de calibración que comprende marcas o patrones que permiten su autocalibración, como se explica en el documento EP2980557A1.

15 El tamaño mínimo de los objetos que el sistema es capaz de discriminar es de aproximadamente 1 μm. El área que debe capturar el sistema de captura de imágenes 201 en cada imagen debe ser tal que sea capaz de capturar objetos de 1 μm (y, por supuesto, más grandes) en un área de captura total de varias decenas de mm². En una realización preferente, El área a capturar es de varios mm². En un ejemplo, dicha área a capturar es de 100 mm². Al mismo tiempo, la distancia entre el objeto (plano de paso del fluido bajo inspección) y el sistema de captura de imágenes 201 es deseablemente tan mínima como sea posible y no exceda aproximadamente 40 mm, para que el sistema pueda ser lo más compacto y pequeño posible. La profundidad máxima de campo (rango en el que la lente 202 es capaz de proporcionar una imagen enfocada) está marcada por el ancho del paso del fluido a través de la celda micromecánica 20.

25 La figura 2 representa el problema observado al aplicar RSGS en un sistema como se muestra en la figura 1. Este problema se relaciona con la potencia óptica recibida en el sistema de captura de imágenes 201. Para que el sistema 1 funcione correctamente, debe haber suficiente luz viajando a través del fluido bajo supervisión, de tal manera que se genera y captura una imagen con suficiente contraste. Un experto en la materia sabe que el procesamiento de imágenes solo es posible con imágenes de calidad suficiente en términos de contraste de enfoque. La figura 2 muestra la cantidad de luz Pixel (V) capturada por cada píxel 282 y convertida en un nivel de tensión digital Pixel (bits) por un convertidor analógico a digital ADC 290 incluido adherente a los píxeles dentro del dispositivo sensor CMOS. Pixel (bits) se refiere a la representación digital (en bits) de una magnitud analógica, como la corriente o tensión (Pixel V) generado por cada píxel cuando recibe luz. Pixel (bits) = Pixel (V)/Vref (V/bit). Vref se refiere a la referencia de tensión del CMOS para realizar dicha digitalización de la luz recibida. El LED 205 emite pulsos de luz (pulsos estroboscópicos) de duración T_{ENCENDIDO} (ms), teniendo cierta intensidad de luz I₀ en el que I₀ (lux) = I_{pol} (A) p (lux/A), I_{pol}(A) es la corriente de polarización y p (lux/A) es la eficiencia del LED. La luz I₁ recibida por el píxel 282 (esta luz I₁ es esencial para lograr un buen contraste) depende de la intensidad de la luz emitida I₀, en la absorbancia 10^{-atc} que tiene lugar en la muestra 21 bajo análisis (la absorbancia depende de las propiedades químicas c, α del fluido y en el ancho l de la tubería; por ejemplo, los fluidos opacos tienen una absorbancia mucho mayor que los fluidos transparentes), en la capacidad de respuesta R de los fotodiodos que forman cada píxel (la capacidad de respuesta se refiere a la eficiencia de los fotodiodos para convertir la energía de la luz en voltios) y en el tiempo de exposición seleccionado T_{EXP} (tiempo durante el cual un píxel está acumulando luz incidente) que, en los sistemas RSGS está determinado (limitado) por la duración del pulso T_{ENCENDIDO}, como se explicará más adelante. Como se puede observar, parámetros de diferente naturaleza tienen un impacto en el rendimiento del sistema: parámetros de construcción del LED y píxeles (p, R); parámetros físicos y químicos (absorbancia, dependiente del fluido bajo supervisión); y parámetros de diseño, como la corriente de polarización LED I_{pol}, el tiempo de exposición T_{EXP} del píxel (o sus fotodiodos) y la duración del pulso T_{ENCENDIDO}. Estos últimos parámetros son los únicos elegidos por el diseñador para ajustar la potencia de la luz recibida con el fin de analizar una muestra de fluido con suficiente contraste hacia una discriminación correcta de los objetos (partículas, burbujas) suspendidas en el fluido. El rango de la corriente de polarización LED I_{pol} permite inspeccionar un cierto rango de fluidos, definido por su absorbancia que, junto con la duración del pulso T_{ENCENDIDO} (que limita el tiempo de exposición T_{EXP}) determina la velocidad máxima de las partículas.

55 La figura 3 representa un sistema convencional en el que el sistema de iluminación proporciona continuamente una luz de destello (destello siempre encendido o T_{ENCENDIDO} = 100 %). Bajo estas circunstancias, la siguiente ecuación describe la señal recibida por cada píxel en cada cuadro (un cuadro comprende una pluralidad de píxeles que forman una matriz M x N, siendo M ~ 1900pix y N ~ 2600pix), considerando que las variaciones de I₁ dentro del intervalo de tiempo T_{EXP} son insignificantes (en la figura 3, I₁ se representa como no constante para expresar que el fluido bajo supervisión puede variar su absorbancia ya que es una muestra que fluye, no estática,):

$$V_{pix}(V) = I_1(lux) \times T_{exp}(seg) \times R \left(\frac{V}{lux \times seg} \right)$$

60 La duración del pulso de iluminación del sistema de iluminación estroboscópica 205 se define por la velocidad esperada de los objetos (partículas) suspendidos en el fluido bajo supervisión cuando atraviesan el área de enfoque. En otras palabras, ya que el objetivo es detectar partículas en movimiento, la duración máxima del pulso viene dada por la velocidad máxima de partículas bajo observación. Cuanto menor sea la velocidad de desplazamiento de las

partículas bajo examen, cuanto mayor sea la duración del pulso de iluminación. Por el contrario, cuanto mayor sea la velocidad de desplazamiento de las partículas bajo examen, cuanto menor sea la duración del pulso de iluminación tendrá que ser para evitar distorsiones. En una realización particular en la que el sistema de supervisión 1 se aplica a máquinas industriales, y más precisamente al aceite lubricante que usan, se ha observado que una presión de trabajo típica puede variar, por ejemplo, entre 2 bar y 10 bar. En este caso, la velocidad de los objetos (partículas) suspendidos en el fluido (en este caso, aceite) varía entre 3 m/s y 22 m/s, respectivamente. Esto significa que se espera que las muestras bajo análisis viajen siguiendo un flujo laminar de velocidades que varían entre 3 y 22 m/s. Esto significa que las partículas suspendidas en el fluido también se moverán a velocidades similares (sin considerar los efectos de turbulencia, etc.). La figura 4 muestra el área de enfoque de un sensor CMOS típico, en el que las partículas se mueven a velocidades que varían entre 3 y 22 m/s.

Sin embargo, incluso si todas las partículas se mueven a la misma velocidad, el efecto de la distorsión de captura de imagen en el obturador no afecta a las partículas grandes y pequeñas por igual. Partículas grandes, incluso con una pequeña distorsión, serán detectables por los algoritmos de visión (que están fuera del alcance de la presente invención; véase, por ejemplo, el documento EP2980557A1) y no hay un impacto significativo (tamaño de partícula real ~ tamaño de objeto detectado). Sin embargo, a medida que se reduce el tamaño de partícula, los efectos de la distorsión son más pronunciados, impactando tanto en el tamaño como en su forma aparente (por ejemplo, una partícula circular se verá como una elipse debido al efecto de distorsión). Lo que es más, en pequeñas partículas, la distorsión hace que no sean perceptibles.

La figura 5 muestra una comparación del rendimiento de RSGS en fluidos en movimiento con respecto al tamaño de las partículas comprendidas en el fluido en movimiento. La primera columna se refiere a una gran partícula 51 (por ejemplo, que tiene una dimensión más grande mayor de 14 μm), la segunda columna se refiere a una partícula de tamaño mediano 52 (por ejemplo, que tiene una dimensión más grande entre 6 y 14 μm) y la tercera columna se refiere a una partícula pequeña 53 (por ejemplo, que tiene una dimensión más grande que varía entre 1 y 6 μm). La segunda fila muestra cómo cada partícula 51 52 53 se captura con distorsión 51' 52' 53'. La tercera fila muestra cómo los algoritmos de visión aplicados reconocen cada partícula: la partícula grande se reconoce correctamente 51" (con un impacto mínimo insignificante), se detecta la partícula de tamaño mediano, pero su tamaño y forma se identifica erróneamente 52". Finalmente, la pequeña partícula no se detecta en absoluto 53".

Por lo tanto, se puede aplicar un criterio para determinar a partir de qué porcentaje de distorsión tenemos un impacto fatal para la detección. Definir, por ejemplo, que la distorsión causará una mala detección si el 50 % del área del objeto se ve afectada, la siguiente tabla muestra la duración máxima del pulso de iluminación del sistema de iluminación estroboscópica 205 para diferentes tamaños de objeto (dimensión más grande) y velocidades:

Tamaño del objeto	4 μm (objeto pequeño)	10 μm (objeto mediano)	20 μm (objeto grande)
50 % de distorsión	2 μm	5 μm	10 μm
Velocidad de flujo (m/s)	Duración máxima aceptable del pulso de iluminación		
	4 μm (objeto pequeño)	10 μm (objeto mediano)	20 μm (objeto grande)
1,5	1,3 μs	3,3 μs	6,6 μs
3	600 ns	1,6 μs	3,33 μs
Velocidad de flujo (m/s)	Duración máxima aceptable del pulso de iluminación		
	4 μm (objeto pequeño)	10 μm (objeto mediano)	20 μm (objeto grande)
11	180 ns	450 ns	900 ns
22	90 ns	230 ns	450 ns

Esto significa que, dependiendo del tamaño del objeto objetivo y de su velocidad esperada, la duración del pulso de iluminación debe variar entre 80 ns y 10 μs aproximadamente.

La figura 6 representa un sistema en el que la duración del pulso de iluminación (encendido) $T_{ENCENDIDO}$ del sistema de iluminación se ha seleccionado para que sea $\ll T_{EXP}$. Entonces, el tiempo efectivo de exposición = $T_{ENCENDIDO}$. Bajo estas circunstancias, la siguiente ecuación describe la señal recibida por cada píxel en cada cuadro (un cuadro comprende una pluralidad de píxeles), considerando que las variaciones de I_1' dentro del intervalo de tiempo T_{EXP} son insignificantes:

$$V_{pix'}(V) = I_1'(lux) \times (T_{exp}(seg) \cap T_{Destello\ encendido}(seg)) \times R\left(\frac{V}{lux \times seg}\right)$$

$$= I_0'(lux) \times 10^{-A} \times T_{Destello\ encendido}(seg) \times R\left(\frac{V}{lux \times seg}\right)$$

Por lo tanto, dado que el objetivo del diseño es mantener la señal generada por cada píxel ($V_{RX} == V_{RX}$), dicho de otra forma, a pesar de tener pulsos de corta duración, la potencia total de la luz debe ser similar a la que se obtendría con un pulso siempre encendido (porque se requiere una alta potencia de luz para adquirir imágenes con buen contraste), dados ciertos valores de absorbancia (A) y capacidad de respuesta de píxeles (R), la intensidad luminosa I_0' emitida por el sistema de iluminación debe ser modulada. Sin embargo, porque $T_{ENCENDIDO} \ll T_{EXP}$, para lograr ese $V_{RX} == V_{RX}'$, la potencia de la luz aplicada debe ser muy alta: $I_0' \gg I_0$.

Por lo tanto, volviendo a la figura 1, para poder inspeccionar fluidos opacos (peor de los casos, dado que los fluidos opacos requieren más potencia de luz que los transparentes) que tienen objetos suspendidos que tienen una dimensión más grande tan pequeña como 1 μm , fluyendo a altos caudales, el sistema de iluminación 205 debe ser capaz de entregar pulsos de muy alta potencia durante un tiempo muy corto. Además, estos pulsos deben sincronizarse con los instantes de inicio de captura en el sistema de captura de imágenes 201. En el contexto de la presente invención, el término "alto" en "caudales altos" se refiere a caudales que varían entre 1 y 40 m/s, dicho de otra forma, caudales de hasta 40 m/s. En el contexto de la presente invención, el término "alta" en "pulsos de alta potencia" se refiere a pulsos de potencia que varían entre 20 mA y 20 A, preferiblemente entre 2 y 15 A. En el contexto de la presente invención, la expresión "muy breve" en "duración de tiempo muy breve" se refiere a la duración de tiempo que varía entre 50 ns y 50 μs , preferiblemente entre 50 ns y 20 μs , más preferiblemente entre 50 ns y 10 μs y aún más preferiblemente variando entre 50 ns y 5 μs .

Esto se logra mediante un sistema de monitorización 1 que tiene un sistema de captura de imágenes 601 (201 en la figura 1), medios de procesamiento 6061 (2061 en la figura 1) y sistema de iluminación 305 (205 en la figura 1) como se esquematiza en las figuras 7 y 8. El sistema de iluminación 305 está configurado para operar sincronizado con un sistema de captura de imágenes configurado en modo RSGS.

La figura 7 muestra en diagrama de bloques el sistema de captura de imágenes 601 (201 en la figura 1), medios de procesamiento 6061 (2061 en la figura 1) y sistema de iluminación 305 para operar sincronizado con el sistema de captura de imágenes 601 configurado en modo RSGS, del sistema de monitorización 1. El sistema de iluminación 305 comprende al menos un diodo LED 605 y medios de conducción de luz 360 para operar al menos un diodo LED 605. La figura 8 muestra en detalle los bloques de la figura 7. En particular, los medios de conducción de luz 360 para operar al menos un diodo LED 605 se muestran con más detalle. El sistema de iluminación 305 es capaz de detectar objetos (como partículas y burbujas) de tamaño microscópico, suspendidos en fluidos en movimiento potencialmente muy opaco. Con el sistema de iluminación 305 de la invención, se detectan partículas que tienen una dimensión (es decir, diámetro) mayor que 1 μm .

El sistema de iluminación 305 tiene uno o más diodos LED 605 (también denominados LED) que pueden estar dispuestos en serie o en paralelo o en una configuración mixta serie/paralelo. La corriente I_0' que viaja a través del al menos un LED 605 debe ser una corriente alta y una tensión alta entregadas a pulsos rápidos. En una realización particular, cada LED necesita corriente $I_0' = 6$ A y tensión = 5 V. En una implementación a modo de ejemplo, en el que 6 LED están dispuestos en configuración en serie, la corriente y la tensión requeridos son: $I_0' = 6$ A, $V = 30$ V. En otra implementación a modo de ejemplo, en el que 6 LED están dispuestos en configuración paralela, la corriente y la tensión requeridos son: $I_0' = 36$ A, $V = 5$ V. El valor de la amplitud de esta corriente I_0' y la duración de los pulsos de corriente entregados por el al menos un LED 605 se controlan por medios de procesamiento 6061 a partir de los cuadros proporcionados por el sistema de captura de imagen 601.

Cada uno de estos cuadros comprende la información capturada por al menos algunos de los píxeles comprendidos en el sistema de captura de imagen 601 (preferiblemente cámara CMOS). La información capturada por cada píxel es una tensión (V_{pix}), luego convertida en valor digital (bits), como se describe con referencia a la figura 2. La resolución V_{pix} viene dada por el número de bits del sensor CMOS (normalmente 8, 10 o 12 bits), de tal manera que la información guardada por un píxel se pueda discriminar en 2^n etapas dentro del rango 0- V_{ref} , n es el número de bits utilizados por cada píxel (en otras palabras, la resolución de píxeles). En una realización particular, cada cuadro comprende la tensión capturada por todos los píxeles comprendidos en el sistema de captura de imagen 601. Cada píxel lleva un valor digital que representa la intensidad de luz recibida.

Con referencia ahora a la figura 8, los medios de procesamiento 6061 tienen medios 611 para leer cada cuadro, medios 612 para calcular, de cada cuadro de lectura, una intensidad de luz de cuadro I_{cuadro} y medios 613 para calcular un punto de ajuste de amplitud de pulso (PAS) y punto de ajuste de la duración del pulso (PDS) de dicha intensidad de luz de cuadro I_{cuadro} . Estos puntos de ajuste PAS, PDS son instrucciones que deben enviarse a los potenciómetros digitales respectivos 651 652 para establecer respectivamente la duración de la corriente y el pulso. Un algoritmo calcula los puntos de ajuste PAS, PDS de la intensidad de luz del cuadro (intensidad de cada cuadro) I_{cuadro} . En realizaciones de la invención, el algoritmo es un controlador proporcional-integral (PI) que prioriza los aumentos de corriente sobre la duración del pulso para que sea compatible con flujos más altos. En otras

realizaciones, los puntos de ajuste PAS, PDS se calculan a partir de la intensidad de cada cuadro I_{cuadro} y del contraste de cada cuadro. La figura 9 muestra un diagrama de flujo del algoritmo para calcular los puntos de ajuste PAS, PDS de acuerdo con una realización de la invención. El algoritmo se describe a continuación.

5 La intensidad de luz de cuadro I_{cuadro} se calcula preferiblemente como sigue:

$$I_{\text{cuadro}} = (\Sigma V_{\text{pix}}) / \text{NumPix}$$

en el que V_{pix} es la tensión capturada por cada píxel en el sistema de captura de imágenes 601 y NumPix es la cantidad de píxeles en el sistema de captura de imágenes 601.

10 Como se mencionó, el bloque 613 comprende un algoritmo para calcular un punto de ajuste de amplitud de pulso (PAS) y un punto de ajuste de duración de pulso (PDS) a partir de cada nueva intensidad de luz de cuadro I_{cuadro} . El objetivo de este bloque 613 es determinar los nuevos valores de PAS y PDS para obtener un valor de intensidad de luz de cuadro I_{cuadro} (denominado LUMA en la figura 9) dentro de los límites inferior y superior $I_{\text{cuadro_MIN}}$, $I_{\text{cuadro_MAX}}$ (denominado respectivamente $LUMA_{\text{MIN}}$, $LUMA_{\text{MAX}}$ como en la figura 9) definido por diseño. Los puntos de partida son los actuales PAS 901 y PDS 902, junto con la intensidad de luz de cuadro I_{cuadro} (o LUMA) generado con la configuración inicial de PAS, PDS. El objetivo de este algoritmo de control es alcanzar un valor de I_{cuadro} , tal que $I_{\text{cuadro_MIN}} < I_{\text{cuadro}} < I_{\text{cuadro_MAX}}$ ($LUMA_{\text{MIN}} < LUMA < LUMA_{\text{MAX}}$) al priorizar el aumento de la amplitud de pulso (PAS) en lugar de aumentar la duración del pulso (PDS), porque se ha observado que este esquema de priorización optimiza la compatibilidad con velocidades de partículas más altas. Se observa que los valores PAS y PDS controlan respectivamente los valores de los potenciómetros 651 652 que controlan respectivamente la corriente I_0' (Amperios) y la duración del pulso $T_{\text{ENCENDIDO}}$ (μs). En una realización particular, los potenciómetros 651 652 son potenciómetros digitales. Por ejemplo, pueden ser potenciómetros de 8 bits. Esto significa que PAS y PDS son valores que varían entre 0 y 255. A su vez, la intensidad del cuadro también se representa como un cierto nivel. En una realización particular, en el que la cámara es una cámara CMOS de, por ejemplo, 8 bits, un nivel que varía entre 0 y 255 representa una luminancia media de todos los píxeles de la imagen capturada por el CMOS. Por lo tanto, los valores de intensidad umbral $LUMA_{\text{MIN}}$, $LUMA_{\text{MAX}}$ corresponde a ciertos niveles de luminancia (que varían, por ejemplo, entre 0 y 255). Un valor de diseño típico no limitante de LUMA para un determinado cuadro es 150. Por lo tanto, volviendo a la figura 9, los puntos de inicio de PAS 901 y PDS 902 proporcionan un punto de inicio de luminancia (o LUMA) 903.

Entonces, considerando los parámetros de diseño del umbral $LUMA_{\text{MIN}}$ 904 y $LUMA_{\text{MAX}}$ 905, el algoritmo verifica (bloque 906) si la luminancia actual 903 está dentro del umbral establecido: $LUMA_{\text{actual}} > LUMA_{\text{MIN}}$ y $LUMA_{\text{actual}} < LUMA_{\text{MAX}}$. Los valores a modo de ejemplo no limitativos de luma mínima $LUMA_{\text{MIN}}$ 904 y luma máxima $LUMA_{\text{MAX}}$ 905 son $LUMA_{\text{MIN}} = 130$ y $LUMA_{\text{MAX}} = 170$ (para niveles que varían entre 0 y 255). Si $LUMA_{\text{actual}} < LUMA_{\text{MIN}}$ o $LUMA_{\text{actual}} > LUMA_{\text{MAX}}$, entonces (bloque 907) no se requiere control (fin del algoritmo). Si, por el contrario, la condición anterior no se cumple, en el bloque (909) se verifica la duración del tiempo de la desviación con respecto al rango establecido ($LUMA_{\text{MIN}}$, $LUMA_{\text{MAX}}$). En otras palabras, se verifica si la desviación es estable o no en el tiempo, dicho de otra forma, cuántos fotogramas consecutivos tienen luminancia de ($LUMA_{\text{MIN}}$, $LUMA_{\text{MAX}}$). Este tiempo de histéresis 908 también es un parámetro de diseño. Un ejemplo no limitativo de tiempo de histéresis puede ser de 5 segundos. Por lo tanto, si el LUMA actual está fuera del rango de diseño por un tiempo menor que el tiempo de histéresis definido 908, no se aplica ningún control (bloque 910) y el algoritmo finaliza. Si, por el contrario, el LUMA actual está fuera del rango de diseño por un tiempo mayor que el tiempo de histéresis definido 908, se debe aplicar un control.

Entonces, primero se verifica (bloque 911) si el punto de ajuste de amplitud de pulso actual PAS corresponde o no a un valor máximo de intensidad (corriente de saturación). En un ejemplo no limitativo, la corriente de saturación puede ser 6 A. En otras palabras, se verifica (bloque 911) si $PAS_{\text{actual}} = PAS_{\text{MAX}}$. Si $PAS < PAS_{\text{MAX}}$ (es decir, corriente $I < I_{\text{saturación}}$), luego (bloque 912) se realiza el siguiente cálculo: $\text{nuevo_PAS} = (I_{\text{cuadro}} - I_{\text{punto de ajuste del cuadro}}) \times \text{Ganancia_PAS}$, en el que I_{cuadro} es la corriente real (LUMA) y $I_{\text{punto de ajuste del cuadro}}$ (también conocido como $LUMA_{\text{punto de ajuste}}$) es la intensidad de cuadro (LUMA) a alcanzar. Por ejemplo, Si I_{cuadro} el punto de ajuste = 160 e $I_{\text{cuadro}} = 120$, el algoritmo de control intentará obtener $I_{\text{cuadro}} = 160$ para los siguientes cuadros aplicando una ganancia. En un ejemplo particular, $LUMA_{\text{punto de ajuste}} = (LUMA_{\text{MAX}} + LUMA_{\text{MIN}}) / 2$. En el bloque 912, la ganancia aplicada se denomina G_{PAS} . El valor de nuevo_PAS (bloque 914) se utiliza para actualizar el potenciómetro 651. En otras palabras, el valor de resistencia del potenciómetro 651 se ajusta al valor que permite que la amplitud del pulso sea la requerida.

Si, por el contrario, $PAS = PAS_{\text{MAX}}$ (es decir, corriente $I = I_{\text{saturación}}$), entonces la amplitud del pulso ya no se puede aumentar. Por lo tanto, el único parámetro que se debe ajustar para controlar el I_{cuadro} (es decir, LUMA) es la duración del pulso. Con el fin de hacerlo, en el bloque 913 se realiza el siguiente cálculo: $\text{nuevo_PDS} = (I_{\text{cuadro}} - I_{\text{punto de ajuste del cuadro}}) \times \text{Ganancia_PDS}$. En el bloque 913, la ganancia aplicada se denomina G_{PDS} . El valor de nuevo_PDS (bloque 915) se utiliza para actualizar el potenciómetro 652. En otras palabras, el valor de resistencia del potenciómetro 652 se ajusta al valor que permite que la duración del pulso sea la requerida.

Como se explica en relación con el algoritmo ilustrado en la figura 9, el PDS se usa para controlar la duración del pulso $T_{\text{ENCENDIDO}}$ de una señal de pulso, dicho de otra forma, el tiempo durante el cual el sistema de iluminación 305,

o más precisamente, el al menos un LED 605, está encendido (emitiendo energía). La señal de pulso (y la duración de pulso $T_{\text{ENCENDIDO}}$) se crea en un generador de pulso 655. En una realización particular, el generador de pulsos 655 se implementa con un solo monoestable reactivable, como un solo chip monoestable reactivable, proporcionado por ejemplo por Texas Instruments. El generador de pulsos 655 proporciona una señal de pulso que tiene un período T_{cuadro} y que tiene pulsos de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$, $T_{\text{ENCENDIDO}} \ll T_{\text{cuadro}}$. Para definir la duración del pulso $T_{\text{ENCENDIDO}}$, el generador de pulsos 655 usa el PDS (que básicamente configura una red RC del monoestable reactivable, que es una forma común de configurar chips de este tipo). El generador de pulsos 655 también usa una señal de destello (también denominada señal estroboscópica) proporcionada por el sistema de captura de imágenes 601. La señal estroboscópica activa el inicio de la duración del destello, y es un parámetro del sistema de captura de imágenes, en particular, de la cámara CMOS, que proporciona una señal estroboscópica que tiene cierta frecuencia correlacionada con la configuración de cuadros por segundo (T_{cuadro}). Por lo tanto, la señal estroboscópica se utiliza como señal de activación. Esta señal estroboscópica proporcionada por el sistema de captura de imágenes 601 es utilizada por el generador de pulsos 655 para sincronizar la señal generada (que tiene un período de T_{cuadro} y que tiene pulsos de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$) con la señal estroboscópica del sistema de captura de imágenes 601. La señal PDS se alimenta al potenciómetro digital 652. Controles de potenciómetro 652, por medio de su resistencia variable R (ajustada desde PDS) en una red RC (condensador no mostrado explícitamente en la figura 8), la duración de los pulsos cortos (duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$) generados por el generador de pulsos 655. En otras palabras, el potenciómetro 652 fija un valor de la red RC que define el funcionamiento del pulso. Por lo tanto, el generador de pulsos 655 calcula la duración del pulso $T_{\text{ENCENDIDO}}$ (la duración de tiempo muy corta de los pulsos de alta potencia emitidos por el al menos un LED 605) desde el PDS. La señal estroboscópica se utiliza para activar cada pulso de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$. En otras palabras, la señal estroboscópica permite trabajar en sincronización entre el sistema de iluminación y el sistema de captura de imágenes. De esta forma, los pulsos de luz emitidos por el al menos un LED 605 se sincronizan con la señal estroboscópica del sistema de captura de imagen 601 (los pulsos de luz emitidos por el al menos un LED 605 se activan en el instante en que cada píxel comienza a capturar un cuadro). Como un ejemplo, Consideremos un sistema de captura de imagen 601 cuyos píxeles tienen un tiempo de exposición $T_{\text{EXP}} = 150$ ms y el vídeo se captura a 4 FPS (fotogramas por segundo, dicho de otra forma, $T_{\text{cuadro}} = 250$ ms). Esto se muestra en la figura 10. Si, por ejemplo, $T_{\text{ENCENDIDO}} = 1$ μ s, con cada nuevo cuadro (es decir, cada 250 ms, dado que T_{cuadro} es el período de tiempo entre dos cuadros de imagen capturados consecutivos) se activa un nuevo pulso LED. Esta activación de cada pulso de duración $T_{\text{ENCENDIDO}} = 1$ μ s se sincroniza con el inicio de cada tiempo de exposición $T_{\text{EXP}} = 150$ ms.

La duración de pulso $T_{\text{ENCENDIDO}}$ se dirige al multiplexor 656 que proporciona en su salida una tensión de referencia de duración la duración de pulso $T_{\text{ENCENDIDO}}$ y una tensión sustancialmente nulo cuando no hay duración de pulso $T_{\text{ENCENDIDO}}$. La duración del tensión nulo depende de los cuadros por segundo (FPS) a los que trabaja la cámara. Por ejemplo, si funciona a 20 FPS, entonces la duración del tensión nulo es de 50 ms. La duración mínima de la tensión nula es de aproximadamente 1 ms. En otras palabras, el multiplexor 656 proporciona una tensión de referencia V_{MUX} durante el tiempo que el al menos un LED 605 debe estar encendido y proporciona una tensión nulo durante el tiempo que el al menos un LED 605 debe estar apagado. Este tensión de referencia V_{MUX} luego se convierte en la corriente de polarización del al menos un LED 605. A continuación se explica cómo se calcula este tensión de referencia V_{MUX} .

Volviendo a los medios de procesamiento 6061, los medios de procesamiento 6061 entregan un PAS a un potenciómetro 651. Como se explica en relación con el algoritmo ilustrado en la figura 9, el valor PAS define el valor tomado por el potenciómetro variable 651, de tal manera que $V_{\text{MUX}} = (\text{resistencia del potenciómetro 651}) / (\text{resistencia del potenciómetro 651} + \text{resistencia de la resistencia 653}) \times V_{\text{cc}}$. Por lo tanto, el PAS se usa para calcular una tensión de referencia V_{MUX} , a su vez, se usa para calcular la corriente $I_{\text{o'}}$ que viaja a través del al menos un LED 605. Esto se hace en el multiplexor 656, en el que se proporciona V_{MUX} o una tensión nulo a los medios de amplificación 657, que proporciona ganancia de destello. Tal como se ha explicado anteriormente, V_{MUX} se proporciona durante el tiempo $T_{\text{ENCENDIDO}}$ del pulso generado por el generador de pulsos 655, mientras que se proporciona una tensión nulo durante el tiempo en que el pulso generado por el generador de pulsos 655 tiene amplitud nula. Esta duración de tiempo se puede denominar T_{APAGADO} . El procesamiento significa que 6061 configura los cuadros por segundo (FPS) en los que trabaja la cámara (CMOS). Estos FPS a su vez arreglan $T_{\text{APAGADO}} = T_{\text{cuadro}} - T_{\text{ENCENDIDO}}$. En la salida de los medios de amplificación 657 se aplica una tensión de activación al circuito transistor mosfet 658, 654, que impulsa finalmente la alta corriente $I_{\text{o'}}$ para uno o más LED 605. Esta alta corriente $I_{\text{o'}}$ se puede encender y apagar muy rápido, permitiendo la generación de pulsos limpios. En una realización preferente, los tiempos de encendido y apagado de $I_{\text{o'}}$ de alta corriente son inferiores al 10 % del tiempo de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$.

Hasta aquí, se ha descrito un circuito, capaz de generar una corriente $I_{\text{o'}}$ entregada a pulsos de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$ (por ejemplo 4 μ s o menos) y que tiene una amplitud alta (por ejemplo 10 A) y $T_{\text{APAGADO}} = T_{\text{cuadro}} - T_{\text{ENCENDIDO}}$, por ejemplo de 20 ms (dependiendo del FPS en el que trabaja la cámara). Sin embargo, para que el sistema de iluminación 205, 305 funcione correctamente en modo RSGS, se requiere que los pulsos de muy alta potencia mantengan su amplitud exactamente durante el tiempo $T_{\text{ENCENDIDO}}$ (pulsos lo más cuadrados posible), como se representa en la figura 6. En otras palabras, $I_{\text{o'}}$ debe cambiar de varios Amperios a 0 Amperios inmediatamente (preferiblemente en menos del 10 % del tiempo de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$) y viceversa. Para cumplir con un requisito tan estricto, el sistema de iluminación 305 comprende un sistema de carga 670 que hace que el sistema de iluminación 305 sea independiente de la unidad de fuente de alimentación y que permite que el sistema de

iluminación 305 funcione con una fuente de corriente de muy baja intensidad (por ejemplo, 100 mA o incluso menos). El sistema de carga 670 almacena energía de tal manera que la corriente $I_{o'}$ está disponible muy rápidamente para activar uno o más LED 605. Por lo tanto, el sistema 670 es un medio de almacenamiento de energía capaz de transferir corriente muy rápidamente. Porque $T_{APAGADO} \gg T_{ENCENDIDO}$, $T_{APAGADO}$ se usa para cargar un condensador, teniendo así la energía requerida para proporcionar corriente $I_{o'}$ lista para ser utilizada. Como apreciará un experto en la materia, la energía almacenada por un condensador viene dada por $E = 1/2 * C * V^2$ en el que $V = V_{Led}$.

El sistema 670 comprende una fuente de alimentación conmutada 659 que, desde una fuente de alimentación de CC común externa V_{salida} proporcionada por el sistema industrial en el que está integrado el sistema de supervisión o inspección 1 (figura 1), genera una corriente baja I_{int} y tensión V_{int} (tensión V_{int} en la salida de la fuente de alimentación conmutada 659). Una típica tensión V_{salida} proporcionada por el sistema industrial es, por ejemplo, 24 V. Los valores típicos alternativos de V_{salida} son 5 V y 12 V. En otras palabras, la tensión V_{int} es una tensión intermedio generado para permitir la carga "baja" del condensador 662. En una realización a modo de ejemplo, V_{int} varía entre 30 y 40 V. V_{int} puede variar según la configuración de los diodos LED 605 (configuración en serie o en paralelo). Esto significa que, aunque el sistema de iluminación 305 necesita lo actual (por ejemplo, 10 A), una fuente de alimentación conmutada 659 solo puede proporcionar una corriente baja I_{int} . Esta baja corriente I_{int} está limitada por la resistencia 661 y establece la velocidad de carga del condensador 662. En otras palabras, la resistencia 661 regula la corriente I_{int} porque V_{int} es normalmente fija (valor de diseño). En realizaciones de la invención, baja corriente I_{int} varía entre 1 mA y 50 mA. Cuanto mayor es la corriente I_{int} , cuanto más rápido se cargue el condensador 662. Puede haber uno o más condensadores 662. En otras palabras, el condensador 662 funciona como un medio de almacenamiento de energía de pulso, mientras que la resistencia 661 regula la velocidad de carga del medio de almacenamiento de energía de pulso 662 ($I_{int} = V_{int}/\text{valor de resistencia de 661}$). El circuito RC (661, 662) está configurado de tal manera que el condensador 662 se carga completamente en un tiempo T menor que T_{EXP} (T_{EXP} depende del sistema de captura de imágenes). Por lo tanto, cuando el condensador 662 está completamente cargado, almacena suficiente energía para conmutar la corriente de $I_{o'}$ manteniendo el V_{Led} estable. En otras palabras, V_{Led} funciona como la fuente que proporciona la $I_{o'}$ actual impuesta por los medios de procesamiento 6061 (a través de PAS). V_{Led} es V_{int} pero con capacidad de proporcionar una corriente alta a través de la energía almacenada en los condensadores 662. Finalmente, V_{cc} es la tensión para alimentar los circuitos electrónicos restantes (un valor típico de V_{cc} es 3,3 V).

La figura 11 muestra una comparación del rendimiento de un sistema según la invención (derecha) frente a un sistema convencional basado en obturador rodante (izquierda). En ambos casos, la velocidad de cuadros = 42 fps ($T_{cuadro} = 1/42 = 23$ ms) y el tiempo de exposición $T_{EXP} = T_{cuadro} = 23$ ms. Usando un sistema convencional (izquierda), tener el destello siempre encendido ($T_{ENCENDIDO} = 23$ ms (100 %)). Los objetos (burbujas) capturados por el sistema de captura de imágenes y procesados en los medios de procesamiento están distorsionados. En otras palabras, con un tiempo de exposición (es decir, un tiempo de encendido) de 23 ms, Los objetos en movimiento aparecen distorsionados. En este caso, el brillo (o contraste) de la imagen está determinado por los 23 ms de tiempo de exposición (T_{EXP}). En el sistema convencional (izquierda), $I_{o'} = 200$ mA. Por el contrario, utilizando un sistema de acuerdo con la invención (derecha), que tiene una duración de destello ($T_{ENCENDIDO} = 4$ μ s (es decir, en el orden de 0,01 % de T_{cuadro})), los objetos (burbujas) capturados por el sistema de captura de imágenes y procesados en los medios de procesamiento no están distorsionados. En este caso (derecha), $I_{o'} = 10$ A. En este caso, el tiempo efectivo de exposición se define por la duración del destello de 4 μ s ($T_{ENCENDIDO}$), a pesar de que el tiempo de exposición (T_{EXP}) del CMOS es de 23 ms, permitiendo que los objetos en movimiento sean mucho más claros. Lo que es más, el brillo de la imagen también está determinado por el pulso del destello porque la duración del destello ($T_{ENCENDIDO}$) y su potencia ($I_{o'}$) determinan la cantidad de luz recibida por el CMOS y, por lo tanto, el brillo de la imagen. Se observa en este caso que ha sido necesario amplificar 50 veces la potencia de iluminación (x50) (de 200 mA a 10 A) para obtener un contraste similar al de la izquierda. Sin embargo, en términos de vida del LED, es mucho mejor operar con pulsos cortos de corriente más alta que con 100 % encendido con corriente más baja, debido al sobrecalentamiento que ocurre con el LED siempre encendido.

En suma, el sistema de la invención ha logrado la detección de objetos en movimiento que tienen una dimensión más grande tan pequeña como 1 μ m a caudales de hasta 40 m/s en fluidos opacos y la determinación de su tamaño y forma, siempre que el sistema de captura de imágenes reciba suficiente potencia ($\alpha T_{ENCENDIDO}$ e $I_{o'}$) para que las imágenes fluidas y los objetos suspendidos en ellas tengan suficiente contraste para su correcta discriminación, y que la duración del destello (duración de los pulsos de luz) sea muy corta para obtener una captura clara de los objetos suspendidos en el fluido. Esto se logra mediante un sistema de iluminación que suministra pulsos de muy alta potencia (que varían entre 20 mA y 20 A) durante instantes de tiempo muy cortos (que varían entre 50 ns y 50 μ s). Los objetos microscópicos mostrados en las imágenes capturadas por el sistema de captura de imágenes 601 tienen sustancialmente la forma de los objetos microscópicos originales ubicados en el fluido que fluye. Esto permite la detección posterior de su tamaño real y la identificación de la forma real de los objetos microscópicos originales suspendidos en el fluido que fluye por medio de técnicas que están fuera del alcance de la presente invención.

A lo largo de este documento, la palabra "comprende" y sus variantes (como "que comprende", etc.) no debe interpretarse como que tiene un significado exclusivo, en otras palabras, no excluyen la posibilidad de que lo que se describe incorpore otros elementos, etapas, etc.

Al mismo tiempo, la invención no se limita a las realizaciones específicas descritas aquí y también se extiende, por ejemplo, a variantes que pueden ser realizadas por una persona promedio experta en la técnica (por ejemplo, con respecto a la elección de materiales, las dimensiones, componentes, la configuración, etc.), dentro del ámbito de lo que se infiere de las reivindicaciones.

5

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (1) para detectar objetos microscópicos ubicados en un fluido que fluye, comprendiendo el sistema (1):

5 un sistema de iluminación (205, 305) que comprende al menos un diodo LED (605) y configurado para suministrar luz al fluido que fluye;
 un sistema de captura de imágenes (201, 601) situado en el lado opuesto del fluido que fluye con respecto al sistema de iluminación (205, 305), estando dicho sistema de captura de imágenes (201, 601) configurado para
 10 capturar una secuencia de imágenes del fluido que fluye, comprendiendo dicho sistema de captura de imágenes (201, 601) una cámara que a su vez comprende una pluralidad de píxeles;
 medios de procesamiento (2061, 6061) configurados para procesar dicha secuencia de imágenes y para determinar la presencia de objetos microscópicos dentro de dicho fluido que fluye y la forma de los objetos microscópicos,
 15 estando el sistema (1) **caracterizado por que** dicho sistema de iluminación (205, 305) está configurado para suministrar pulsos de luz de alta potencia que tienen una amplitud I_0 y una duración de tiempo $T_{ENCENDIDO}$ que varía entre 50 ns y 50 μ s, sincronizándose el instante de tiempo en el que se activan dichos pulsos con los instantes de tiempo en los que los píxeles en el sistema de captura de imágenes (601) comienzan a capturar un cuadro de imagen, en el que dichos medios de procesamiento (2061, 6061) están configurados para controlar dicha amplitud I_0 y duración de tiempo $T_{ENCENDIDO}$ de los pulsos de luz suministrados por el sistema de
 20 iluminación (205, 305) desde dichas imágenes capturadas por dicho sistema de captura de imágenes (201, 601), realizándose dicho control de amplitud I_0 y duración de tiempo $T_{ENCENDIDO}$ por medios (613) para calcular, a partir de la intensidad de la luz (LUMA) de cada cuadro de imagen capturado, un punto de ajuste de amplitud de pulso PAS y un punto de ajuste de duración de pulso PDS para ajustar los potenciómetros (651, 652) respectivos configurados para fijar respectivamente la amplitud I_0 y la duración de pulso $T_{ENCENDIDO}$ de los pulsos de luz
 25 suministrados por el sistema de iluminación (205, 305), estando configurados dichos medios (613) para calcular el punto de ajuste de amplitud de pulso PAS y el punto de ajuste de duración de pulso PDS para ejecutar un algoritmo que prioriza aumentos de amplitud sobre aumentos de duración de pulso, comprendiendo dicho sistema de iluminación (305) además un sistema de carga de energía (670) configurado para hacer que el requisito de amplitud y el tiempo de respuesta del sistema de iluminación (305) sean independientes de una
 30 unidad de suministro de energía (V_{salida}) del sistema (1).

2. El sistema (1) según la reivindicación 1, en el que dicho sistema de captura de imágenes (601) está configurado para proporcionar dichos medios de procesamiento (6061) con un cuadro de imagen (Cuadro) capturado cada T_{cuadro} segundos, T_{cuadro} siendo mayor o igual que T_{EXP} , en el que T_{EXP} es el tiempo de exposición de los píxeles comprendidos en dicho sistema de captura de imágenes (601).

3. El sistema (1) según las reivindicaciones 1 o 2, en donde dicho sistema de iluminación (305) comprende un generador de pulsos (655) para generar a partir de dicho punto de ajuste de duración de pulso PDS y a partir de una señal estroboscópica proporcionada por dicho sistema de captura de imágenes (601), teniendo una señal pulsada un
 40 período T_{cuadro} y teniendo pulsos de duración $T_{ENCENDIDO}$, obteniéndose dicha duración $T_{ENCENDIDO}$ de dicho punto de ajuste de duración de pulso PDS y usándose dicha señal estroboscópica para sincronizar los pulsos de duración $T_{ENCENDIDO}$ con el instante de tiempo en el que los píxeles en el sistema de captura de imágenes (601) comienzan a capturar un cuadro de imagen.

4. El sistema (1) según la reivindicación 3, en el que el generador de pulsos (655) se implementa con un solo monoestable reactivable, en donde dicho monoestable reactivable individual forma, junto con el potenciómetro (652) ajustable por el punto de ajuste de duración del pulso PDS, una red RC configurada para fijar dicha duración de pulso $T_{ENCENDIDO}$.

5. El sistema (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho sistema de iluminación (305) comprende además un multiplexor (656) configurado para proporcionar una tensión de referencia (V_{MUX}) de duración $T_{ENCENDIDO}$, o una tensión sustancialmente nulo de duración $T_{cuadro} - T_{ENCENDIDO}$, en donde dicha tensión de referencia (V_{MUX}) se calcula a partir de dicho punto de ajuste de amplitud de pulso PAS obtenido en dicho medio de procesamiento (6061), utilizándose dicha tensión de referencia (V_{MUX}) para obtener una corriente de polarización de
 55 dicho al menos un LED (605).

6. El sistema (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho sistema de carga de energía (670) comprende una fuente de alimentación de modo conmutado (659) configurada para proporcionar una tensión (V_{int}) y una corriente baja (I_{int}) desde una fuente de alimentación de CC externa (V_{salida}); y una red RC que comprende al menos un condensador (662) y una resistencia (661), en donde dicho al menos un condensador (662) funciona como un medio de almacenamiento de energía de pulso y dicha resistencia (661) regula la velocidad de carga de los medios de almacenamiento de energía de pulso, estando dicha red RC configurada para que el al menos un condensador (662) se cargue completamente en una duración de tiempo $T_{cuadro} - T_{ENCENDIDO}$, en donde T_{cuadro} es el período de tiempo entre dos cuadros de imagen consecutivos capturados por el sistema de captura de
 65 imágenes (601), proporcionando así la fuente de alimentación de modo conmutado (659) una tensión (V_{led}) que a su vez permite proporcionar a dicho al menos un LED (605) dicha corriente I_0 .

7. El sistema (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un difusor (204) situado entre el sistema de iluminación (205, 305) y el flujo de fluido (21), configurado para proporcionar iluminación homogénea al área a iluminar.
8. El sistema (1) según la reivindicación 7, en el que dicho difusor (204) está situado cerrando y sellando un orificio hecho en el tubo a través del cual fluye el fluido (21).
9. El sistema (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una lente (202) situada entre el sistema de captura de imágenes (201, 601) y el flujo de fluido (21), configurado para enfocar las imágenes capturadas.
10. El sistema (1) según la reivindicación 9, que comprende además un dispositivo de calibración (203) situado entre la lente (202) y el flujo de fluido (21).
11. El sistema (1) según cualquier reivindicación anterior, en el que dichos medios de procesamiento (2061, 6061) están configurados para determinar la presencia y la forma de objetos que tienen una dimensión máxima menor de 20 μm .
12. El sistema (1) según cualquier reivindicación anterior, en el que los pulsos de luz suministrados por el sistema de iluminación (305) tienen una amplitud I_0 que varía entre 20 mA y 20 A.
13. Un método para detectar objetos microscópicos ubicados en un fluido que fluye, que comprende:
- suministrar (205, 305) luz emitida por al menos un LED (605) a un fluido que fluye y tiene objetos microscópicos suspendidos en el mismo;
- capturar una secuencia de imágenes del fluido que fluye por medio de un sistema de captura de imágenes (601) que comprende una pluralidad de píxeles;
- procesar dicha secuencia de imágenes y determinar la presencia de objetos microscópicos dentro de dicho fluido que fluye y su forma, estando el método **caracterizado por**:
- en dicho sistema de captura de imágenes (601), capturando un cuadro de imagen cada T_{cuadro} segundos, T_{cuadro} siendo mayor o igual que T_{EXP} , en el que T_{EXP} es el tiempo de exposición de dichos píxeles comprendidos en dicho sistema de captura de imágenes (601);
- proporcionar una señal estroboscópica desde dicho sistema de captura de imágenes (601);
- para cada cuadro, calcular un punto de ajuste de amplitud de pulso PAS y un punto de ajuste de duración de pulso PDS a partir de la intensidad de cada cuadro (LUMA) ejecutando un algoritmo que prioriza aumentos en la amplitud del pulso en lugar de aumentos en la duración del pulso;
- en un generador de pulsos (655), recibir dicho punto de ajuste PDS de duración de pulso y generar a partir de dicho punto de ajuste PDS de duración de pulso y de dicha señal estroboscópica una señal de pulso que tiene un período T_{cuadro} y que tiene pulsos de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$, en donde $T_{\text{ENCENDIDO}}$ varía entre 50 ns y 50 μs , obteniéndose dicha duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$ de dicho punto de ajuste de duración de pulso PDS y usándose dicha señal estroboscópica para sincronizar los pulsos de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$ con el instante de tiempo en el que los píxeles en el sistema de captura de imágenes (601) comienzan a capturar una imagen;
- calcular una tensión de referencia (V_{MUX}) de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$ desde dicho punto de ajuste de amplitud de pulso PAS, utilizándose dicha tensión de referencia (V_{MUX}) para obtener una corriente de polarización de dicho al menos un LED (605);
- proporcionar (670) una tensión (V_{led}) que permite proporcionar una corriente I_0 a dicho al menos un LED (605) con pulsos de duración $T_{\text{ENCENDIDO}}$, proporcionándose dicha tensión (V_{led}) por una red RC (661, 662) que comprende al menos un condensador (662) y una resistencia (661), en donde dicho al menos un condensador (662) funciona como un medio de almacenamiento de energía de pulso y dicha resistencia (661) regula la velocidad de carga de un medio de almacenamiento de energía de pulso, estando dicha red RC configurada para que el al menos un condensador (662) se cargue completamente en una duración de tiempo $T_{\text{cuadro}} - T_{\text{ENCENDIDO}}$, en el que T_{cuadro} es el período de tiempo entre dos cuadros de imagen consecutivos capturados por el sistema de captura de imágenes (601).
14. El método de la reivindicación 13, en el que dicha etapa de, para cada cuadro, calcular un punto de ajuste de amplitud de pulso PAS y un punto de ajuste de duración de pulso PDS a partir de la intensidad de cada cuadro (LUMA), se realiza de la siguiente manera:
- a partir del PAS actual (901), PDS (902) y luminancia (903) generados con dichos PAS (901) y PDS (902), comprobar (906) si la luminancia actual (903) está dentro de un rango de diseño $LUMA_{\text{MIN}} < LUMA_{\text{actual}} < LUMA_{\text{MAX}}$;
- si $LUMA_{\text{MIN}} < LUMA_{\text{actual}} < LUMA_{\text{MAX}}$, entonces (907) no se requiere control;
- de lo contrario, se verifica (909) si la desviación con respecto al rango de diseño ($LUMA_{\text{MIN}}$, $LUMA_{\text{MAX}}$) dura más

que un tiempo de histéresis (908), siendo el tiempo de histéresis (908) un parámetro de diseño, y

si la luminancia actual está fuera del rango de diseño por un tiempo menor que el tiempo de histéresis (908) definido, entonces (910) no se requiere control;

5 de lo contrario, se verifica (911) si el punto de ajuste de amplitud de pulso actual PAS corresponde o no a un valor máximo de intensidad (911) y,

si no, luego (912) se realiza el siguiente cálculo: $\text{nuevo_PAS} = (I_{\text{cuadro}} - I_{\text{cuadro_punto de ajuste}}) \times \text{Ganancia_PAS}$, en donde I_{cuadro} es la corriente real, $I_{\text{cuadro_punto de ajuste}}$ es la intensidad del cuadro a alcanzar y Ganancia_PAS es una ganancia a aplicar, usándose el valor nuevo_PAS (914) para actualizar dicho potenciómetro (651);

10

si el punto de ajuste actual de la amplitud del pulso PAS corresponde a un valor máximo de intensidad (911), la duración del pulso se ajusta de la siguiente manera (913): $\text{nuevo_PDS} = (I_{\text{cuadro}} - I_{\text{cuadro_punto de ajuste}}) \times \text{Ganancia_PDS}$, usándose el valor de nuevo_PDS (915) para actualizar dicho potenciómetro (652).

15 15. Un programa informático que comprende medios de código de programa informático adaptado para realizar las etapas del método de acuerdo con las reivindicaciones 13 o 14 cuando dicho programa se ejecuta en un sistema de acuerdo con la reivindicación 1.

20

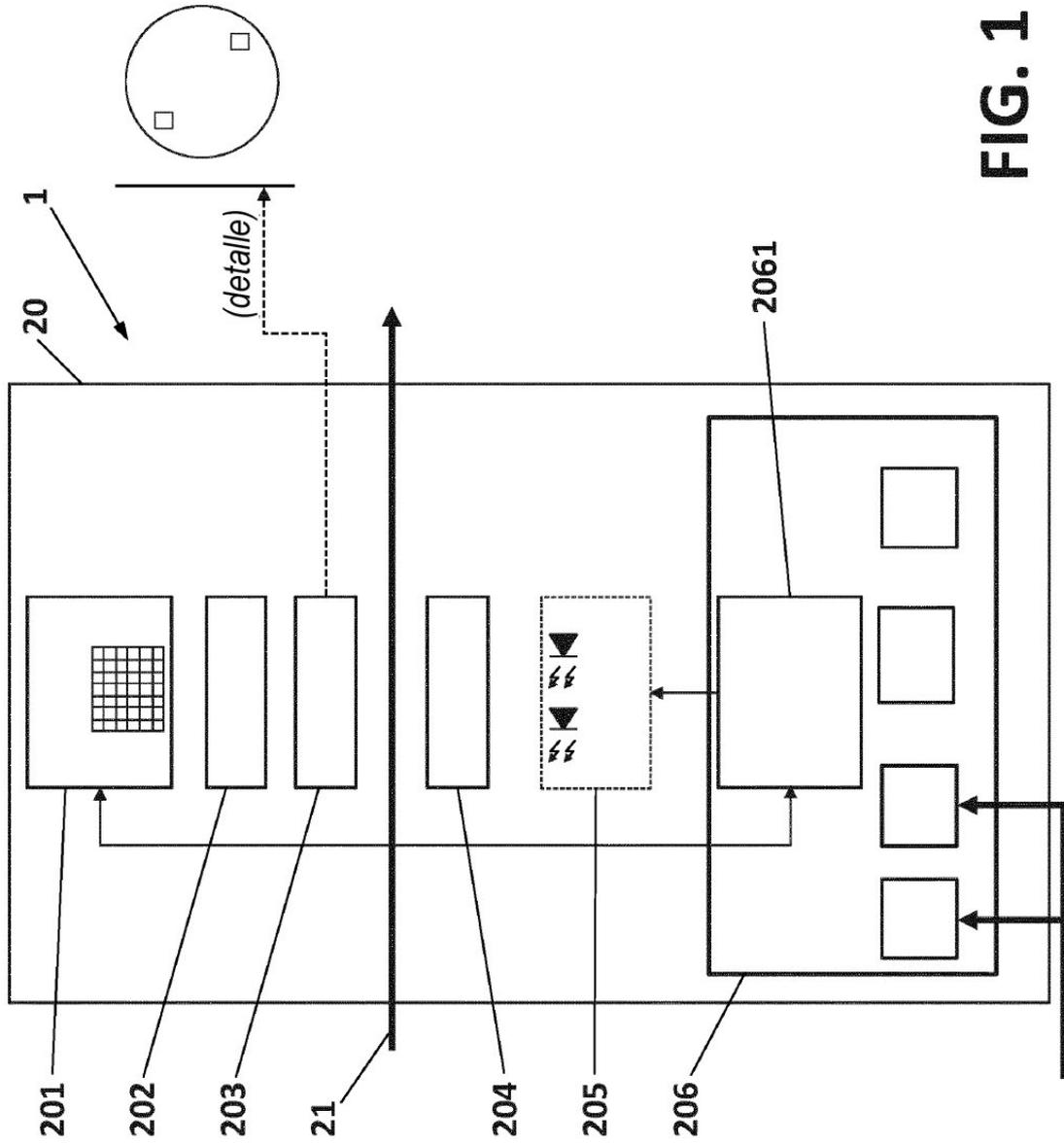


FIG. 1

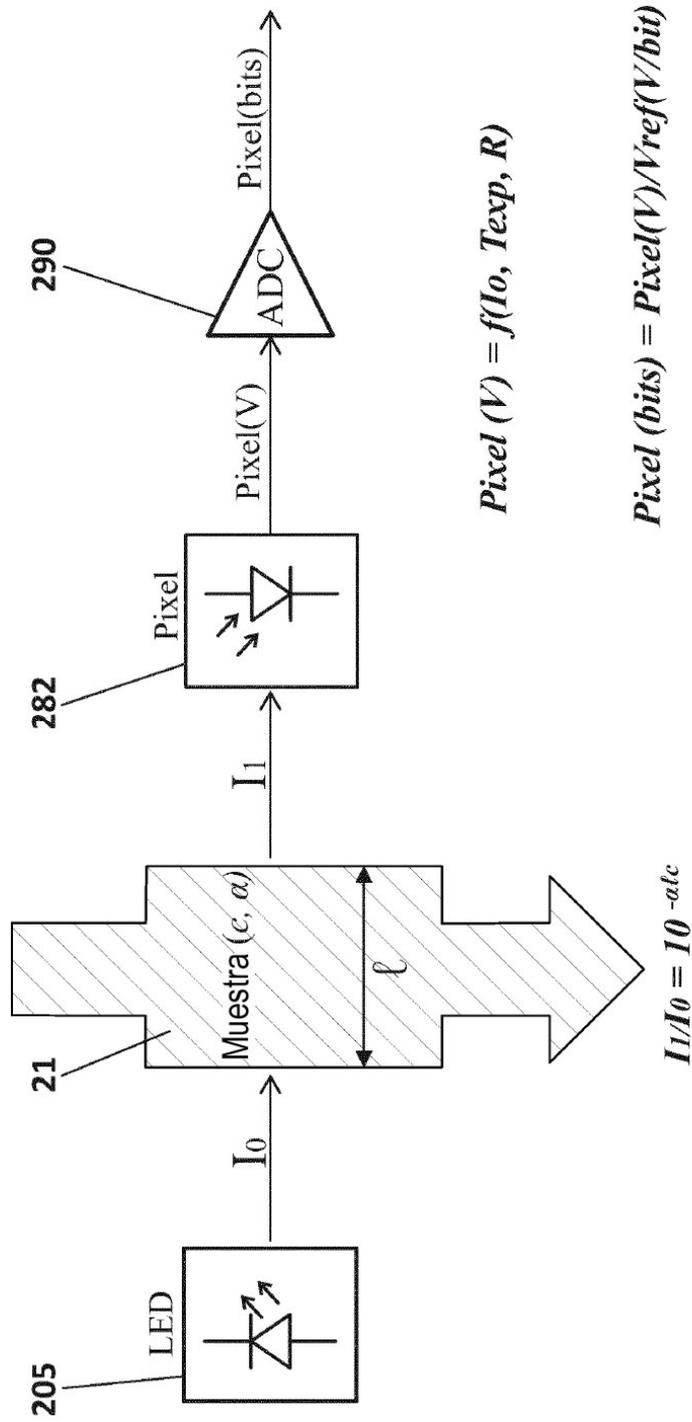


FIG. 2

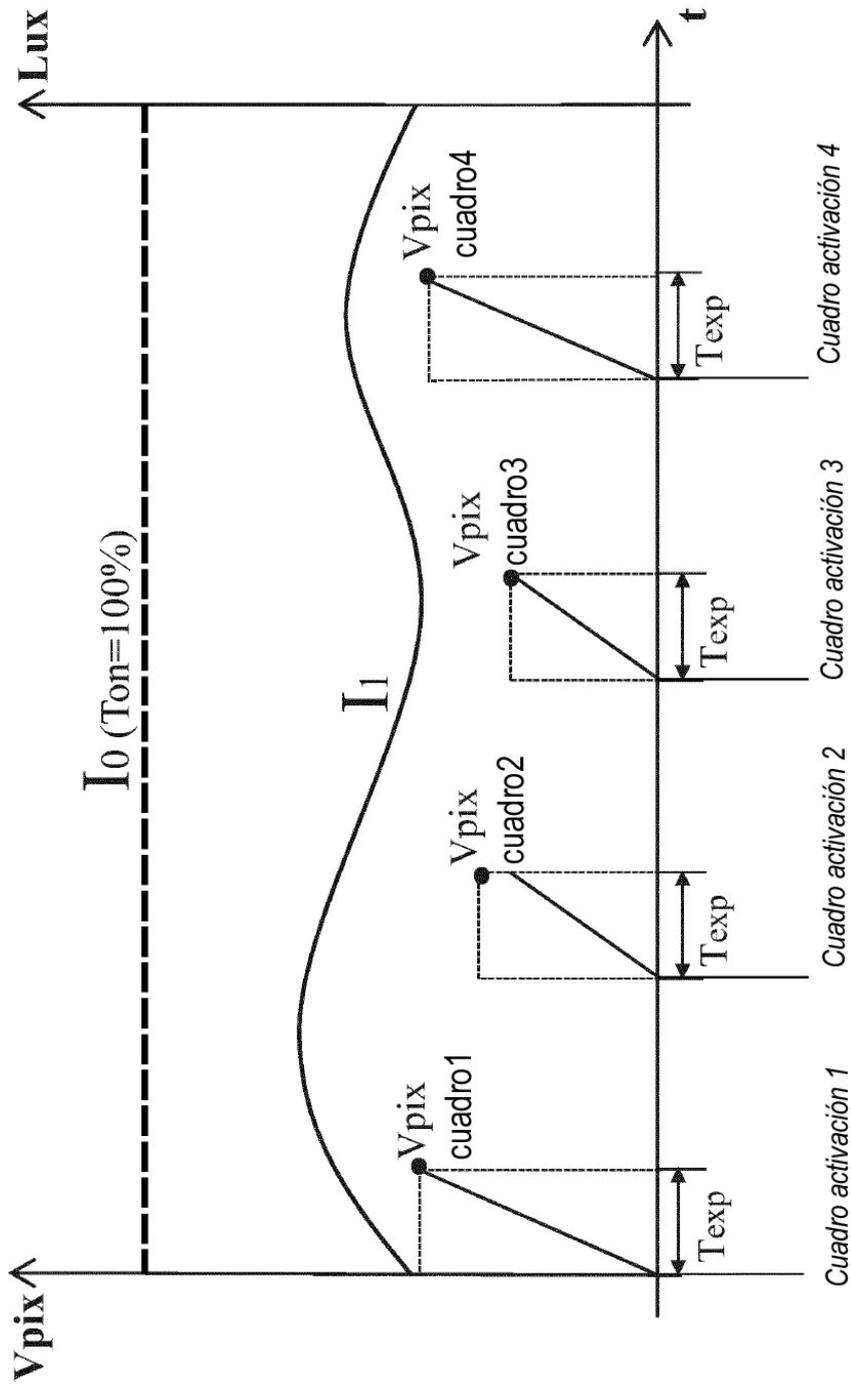


FIG. 3

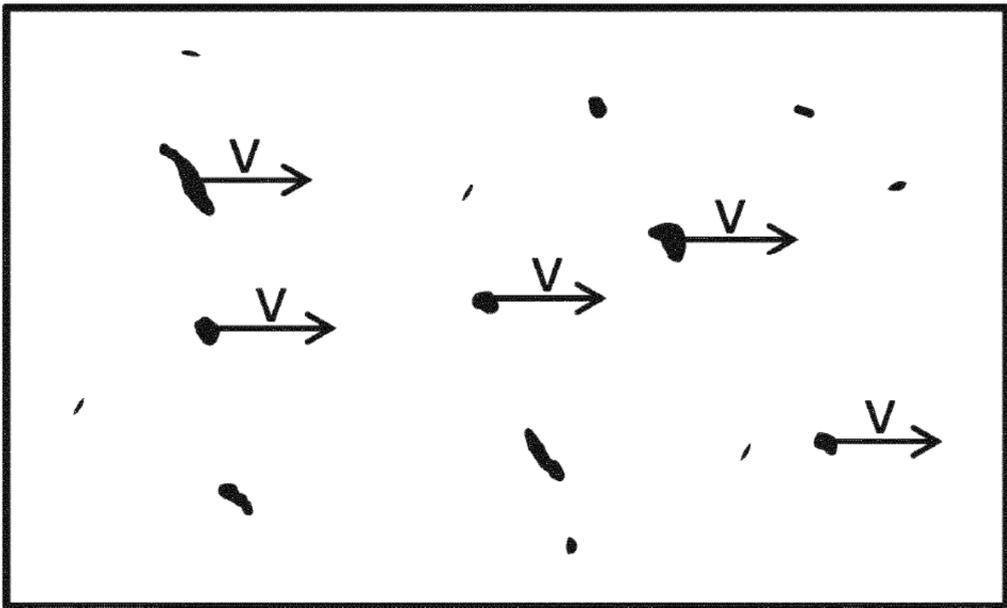


FIG. 4

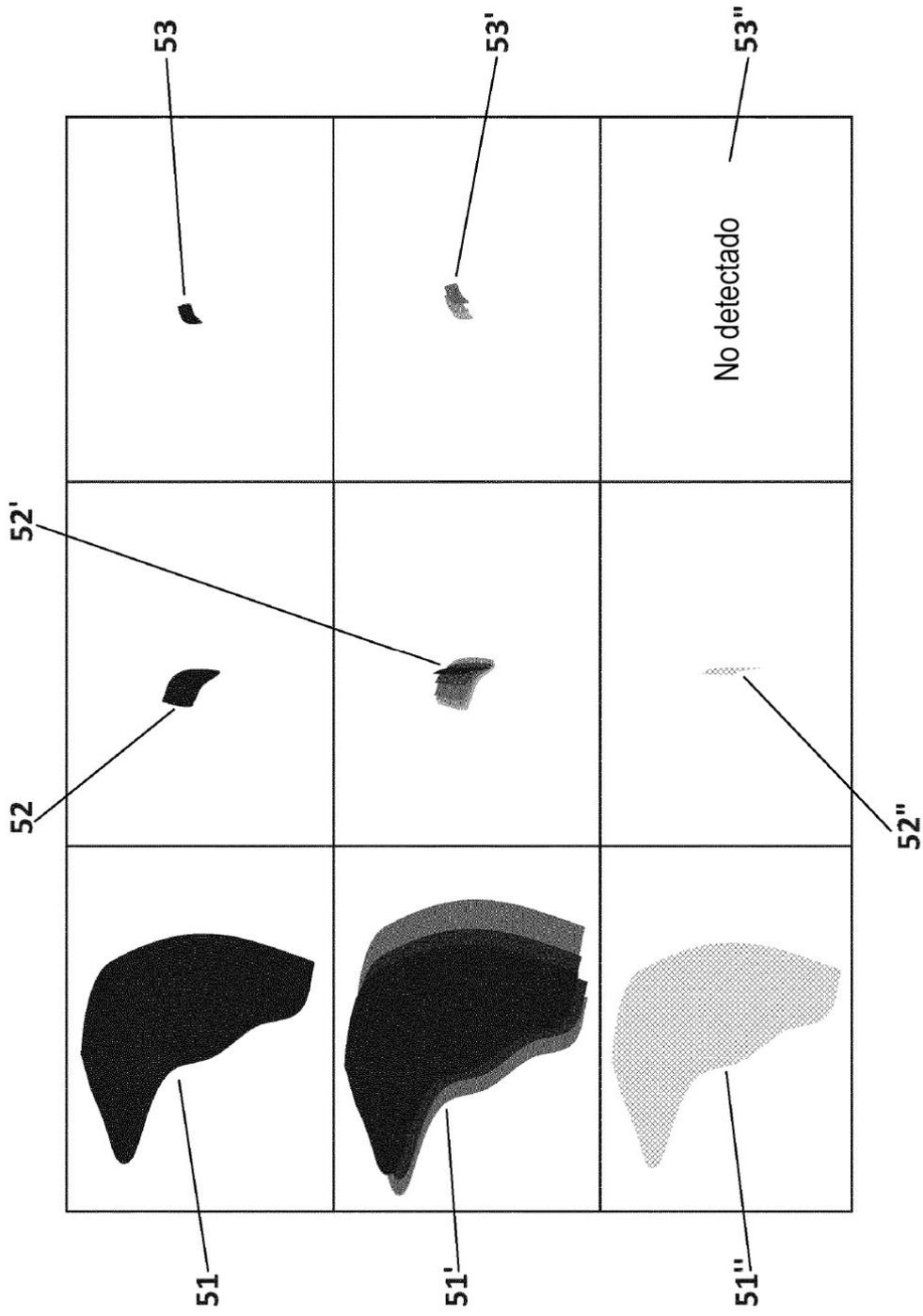


FIG. 5

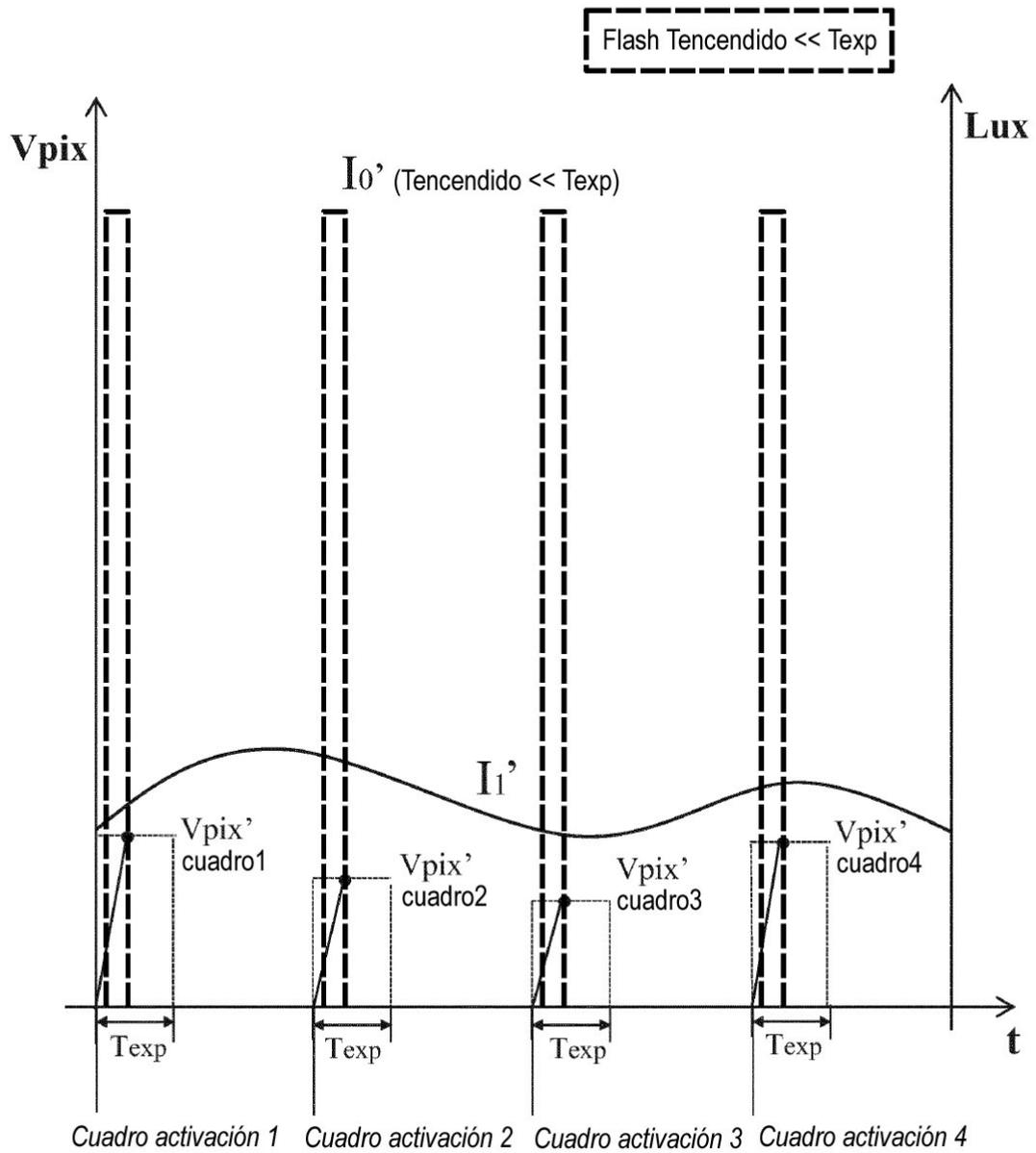


FIG. 6

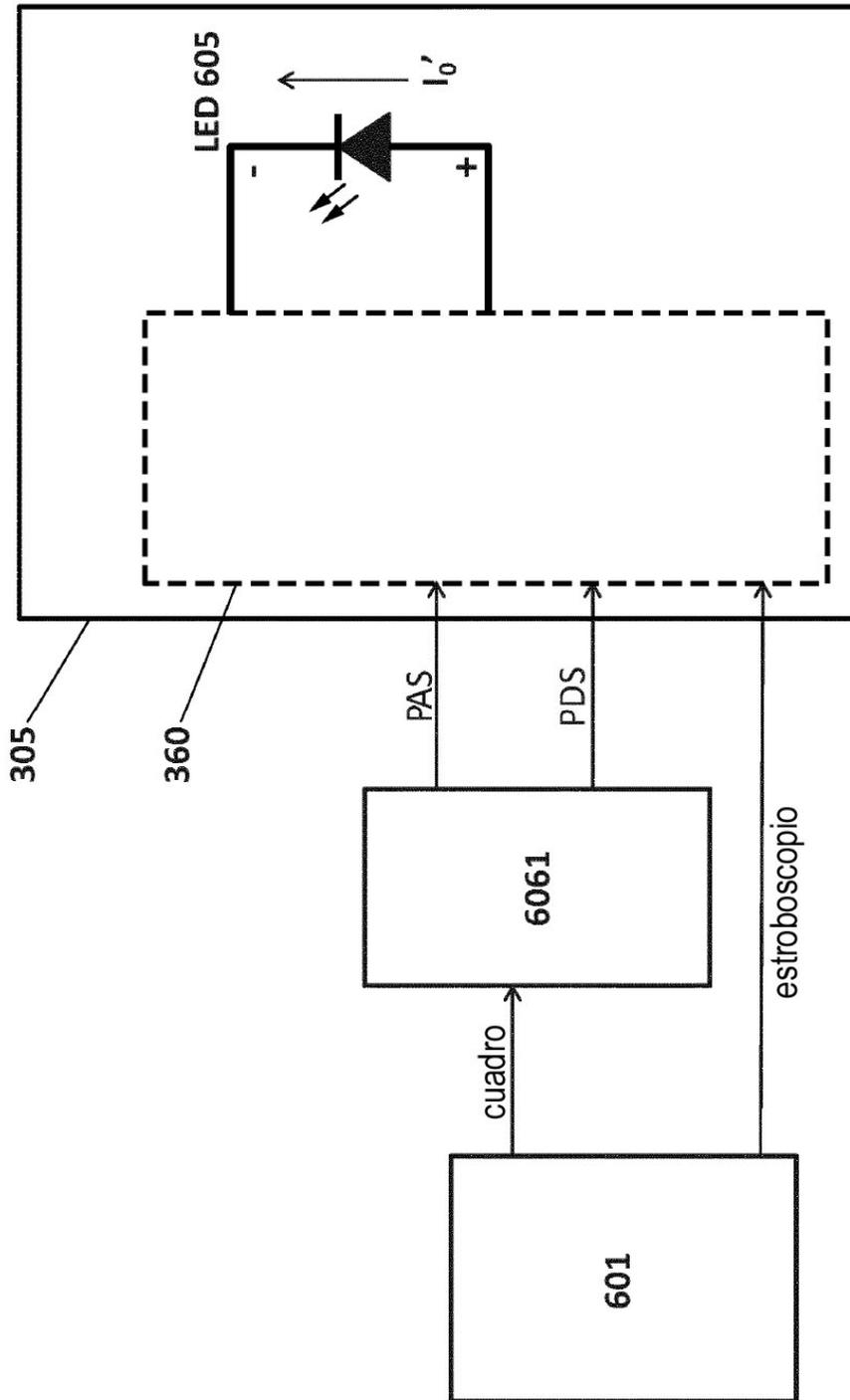


FIG. 7

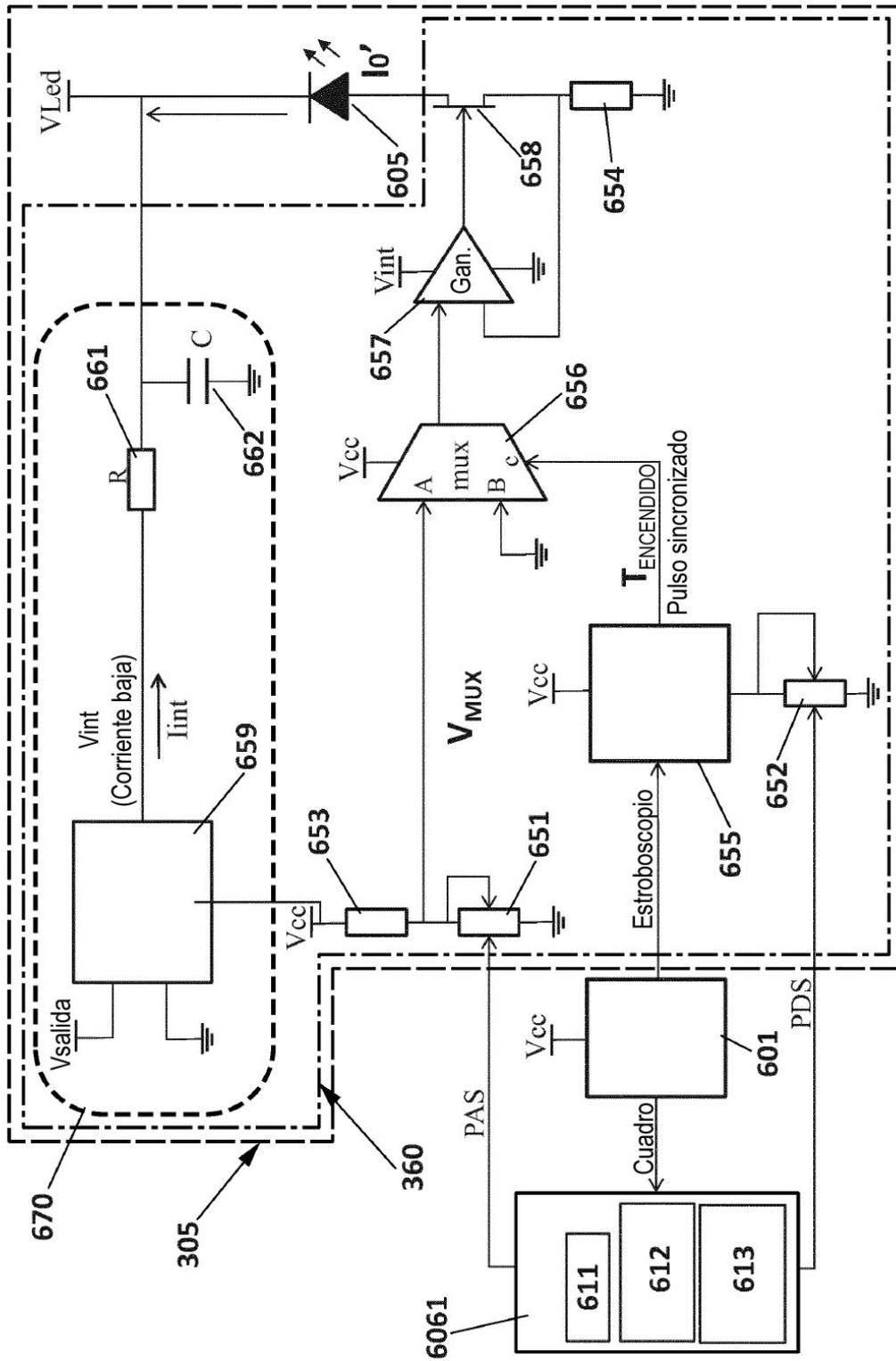


FIG. 8

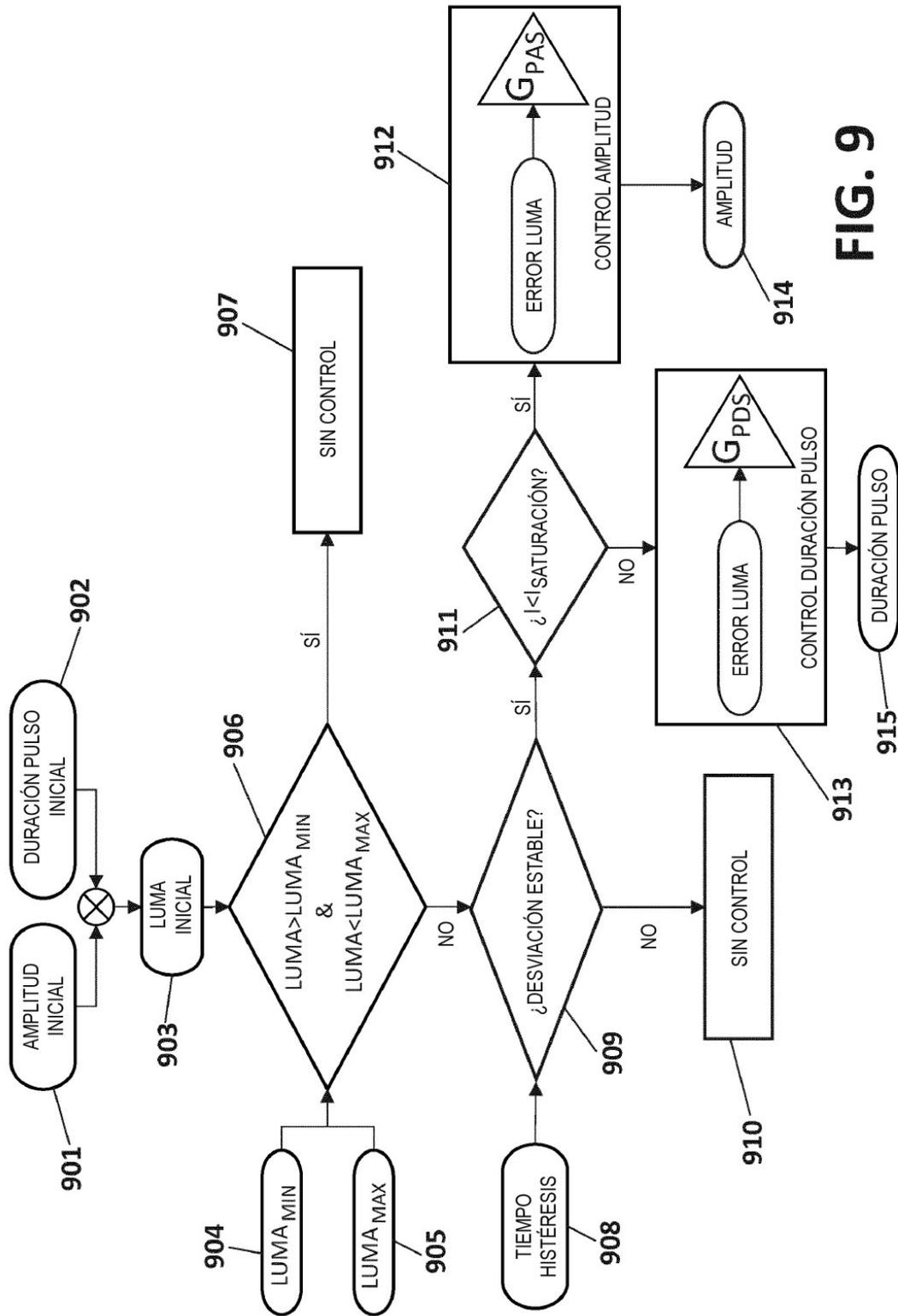


FIG. 9

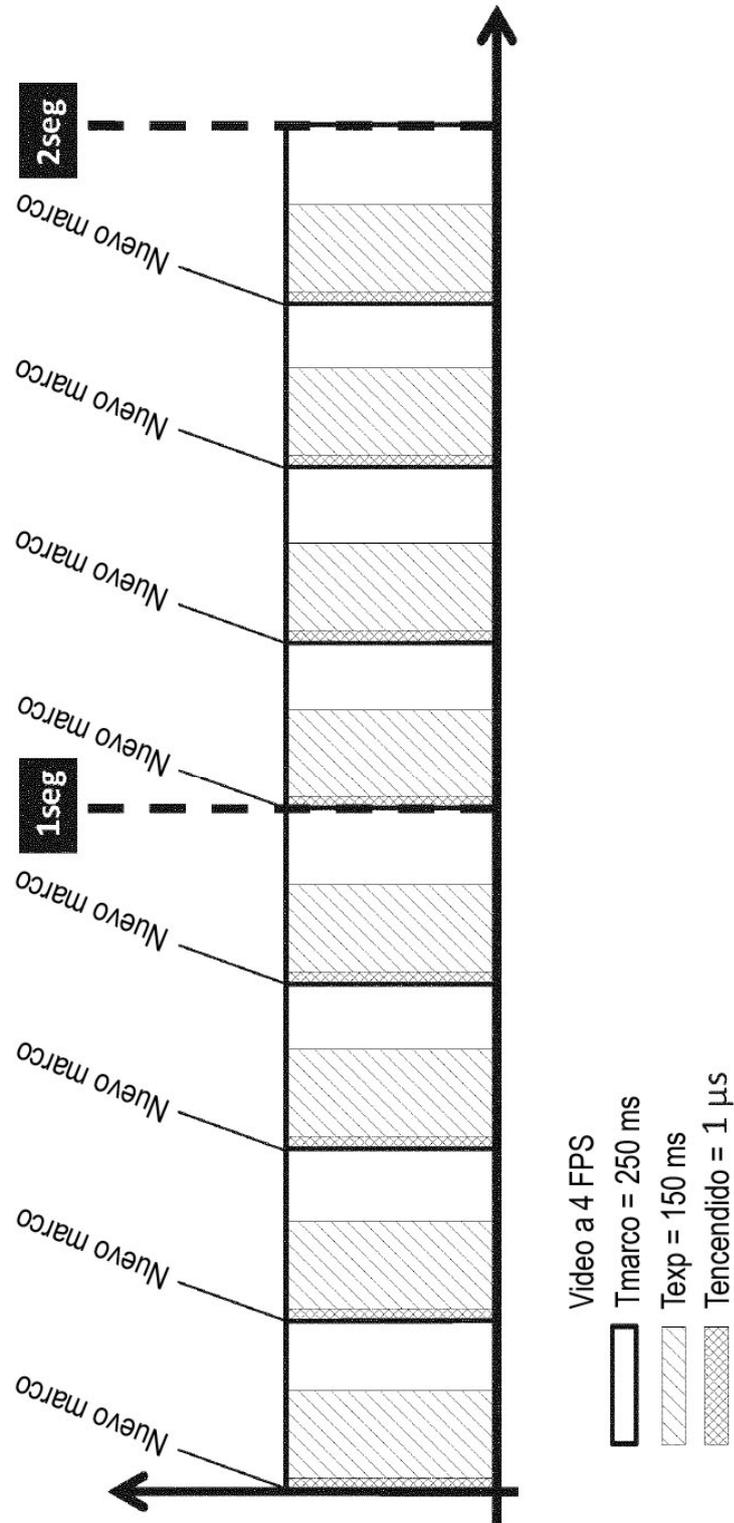


FIG. 10

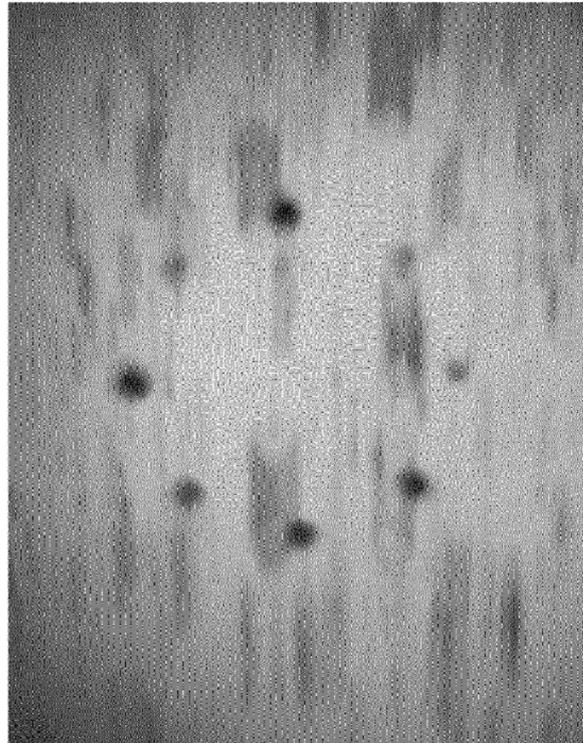
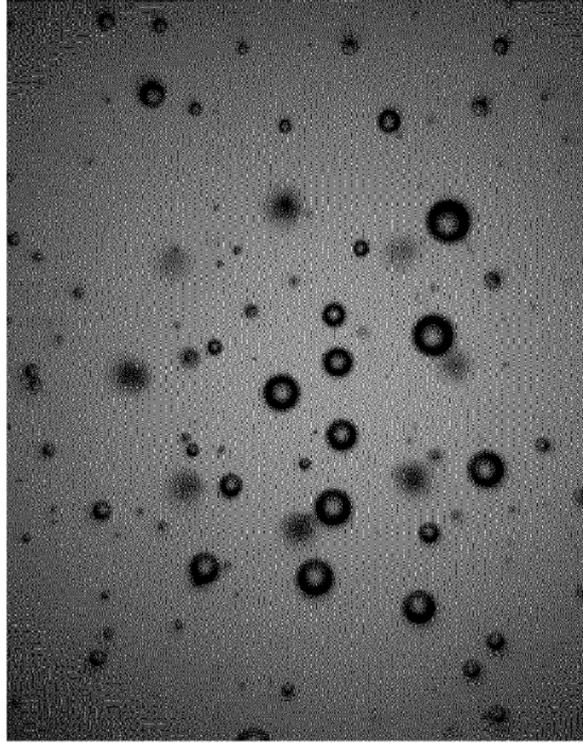


FIG. 11