(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 340 749**

(21) Número de solicitud: 200703434

(51) Int. Cl.:
G01F 23/22 (2006.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN B1

(22) Fecha de presentación: **13.12.2007**

(43) Fecha de publicación de la solicitud: **08.06.2010**

Fecha de la concesión: **29.03.2011**

(45) Fecha de anuncio de la concesión: **08.04.2011**

(45) Fecha de publicación del folleto de la patente: **08.04.2011**

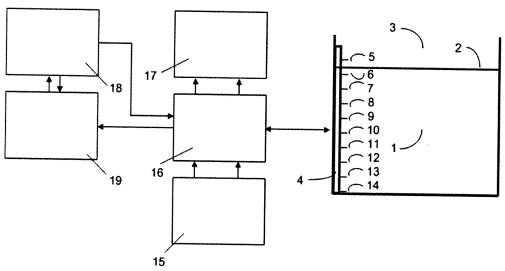
(73) Titular/es: **Universitat Politècnica de Catalunya**
c/ Jordi Girona, 31
08034 Barcelona, ES

(72) Inventor/es: **Casas Piedrafita, Jaime Óscar;**
Pallàs Areny, Ramón y
Casanella Alonso, Ramón

(74) Agente: **No consta**

(54) Título: **Método y aparato para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura.**

(57) Resumen:
Método y aparato para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura.
Método y aparato para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados que se basa en (a) un conjunto o varios conjuntos de sensores de temperatura alineados (dentro de cada conjunto) según la dirección perpendicular a la superficie del líquido, y que se utilizan para medir, simultánea o sucesivamente, las diferencias de temperatura existentes de forma natural en el seno del líquido o producidas en él al disipar calor en uno o varios puntos de su volumen, y (b) un procedimiento para combinar dichas diferencias de temperatura y reconstruir el perfil de diferencias de temperatura existentes o producidas por la disipación de calor en el líquido, y analizar dicho perfil basándose en las temperaturas teóricamente previsibles en el medio según su composición y estructura.



ES 2 340 749 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. Pº de la Castellana, 75 – 28071 Madrid

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura.

Sector de la técnica

Instrumentación de medida y control.

Estado de la técnica

El nivel de un líquido se mide normalmente a partir de alguna propiedad física del propio líquido. Los medidores basados en un flotador, por ejemplo, miden, directa o indirectamente, la posición del flotador que se sabe que está en la superficie del líquido. Los medidores basados en el peso del líquido miden la presión ejercida por la columna de líquido en un punto cerca del fondo del depósito, o emplean células de carga en los soportes del depósito.

La limitada fiabilidad mecánica de los flotadores y los inconvenientes de la instalación de sensores en el fondo o debajo de los depósitos, han estimulado la búsqueda de soluciones que emplean algún tipo de radiación (rayos x, radiación gamma, microondas, luz, ultrasonidos), cuya reflexión en la superficie del líquido indica su posición, o cuya atenuación aumenta con la longitud de su recorrido dentro del líquido, y por ende con el nivel. Pero, a pesar de su notable complejidad, estos métodos no pueden determinar fácilmente el espesor de capas de líquidos estratificados.

Los medidores que se basan en un cable u otra estructura eléctrica inmersa en el líquido aplican la reflectometría en el dominio del tiempo (TDR), en la que se mide el retardo con que llega un pulso aplicado a una línea de transmisión, y que depende de las discontinuidades de impedancia eléctrica en el medio por donde se propaga el pulso, las más notable de las cuales es la que hay entre el aire y el líquido (ver por ejemplo las patentes EP0937231 y EP1314967). Este mismo principio de la reflectometría se puede aplicar cuando hay líquidos estratificados, pero, obviamente, si las primeras discontinuidades en el medio reflejan la mayor parte de la energía del pulso eléctrico, no es fácil conocer más allá de dichas discontinuidades; por ejemplo, no se puede detectar la presencia de capas de líquidos estratificados en niveles más profundos.

Los medidores basados en las propiedades eléctricas del líquido ofrecen múltiples posibilidades aunque necesitan una sonda o electrodos inmersos en el líquido. Los sistemas más sencillos sólo detectan si el nivel alcanza un punto concreto, mientras que los sistemas más avanzados determinan el nivel mediante una sonda o un cable inmersos verticalmente en el líquido. Se han propuesto diversas sondas formadas por dos electrodos que constituyen un condensador cuya capacidad depende del nivel del líquido (dieléctrico) y cuya relación entre capacidad y nivel debe ser calibrada antes de usar el sistema, habida cuenta de la influencia de la constante dieléctrica del líquido en la capacidad eléctrica medida. Igualmente requieren calibración previa los métodos basados en la medida de resistencia eléctrica, y los métodos basados en la medida del cambio que sufre una resistencia dependiente de la temperatura según sea su nivel de inmersión en el líquido (véase por ejemplo la patente US5201223). En este último caso, la resistencia, que tiene una longitud igual a la profundidad del continente del líquido, se calienta haciendo fluir corriente eléctrica por ella y, dado que la difusión del calor es mucho mayor en la parte sumergida de la resistencia que en la parte emergente, el valor que alcanza dicha resistencia es proporcional al nivel de líquido presente.

Los denominados medidores de nivel múltiple (multinivel) sirven para líquidos estratificados. Utilizan sondas múltiples dispuestas a distintas profundidades, bien mediante el acceso a través de una pared lateral del depósito (ver por ejemplo la patente GB967771), bien desde la superficie del líquido (ver por ejemplo la patente US4382382), en cuyo caso basta que el cable que soporta cada sonda individual tenga distinta longitud. Las sondas pueden medir una propiedad local, por ejemplo la conductividad eléctrica, o una propiedad entre el extremo más profundo y cada uno de los demás extremos que están a distintas profundidades. Pero en ambos casos la detección es binaria: si la propiedad medida tiene un valor bajo (o alto, según el caso), se considera que los dos puntos de medida están inmersos; en caso contrario, uno de los dos puntos está fuera del líquido. Estos medidores tienen la ventaja de que evitan la calibración previa del sistema pero su resolución en la medida de nivel coincide con la distancia entre los múltiples puntos de medida dispuestos a lo largo de la sonda, de modo que, para obtener una buena resolución, la sonda múltiple debe tener muchos puntos de medida, y ello la hace voluminosa y pesada. Ese es el caso de la patente ES396947, donde se usa una columna de sensores de temperatura para detectar el nivel de un líquido caliente basándose en el cambio de temperatura medida por cada sensor al llegar el liquido a ella y alcanzando por lo tanto una resolución igual a la distancia entre sensores. El método y aparato descritos en la patente que aquí se presenta permiten evitar la calibración previa del sistema y obtener una resolución mejor que la distancia entre los sensores de temperatura más próximos.

Una alternativa para medir un nivel de forma continua incluso si está estratificado, es emplear una sola sonda que se pueda desplazar en dirección perpendicular a la superficie del líquido. Este método es propiamente una automatización de la medición manual consistente en ir sumergiendo progresivamente una sonda cada vez más, y anotar para cada profundidad el valor de la propiedad medida. Cuando se entra en el líquido, y cada vez que se pase de una capa a la siguiente en líquidos estratificados, habrá un cambio en el valor de dicha propiedad. La automatización elimina la laboriosidad del método, a costa de incorporar un mecanismo complejo para ir desplazando la sonda dentro del fluido, pero no aumenta notablemente la velocidad de la medición, que será tanto más lenta cuanto mayores sean el nivel y la resolución deseada.

Descripción de la invención

La presente invención consiste en un método y un aparato para determinar el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados, utilizando medidas de temperatura. El método consiste en uno o varios soportes rígidos construidos mediante materiales que sean buenos aislantes térmicos, a cada uno de los cuales se sujetan una serie de sensores de temperatura separados entre sí una distancia que puede ser o no uniforme, según se desee obtener una resolución uniforme o se prefiera una resolución no uniforme, por ejemplo para conseguir que sea mejor en alguna parte del rango de medida, en cuyo caso la separación del los sensores en dicha zona será menor. En dichos soportes se pueden sujetar también dos o más elementos calefactores, a distintas alturas, para producir un gradiente de temperaturas en el líquido, en la dirección vertical. Esos calefactores podrán ser elementos que disipen calor de manera constante (por ejemplo resistencias por las que se haga circular una corriente eléctrica) o bien elementos con una alta conductividad térmica (por ejemplo hechos de materiales metálicos) mantenidos a una temperatura constante, de modo que fluya calor entre ellos y el líquido. En el depósito debe haber al menos un elemento de temperatura constante que deberá ser mantenido a temperatura ambiente o inferior para permitir que el calor disipado en el líquido pueda fluir fuera de él preferentemente a través de dicho elemento, en vez de hacerlo mayoritariamente a través de las paredes. Cuando en el líquido ya exista, por causas naturales o artificiales ajenas al aparato aquí descrito, un gradiente de temperatura suficiente, no será necesario ninguno de los elementos descritos para generarlo. El gradiente de temperaturas en el seno del líquido depende de su conductividad térmica, de la proximidad del fondo y de la superficie (es decir, del nivel), de la presencia de capas o estratos en el líquido y de su grosor. Por ello, se mide sucesiva o simultáneamente la temperatura en los diversos sensores de temperatura, y a partir de esas temperaturas se ajusta una curva cuyos parámetros permiten determinar el nivel y el grosor de cada capa.

La identificación de los parámetros del líquido se basa en la determinación previa de la relación entre ellos y el perfil de temperaturas que se tiene dentro del líquido debido a fuentes de calor externas (naturales o artificiales, ajenas al aparato de medida objeto de esta invención), o debido a los calefactores incorporados en el aparato. Esa relación se obtiene resolviendo la ecuación general de la conducción del calor para un modelo geométrico del continente del líquido (depósito o canal natural o artificial, o recipiente). Si las dimensiones de los soportes y la separación entre sensores son suficientemente pequeñas respecto a las dimensiones del continente, dicho modelo geométrico tiene que contemplar sólo la presencia del fondo y, si alguno de los soportes de los sensores de temperatura se dispone junto a una pared, debe contemplar además la presencia de dicha pared.

El método descrito goza de la fiabilidad inherente a la ausencia de elementos mecánicos móviles, puede ser aplicado mediante un solo conjunto de sensores de temperatura anclados en un soporte sujeto, por ejemplo, a una pared del depósito si está abierto, o a la cubierta si es un depósito cerrado, o suspendido en un elemento que flote en su superficie, o puede aplicarse en un vaso o tubo vertical conectado en paralelo con el depósito. El método descrito aventaja a los métodos actuales que emplean un conjunto de sondas de temperatura en contacto con el líquido, porque utiliza la información obtenida con todos los sensores a la vez, no para saber cuáles quedan inmersos y cuáles no (como se hace en las medidas de nivel discretas en puntos o profundidades específicas), sino para reconstruir el perfil de diferencias de temperatura en la vertical del depósito, y a partir de éstas estimar el nivel, obteniendo así una medida de nivel continua con resolución y exactitud mejor que la separación entre sensores.

Breve descripción de los dibujos

Figura 1: Se muestra en ella una forma de realizar el método en una aplicación donde se desea medir el nivel de un líquido cuando su superficie libre está en contacto con aire u otro gas o aislante térmico.

Figura 2: Perfil de temperaturas obtenido del modo de realización de la figura 1 para una separación entre sensores consecutivos es uniforme e igual a 5 cm para la medida de un nivel de 45 cm.

Exposición de un modo de realización de la invención

La figura 1 muestra una forma de realizar el método en una aplicación donde se desea medir el nivel de un líquido (1) cuando su superficie libre (2) está en contacto con aire (3) u otro gas o aislante térmico. El soporte de los sensores de temperatura (4) está sujeto a una pared del depósito, que se supone descubierto, y se introduce verticalmente en el líquido. Alternativamente, el soporte se puede sumergir desde un flotador en la superficie del líquido. En un depósito cubierto, el soporte se puede suspender verticalmente desde un punto de la cubierta. También se pueden emplear varios soportes, dispuestos en la misma o en distintas zonas del depósito. En este ejemplo se ha considerado que el sistema emplea 10 calefactores ((5) a (14)) y que hay un sensor de temperatura junto a cada calefactor. Los calefactores de (5) a (13) serán los que podrán ser usados para disipar calor en el líquido y el (14) será un elemento mantenido a temperatura ambiente para permitir que el calor fluya de nuevo al exterior. La sonda formada por el soporte, los transmisores y los sensores de temperatura, está conectada a un aparato que: a) genera las señales de activación de cada calefactor (15); b) tiene un sistema de conmutación (16) para seleccionar automáticamente qué calefactor o conjunto de calefactores se activará, y el sensor o sensores con los que se miden las temperaturas; c) un sistema para medir la temperatura de los sensores de la sonda (17); e) un sistema de control de las secuencias de activación y medida, y de interfaz con el usuario (18); y f) un sistema de cálculo (19) que ajusta la curva de temperaturas y determina a partir de ella el nivel del líquido.

Dado que el líquido tiene una capacidad calorífica mucho mayor que el aire, una posible alternativa para aplicar el método es hacer la medición en dos etapas. En la primera etapa se disipa calor en el calefactor (5) y se mide la temperatura en todos los sensores. Al estar el calefactor (5) en un medio de poca capacidad calorífica, la variación de temperatura medida en el sensor que se halla junto a él será mucho más rápida que en los sensores sumergidos, indicando que dicho calefactor se halla fuera del líquido. El mismo procedimiento se aplicará sucesivamente con el resto de los calefactores hasta hallar aquél con el cual las variaciones de temperatura medidas en el sensor junto a él varíe mucho más lentamente (en el ejemplo, sucederá en el disipador (6)). Este hecho indica que calefactor (6) se halla sumergido en el líquido. A partir de esta información, el sistema utiliza el método de esta invención: se disipa calor en el calefactor (6), y una vez se ha establecido el gradiente de temperatura en el líquido, se miden las temperaturas en los sensores de (7) a (14). A partir de las temperaturas se ajusta una curva similar a la de la figura 2, que corresponde a la distribución de diferencias de temperatura respecto de la temperatura ambiente que se obtendría al seguir la secuencia de disipación de calor y medida de temperatura mencionada, aplicando 1 W en el disipador (6). En el caso de la figura 2, la separación entre sensores consecutivos es uniforme e igual a 5 cm para la medida de un nivel de 45 cm. El eje de abcisas indica la posición respecto al fondo del depósito del sensor de temperatura. A partir de la distribución de temperaturas obtenida y el modelo que relaciona dichos temperaturas con los parámetros del líquido (nivel, conductividad térmica...) se usa, en este ejemplo de realización, un algoritmo iterativo de ajuste de mínimos cuadrados no lineal del tipo Levenberg-Marquardt para obtener el valor del nivel correspondiente.

El alcance de medida del sistema depende de la longitud del soporte. Si el único punto de referencia geométrica es el fondo, el soporte debe apoyarse en el fondo. Si hay un punto de referencia cuya posición respecto al fondo es conocida, el soporte puede ubicarse en dicho punto.

REIVINDICACIONES

1. Método para medir el nivel de líquidos homogéneos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura **caracterizado** porque:

a) se emplea un conjunto de sensores de temperatura alineados verticalmente, o varios conjuntos de sensores (alineados verticalmente dentro de cada conjunto), con los sensores en contacto con el líquido, y

b) se emplea un conjunto de calefactores alineados verticalmente, o varios conjuntos de calefactores (alineados verticalmente dentro de cada conjunto), con los calefactores en contacto con el líquido, y

c) donde al menos dos calefactores y dos sensores de temperatura intervienen en cada medición, los calefactores para inducir un flujo de calor en el líquido y los sensores para medir el gradiente de temperaturas producido por dicho flujo de calor, y

d) se reconstruye a partir de las temperaturas medidas, el perfil (distribución espacial en la dirección vertical) de diferencias de temperaturas generadas en el líquido por el flujo aplicado, y

e) el nivel de líquido, si es homogéneo, y el espesor de cada capa en líquidos estratificados, se determinan por ajuste de los parámetros de la curva que representa el perfil de diferencias de temperatura obtenido en la dirección perpendicular a la superficie del líquido.

2. Método para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se disipa calor de manera constante con uno o más calefactores y se mantiene al menos otro a una temperatura constante igual o inferior a la temperatura ambiente de modo que se establezca un flujo de calor entre ellos.

3. Método para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque uno o más elementos calefactores se mantienen a una temperatura constante y superior a la temperatura ambiente y al menos un elemento se mantiene a temperatura constante igual o inferior a la temperatura ambiente, de modo que un flujo de calor se establezca entre ellos.

4. Un aparato para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura, y que contenga:

a) un conjunto de sensores de temperatura alineados verticalmente, o varios conjuntos de sensores de temperatura (alineados verticalmente dentro de cada conjunto), con los sensores en contacto con el líquido.

b) un conjunto de calefactores alineados verticalmente, o varios conjuntos de calefactores (alineados verticalmente dentro de cada conjunto), con los calefactores en contacto con el líquido.

c) un sistema de conmutación para seleccionar los calefactores a través de los que ha de fluir el calor y los sensores de temperatura a través de los que se miden las diferencias de temperatura.

d) un sistema para medir diferencias de temperatura.

e) un sistema de control de las secuencias de disipación de calor y medida de temperatura.

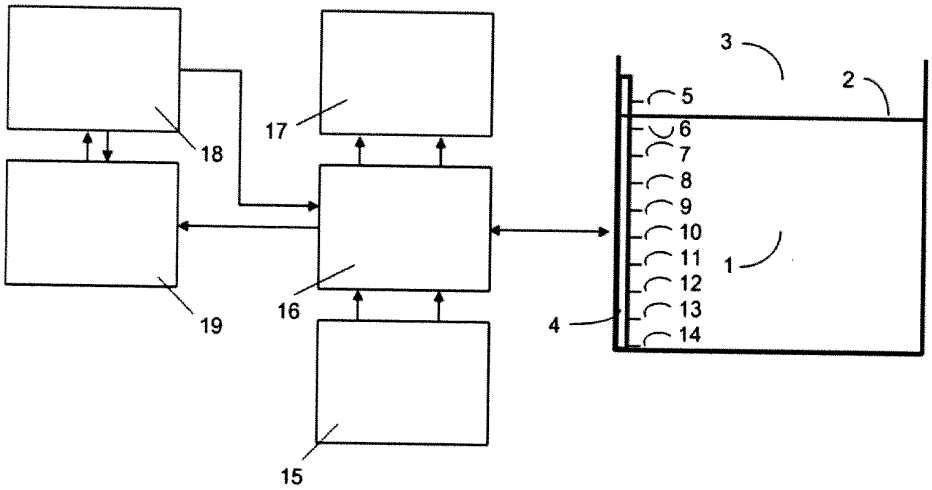
f) un sistema de cálculo que ajusta la curva de diferencias de temperatura y determina a partir de ella el nivel de líquidos o el espesor de capas en líquidos estratificados.

5. Un aparato para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura según la reivindicación 4, **caracterizado** porque los elementos calefactores son uno o más elementos que disipan calor de manera constante y al menos un elemento mantenido a una temperatura constante igual o inferior a la temperatura ambiente de modo que se establezca un flujo de calor entre ellos.

6. Un aparato para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura según la reivindicación 4, **caracterizado** porque los elementos calefactores son uno o más elementos de conductividad térmica mayor que la del líquido y mantenidos a una temperatura constante y superior a la temperatura ambiente y al menos un elemento mantenido a temperatura constante igual o inferior a la temperatura ambiente, de modo que un flujo de calor se establezca entre ellos.

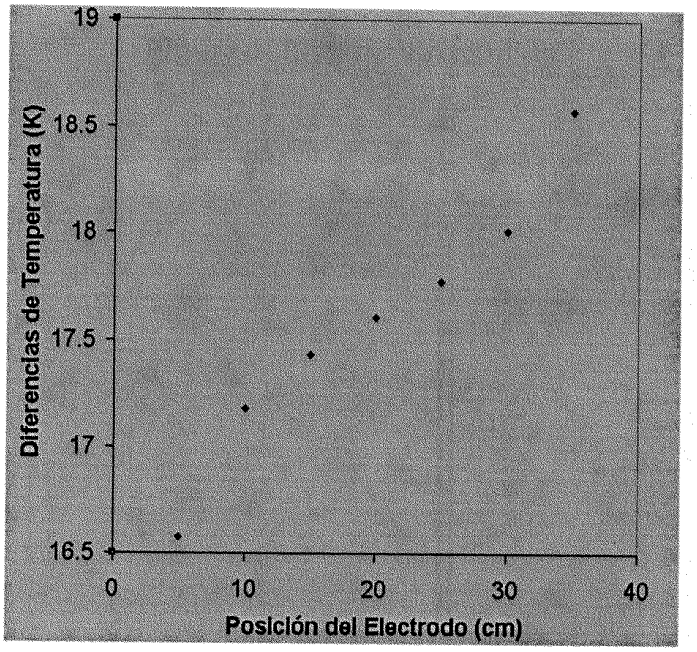
7. Un aparato para medir el nivel de líquidos y el espesor de capas de líquidos estratificados mediante medidas de temperatura, según la reivindicación 4, **caracterizado** porque los elementos disipadores de calor (calefactores) y los sensores de temperatura son un solo dispositivo, usado en un caso como disipador de calor y en el segundo caso, como sensor.

Figura 1. Sistema de medida



Escala Variable

Figura 2. Perfil de temperaturas



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) ES 2 340 749

(21) Nº de solicitud: 200703434

(22) Fecha de presentación de la solicitud: **13.12.2007**

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

(51) **Int. Cl.:** ***G01F 23/22*** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	(56) Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2002100318 A1 (MAATUK et al.) 01.08.2002, párrafos [0004],[0005],[0008],[0024]-[0076]; figuras.	1-7
A	US 3964311 A (HOLMEN et al.) 22.06.1976, columna 3, línea 25 - columna 5, línea 64; figuras.	1-7
A	US 3204460 A (MILNES et al.) 07.09.1965, columna 1, línea 10 - columna 7, línea 43; figuras.	1-7
A	US 4741209 A (MCCULLOCH et al.) 03.05.1988, columna 1, línea 47 - columna 3, línea 36; figura 1.	1-7
E,X	ES 2311317 A1 (UNIV CATALUNYA POLITECNICA) 01.02.2009, todo el documento.	4,7

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica
O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe	Examinador	Página
24.05.2010	B. Tejedor Miralles	1/1