

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 024 933**

51 Int. Cl.:

**G06T 7/60** (2007.01)

**G06T 7/73** (2007.01)

**G01F 23/284** (2006.01)

**G01F 22/00** (2006.01)

**G01S 13/88** (2006.01)

**G01S 13/90** (2006.01)

**G01S 7/41** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.09.2021** **PCT/EP2021/075421**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.03.2022** **WO22058402**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2021** **E 21778021 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2025** **EP 4081767**

54 Título: **Determinación del nivel de llenado de tanques de combustible mediante imágenes de radar de un satélite**

30 Prioridad:

**17.09.2020 DE 102020124253**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.06.2025**

73 Titular/es:

**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND  
RAUMFAHRT E.V. (100.00%)  
Königswinterer Str. 522-524  
53227 Bonn, DE**

72 Inventor/es:

**VILLAMIL LOPEZ, CARLOS**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 3 024 933 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

Determinación del nivel de llenado de tanques de combustible mediante imágenes de radar de un satélite

5 La invención se refiere a un procedimiento para determinar el nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico con una pared exterior y un techo flotante, así como a un sistema de radar para un satélite destinado a determinar el nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico con una pared exterior y un techo flotante.

10 La siguiente información no se refiere necesariamente a un documento concreto del estado de la técnica, sino que reproduce información de conocimiento general: Las grandes cantidades de petróleo crudo o de productos finales refinados se almacenan normalmente en grandes depósitos cilíndricos. Para evitar la formación de una burbuja de gas con vapores inflamables y nocivos para el medio ambiente entre el techo del depósito y el aceite almacenado en su interior cuando se producen cambios en el nivel de llenado, estos depósitos de aceite suelen estar provistos de un techo flotante (en inglés, "floating roof"). Este techo flotante se eleva y desciende junto con el nivel de llenado del depósito de petróleo, ya que el techo flotante descansa directamente sobre la superficie del petróleo o del producto final, sin que se acumulen los vapores mencionados anteriormente entre el techo y el petróleo o el producto final. De ello se deduce que, observando la altura del techo flotante, se pueden extraer conclusiones sobre el nivel de llenado del depósito de petróleo correspondiente. Conocer el nivel de llenado de un depósito de aceite puede tener una importancia económica y estratégica considerable.

20 En el estado actual de la técnica, se conoce en principio la generación de información sobre depósitos de aceite a partir de información óptica, es decir, imágenes basadas en longitudes de onda en el rango visible. A este respecto, por ejemplo, el documento US 2014/0363084 A1 se refiere a un sistema para supervisar un depósito de aceite, con un módulo de extracción y un módulo de análisis, en donde el módulo de extracción extrae información de datos de imágenes y el módulo de análisis realiza operaciones basadas en la información extraída. La desventaja de obtener información mediante estos datos ópticos es que la captura de imágenes depende en gran medida de condiciones externas, como la radiación solar, las nubes sobre los depósitos de petróleo, el polvo en el aire y otros factores similares.

30 La publicación titulada "Oil Storage Estimation with Time-Series L-Band Sar Imagery", publicada por el simposio "International Geoscience and Remote Sensing" (IGARSS) de 2018, con los autores Takuma ANAHARA y Masanobu SHIMADA, muestra además una posibilidad de determinar un cambio en la posición del techo flotante de un depósito de petróleo entre diferentes momentos mediante tecnología de radar. De este modo, se conoce el volumen y la capacidad máxima del depósito de petróleo en cuestión. Sin embargo, se necesita una serie de imágenes de radar de un dispositivo de radar SAR (SAR = "radar de apertura sintética"), lo que reduce la eficiencia del método. Además, solo se rastrea un único punto en el techo flotante, lo que puede reducir la precisión.

40 Por otra parte, el documento US 10.672.139 B2 se refiere a un método para medir el volumen de un líquido y/o la tasa de llenado correspondiente de depósitos flotantes, que comprende la selección de un área de interés (AOI) en la superficie terrestre que se va a supervisar, la recopilación de coordenadas geográficas de los depósitos en el AOI y la descarga y el preprocesamiento de series temporales de imágenes SAR de referencia que cubren el AOI. El procedimiento comprende además la proyección de las coordenadas geográficas de los depósitos sobre las series temporales de imágenes para determinar las coordenadas de píxeles de los depósitos y la determinación de las dimensiones de los depósitos mediante el procesamiento de las imágenes en las coordenadas de píxeles. El procedimiento comprende además la descarga y el preprocesamiento de al menos una nueva imagen SAR sobre el AOI y el registro de la misma en las imágenes de referencia y, para cada depósito del AOI, la detección de un punto brillante en la nueva imagen SAR que corresponda al techo del depósito y la conversión de sus coordenadas de píxeles en información sobre el volumen de líquido y/o las tasas de llenado.

50 El documento WO 2019/098280 A1 se refiere además a un sistema, un procedimiento, un programa y un soporte de registro que almacena el programa para estimar la posición o la cantidad de cambio de posición de una estructura rectangular en una estructura. Para ello, se observa una imagen de intensidad SAR que incluye un área objetivo en varios momentos.

55 El documento CN 111540007 A se refiere además a un método para estimar la capacidad de almacenamiento de un depósito de petróleo utilizando imágenes SAR, cuyos pasos son los siguientes: Paso 1: identificar el depósito de petróleo a partir de la imagen SAR, siendo el depósito de petróleo un depósito de petróleo con techo flotante; Paso 2: utilizar una segmentación de umbral para identificar la parte superior del depósito, la parte inferior del depósito de petróleo y el techo flotante del depósito de petróleo; paso 3: determinar el acimut y el ángulo de incidencia durante la observación por satélite; paso 4: determinar la altura real del depósito de petróleo; paso 5: calcular la capacidad del depósito de petróleo; paso 6: determinar la altura del techo flotante del depósito de petróleo; paso 7: calcular la tasa de almacenamiento y el volumen de almacenamiento del depósito de petróleo.

65 El documento CN 110276796 A se refiere, finalmente, a un método de estimación del almacenamiento para un depósito de petróleo con techo flotante basado en una imagen SAR de alta resolución y pertenece al campo técnico del procesamiento y análisis de imágenes de teledetección SAR. El documento CN 110276796 A utiliza las

propiedades de reflexión diédrica de una imagen de teledetección SAR de alta resolución y las propiedades geométricas de una imagen, y calcula la altura  $H$  entre el suelo y la parte superior del depósito de combustible en el extremo cercano, para medir la altura de la superficie superior flotante del depósito de petróleo y la parte superior de la pared interior del depósito de petróleo en el extremo lejano  $h$  en la imagen SAR directamente a partir de la distancia entre la parte superior del depósito de petróleo proximal y la parte superior del depósito de petróleo en el extremo lejano, que se forma por la reflexión secundaria del punto máximo de intensidad de la imagen como diámetro del depósito de aceite, para obtener finalmente el volumen de almacenamiento de aceite del depósito de aceite.

El objetivo de la invención es determinar de forma precisa, eficiente e independiente de la posición del sol el nivel de llenado de un depósito grande, en particular cilíndrico, para petróleo crudo o para un producto final refinado.

La invención se deriva de las características de las reivindicaciones independientes. Las ventajas y configuraciones adicionales son objeto de las reivindicaciones dependientes.

Un primer aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para determinar el nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico con una pared envolvente y un techo flotante, que comprende los pasos de:

- emisión de microondas desde un satélite en órbita terrestre o estacionario, en dirección oblicua hacia el depósito cilíndrico de aceite situado en la superficie terrestre,
- recepción de las microondas reflejadas en el depósito cilíndrico de aceite y generación de una imagen de radar según un método de apertura sintética,
- determinación de una pluralidad de dispersores de puntos a partir de la imagen de radar mediante procesamiento de imágenes y/o procesamiento de señales, de modo que la imagen de radar solo contenga información binaria, en la que los dispersores de puntos se crean por reflexiones de las microondas que inciden en el depósito cilíndrico de petróleo y aparecen en la imagen de radar como puntos que se distinguen por su color,
- generación y ajuste de al menos dos semicírculos utilizando un método de optimización no lineal o una transformación de Hough, de modo que los dispersores puntuales se encuentren en los semicírculos o lo más cerca posible de ellos, y los semicírculos tengan al menos las siguientes características: un primer semicírculo asociado a una línea de contacto de un lado exterior de la pared envolvente con el suelo, y un segundo semicírculo asociado a una línea de contacto de un lado interior de la pared envolvente con una superficie frontal superior del techo flotante,
- determinación de un diámetro del depósito de aceite y de una altura del techo flotante con respecto al suelo a partir del primer semicírculo y del segundo semicírculo adaptados, y
- determinación del nivel de llenado del depósito de aceite a partir del diámetro determinado del depósito de aceite y de la altura del techo flotante.

Mientras que la pared lateral del depósito de aceite cilíndrico tiene una sección transversal circular y se extiende a lo largo de una altura determinada, el suelo (en particular, una cimentación sobre el suelo) forma una cara frontal inferior del depósito de aceite cilíndrico y la parte superior del techo flotante forma una cara frontal superior.

El nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico indica, en particular, la cantidad de petróleo crudo o de un producto final derivado del mismo con la que está lleno el depósito de aceite en ese momento. Como se ha explicado anteriormente, el techo flotante se eleva y desciende junto con el nivel de llenado del depósito de aceite. Dado que el grosor del techo flotante es relativamente pequeño en comparación con la altura de la pared lateral del depósito cilíndrico de aceite y, por lo general, también pequeño en comparación con el nivel medio de llenado del depósito de aceite, se prefiere ignorar este grosor y considerar la altura de la superficie del lado frontal del techo flotante como la altura del nivel de llenado. Alternativamente, se puede restar un valor conocido a priori para el espesor del techo flotante de la altura determinada del techo flotante, pudiendo este valor también ser estimado.

El satélite cuenta, en particular, con una antena emisora y una antena receptora, pudiendo la antena receptora y la antena emisora estar integradas en una antena de radar común. Si el satélite orbita alrededor de la Tierra, sobrevuela en su trayectoria una serie de zonas que pueden ser observadas por el satélite. Por el contrario, el satélite estacionario es un satélite geoestacionario que gira con la rotación de la Tierra.

Las microondas son una forma de radiación electromagnética en el rango comprendido entre 300 MHz y 300 GHz, es decir, en el rango de longitudes de onda entre 1 mm y 1 m. También se pueden denominar rayos de radar.

El término "vista oblicua" significa que el satélite no se encuentra exactamente sobre el depósito de petróleo, es decir, que el depósito de petróleo es detectado por el satélite con una desviación respecto al nadir. En otras palabras, la posición del satélite es relativa al depósito cilíndrico de petróleo observado, de modo que una perpendicular en el lugar del depósito cilíndrico de petróleo observado con respecto a la superficie local del elipsoide de referencia de la Tierra forma un ángulo distinto de cero con respecto a una línea imaginaria que une el depósito cilíndrico de petróleo observado y el satélite.

La posición del depósito cilíndrico de petróleo que se va a observar puede ser conocida de antemano. En particular, existe una serie de mapas que indican la posición de los depósitos de petróleo, por ejemplo, en las instalaciones de

refinerías. Muchos de estos depósitos de petróleo se pueden encontrar, por ejemplo, en el mapa "OpenStreetMap". Como alternativa preferida, la posición de los depósitos de petróleo puede determinarse en una primera pasada de una imagen por radar del satélite mediante un método de apertura sintética, preferiblemente mediante reconocimiento de imágenes u otros métodos automatizados de inteligencia artificial. Una vez conocida la posición del depósito cilíndrico de petróleo que se desea observar, junto con la posición típicamente conocida del satélite, se puede orientar una antena de microondas de manera que el depósito cilíndrico de petróleo que se desea observar sea iluminado por las microondas del satélite.

La determinación de la gran cantidad de dispersores de puntos a partir de la imagen de radar se realiza mediante el procesamiento de imágenes y/o el procesamiento de señales. Los puntos del depósito cilíndrico de petróleo en los que se producen reflexiones dobles aparecen en la imagen del radar con un color especialmente llamativo, en particular como puntos especialmente brillantes, idealmente puntos. Cuanto mayor sea la resolución de la imagen del radar, más probable es que estos puntos brillantes sean puntos ideales. Al observar los puntos más destacados y filtrar el resto (lo que en la literatura se denomina a menudo "clutter"), se reduce especialmente el ruido de la imagen del radar, ya que se filtran otras reflexiones múltiples y el ruido moteado (denominado "speckle noise"). De acuerdo con la invención, la determinación de la gran cantidad de dispersores de puntos de la imagen de radar se realiza mediante el procesamiento de imágenes y/o el procesamiento de señales, de modo que la imagen de radar solo contenga información binaria, en particular información en blanco y negro. En el caso ideal, queda una imagen de radar procesada que, en esencia, solo muestra dispersores de puntos procedentes de reflexiones en el depósito de aceite cilíndrico.

En las imágenes de radar obtenidas mediante observaciones con radar según un método de apertura sintética, los puntos con dispersiones casi puntuales se denominan típicamente "dispersores de puntos" (en inglés, "coherent scatterers"). Estos dispersores de puntos suelen dominar un elemento de la imagen de radar determinado por la resolución (píxeles de la imagen). Un píxel de este tipo, que presenta un gran número de dispersores puntuales estadísticamente idénticos, que además están distribuidos aleatoriamente y ninguno de los cuales parece dominante, también se denomina "clutter". Se conocen varios métodos para detectar estos dispersores puntuales en una sola imagen de radar de alta resolución obtenida con un radar SAR (SAR: radar de apertura sintética). En la publicación titulada "A New Detection Algorithm for Coherent Scatterers in SAR Data", publicada en "IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing" en 2015, cuyos autores son: Maria J. SANJUAN-FERRER, Irena HAJNSEK, Konstantinos P. PAPATHANASSIOU y Alberto MOREIRA, se ofrece una visión general de estos métodos conocidos. Uno de estos procedimientos puede utilizarse para detectar los dispersores puntuales descritos anteriormente y a continuación. La distancia exacta (el denominado "alcance") entre el sensor de radar del satélite y cada uno de los dispersores puntuales detectados puede determinarse entonces con una precisión subpíxel (es decir, una precisión mayor que la resolución de distancia del propio sensor de radar SAR). Esto también se describe en la publicación anterior, que se incluye aquí. Esto mejora considerablemente la precisión en la determinación de la altura del techo flotante, ya que permite una determinación más precisa de la distancia.

Los semicírculos se ajustan en particular en función de los siguientes parámetros: ubicación de su centro, radio o diámetro, desplazamiento aparente de los semicírculos entre sí. Dado que el satélite está orientado en ángulo oblicuo con respecto al depósito de petróleo que se observa, los objetos situados a mayor distancia horizontal en la superficie terrestre pueden detectarse como más lejanos mediante la medición del tiempo de propagación de las microondas, ya que estas tienen un tiempo de propagación mayor cuanto más se aleja el objeto en horizontal con respecto al nadir desde la perspectiva del satélite. Sin embargo, si se producen reflexiones en una zona del objeto a cierta altura por encima de la superficie terrestre, las microondas tendrán un tiempo de propagación menor y, por lo tanto, se registrarán como más cercanas al nadir desde la perspectiva del satélite. Esto se manifiesta en el desplazamiento de los dispersores de puntos (aproximadamente) situados en los semicírculos entre sí. Además, los semicírculos solo se ajustan hasta las restricciones especificadas, que incluyen, en particular, un valor máximo para el radio o el diámetro y la altura del depósito de aceite o del techo flotante.

La razón por la que, en principio, solo se ajustan semicírculos en lugar de círculos completos es que un depósito de aceite cilíndrico, especialmente si es metálico, provoca reflexiones totales de las microondas. Por lo tanto, no se registran reflexiones en la sombra de las microondas en el depósito de aceite cilíndrico. En principio, el satélite puede identificar tres semicírculos, ya que en estas líneas de contacto se producen reflexiones dobles. Un primer semicírculo se forma en la transición de la pared exterior de la superficie envolvente del depósito de aceite cilíndrico al suelo, en el lado del depósito de aceite que está orientado hacia el satélite. Un segundo semicírculo, formado por un segundo doble reflejo en el campo de visión del satélite, se forma en la pared interior iluminada de la superficie envolvente, en la transición a la parte superior de la superficie frontal del techo flotante. Un tercer semicírculo, resultante de una tercera reflexión doble, se forma a lo largo del lado exterior de la pared envolvente del depósito de aceite, donde discurre un pasillo de mantenimiento en la zona del borde superior de la pared envolvente, pero de nuevo en el lado orientado hacia el satélite. Sin embargo, basta con detectar el primer y el segundo semicírculo para determinar el nivel actual del depósito de aceite. Esto se debe a que entonces se conoce la distancia entre el satélite y el suelo gracias al semicírculo inferior en el suelo. Además, al detectar el segundo semicírculo en la parte frontal del techo flotante, se conoce la altura relativa del techo flotante con respecto al suelo. A partir del radio o del diámetro del semicírculo inferior o de este segundo semicírculo en el techo flotante, se conoce la superficie transversal del depósito de aceite. En principio, es irrelevante si se determina el diámetro o el radio del depósito de

aceite, ya que ambas magnitudes se pueden convertir fácilmente entre sí. La distancia entre el techo flotante y el suelo también proporciona una altura, y a partir de la altura y el área transversal se puede calcular el volumen del aceite o del producto final.

Dado que el depósito observado tiene forma cilíndrica, las transiciones observables entre la pared exterior y el suelo, entre el pasillo de mantenimiento y la pared exterior, así como entre la pared interior y la parte frontal superior del techo flotante forman semicírculos que, debido a la visión oblicua, aparecen en forma de elipses en la imagen del radar. Sin embargo, esto no supone ninguna limitación en las posibilidades de cálculo, ya que las relaciones entre las extensiones de los ejes de las elipses pueden calcularse mediante el ángulo de incidencia de las microondas con respecto a la superficie terrestre.

Se considera ventajoso que el grosor de la pared exterior del depósito cilíndrico de aceite y el grosor del techo flotante sean insignificantes en una primera aproximación. Si el procedimiento según la invención se repite a intervalos de tiempo para seguir, sobre todo, la variación del nivel de llenado del depósito de aceite cilíndrico observado, al restar las alturas determinadas del techo flotante se elimina de todos modos su espesor, ya que este permanece constante a lo largo del tiempo.

Por lo tanto, una ventaja de la invención es que, mediante el uso de un método de apertura sintética (SAR), la observación puede realizarse independientemente de la posición del sol y del grado de nubosidad sobre un depósito de aceite. Otra ventaja es que la precisión que se puede alcanzar en principio no depende de factores ambientales del entorno del depósito de aceite, sino únicamente de la resolución espacial del sensor de radar, la geometría de la imagen seleccionada y la calidad del algoritmo utilizado para obtener información a partir de los datos del sensor. La gran ventaja de este método radica en que solo se necesita una única imagen de radar de un dispositivo SAR para determinar el nivel actual y la capacidad máxima de un depósito de petróleo con techo flotante. El uso de una gran cantidad de dispersores puntuales (dispersores coherentes, en inglés "coherent scatterers") en lugar de un solo dispersor puntual (especialmente a partir de reflexiones dobles entre el techo flotante y las paredes de un depósito de este tipo) permite además un procedimiento altamente preciso y robusto, en comparación con el estado actual de la técnica, para determinar la altura actual del techo flotante de un depósito de aceite, así como el diámetro de la pared exterior. Además, el uso de la información de los dispersores puntuales permite registrar la altura del techo flotante con una precisión inferior al píxel. Si, además, se generan múltiples imágenes de radar para diferentes momentos, el procedimiento propuesto puede combinar sinérgicamente su contenido informativo para mejorar la precisión de todas las imágenes de radar y la robustez general del procedimiento, en lugar de generar imágenes de radar individuales que, en principio, son técnicamente independientes entre sí.

De acuerdo con una forma de realización ventajosa, se generan al menos tres semicírculos y se ajustan de manera que los dispersores de puntos se encuentren sobre los semicírculos o lo más cerca posible de ellos, teniendo los semicírculos un tercer semicírculo que está asignado a una línea de contacto del lado exterior de la pared envolvente con un pasillo de mantenimiento en la zona del borde superior de la pared envolvente, determinándose una altura total del depósito de aceite, determinándose un nivel de llenado máximo posible del depósito de aceite a partir del diámetro determinado y de la altura total del depósito de aceite. Si se conoce la posición relativa entre sí y la extensión de cada uno de los tres semicírculos mencionados anteriormente, también se conoce (al menos de forma aproximada) la capacidad máxima del depósito de aceite cilíndrico, así como el estado de llenado actual, ya que no solo se conoce la altura del techo flotante con respecto a las paredes exteriores del depósito cilíndrico de aceite, sino también la altura máxima del techo flotante, que se correlaciona con la altura del pasillo de mantenimiento en el borde superior de la pared envolvente. Aproximadamente, la altura del pasillo de mantenimiento puede tomarse directamente como la altura máxima del techo flotante; o bien, se suma o se resta una cantidad constante predeterminada a la altura del pasillo de mantenimiento para deducir la altura máxima del techo flotante.

De acuerdo con otra forma de realización ventajosa, al ajustar los semicírculos se aplica al menos una de las siguientes restricciones:

- todos los semicírculos tienen el mismo radio;
- los centros de todos los semicírculos se encuentran en una línea recta común perpendicular a la superficie terrestre;
- solo el primer semicírculo y el tercer semicírculo se encuentran en un lado común de la pared envolvente;

De acuerdo con otra forma de realización ventajosa, se genera una única imagen de radar mediante un método de apertura sintética. Esto aumenta ventajosamente la eficiencia en comparación con los sistemas en los que se necesitan varias imágenes de radar.

De acuerdo con la invención, para generar y ajustar los semicírculos se utiliza un método de optimización no lineal o una transformación de Hough. Una primera posibilidad de ajustar los semicírculos consiste en seleccionar, entre una gran variedad de semicírculos posibles, el que mejor se adapta a los dispersores de puntos locales. Otra posibilidad es la aplicación de un procedimiento de optimización no lineal, en particular con un procedimiento determinista, por ejemplo, un método de descenso más rápido para minimizar una función de coste o una optimización cuadrática con una función de coste de este tipo, en la que la función de coste indica la suma de las distancias entre los dispersores

de puntos y un semicírculo correspondiente que se va a ajustar. También son posibles otros métodos de optimización no lineal, en particular un algoritmo evolutivo o algoritmos genéticos. Una transformación de Hough es un método conocido para reconocer formas geométricas predeterminadas, que aquí se aplica en particular a los semicírculos que se van a ajustar.

Según otra forma de realización ventajosa, los pasos del procedimiento se repiten en al menos dos momentos diferentes de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores para realizar un seguimiento del cambio en el nivel de llenado del depósito de aceite.

De acuerdo con otra forma de realización ventajosa, al ajustar los semicírculos, todos los dispersores de puntos que permanecen en el mismo lugar en los dos momentos se asignan a la línea de contacto del exterior de la pared envolvente con el suelo o a la línea de contacto del exterior de la pared envolvente con el pasillo de mantenimiento en la zona del borde superior de la pared envolvente, y todos los dispersores puntuales de la línea de contacto del interior de la pared envolvente del depósito de aceite con la superficie frontal superior del techo flotante que cambian de posición con el tiempo se asignan a la superficie del suelo, comprobándose la coherencia interferométrica entre los dos momentos para descartar confusiones entre los dispersores puntuales.

Se comprueba la coherencia interferométrica de los dispersores de puntos considerados entre los dos momentos, ya que podrían aparecer diferentes dispersores de puntos en un mismo lugar de la imagen del radar. Además de separar en la imagen del radar los dispersores de puntos que permanecen en el mismo lugar durante los dos momentos, esta comprobación de la coherencia interferométrica es útil para garantizar que el punto disperso restante considerado es el mismo en los dos momentos. Una alta coherencia interferométrica de un dispersor puntual que se considera restante indica que dicho dispersor puntual no se ha movido, mientras que una baja coherencia interferométrica indica un cambio en el dispersor puntual. La separación entre los dispersores puntuales que permanecen en el mismo lugar y los que se han movido permite, en última instancia, asignar los dispersores puntuales individuales a las líneas de contacto correspondientes. La asignación de los dispersores de puntos que permanecen en su ubicación respectiva a la línea de contacto del exterior de la pared exterior con el suelo o a la línea de contacto del exterior de la pared exterior con el pasillo de mantenimiento permite determinar el diámetro del depósito y la altura máxima de llenado de este depósito. Además, a partir del diámetro y mediante la asignación de los dispersores puntuales que se han movido a la línea de contacto del interior de la pared envolvente con el techo flotante al segundo semicírculo, se puede determinar la altura actual del techo flotante para calcular el nivel de llenado actual del techo flotante. De manera ventajosa, en un primer paso se determina el cambio de altura y, en un segundo paso, la altura absoluta inicial del techo flotante.

De acuerdo con otra realización ventajosa, el cambio en el nivel de llenado del depósito de aceite se determina resolviendo un problema de optimización, donde el problema de optimización comprende la búsqueda del número máximo de dispersores de puntos relacionados entre sí en los dos momentos, separando los dispersores de puntos que permanecen en el mismo lugar de los dispersores de puntos que cambian de lugar con el tiempo, y el cambio en el nivel de llenado del depósito de aceite se determina a partir del cambio de altura de los dispersores de puntos que cambian de lugar con el tiempo.

Esto se realiza preferiblemente mediante el análisis de una correlación cruzada de los dispersores puntuales en movimiento en las imágenes de radar procesadas para diferentes momentos (y, en general, movimientos de los dispersores puntuales) a lo largo de un eje de distancia (el denominado "eje de alcance"). Este procedimiento aprovecha de forma ventajosa no solo las respectivas reflexiones dobles en sí mismas, sino también todas las características físicas y condiciones del techo flotante. Por lo tanto, el cambio en el nivel de llenado también puede determinarse con una precisión inferior al píxel, ya que la posición de cada difusor puntual puede determinarse con una precisión inferior al píxel en relación con su distancia (el denominado "rango"), como se ha descrito anteriormente.

De acuerdo con otra forma de realización ventajosa, los pasos del procedimiento descritos anteriormente o a continuación se repiten en más de dos momentos diferentes, generando un sistema de ecuaciones sobredeterminadas mediante la equiparación múltiple de los desplazamientos del techo flotante registrados en momentos no consecutivos con la suma de todos los desplazamientos registrados del techo flotante entre los momentos considerados, para determinar un desplazamiento del techo flotante durante un período de tiempo predeterminado. Para resolver el sistema de ecuaciones sobredeterminadas, se utiliza preferentemente un método que es especialmente robusto contra los llamados "valores atípicos", a fin de no falsear innecesariamente el resultado global. Mediante el uso de dicha información redundante, se puede reducir aún más el ruido en los datos utilizados y aumentar de forma ventajosa la precisión del procedimiento para determinar semicírculos que se correspondan lo más exactamente posible con la realidad del depósito de aceite.

Una vez determinados los cambios en el nivel de llenado del depósito de aceite a partir de los cambios de altura del techo flotante, se determina preferiblemente la altura inicial del techo flotante para obtener una medida absoluta del volumen de aceite almacenado en el depósito de aceite en cada momento, en lugar de solo los cambios relativos del nivel de llenado. La estimación de la altura absoluta inicial del techo flotante se determina preferiblemente utilizando varias, en particular todas, las imágenes de radar de los diferentes momentos, determinando en particular el

semicírculo correspondiente a partir de la doble reflexión correspondiente en cada una de las imágenes de radar y utilizando a continuación el cambio en la altura del techo flotante determinado para el momento anterior correspondiente para determinar la estimación de la altura inicial del techo flotante. Si se conocen el centro del fondo del depósito, así como el radio o el diámetro y la altura máxima del techo flotante, no es necesario realizar una transformación de Hough para determinar explícitamente el segundo semicírculo en la transición del interior de la pared lateral a la parte superior del techo flotante. En su lugar, se puede crear una plantilla binaria que tenga un semicírculo con el radio del depósito de aceite y se puede establecer una correlación cruzada para todas sus posibles alturas. Mediante el uso de la gran cantidad de imágenes de radar de los momentos correspondientes, en particular todas estas imágenes de radar, para determinar la altura inicial del techo flotante, se puede realizar una estimación de esta altura inicial más precisa y resistente a los errores.

En caso de repetir los pasos del procedimiento al menos en dos momentos diferentes para realizar un seguimiento de los cambios en el nivel de llenado del depósito de combustible, se recomienda aplicar el siguiente procedimiento:

- detección de los dispersores de puntos para cada una de las imágenes de radar,
- determinación de los dispersores de puntos que permanecen en el mismo lugar frente a los dispersores de puntos que se mueven,
- determinación de un radio o diámetro del depósito de aceite y una altura del depósito de aceite utilizando los dispersores de puntos que se detectan como permanentes en el lugar, en particular utilizando una transformación de Hough,
- determinación de una estimación de un cambio de altura del techo flotante a partir de imágenes de radar combinadas por pares de una pluralidad, en particular de todos, de los momentos considerados, y
- determinación de una estimación de la altura inicial del techo flotante mediante el ajuste del segundo semicírculo en una pluralidad, en particular en todas, de las imágenes de radar de los momentos considerados.

Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema de radar para un satélite destinado a determinar el nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico con una pared lateral y un techo flotante, que comprende una unidad de radar, que está diseñada para emitir microondas en ángulo oblicuo hacia un depósito de aceite cilíndrico situado en la superficie terrestre y para recibir las microondas reflejadas en el depósito de aceite cilíndrico, y que comprende una unidad de cálculo diseñada para generar una imagen de radar según un método de apertura sintética a partir de las microondas recibidas, así como para determinar una pluralidad de dispersores de puntos a partir de la imagen de radar mediante procesamiento de imágenes y/o procesamiento de señales, de modo que la imagen de radar solo contenga información binaria, en la que los dispersores de puntos se crean por reflexiones de las microondas que inciden en el depósito cilíndrico de aceite y se muestran en la imagen de radar como puntos de colores contrastantes en dos semicírculos utilizando un método de optimización no lineal o una transformación de Hough, de modo que los dispersores de puntos se encuentran sobre los semicírculos o lo más cerca posible de ellos, y los semicírculos presentan al menos lo siguiente: un primer semicírculo asignado a una línea de contacto del lado exterior de la pared envolvente con el suelo, y un segundo semicírculo asignado a una línea de contacto de un lado interior de la pared envolvente del depósito de aceite con la superficie frontal superior del techo flotante, en el que la unidad de cálculo está diseñada además para determinar un diámetro del depósito de aceite y una altura del techo flotante con respecto al suelo a partir del primer semicírculo y del segundo semicírculo adaptados respectivamente, y para determinar el nivel de llenado del depósito de aceite a partir del diámetro determinado del depósito de aceite y de la altura del techo flotante.

De forma equivalente, la unidad de cálculo puede estar dispuesta en el satélite o en una estación terrestre.

Las ventajas y las mejoras preferidas del sistema de radar propuesto se derivan de una transferencia analógica y significativa de las explicaciones anteriores relacionadas con el procedimiento propuesto.

En la descripción siguiente, en la que se describe al menos un ejemplo de realización en detalle, en su caso con referencia al dibujo, se exponen otras ventajas, características y detalles. Las piezas iguales, similares y/o con la misma función se identifican con los mismos signos de referencia.

Allí:

- Fig. 1 muestra un procedimiento para determinar el nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico según un ejemplo de realización de la invención,
- Fig. 2 muestra un depósito de aceite cilíndrico ejemplar,
- Fig. 3 muestra un sistema de radar en la ejecución del procedimiento según el ejemplo de realización de la invención, y
- Fig. 4 muestra un ejemplo de la aplicación real con esparcidores de puntos.

Las representaciones de las Figuras son esquemáticas y no están a escala.

La Fig. 1 muestra un procedimiento para determinar el nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico 100 con una pared exterior 102 y un techo flotante 104. En la Fig. 2, se muestra un ejemplo de dicho depósito de aceite 100.

Además, el procedimiento se lleva a cabo en un satélite 1 con un sistema de radar 2, que se muestran en la Fig. 3. Por lo tanto, el procedimiento que se explica a continuación también se puede comprender con ayuda de la Fig. 3. En un primer paso del procedimiento, se emiten microondas S1 desde un satélite 1 que orbita alrededor de la Tierra en dirección oblicua hacia el depósito de aceite cilíndrico 100 situado en la superficie terrestre. La vista oblicua significa que el satélite 1 no tiene el depósito de aceite 100 debajo de su nadir, sino que forma un ángulo con este nadir en dirección al depósito de aceite 100. En un segundo paso del procedimiento, se reciben S2 las microondas reflejadas en el depósito de aceite cilíndrico 100. A partir de las microondas reflejadas registradas se genera una única imagen de radar que puede representarse gráficamente. Esto se realiza mediante un método de apertura sintética (SAR: radar de apertura sintética). Por último, se determina S3 una pluralidad de dispersores de puntos a partir de la imagen de radar, en la que los dispersores de puntos se crean por reflexiones de las microondas que inciden en el depósito de aceite cilíndrico 100 y aparecen en la imagen de radar como puntos que se distinguen claramente. A continuación, se generan y ajustan S4 tres semicírculos de tal manera que los dispersores puntuales se encuentren sobre los semicírculos o lo más cerca posible de ellos, presentando los semicírculos lo siguiente: Un primer semicírculo 11 asociado a una línea de contacto de un lado exterior de la pared envolvente 102 con el suelo, un segundo semicírculo 12 asociado a una línea de contacto de un lado interior de la pared envolvente 102 con una superficie frontal superior del techo flotante 104, y un tercer semicírculo 13 asociado a una línea de contacto del lado exterior de la pared envolvente 102 con un pasillo de mantenimiento en la zona del borde superior de la pared envolvente 102. Por último, se determina S5 un diámetro del depósito de aceite 100 y una altura del techo flotante 104 con respecto al suelo a partir del primer semicírculo 11 y del segundo semicírculo 12 adaptados respectivamente, y la determinación S6 del nivel de llenado del depósito de aceite 100 a partir del diámetro determinado y la altura del techo flotante 104, y la determinación de un nivel de llenado máximo posible del depósito de aceite 100 a partir del diámetro determinado y la altura total del depósito de aceite 100 a partir del primer semicírculo 11 y el tercer semicírculo 13 adaptados respectivamente. Al ajustar los semicírculos se aplican todas las restricciones siguientes: Todos los semicírculos tienen el mismo radio; los centros de todos los semicírculos se encuentran en una línea recta común perpendicular a la superficie terrestre; y solo el primer semicírculo 11 y el tercer semicírculo 13 se encuentran en un lado común de la pared lateral 102, mientras que el segundo semicírculo 12 se encuentra en un lado opuesto de la pared lateral 102. Estas restricciones forman parte de una optimización restringida no lineal, en la que la función de coste se forma a partir de la suma de las distancias entre los distintos dispersores de puntos y los semicírculos que se deben ajustar. A la función de coste se suman las restricciones transformadas en componentes de coste, de modo que la minimización de la función de coste conduce automáticamente al cumplimiento de estas restricciones. El algoritmo de optimización no lineal converge de tal manera que los dispersores de puntos se asignan automáticamente al semicírculo correcto. Dispersores de puntos

La Fig. 2 muestra un depósito de aceite 100 de este tipo. La altura del techo flotante 104 se correlaciona con el nivel de aceite en el depósito de aceite 100. La pared exterior 102 tiene una sección transversal circular. En el extremo superior de la pared exterior 102 hay un pasillo de mantenimiento.

La Fig. 3 muestra un sistema de radar 2 en un satélite 1. El sistema de radar 2 sirve para determinar el nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico 100 como el de la Fig. 2. El sistema de radar 2 cuenta con una unidad de radar 3 diseñada para emitir microondas en ángulo oblicuo hacia el depósito cilíndrico de aceite 100 situado en la superficie terrestre y para recibir las microondas reflejadas en el depósito cilíndrico de aceite 100. Dado que el satélite 1 está orientado en visión oblicua con respecto al depósito cilíndrico de aceite 100, los semicírculos realmente presentes en el depósito de aceite 100 aparecen en forma de elipses en la imagen del radar. La razón por la que se consideran especialmente los tres semicírculos mencionados anteriormente es que la radiación de las microondas, debido a su ángulo de incidencia oblicuo causado por la visión oblicua, regresa hacia el satélite 1 mediante reflexiones dobles. Las reflexiones dobles se producen exactamente en los lugares de los tres semicírculos imaginarios mencionados anteriormente. En el caso del primer semicírculo 11 y del tercer semicírculo 13, las microondas entrantes se reflejan primero en la superficie exterior de la pared envolvente 102 del depósito de aceite cilíndrico 100. En el caso del primer semicírculo 11, las microondas se reflejan posteriormente en el suelo y vuelven al satélite 1. En el caso del tercer semicírculo 13, tras reflejarse en la pared exterior de la pared envolvente 102, las microondas se reflejan en un pasillo de mantenimiento en la zona del borde superior de la pared envolvente 102 y vuelven al satélite 1. En el caso del segundo semicírculo 12, las microondas incidentes se reflejan primero en el interior de la pared envolvente 102 y, a continuación, este reflejo se refleja de nuevo desde la superficie frontal superior del techo flotante 104 del depósito de aceite cilíndrico 100 en dirección al satélite 1. Una unidad de cálculo 5 del sistema de radar 2 sirve para generar una imagen de radar según un método de apertura sintética a partir de las microondas recibidas, así como para determinar una gran cantidad de dispersores de puntos a partir de la imagen de radar. Los dispersores puntuales se producen por los reflejos de las microondas que inciden sobre el depósito cilíndrico de aceite 100 y aparecen en la imagen del radar como puntos que se distinguen por su color. La unidad de cálculo 5 sirve además para generar y ajustar los tres semicírculos de tal manera que los dispersores puntuales se encuentren sobre los semicírculos o lo más cerca posible de ellos, presentando los semicírculos lo siguiente: Un primer semicírculo 11 asociado a una línea de contacto del lado exterior de la pared envolvente 102 con el suelo, un segundo semicírculo 12 asociado a una línea de contacto de un lado interior de la pared envolvente 102 del depósito de aceite 100 con la superficie frontal superior del techo flotante 104, y un tercer semicírculo 02 asociado a una línea de contacto del lado exterior de la pared envolvente 102 con un pasillo de mantenimiento en la zona del borde superior de la pared envolvente 102. El primer semicírculo 11 se encuentra a la altura de la superficie terrestre y, por lo tanto, no aparece distorsionado en la imagen del radar. Sin embargo, el tercer semicírculo 13 aparece en la



imagen del radar, desde la perspectiva del satélite 1, más cerca del satélite 1 que el primer semicírculo 11. Esto se debe a que las microondas se reflejan allí a una distancia más corta del satélite 1 y, por lo tanto, tienen un tiempo de recorrido más corto desde la perspectiva del satélite 1. Por lo tanto, las microondas reflejadas en el borde superior de la pared envolvente 102 del depósito de aceite 100 se detectan como si estuvieran a una distancia horizontal más corta del satélite 1. Si se gira esta representación bidimensional del difusor puntual o de los semicírculos superpuestos otros noventa grados, se obtiene la imagen final de la figura 3, cuyos tres semicírculos 11, 12 y 13 forman una representación prácticamente espacial del depósito de aceite 100, pero desde la perspectiva opuesta del satélite 1. Esta aparente distorsión del difusor de puntos o de los semicírculos ajustados sobre él también se denomina "efecto de superposición". La unidad de cálculo 5 determina finalmente, a partir de las medidas geométricas de los semicírculos que aparecen como elipses en la imagen del radar, el diámetro del depósito de aceite 100, la altura del techo flotante 104 con respecto al suelo y la altura del depósito de aceite 100. A partir de estas dimensiones geométricas del depósito de aceite 100 en su configuración actual, la unidad de cálculo 5 determina finalmente el nivel actual del depósito de aceite 100, así como la capacidad del depósito de aceite 100.

La Fig. 4 muestra un ejemplo de aplicación real, en el que la imagen de la izquierda muestra una imagen de amplitud, la imagen del centro muestra los dispersores puntuales ("static coherent scatterers") y la imagen de la derecha muestra el primer semicírculo 11 y el tercer semicírculo 13 detectados, respectivamente, como líneas negras gruesas.

Aunque la invención se ha ilustrado y explicado con más detalle mediante ejemplos de realización preferidos, la invención no está limitada por los ejemplos descritos y el experto en la materia puede derivar otras variaciones sin salir del ámbito de protección de la invención. Por lo tanto, es evidente que existen numerosas posibilidades de variación. También está claro que las formas de realización mencionadas a modo de ejemplo son realmente solo ejemplos que no deben interpretarse en modo alguno como una limitación del ámbito de protección, las posibilidades de aplicación o la configuración de la invención. Por el contrario, la descripción anterior y la descripción de las figuras permiten al experto en la materia aplicar concretamente las formas de realización ejemplares, pudiendo el experto, conociendo la idea de la invención divulgada, realizar múltiples modificaciones, por ejemplo, en cuanto a la función o la disposición de elementos individuales mencionados en una forma de realización ejemplar, sin salir del ámbito de protección definido por las reivindicaciones.

Lista de signos de referencia

- 1 Satélite
- 2 Sistema de radar
- 3 Unidad de radar
- 5 Unidad de cálculo
- 11 Primer semicírculo
- 12 Segundo semicírculo
- 13 Tercer semicírculo
- 100 Depósito de aceite
- 102 Pared envolvente
- 104 Techo flotante
- S1 Emisión
- S2 Recepción
- S3 Determinación
- S4 Adaptación
- S5 Determinación
- S6 Determinación

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar el nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico (100) con una pared envolvente (102) y un techo flotante (104), que presenta los pasos de:

- emisión (S1) de microondas desde un satélite (1) en una órbita terrestre o estacionario, en dirección oblicua hacia el depósito de aceite cilíndrico (100) situado en la superficie terrestre,  
- recepción (S2) de microondas reflejadas en el depósito cilíndrico de aceite (100) y generación de una imagen de radar según un método de apertura sintética, caracterizado por los pasos de:

- determinación (S3) de una pluralidad de dispersores de puntos a partir de la imagen de radar mediante procesamiento de imágenes y/o procesamiento de señales, de modo que la imagen de radar solo presente información binaria, en donde los dispersores de puntos se producen por reflexiones de las microondas que inciden sobre el depósito cilíndrico de petróleo (100) y aparecen en la imagen de radar como puntos que se distinguen por su color,

- generación y adaptación (S4) de al menos dos semicírculos utilizando un procedimiento de optimización no lineal o una transformación de Hough, de modo que los dispersores de puntos se encuentren sobre los semicírculos o lo más cerca posible de ellos, en donde los semicírculos presentan al menos lo siguiente: un primer semicírculo (11) asociado a una línea de contacto de un lado exterior de la pared envolvente (102) con el suelo, y un segundo semicírculo (12) asociado a una línea de contacto de un lado interior de la pared envolvente (102) con una superficie frontal superior del techo flotante (104),

- determinación (S5) de un diámetro del depósito de aceite (100) y una altura del techo flotante (104) con respecto al suelo a partir del primer semicírculo (11) y del segundo semicírculo (12) adaptados respectivamente, y

- determinación (S6) del nivel de llenado del depósito de aceite (100) a partir del diámetro determinado del depósito de aceite (100) y de la altura del techo flotante (104).

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1,

en donde se generan al menos tres semicírculos y se adaptan de tal manera que los dispersores de puntos se encuentran sobre los semicírculos o lo más cerca posible de ellos, en donde los semicírculos presentan un tercer semicírculo (13) que está asignado a una línea de contacto del lado exterior de la pared envolvente (102) con un pasillo de mantenimiento en la zona del borde superior de la pared envolvente (102), determinándose una altura total del depósito de aceite (100), en donde se determina un nivel de llenado máximo posible del depósito de aceite (100) a partir del diámetro determinado y de la altura total del depósito de aceite (100).

3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores,

en donde, al adaptar los semicírculos, se aplica al menos una de las siguientes restricciones:

- todos los semicírculos presentan el mismo radio;

- los puntos centrales de todos los semicírculos se encuentran en una línea recta común perpendicular a la superficie terrestre;

- el primer semicírculo (11) y el tercer semicírculo (13) se encuentran en un lado común de la pared envolvente (102).

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores,

en donde se genera una única imagen de radar mediante un método de apertura sintética.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores,

en donde los pasos del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores se repiten al menos en dos momentos diferentes para realizar un seguimiento de la variación del nivel de llenado del depósito de aceite (100).

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5,

en donde, al adaptar los semicírculos, todos los dispersores de puntos que permanecen en el mismo lugar en los dos momentos se asignan a la línea de contacto de la parte exterior de la pared envolvente (102) con el suelo o la línea de contacto de la parte exterior de la pared envolvente (102) con el pasillo de mantenimiento en la zona del borde superior de la pared envolvente (102), y todos los dispersores de puntos de la línea de contacto del lado interior de la pared envolvente (102) del depósito de aceite (100) con la superficie frontal superior del techo flotante (104) que cambian de ubicación con el tiempo se asignan, comprobando cada uno de los dispersores de puntos considerados para detectar coherencia interferométrica entre los dos momentos, con el fin de descartar confusiones entre los dispersores de puntos.

7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5,

en donde la variación del nivel de llenado del depósito de aceite (100) se determina resolviendo un problema de optimización, en donde el problema de optimización comprende la búsqueda del número máximo de puntos de dispersión que pertenecen al mismo conjunto en los dos momentos, en donde se separan los dispersores puntuales que permanecen en el mismo lugar de los dispersores puntuales que cambian de lugar con el tiempo, y se determina

la variación del nivel del depósito de aceite (100) a partir de la variación de altura de los dispersores puntuales que cambian de lugar con el tiempo.

8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 7,

en donde los pasos del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4 se repiten en más de dos momentos diferentes, en donde, mediante la equiparación múltiple de los desplazamientos del techo flotante (104) registrados en momentos considerados no consecutivos con la suma de todos los desplazamientos registrados del techo flotante (104) entre los momentos considerados, se genera un sistema de ecuaciones sobredeterminado, para determinar un desplazamiento del techo flotante (104) durante un período de tiempo predeterminado.

9. Sistema de radar (2) para un satélite (1) para determinar el nivel de llenado de un depósito de aceite cilíndrico (100) con una pared lateral (102) y un techo flotante (104), que presenta una unidad de radar (3) diseñada para emitir microondas en dirección oblicua hacia un depósito de aceite cilíndrico (100) situado en la superficie terrestre y para recibir microondas reflejadas en el depósito de aceite cilíndrico (100), y que presenta una unidad de cálculo (5) diseñada para generar una imagen de radar según un método de apertura sintética a partir de las microondas recibidas, en donde la unidad de cálculo (5) se caracteriza porque está diseñada para determinar una pluralidad de dispersores de puntos a partir de la imagen de radar mediante el procesamiento de imágenes y/o el procesamiento de señales, de modo que la imagen de radar solo presenta información binaria, en donde los dispersores puntuales se crean por reflexiones de las microondas que inciden sobre el depósito cilíndrico de aceite (100) y aparecen en la imagen de radar como puntos que se distinguen por su color, y para generar y adaptar al menos dos semicírculos utilizando un procedimiento de optimización no lineal o una transformación de Hough, de tal manera que los dispersores puntuales se encuentren sobre los semicírculos o lo más cerca posible de ellos, en donde los semicírculos presentan al menos lo siguiente: un primer semicírculo (11) asociado a una línea de contacto del lado exterior de la pared envolvente (102) con el suelo, y un segundo semicírculo (12) asociado a una línea de contacto de un lado interior de la pared envolvente (102) del depósito de aceite (100) con la superficie frontal superior del techo flotante (104), en donde la unidad de cálculo (5) está diseñada, además, para determinar un diámetro del depósito de aceite (100) y una altura del techo flotante (104) con respecto al suelo a partir del primer semicírculo (11) y del segundo semicírculo (12) adaptados respectivamente, y para determinar el nivel de llenado del depósito de aceite (100) a partir del diámetro determinado y la altura del techo flotante (104).

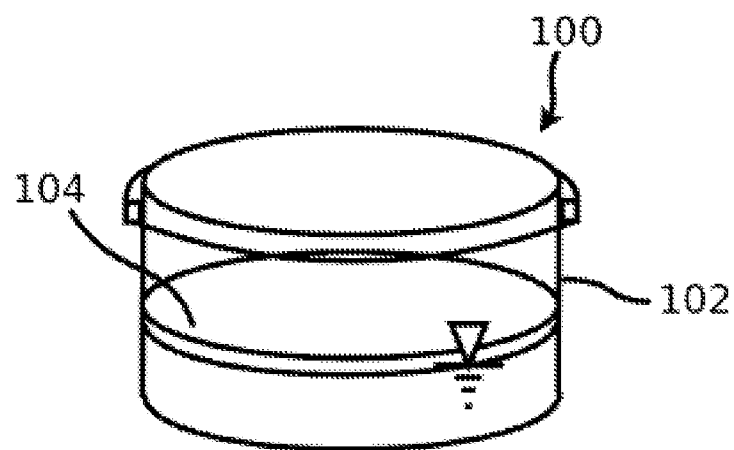
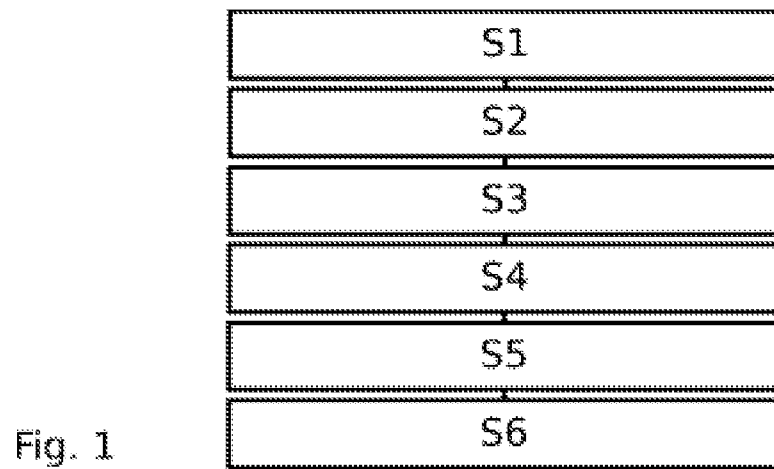


Fig. 2

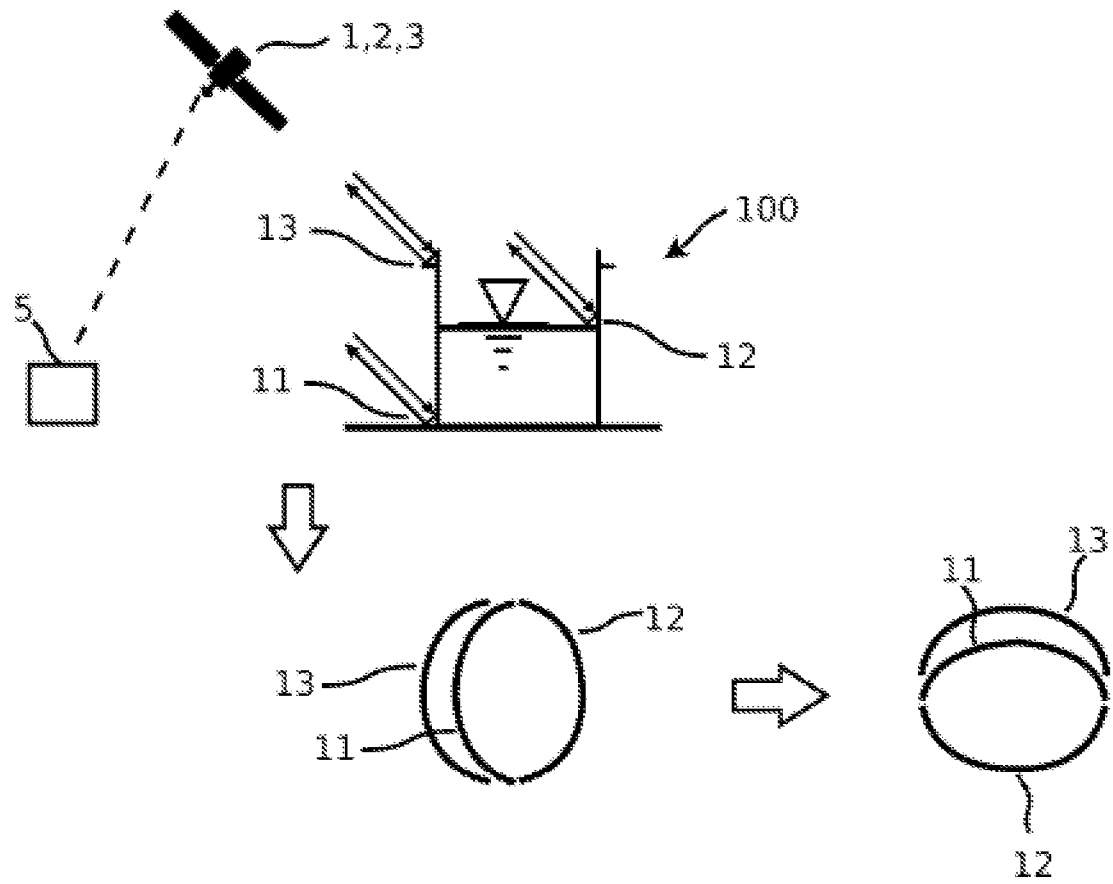


Fig. 3

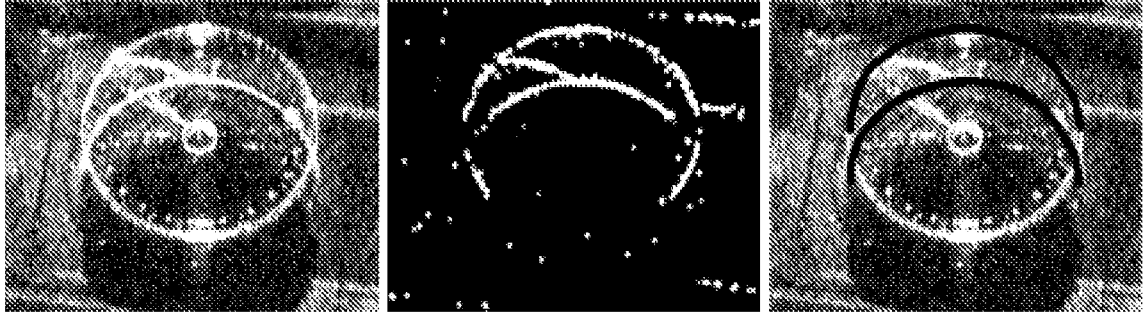


Fig. 4