

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 949 295**

51 Int. Cl.:

**G01N 15/02** (2006.01)

**G01N 33/28** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.03.2013** **PCT/ES2013/070207**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.10.2014** **WO14154915**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2013** **E 13734813 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023** **EP 2980557**

54 Título: **Sistema y método de monitorización de un aceite**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.09.2023**

73 Titular/es:  
**ATTEN2 ADVANCED MONITORING  
TECHNOLOGIES S.L.U. (100.0%)  
Calle Inaki Goenaga 5  
20600 Eibar Guipuzcoa, ES**

72 Inventor/es:  
**GORRITXATEGI, ENEKO y  
MABE, JON**

74 Agente/Representante:  
**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 949 295 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 y método de monitorización de un aceite

### 5 Campo técnico

La presente invención pertenece al campo de la monitorización de fluidos para determinar su estado general, tanto desde el punto de vista de degradación como de contenido de partículas. Más en concreto, pertenece al campo de la monitorización de aceites, en particular lubricantes, para obtener a partir de dicha monitorización el estado de degradación de los mismos, así como para obtener información de la maquinaria que esos aceites lubrican a partir de su contenido de partículas.

### Antecedentes de la invención

La maquinaria industrial, ya sean motores o turbinas generadores de energía, compresores, multiplicadoras, etc. sufren paradas imprevistas y fallos, en muchos casos asociados a aspectos relacionados con la lubricación. La reducción de la vida de servicio de esta maquinaria industrial produce con frecuencia costes innecesarios de mantenimiento. Las metodologías actuales de medición "off-line" (análisis de muestras de aceite en laboratorio) no proporcionan una detección suficientemente temprana del proceso de degradación debido a la baja frecuencia con que habitualmente se toman las medidas. Además, en muchos entornos (transporte, industrial, energía...) esta metodología de control implica una carga logística y económica significativa. Para hacer frente a este problema, se está tratando de desarrollar una nueva generación de sensores que sea capaz de realizar el análisis del estado de la máquina en tiempo real.

La maquinaria crítica puede beneficiarse de un aumento de fiabilidad, reducción de costes de mantenimiento e identificación temprana de problemas mediante el uso de sensores inteligentes.

El aceite lubricante es uno de los componentes clave dentro de algunas de estas máquinas y aporta mucha información respecto al estado en el que se encuentra la máquina. El calentamiento del aceite, por ejemplo, puede ser indicativo de que la máquina no está operando en condiciones óptimas, y la existencia de partículas en el aceite puede indicar un fallo futuro o desgastes importantes en los componentes que están siendo lubricados. Incluso podría indicar la existencia de roturas o fallos en las juntas que permiten la entrada de contaminantes externos.

Algunos de los parámetros que puede ser interesante monitorizar en un aceite lubricante son los siguientes: la determinación de partículas (por ejemplo, su cuantificación, su clasificación por tamaño o la determinación de su forma), el contenido de burbujas en el sistema o la degradación del aceite en función del color. A continuación, detallamos brevemente estos parámetros.

La determinación de partículas en los sistemas lubricados es un aspecto clave en muchos sectores y aplicaciones, ya que las partículas aportan información sobre el estado de la máquina que se está monitorizando. Es decir, la detección de partículas en el aceite es indicativo en muchos casos de una situación que generará un fallo futuro o rotura en la máquina, o la presencia de un fallo en filtros o juntas.

Actualmente, la mayoría de estos sistemas lubricados instalan soluciones de filtración que eliminan las partículas del sistema de lubricación. No obstante, los sistemas de filtración no actúan en la causa raíz del problema, sino que se limitan a reducir las consecuencias de la generación de partículas, cuya existencia en el sistema de lubricación puede acentuar la generación de problemas más graves. Por otro lado, los sistemas de filtrado presentan una serie de limitaciones: se pueden colmar o saturar, no siendo capaces de eliminar más partículas.

Tradicionalmente se han utilizado técnicas de laboratorio para determinar la cantidad y tipo de partículas de desgaste existentes en un lubricante, así como su clasificación por tamaños. Posteriormente han ido apareciendo diferentes tecnologías para detección on-line de partículas, tales como:

Detectores por bloqueo de luz: Son sistemas que se basan en la disminución de intensidad recibida por los detectores cuando pasa una partícula por la celda de medida donde se está incidiendo un haz de luz. No se recoge imagen, sino que se observa esta reducción de luz, principalmente en alguna longitud de onda. No es posible determinar la forma de las partículas, pero sí su dimensión. El principal problema de estos sistemas es la presencia de agua o burbujas de aire, que se contabilizan como partículas.

Detectores por bloqueo de poro: También utilizan detección óptica, pero sin recoger imagen. Pero antes de ello se hace pasar el aceite por una malla (10 micras aprox.) para clasificarlo evitando la presencia de burbujas de agua y aire en el momento que se realiza la medida.

Detectores magnéticos/Eléctricos: Sensores que utilizan un principio magnético para detectar las partículas ferromagnéticas sobre el fluido, haciendo pasar el fluido por un campo magnético que varía con la presencia de partículas ferromagnéticas.

Detectores por análisis de imagen: Realizan un análisis de la imagen, cuantificando el contenido de partículas por tamaño, por forma y por tipo, mediante un algoritmo de redes neuronales. Es de destacar, por ejemplo, un equipo de análisis que utiliza un sistema de captación de imágenes, junto con un sistema de iluminación láser y un potente software de procesamiento de imágenes instalado en un ordenador. Además, también es capaz de identificar contaminantes, agua libre, fibras. El equipo cuantifica las partículas de desgaste con un tamaño entre 4-100 micras, y la forma en partículas más grandes que 20 micras. El análisis de las partículas en este rango es útil para la detección de fallos mecánicos en gran variedad de sistemas lubricados. En función de la forma, la partícula se clasifica en: a) corte; b) fatiga; c) deslizamiento; d) no metálicas.

A continuación, se citan algunas patentes que describen detectores por análisis de imagen:

El documento WO01/55768A1 desvela una cámara de recuento para la detección óptica de partículas que están presentes en un fluido, tal como sangre, orina o esperma. La cámara de recuento comprende dos placas entre las cuales se puede introducir el fluido. Una de las placas incluye una referencia visible.

Por ejemplo, la patente US5572320 describe un detector por análisis de imagen que incluye un sistema de iluminación basado en un láser pulsado. La detección se realiza mediante una matriz plana de fotodiodos sensibles a la luz o fototransistores. Sin embargo, el sistema de US5572320 no es capaz de discriminar la forma de las partículas. Además, la celda de medida de US5572320 consta de una parte móvil que hace posicionar el aceite en un determinado lugar, y esto complica el desarrollo y puede ser una importante fuente de errores.

El documento WO97/40360A1 desvela un sistema para inspeccionar aceite, capaz de determinar el tamaño de una partícula detectada.

A su vez, la patente US7385694B2 describe un detector por análisis de imagen que incluye un sistema de iluminación basado en un láser pulsado y una cámara para la toma de imágenes del aceite sometido a dicha iluminación. Sin embargo, el dispositivo de esta patente no permite realizar una iluminación homogénea sobre un área de inspección mayor al propio haz de luz. Además, el dispositivo necesita una bomba para bombear el fluido hasta la zona de medida.

Otro de los parámetros que puede ser interesante monitorizar en un aceite lubricante es el contenido de burbujas en el sistema, ya que puede ser indicativo de la generación de espumas en el aceite y la retención de aire en el sistema, algo que no es deseable. Ambos deben ser controlados y reducidos al máximo para conseguir el funcionamiento óptimo del aceite dentro del sistema. Esto es crítico en sistemas como las multiplicadoras de las turbinas eólicas. Los niveles de espuma máximos aceptables para un aceite usado, según el método ASTM-D892, no deben ser superiores a:

| Temperatura | Formación (5' soplado) | Estabilidad (10' soplado) |
|-------------|------------------------|---------------------------|
| 24 °C       | 100                    | 10                        |
| 93,5 °C     | 200                    | 20                        |
| 24 °C       | 100                    | 10                        |

El contenido en aceite retenido no debe ser superior a 25 % con respecto al aceite nuevo según ASTM-D3427.

Por último, la degradación del aceite en función del color es otro parámetro que puede ser interesante monitorizar en un aceite lubricante:

La degradación del aceite es un indicador clave de la calidad del aceite y de cómo cumple con su misión de lubricar. No da información de la máquina de manera directa, pero indirectamente con la velocidad de degradación se podría extraer información acerca del funcionamiento de la máquina. El proceso de degradación de un aceite sigue varios pasos totalmente conocidos: primero sufre una pérdida del contenido de aditivos, para después generarse compuestos ácidos, y para finalmente, cuando están en un proceso avanzado de degradación, comenzar con procesos de polimerización de estos compuestos ácidos que se generan. El porcentaje de constituyentes ácidos (en forma de aditivos en el caso de lubricantes nuevos y en forma de compuestos de oxidación en el caso de los lubricantes en servicio) se determina mediante técnicas analíticas.

### Descripción de la invención

La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante un sistema para la inspección de un aceite, que comprende una celda que incluye una tubería que pasa a través de la celda, estando adaptada la tubería para conducir un flujo de aceite. El sistema comprende en el interior de dicha celda: un sistema de iluminación basado en al menos un diodo LED y configurado para hacer incidir sobre el flujo de aceite un haz de luz blanca; un difusor situado entre el sistema de iluminación y el flujo de aceite, configurado para proporcionar una iluminación homogénea en el área iluminada; un sistema de captura de imágenes situado en el lado opuesto de la

tubería por la que fluye el aceite con respecto al sistema de iluminación y configurado para capturar una secuencia de imágenes del aceite que fluye por el interior de dicha tubería; una lente situada entre el sistema de captura de imágenes y el flujo de aceite, configurada para enfocar las imágenes capturadas; un dispositivo de calibración situado entre la lente y el flujo de aceite; comprendiendo dicho dispositivo de calibración al menos una marca de dimensiones conocidas; un procesador configurado para procesar dicha secuencia de imágenes y determinar la presencia y el tamaño de partículas y burbujas.

Preferentemente, el difusor está situado cerrando y sellando un orificio hecho en la tubería por la que fluye el fluido.

En una posible realización, el difusor es un cristal esmerilado.

Preferentemente el sistema de captura de imágenes es una cámara.

En una posible realización, el dispositivo de calibración situado entre la lente y el flujo de aceite comprende una pluralidad de marcas diseñadas para calibrar el sistema. Preferentemente el dispositivo de calibración está situado cerrando y sellando un orificio hecho en el conducto por el que fluye el aceite.

En otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método de autocalibración del sistema para la inspección de un aceite mencionado anteriormente, que comprende las etapas de:

- realizar en el dispositivo de calibración al menos una marca de dimensiones conocidas;
- capturar una imagen de un aceite mediante el sistema de captura de imágenes;
- ajustar los parámetros de captura para aumentar el contraste de la imagen capturada hasta encontrar la polarización óptima del sistema;
- capturar una nueva imagen;
- binarizar dicha imagen con umbral dinámico;
- en dicha imagen, identificar la geometría de dicha al menos una marca;
- realizar la medida en horizontal y vertical de dicha al menos una marca del número de píxeles y determinar un factor de corrección respecto a sus tamaños reales;
- guardar ese factor de corrección para obtener las medidas dimensionales absolutas durante el uso posterior del sistema.

En otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método de detección y discriminación de partículas y burbujas en un aceite mediante el sistema para la inspección de un aceite descrito anteriormente, que comprende las etapas de:

- capturar una imagen de un aceite mediante el sistema de captura de imágenes;
- ajustar los parámetros de captura: tiempo de exposición del sistema de adquisición de imágenes (282, 382) y control de corriente del LED, para aumentar el contraste de la imagen capturada hasta encontrar la polarización óptima del sistema;
- capturar una nueva imagen;
- binarizar dicha imagen con umbral dinámico;
- acondicionar la imagen binaria;
- detectar los objetos que son considerados burbujas o partículas mediante la aplicación de técnicas para la búsqueda de componentes conectados o detección e identificación dimensional de agrupaciones de píxeles;
- para discriminar entre burbuja y partícula:
  - aplicar una inversión de la imagen binaria en aquellas regiones en las que se han detectado potenciales partículas o burbujas;
  - aplicar un acondicionamiento basado en dilatación a esas regiones de interés invertidas;
  - aplicar en esas zonas técnicas de detección de componentes conectados para detectar agujeros en las agrupaciones de píxeles originales, identificando como burbujas aquellas zonas que presenten agrupaciones de píxeles con agujeros, e identificando como partículas aquellas agrupaciones de píxeles detectadas sin agujero interior;
  - a partir de las agrupaciones de píxeles, contar y calcular el tamaño de las burbujas y partículas, en donde el cálculo de dicho tamaño comprende aplicar a esos píxeles la corrección dimensional obtenida en el método de autocalibración descrito anteriormente.

## Breve descripción de los dibujos

Para complementar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de la descripción, un juego de figuras en el que con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura 1 representa un esquema general del sistema de monitorización de la invención.

La figura 2 muestra un esquema del módulo de medida de acuerdo con una posible realización de la invención.  
La figura 3 ilustra esquemáticamente un método de autocalibración del sistema de medida, de acuerdo con una posible realización de la invención.

## 5 Descripción de un modo de realización de la invención

La figura 1 representa un esquema general del sistema de monitorización o inspección de la invención. El sistema está compuesto por una serie de subsistemas conectados entre sí y contenidos en un recipiente o contenedor 10. Los subsistemas son los siguientes:

10 Un subsistema de acondicionamiento hidráulico, formado por componentes para el control de caudal 12, control de flujo de aceite mediante electroválvulas 11 19, control de presión 13, filtro de seguridad 14 y la canalización de entrada 15i y de salida 15o. La lectura y operación de los elementos hidráulicos activos se realiza desde el subsistema electrónico 16. Es de destacar que el subsistema de acondicionamiento hidráulico no incluye ninguna bomba, a diferencia del sistema descrito en US7385694B2. En una realización preferente, el sistema de la invención está  
15 diseñado para ser instalado en un by-pass de un sistema de lubricación de cierta maquinaria. La instalación aprovecha la diferencia de presiones para que el fluido vaya circulando hasta llegar al módulo de medida 18 en el que se va a realizar la inspección del aceite.

20 Un subsistema electrónico, compuesto por una plataforma de electrónica embebida 16 para la gestión de todos los subsistemas activos y gestión de canales de datos. Esta plataforma de electrónica embebida 16 realiza la gestión global de la información y control de los subsistemas hidráulicos y de medida. Se consideran parte de este subsistema la electrónica interna y externa y el sistema de alimentación 17.

25 Un subsistema sensor o subsistema de medida 18, que representa el subsistema donde se realiza la medida y que se describe en detalle más adelante. El módulo de medida 18 entrega los valores de las medidas totalmente válidos y sin necesidad de ser procesados.

30 El contenedor y sistema de anclaje 10 que incorpora las conexiones hidráulicas y eléctricas al exterior y el sistema de anclaje (no ilustrado en la figura 1) al lugar destino de instalación. El sistema 10 está diseñado específicamente para su integración directa en los sistemas de lubricación de maquinaria pero sin afectar a las condiciones de funcionamiento del mismo. Esto se consigue mediante los subsistemas hidráulicos del sensor que permiten realizar muestreos controlados y con bajo contenido de lubricante. El contenedor y sistema de anclaje 10 alberga e integra los diferentes elementos de manera adecuada y permite la comunicación con el exterior para la entrada y salida del fluido, a través de las respectivas entrada 15i y salida 15o (pues la medida se realiza en el subsistema de medida 18) y  
35 proporciona las interfaces de comunicación y alimentación 17 para poder llevar los resultados del sensor a la máquina en cuestión o a donde se desee.

40 Los subsistemas hidráulicos permiten a su vez acondicionar el fluido a medir, con lo cual reducen los efectos de factores o condiciones externas en el resultado final. El sistema también se ha desarrollado para evitar la influencia de factores ambientales como los cambios de temperatura. En este sentido, el sistema sensor dispone de medidores de temperatura que accionan la intensidad del emisor de luz y evitan así diferencias de emisión relacionadas con los cambios de temperatura.

45 Como puede observarse en la figura 1, el fluido accede al contenedor 10 a través de la entrada 15i. El flujo de fluido sigue el sentido de la flecha de trazo discontinuo. El fluido circula en el interior del contenedor 10 por medios de conducción apropiados, tales como tuberías. Mediante los racores de entrada y salida y los subsistemas se consigue realizar un muestreo representativo del fluido (por ejemplo, aceite) y acondicionarlo para obtener medidas representativas de su estado real.

50 El control de flujo 12 permite obtener un caudal fijo en el sistema que hace que se pueda saber la cantidad de fluido que se está midiendo y así poder obtener la concentración de partículas en el mismo. Es decir, el control de flujo 12 permite dar valores de, por ejemplo, 100 partículas por mililitro. Si no, solo se podría decir que se han detectado 100 partículas, en términos absolutos.

55 Opcionalmente puede haber un filtro de seguridad o filtro con control de presión 14 que sirve para evitar que entren partículas de gran tamaño en el módulo de medida 18, que puedan dañar o ensuciar las ventanas del módulo e incluso asegurar que no se obture el sistema con partículas grandes.

60 El conmutador de presión 13 es un sistema de presión que asegura que existe presión en el sistema y asegurar así que hay flujo de fluido (por ejemplo, de aceite). Se trata por tanto de un conmutador de presión para identificar bajas presiones. Se trata de que las máquinas donde se instala el sensor (módulo 18) no están continuamente operando, y cuando están paradas no hay presión de aceite, con lo cual no hay entrada de aceite en el sensor, por lo que la medida que eventualmente se realiza no es representativa, porque no se está midiendo aceite. Con el conmutador de presión 13 se detecta cuándo hay presión y cuándo no la hay, para validar la realización de una medida y así asegurar que se  
65 está midiendo el aceite y no aire.

Tanto la electroválvula de entrada 11 como la electroválvula de salida 19 realizan la función de dejar pasar o cerrar el paso del aceite. Cuando la electroválvula está en estado "ENCENDIDO", el sistema está abierto para que pase el aceite; y cuando la electroválvula está en estado "APAGADO", el sistema está cerrado y no hay paso de aceite. Esto se realiza para que no esté continuamente el aceite fluyendo por el sistema, por dos motivos importantes: (1) realizar

5 muestreos controlados e interferir lo mínimo sobre los sistemas de lubricación de la máquina; (2) asegurar que los subsistemas hidráulicos no se vean afectados por suciedad que pueda generar el paso continuado de fluido.

Las flechas ENCENDIDO/APAGADO indican con respecto a los componentes junto a los que aparecen en la figura 1, que estos componentes son controlados mediante la electrónica. En concreto, en las electroválvulas 11 19 las flechas

10 ENCENDIDO/APAGADO indican apertura y cierre del paso del aceite; y en el conmutador de presión 13 y filtro 14 las flechas ENCENDIDO/APAGADO dan una indicación de nivel de presión en el sistema. El conmutador de presión 13 está en estado "ON" cuando pasa de un valor de presión determinado y así se da por bueno que ha entrado aceite; en el filtro 14, el control de presión que incorpora asegura que el aceite no pase de un valor máximo de presión.

La figura 2 representa un esquema del subsistema de medida o subsistema sensor de la invención (subsistema 18 en la figura 1). Este módulo o subsistema de medida 28 se ha concebido como un subsistema autónomo con una operación totalmente independiente, que entrega medidas auto interpretables, calibradas y corregidas para todo el rango de operación definido. Como se detalla a continuación, el subsistema de medida 28 opera sobre una celda micromecánica 280 a través de la que circula el fluido 281 bajo supervisión. En una realización preferente, este fluido

20 es un aceite, más preferentemente un aceite lubricante. El fluido 281 es conducido en el interior de unos medios de conducción, como por ejemplo una tubería.

El módulo o subsistema de medida 28 comprende una parte óptica y una parte electrónica (o subsistema de adquisición y procesamiento de vídeo). Como puede observarse, este subsistema de adquisición y procesamiento de vídeo es una electrónica independiente de la plataforma de electrónica embebida 16 del sistema completo. La primera se encuentra en el interior del módulo de medida 18 28, mientras que la segunda es un módulo 16 ajeno al módulo de medida. Este subsistema de adquisición y procesamiento de vídeo realiza las actividades relacionadas con las medidas, entre otras cosas. El subsistema de adquisición y procesamiento de vídeo está formado por un sistema de

25 captura de imágenes embebido 282 y por una electrónica 285 que comprende un procesador embebido 2851. El subsistema de medida 28 está basado en un sistema de medida de visión artificial embebido, donde mediante un sistema de captura de imágenes 282 se captura una secuencia de vídeo que es procesada en un procesador embebido 2851. El procesador tiene como objetivo determinar la presencia de partículas y/o burbujas y el valor de degradación del fluido (por ejemplo, aceite) (OD). La flecha entre el sistema de captura de imágenes 282 y el procesador embebido 2851 esquematiza las líneas de control y datos del vídeo.

En una posible realización, se usa un sistema de adquisición y procesamiento de 4 fotogramas/segundo (4FPS). Por ejemplo, puede usarse un detector de Omnivision con cámara de 14 megapíxeles.

La parte óptica comprende un sistema de iluminación 284 para someter el flujo de fluido 281 a un haz de luz y un sistema de captura de imágenes 282 para capturar una secuencia de vídeo que será a continuación procesada en un procesador embebido 2851 de la parte electrónica 285. En una realización preferente, el procesador embebido 2851 es un dispositivo DSP (del inglés Digital Signal Processor).

40 El sistema de iluminación 284 está diseñado para hacer incidir sobre el fluido un haz de luz blanca. Preferentemente, el sistema de iluminación está basado en uno o más diodos LED que iluminan de forma continua el flujo 281 que circula a través de la celda micromecánica 280. Es decir, preferentemente el sistema de iluminación es un emisor LED 284. Preferentemente, el sistema de emisión 284 dispone de un sistema de control (control en lazo cerrado) de la polarización del emisor LED basado en cambios de temperatura que evitan fluctuaciones de emisión debidas a dichos cambios de temperatura. Como un experto en la materia sabe, al subir la temperatura se produce una disminución de la emisión de los LED debido a un descenso de la eficiencia de los fotones. Mediante este control, si aumenta la temperatura se incrementa la potencia para que la luz aparente emitida se mantenga constante. En una posible realización, el sistema de iluminación 284 comprende también un fotodiodo en las proximidades de la zona de iluminación para calcular el error de ese lazo cerrado. El procesador embebido 2851 controla al sistema de iluminación 284, a través de señales de control de LED y datos de compensación 2857.

Entre el sistema de iluminación 284 (preferentemente emisor LED) y el flujo de fluido 281 (que circula por el interior de una tubería), se sitúa un difusor 286 cuya misión principal es la difusión de la cantidad de luz emitida por el sistema de iluminación 284 para obtener una iluminación homogénea en toda el área (cantidad de fluido, preferentemente aceite) que se inspecciona. En una realización preferente, el difusor 286 es una ventana. Al difusor 286 se le llama

50 "ventana" por ser el elemento que da acceso visual al fluido bajo inspección. Gracias a este difusor 286 es posible iluminar de manera homogénea el área bajo inspección.

El difusor (ventana difusor) 286 se coloca cerrando un orificio hecho en la tubería por la que fluye el fluido 281. Es decir, el fluido (aceite) pasa por la tubería o conducto, pero transversalmente al avance del fluido se realiza un orificio que es por donde se va a inspeccionar y medir el fluido. El orificio es preferentemente circular y la ventana difusor 286 también lo es preferentemente. Este difusor 286 evita que el fluido (aceite) salga por los orificios realizados. Esta

60

El difusor (ventana difusor) 286 se coloca cerrando un orificio hecho en la tubería por la que fluye el fluido 281. Es decir, el fluido (aceite) pasa por la tubería o conducto, pero transversalmente al avance del fluido se realiza un orificio que es por donde se va a inspeccionar y medir el fluido. El orificio es preferentemente circular y la ventana difusor 286 también lo es preferentemente. Este difusor 286 evita que el fluido (aceite) salga por los orificios realizados. Esta

65

ventana 286 hace de sellado para que el fluido no se escape por el orificio transversal. El difusor 286 es además de un material transparente que deja pasar la luz. Así el sistema de iluminación 284 puede iluminar adecuadamente el fluido, y mediante el sistema de detección 282 es posible visualizar esta zona y recoger la imagen del fluido. En una realización particular, la ventana 286 es un cristal, por ejemplo un cristal esmerilado.

5 La luz que no es absorbida por el fluido se recoge mediante un detector (por ejemplo, un fotodiodo o matriz de fotodiodos). En un sistema de inspección por visión artificial, al utilizar iluminación trasera, el elemento receptor óptico (la matriz 2D de fotodiodos) recoge la luz que atraviesa el flujo de fluido (por ejemplo, aceite).

10 Opuesto al sistema de iluminación 284 (emisor LED), al otro lado de la tubería por la que circula el flujo 281, se sitúa un sistema de captura de imágenes 282 para la captura de las secuencias de vídeo (que no es sino un tren de imágenes) de la zona de interés del paso del fluido (preferentemente aceite). Esta captura de imágenes se realiza con una resolución espacial definida y manteniendo el criterio general de reducido tamaño y bajo coste. En otras palabras, la "resolución espacial definida" se refiere a que el sistema de captura 282 es capaz de determinar un tamaño mínimo  
15 de partículas definido, que ronda las 4 micras sobre un área de inspección de alrededor de 100 mm<sup>2</sup>. Tal resolución se consigue optimizando varias condiciones, como el área que se desea inspeccionar, el tamaño de la cámara, su número de píxeles y las características de la lente 283 (que se menciona a continuación). El módulo 28 y en general el sistema completo 10 deben tener tamaño reducido y ser lo más compactos posible.

20 En una realización preferente, el sistema de captura de imágenes 282 es una cámara, más preferentemente una cámara basada en sensor CMOS o detector CMOS (el sensor CMOS es el componente de la cámara que recibe la imagen). Así, una cámara CMOS tiene una matriz 2D de fotorreceptores fabricados con tecnología CMOS. Por eso, en ocasiones en este texto se utiliza la expresión "sensor CMOS" o "detector CMOS" para referirnos a la cámara 282. Las imágenes captadas por esta cámara se procesan en el procesador embebido 2851 de la parte electrónica 285.  
25 En una realización preferente, el procesador embebido 2851 es un dispositivo DSP (del inglés Digital Signal Processor). Este procesador embebido 2851 es el que para cada imagen, analiza si hay burbujas y partículas y las cuenta de acuerdo con el procedimiento descrito más adelante. Es decir, el procesador se encarga de extraer la imagen del CMOS y procesarla. Para ello, tiene una memoria intermedia 2854 para un posterior procesado. En una posible realización, esa memoria intermedia es una memoria externa DDR2.

30 Entre el sistema de captura de imágenes (detector CMOS) 282 y el flujo de fluido 281 bajo inspección se sitúa una lente 283, preferentemente una macrolente, encargada de transportar la imagen desde el objeto hasta la cámara 282, es decir, es la encargada de que la cámara 282 enfoque de manera adecuada lo que se quiere detectar. La lente permite enfocar objetos en el elemento reactivo a la luz y poder capturar objetos. La lente lleva la luz de manera  
35 enfocada al área receptora de luz.

Entre la lente (macrolente) 283 y la tubería que recoge el flujo de fluido 281 bajo inspección se sitúa otro dispositivo óptico o ventana óptica 287 que también se coloca cerrando un orificio hecho en la tubería por la que fluye el fluido 281. Este orificio está opuesto al orificio antes descrito (y cerrado por el difusor 286). Esta segunda ventana óptica 287  
40 también hace de sellado para que el fluido no se escape por el orificio transversal. También es de un material transparente que deja pasar la luz. El orificio es preferentemente circular y la ventana óptica 287 también lo es preferentemente. Preferentemente, la ventana 287 es una ventana de calibración que comprende unas marcas o patrones que permiten su autocalibración (que se explica más adelante). Las marcas son de tamaño determinado y así es posible calibrar automáticamente el equipo evitando errores o dispersiones debidas a montaje o fabricación. En la figura 2 se ilustra un detalle ampliado del dispositivo óptico o ventana óptica 287 que incluye dos marcas a modo  
45 de ejemplo.

El tamaño de la partícula mínima que se debe discriminar es de aproximadamente 4 µm. El área por capturar en cada imagen por el sistema de captura de imágenes (detector CMOS) 282 debe ser tal que sea capaz de recoger partículas  
50 de 4 µm y mayores. En una realización preferente, el área por capturar es de varios milímetros cuadrados. En un ejemplo, dicha área a capturar es de 100 mm<sup>2</sup>. Por otro lado, se desea que la distancia entre objeto (plano de paso del fluido bajo inspección) y el detector CMOS 282 sea lo mínima posible y no supere los aproximadamente 100 mm, para que el sistema sea lo más compacto y pequeño posible. La profundidad de campo (rango en el cual la lente 283 es capaz de ofrecer una imagen enfocada) máxima está marcada por la anchura del paso de aceite a través de la microcelda mecánica 280.  
55

Como se ha explicado, el módulo o subsistema de medida 28 comprende medios de difusión 286 del área inspeccionada. Gracias a los diodos LED y a estos medios de difusión, se permite obtener una iluminación homogénea en toda el área inspeccionada. Los sistemas de supervisión de aceites convencionales no homogeneizan el área bajo  
60 supervisión, por lo que la detección de partículas no es óptima. Los inventores han observado que, especialmente cuando se utiliza iluminación blanca, esta homogenización es importante para obtener resultados fiables.

El subsistema de adquisición y procesamiento de vídeo (captador de imágenes embebido 282 y electrónica 285 con procesador embebido 2851) es el encargado de adquirir y procesar la secuencia de vídeo entregada por la cámara 282 del subsistema óptico. La potencia y precisión del subsistema sensor o de medida 28 es resultado directo de los  
65 algoritmos de procesamiento ejecutados por este subsistema de adquisición y procesamiento de vídeo.

En la figura 2, la parte electrónica 285 comprende, además del procesador embebido 2851, unos sistemas auxiliares (interfaz de comunicación 2852, fuente de alimentación 2853, memoria 2854, sensor de temperatura 2855...). La referencia 2856 indica la interfaz electrónica de comunicación y fuente de alimentación). Además, hay una parte software, formada por el grupo de algoritmos encargados de realizar la detección y clasificación de partículas, detección de burbujas y determinación de la degradación.

En una realización particular, el subsistema de adquisición y procesamiento de vídeo se encarga de aplicar algoritmos para la calibración dimensional del módulo de medida 28. Básicamente la autocalibración se basa en identificar mediante el sistema de captura de imágenes (detector CMOS) 282 unas marcas, de tamaño conocido, realizadas sobre la ventana de calibración 287 para así poder escalar cualquier imagen identificada. Un ejemplo de estas marcas se muestra en el detalle de la ventana de calibración 287 de la figura 2. Aunque esto se explica en detalle más adelante, la figura 3 ilustra esquemáticamente la autocalibración del sistema de medida propuesta. El cálculo del tamaño de las partículas detectadas es producto de toda la configuración del subsistema óptico. Es conocido que las tolerancias de fabricación y montaje introducen una dispersión en el enfoque del sistema, y por consiguiente en el tamaño aparente de los objetos capturados en la cámara. Para corregir esa desviación, se aplica una compensación por autocalibración dimensional del módulo. Esta autocalibración es el resultado de aplicar unos algoritmos de identificación de dimensiones (que se explican más adelante) a unas formas conocidas marcadas en la ventana de calibración 287 y luego aplicar esa proporcionalidad a todas las dimensiones calculadas por el sistema.

Los inventores han observado que esta autocalibración permite amortiguar los efectos de la tolerancia mecánica y de montaje en el tamaño de las imágenes de partículas capturados en la cámara. La autocalibración permite, frente a sistemas de supervisión de aceite convencionales, compensar automáticamente esas diferencias en los tamaños de los objetos capturados debido a la dispersión de fabricación y montaje. También permite no tener que calibrar dimensionalmente cada uno de los equipos. Además, hace al sistema más robusto a posibles degradaciones ocurridas en la máquina. En otras palabras, el algoritmo y sistema de autocalibración imponen la precisión requerida del sistema (4  $\mu$ m) a las marcas de autocalibrado y no en todo el sistema micromecánico, aunque en la práctica el resultado equivalga a imponer esos requisitos de precisión en todo el sistema.

A continuación, se describen los diferentes algoritmos y procedimientos de la invención, para la detección y clasificación de partículas, degradación del fluido (aceite), y otros:

#### Algoritmo de detección, discriminación y clasificación de partículas y burbujas (DDC-PB)

El algoritmo de detección y discriminación de partículas, debe por un lado discriminar entre burbuja y partícula, y contar y clasificar las partículas por tamaño. Opcionalmente comprende también algoritmos de control de iluminación/exposición para mejorar la sensibilidad de detección. El algoritmo de detección y discriminación de las partículas tiene las siguientes etapas:

- a. Capturar una imagen con el sistema de adquisición de imágenes 282 382. Preferentemente esta imagen se toma a resolución media del sistema y en escala de grises.
- b. Ajustar los parámetros de captura, preferentemente mediante la aplicación de control de tiempo de exposición del sistema de adquisición de imágenes 282 382 y control de corriente de LED 2857 para aumentar el contraste de la imagen capturada hasta encontrar la polarización óptima del sistema.
- c. Una vez ajustados los parámetros de captura, capturar una nueva imagen, preferentemente con resolución máxima en escala de grises.
- d. Binarización de la imagen con umbral dinámico (basado preferentemente en el estudio de la media y la desviación estándar de luminancia en distintas zonas de la imagen).
- e. Acondicionamiento de la imagen binaria, preferentemente mediante la técnica de dilatación 2D, que permite agrupar píxeles dispersos y generar concentraciones de píxeles más densas.
- f. Aplicación de técnicas para la búsqueda de componentes conectados o detección e identificación dimensional de agrupaciones de píxeles. Mediante esta técnica se detectan los objetos que son considerados burbujas o partículas. A partir de este punto se aplican los métodos de discriminación entre burbuja y partícula.
- g. Aplicar una inversión de la imagen binaria en aquellas regiones en las que se han detectado objetos (potenciales partículas o burbujas).
- h. Aplicar un acondicionamiento basado en dilatación a esas regiones de interés invertidas.
- i. Aplicar en esas zonas las mismas técnicas de detección de componentes conectados. En este caso se están detectando agujeros en las agrupaciones de píxeles originales.
- j. Aquellas zonas que presenten agrupaciones de píxeles con agujeros son identificadas como burbujas debido a que el sistema de iluminación planteado hace que las burbujas se capturen como objetos circulares con una zona muy brillante en el interior de su circunferencia debido a la difracción de la luz ocurrida en el aire contenido por la burbuja.
- k. Por lo tanto, aquellas agrupaciones de píxeles detectadas sin agujero interior se consideran partículas.
- l. A continuación, contar y clasificar las burbujas y partículas. La clasificación de tamaño se realiza preferentemente en número de píxeles del valor más alto entre la altura y anchura de la agrupación de píxeles.
- m. Para finalizar, en cuanto al cálculo del tamaño real de las partículas y la entrega de un valor normalizado basado en clasificaciones estándares, aplicar a esos tamaños en píxeles la corrección dimensional entregada por el



algoritmo de autocalibración dimensional (ver siguiente punto).

#### Autocalibración dimensional (ACD)

- 5 El cálculo del tamaño de las partículas es producto de toda la configuración del subsistema óptico. Es conocido que las tolerancias de fabricación y montaje introducen una dispersión en el enfoque del sistema, y por consiguiente en el tamaño aparente de los objetos capturados en el sistema de captura de imágenes. Para corregir esa desviación, en una realización particular se aplica una compensación por autocalibración dimensional del módulo de medida 28. Básicamente la autocalibración se basa en identificar mediante el sistema de captura de imágenes 282 unas marcas, de tamaño conocido, realizadas sobre el dispositivo óptico 287 para así poder escalar (aplicar esa proporcionalidad a) cualquier imagen identificada.

El algoritmo de autocalibración presenta las siguientes etapas:

- 15 a. Capturar una imagen con el sistema de adquisición de imágenes 282 382. Preferentemente esta imagen se toma a resolución media del sistema y en escala de grises.
- b. Ajustar los parámetros de captura, preferentemente mediante la aplicación de control de tiempo de exposición del sistema de adquisición de imágenes 282 382 y control de corriente de LED 2857 para aumentar el contraste de la imagen capturada hasta encontrar la polarización óptima del sistema.
- 20 c. Una vez ajustados los parámetros de captura, capturar una nueva imagen preferentemente con resolución máxima en escala de grises.
- d. Binarización de la imagen con umbral dinámico (basado preferentemente en el estudio de la media y la desviación estándar de luminancia en distintas zonas de la imagen).
- 25 e. Identificar la geometría de cada forma patrón, mediante la aplicación de técnicas de clasificación de las áreas encontradas (las marcas de tamaño conocido realizadas sobre la ventana 287) teniendo en cuenta el tamaño y las características de forma, tales como la longitud, circularidad, compacidad, redondez, rectangularidad, u otros.
- f. Una vez identificadas las geometrías de las formas patrón, realizar la medida en horizontal y vertical del número de píxeles y aplicar una corrección respecto a sus tamaños reales en micrómetros.
- 30 g. Utilizar esa corrección como medida de calibración de todas las medidas dimensionales absolutas entregadas por el sistema durante su uso posterior.

La figura 3 muestra un ejemplo de ejecución de la etapa f anterior: El sistema de adquisición de imágenes 382 hace una captura de una de las marcas o patrones del dispositivo óptico 387. Como esta marca se ha hecho intencionadamente en el dispositivo óptico 387, se sabe que sus dimensiones reales son, por ejemplo, 100  $\mu\text{m}$  x 200  $\mu\text{m}$ . Por otra parte, la captura realizada por el sistema de adquisición de imágenes 382 ofrece un tamaño del objeto capturado de, por ejemplo, 12 píxel x 24 píxel. Tras la aplicación del procesado y algoritmo correspondiente, se establece que el factor corrector que se debe aplicar es de 0,12 píxel/ $\mu\text{m}$ .

#### Algoritmo de cálculo del parámetro de degradación del aceite (OD)

- 40 Para el cálculo del parámetro de degradación del fluido (preferentemente aceite) se realiza una discriminación para hacer una segmentación de la imagen y utilizar sólo aquellas zonas 'limpias' de partículas y de burbujas. En esos segmentos se aplican unos algoritmos de colorimetría. Debido a que es un estudio de intensidad de color, en este caso se debe utilizar una configuración de iluminación/exposición conocida, solamente corregida para equilibrar el efecto de la temperatura.

El algoritmo para el cálculo del parámetro de degradación presenta las siguientes etapas:

- 50 a. Aplicar un algoritmo de compensación de la temperatura del sistema de iluminación.
- b. Capturar una imagen preferentemente a resolución media con los tres canales de color (RGB).
- c. Aplicar un algoritmo de detección y discriminación de partículas y burbujas (DDC-PB) y extraer las regiones con agrupaciones de píxeles y generar una imagen con esas zonas marcadas con un valor negativo (inexistente).
- d. Realizar una media de intensidad de cada uno de los canales o bandas  $I_R$   $I_B$   $I_G$  (transmitancia en la banda del rojo, transmitancia en la banda del azul y transmitancia en la banda del verde, respectivamente), realizando el sumatorio del valor de cada uno de los píxeles dividido por el número de píxeles utilizado para la inspección.
- 55 e. Aplicar un algoritmo para obtener un parámetro de degradación a partir de los tres canales de color RGB. En una realización preferente, aplicar la siguiente fórmula:  $CI = 1 \cdot I_R + 0,5 \cdot I_G + 0,5 \cdot I_B$ , donde CI es el valor del índice de color del fluido.
- 60 No todos los procesamientos deben realizarse en el mismo ciclo, de manera que los requisitos de tiempo de respuesta se relajen.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema (18, 28) para la inspección de un aceite, que comprende:

5 una celda (280) que incluye una tubería que pasa a través de la celda, estando adaptada la tubería para conducir un flujo de aceite (281), y que incluye además los siguientes componentes dispuestos en el interior de dicha celda (280):

10 un sistema de iluminación (284) basado en al menos un diodo LED y configurado para hacer incidir sobre el flujo de aceite (281) un haz de luz blanca;  
un difusor (286) situado entre el sistema de iluminación (284) y el flujo de aceite (281), configurado para proporcionar una iluminación homogénea en el área iluminada;  
un sistema de captura de imágenes (282, 382) situado en el lado opuesto de la tubería por la que fluye el aceite (281) con respecto al sistema de iluminación (284) y configurado para capturar una secuencia de imágenes del  
15 aceite que fluye por el interior de dicha tubería;  
una lente (283) situada entre el sistema de captura de imágenes (282) y el flujo de aceite (281), configurada para enfocar las imágenes capturadas;  
un dispositivo de calibración (287) situado entre la lente (283) y el flujo el aceite (281), comprendiendo dicho dispositivo de calibración (287) al menos una marca de dimensiones conocidas;  
20 un procesador (2851) configurado para procesar dicha secuencia de imágenes y determinar a partir de dicho procesamiento la presencia y el tamaño de las partículas y burbujas.

2. El sistema (18, 28) de la reivindicación 1, en donde dicho difusor (286) está situado cerrando y sellando un orificio hecho en el conducto por el que fluye el fluido (281).

25 3. El sistema (18, 28) de la reivindicación 2, en donde dicho difusor (286) es un cristal esmerilado.

4. El sistema (18, 28) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho sistema de captura de imágenes (282, 382) es una cámara.

30 5. El sistema (18, 28) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho dispositivo de calibración (287) está situado cerrando y sellando un orificio hecho en la tubería por la que fluye el aceite (281).

6. Un método de autocalibración del sistema (18, 28) para la inspección de un aceite según cualquiera de las  
35 reivindicaciones anteriores, que comprende las etapas de:

- capturar una imagen de un aceite mediante el sistema de captura de imágenes (282, 382);
- ajustar los siguientes parámetros de captura: tiempo de exposición del sistema de captura de imágenes (282, 382) y control de corriente del LED, para aumentar el contraste de la imagen capturada hasta encontrar la  
40 polarización óptima del sistema;
- capturar una nueva imagen;
- binarizar dicha imagen con umbral dinámico;
- en dicha imagen, identificar la geometría de dicha al menos una marca;
- realizar la medida en horizontal y vertical de dicha al menos una marca del número de píxeles y determinar un  
45 factor de corrección respecto a sus tamaños reales;
- guardar ese factor de corrección para obtener las medidas dimensionales absolutas durante el uso posterior del sistema (18, 28).

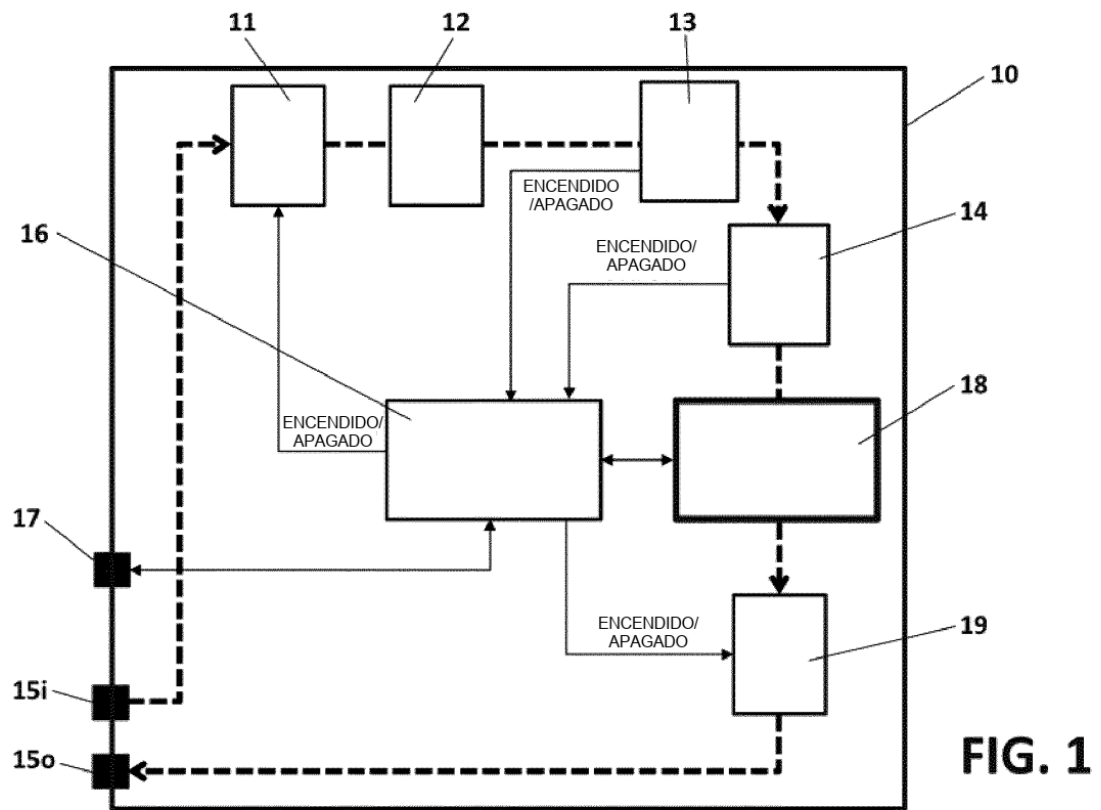
7. Un método de detección y discriminación de partículas y burbujas en un aceite mediante el sistema (18, 28) para la  
50 inspección de un aceite según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende las etapas de:

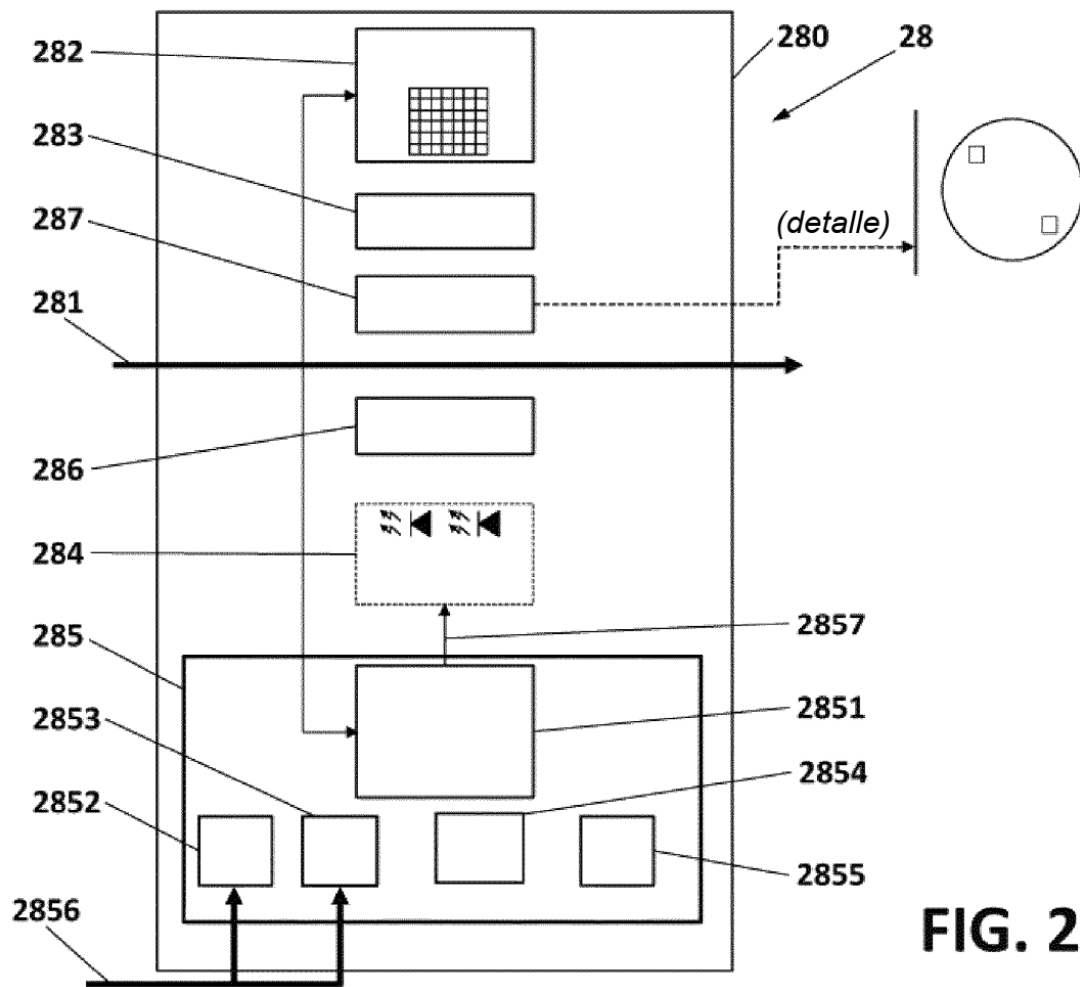
- capturar una imagen de un aceite mediante el sistema de captura de imágenes (282, 382);
- ajustar los siguientes parámetros de captura: tiempo de exposición del sistema de captura de imágenes (282, 382) y control de corriente del LED, para aumentar el contraste de la imagen capturada hasta encontrar la  
55 polarización óptima del sistema;
- capturar una nueva imagen;
- binarizar dicha imagen con umbral dinámico;
- acondicionar la imagen binaria;
- detectar los objetos que son considerados burbujas o partículas mediante la aplicación de técnicas para la  
60 búsqueda de componentes conectados o para detección e identificación dimensional de agrupaciones de píxeles;
- para discriminar entre burbuja y partícula:

- aplicar una inversión de la imagen binaria en aquellas regiones en las que se han detectado potenciales  
65 partículas o burbujas;
- aplicar un acondicionamiento basado en la ampliación de esas regiones de interés invertidas;
- aplicar en esas zonas técnicas de detección de componentes conectados para detectar agujeros en las

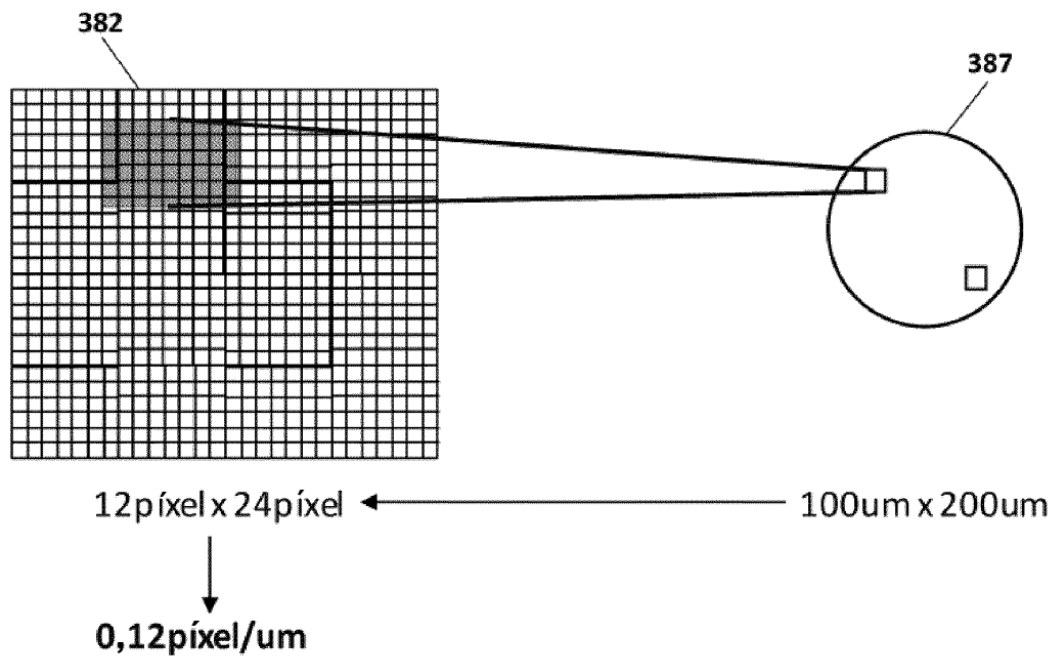
agrupaciones de píxeles originales, identificando como burbujas aquellas zonas que presenten agrupaciones de píxeles con agujeros, e identificando como partículas aquellas agrupaciones de píxeles detectadas sin agujero interior;

- 5 - a partir de las agrupaciones de píxeles, contar y calcular el tamaño de las burbujas y partículas, donde el cálculo de dicho tamaño comprende aplicar a esos píxeles la corrección dimensional obtenida usando el método de autocalibración de la reivindicación 6.





**FIG. 2**



**FIG. 3**