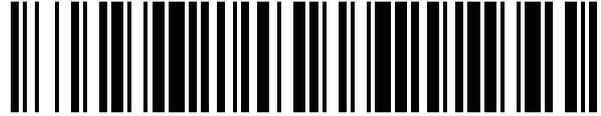


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 247 376**

21 Número de solicitud: 202030557

51 Int. Cl.:

**G01F 17/00** (2006.01)

**G01B 15/00** (2006.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

**27.03.2020**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**05.06.2020**

71 Solicitantes:

**WELLNESS TELECOM, S.L. (100.0%)  
C/ Gregor J. Mendel, 6 - 1ª planta, Edificio Da  
Vinci, Isla de la Cartuja  
41092 Sevilla ES**

72 Inventor/es:

**GARCÍA TERNERO, David**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

54 Título: **DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE UN DEPÓSITO**

**ES 1 247 376 U**

**DESCRIPCIÓN**

**DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN DEL NIVEL DE LLENADO DE UN DEPÓSITO**

**5 Campo de la invención**

La presente invención se engloba dentro del campo de los sistemas y aparatos que monitorizan el nivel de llenado de un depósito o contenedor que contiene una sustancia, ya sea sólida o líquida. Más concretamente, la presente invención se engloba en el campo de los dispositivos, normalmente ubicados en la parte superior de los contenedores, que realizan las mediciones del nivel de llenado sin contacto con la sustancia contenida en el depósito.

**Antecedentes de la invención**

En la actualidad, los entornos inteligentes requieren de la obtención del nivel de llenado que presenta un elemento contenedor (tales como papeleras, depósitos, recipientes, contenedores, silos, fosas o tanques) de una o varias sustancias con el fin de tomar decisiones y actuar en consecuencia en base al valor del nivel de llenado obtenido en un momento temporal exacto o al comportamiento del nivel de llenado a lo largo del tiempo. El elemento contenedor está ubicado normalmente en un entorno industrial (por ejemplo, una fábrica).

Para ello, el entorno inteligente implementa sistemas de monitorización basados en el uso de dispositivos sensores capaces de realizar las mediciones pertinentes en el interior de los depósitos o contenedores, preferentemente sin contacto con la sustancia contenida en el depósito, y comunicar los valores registrados a un medio que sea compartido y accesible de forma remota mediante interfaces y tecnologías software.

A su vez, en muchas de estas aplicaciones, los dispositivos sensores empleados en estos sistemas de monitorización requieren poseer características propias del ámbito del internet de las cosas (IoT), tales como un coste reducido, alimentación mediante baterías, un bajo consumo energético para lograr una larga duración de las baterías, y no precisar de una alta capacidad de procesamiento.

En la mayoría de soluciones existentes para la detección del nivel de llenado en elementos contenedores se hace uso de tecnologías basadas en transductores de detección lineal

capaces de obtener un valor de distancia desde el transductor hasta el elemento o sustancia a monitorizar en el interior del depósito. Por ejemplo, es habitual el uso de transductores ópticos direccionales, sensores de tiempo de vuelo de haz láser y sensores ultrasónicos.

5 Estos sensores son elementos de adquisición de valores unidimensionales (en concreto, un valor de distancia media), los cuales presentan diversas problemáticas y limitaciones que ocasionan una detección imprecisa del porcentaje de llenado real del depósito. Entre estos problemas se encuentra la detección imprecisa de un nivel de llenado alto cuando se produce una agrupación de la sustancia contenida en la zona central del contenedor  
10 mientras quedan espacios libres en las zonas próximas a las paredes, así como el problema de detección imprecisa de un nivel de llenado bajo cuando se produce el caso inverso de aglutinación del contenido por los laterales del contenedor dejando la zona central libre.

Una solución a esta problemática podría ser el uso de un mayor número de transductores  
15 lineales desplegados en distintas zonas de la parte superior del contenedor, perpendicularmente a toda la superficie de medición. Sin embargo, este incremento del número de transductores conlleva un aumento en la complejidad del dispositivo de medición, así como un incremento en el consumo energético del mismo, lo cual lo hace inviable para su aplicación IoT alimentado por baterías.

20 Por otro lado, el uso de un único parámetro y valor de medición está ligado a la problemática de posible detección errónea del nivel de llenado debido a efectos físicos no deseados que pudieran afectar a la obtención de una muestra imprecisa de la medida por parte del transductor. Estos errores se pueden producir, por ejemplo, en la medición de un transductor  
25 de ultrasonidos donde, debido al entorno, algún rebote de las ondas sonoras hiciera que la medida de distancia obtenida fuera mucho menor que la real. En contraposición, con el uso de un mayor número de parámetros y valores monitorizados para cada medición, estas muestras erróneas podrían ser detectadas, aisladas e ignoradas, lo que mejoraría la fiabilidad de la medición.

30 Cabe mencionar, por tanto, la importancia y el valor que tiene el número de parámetros de información obtenidos con cada muestra medida, ya que la monitorización y obtención de un único valor correspondiente a un solo parámetro unidimensional obtenido con un único transductor lineal limita, de forma inherente, la fiabilidad en la determinación del resultado de  
35 nivel de llenado.

La solución propuesta en la presente invención abarca un número mayor de valores de información sensorial del entorno de medición, de modo que en lugar de analizar un único valor de profundidad se procesa un vector multidimensional que representa una tupla de n-  
5 valores, acompañando el uso de técnicas de inteligencia artificial (como el uso de redes neuronales artificiales) para el análisis de los valores de forma rápida y eficaz desde el propio dispositivo, permitiendo así obtener resultados precisos aún con el uso de dispositivos sensores de características IoT con reducida capacidad computacional.

## 10 **Descripción de la invención**

La invención se refiere a un dispositivo de monitorización del nivel de llenado de un depósito. El dispositivo no se limita a la identificación de una cota de altura, sino que realiza la adquisición de una nube de puntos de medida de todo el contenedor (como si fuera un barrido de medidas) para generar un mapa de superficie con cotas de profundidad (plano 3D  
15 de la superficie) de la sustancia contenida en el interior del depósito, de manera que se eliminan los falsos positivos que puedan detectarse (como por ejemplo, algún elemento que sobresalga puntualmente).

Para la detección del nivel de llenado, el dispositivo sensor emplea un transductor de  
20 detección volumétrica, y realiza el análisis de la información capturada por el transductor mediante técnicas de inteligencia artificial (inteligencia computacional). El cómputo del nivel de llenado se lleva a cabo en el propio dispositivo con un bajo requerimiento energético, lo que favorece la portabilidad del dispositivo y la alimentación mediante batería de reducidas dimensiones. Para el cómputo del nivel de llenado el dispositivo no utiliza una única  
25 medición, sino una pluralidad de medidas, lo cual permite identificar con una alta precisión el nivel real de llenado del depósito.

En particular, el dispositivo de la presente invención comprende una o varias baterías, un transductor volumétrico, una unidad de procesamiento de datos y un módulo de  
30 comunicación inalámbrica.

El transductor volumétrico está configurado para realizar mediciones de distancia a una sustancia localizada en el interior de un depósito. La unidad de procesamiento de datos está configurada para controlar al transductor volumétrico y recibir una pluralidad de mediciones  
35 del mismo; obtener, a partir de las mediciones recibidas, un mapa de superficie formado por

una pluralidad de puntos, donde cada punto del mapa de superficie contiene información de posición y profundidad de la sustancia contenida en el depósito; y calcular, a partir del mapa de superficie y utilizando una red neuronal artificial, un nivel de llenado de la sustancia en el depósito. Por su parte, el módulo de comunicación inalámbrica está configurado para  
5 transmitir inalámbricamente el nivel de llenado calculado.

El dispositivo de la presente invención se puede aplicar a cualquier depósito o elemento contenedor (tales como papeleras, recipientes, silos, fosas, tanques, contenedores, etc.) y cualquier tipo de sustancia contenida en el mismo (tanto líquidas como sólidas) que pueda  
10 ser detectada por el transductor de detección volumétrica.

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

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de  
15 dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

Las Figuras 1 y 2 ilustran los problemas de detección de nivel de llenado de los detectores del estado del arte en determinadas condiciones de acumulación de la sustancia en el interior del depósito. La Figura 1 muestra la acumulación de contenido en la zona central del  
20 depósito. La Figura 2 muestra la acumulación de contenido en zonas laterales del depósito.

La Figura 3 representa esquemáticamente los elementos que componen el dispositivo, con el flujo de información a través de los mismos.

Las Figuras 4A y 4B muestran dos posibles distribuciones de los elementos que forman el dispositivo. En la Figura 4A se ilustra una distribución concentrada de todos los elementos del dispositivo, los cuales están alojados dentro de una misma carcasa fijada a la superficie interna superior del depósito. La Figura 4B ilustra una distribución distribuida de los  
30 elementos del dispositivo, donde únicamente el transductor se aloja en el interior del depósito.

La Figura 5 ilustra la representación visual del mapa de superficie obtenido por la unidad de procesamiento de datos del dispositivo a partir de una pluralidad de mediciones del transductor, y la obtención del nivel de llenado a partir de dicho mapa de superficie por parte  
35 de una red neuronal artificial.

**Descripción detallada de la invención**

Los detectores de nivel de llenado de un depósito o contenedor emplean normalmente un único sensor, ya sea por ejemplo un sensor volumétrico de ultrasonidos o un transductor  
5 óptico direccional, ubicado en la parte interna superior del depósito para determinar la distancia hasta el producto o sustancia contenida en el interior del depósito. Las **Figuras 1 y 2** muestran un detector de nivel de llenado 1 alojado en el interior de un depósito 2 de acuerdo al estado del arte, y el problema de detección imprecisa del nivel de llenado cuando se produce una agrupación de la sustancia 3 contenida en el depósito 2 en la zona central  
10 (Figura 1) o en los laterales (Figura 2) del mismo, ya que en ambos casos la distancia H medida por el detector de nivel 1 no es representativa del nivel de llenado real del depósito 2.

La presente invención se refiere a un dispositivo 10 de monitorización del nivel de llenado de  
15 un depósito. La **Figura 3** muestra de manera esquemática los elementos que componen el dispositivo, que incluyen un transductor volumétrico 12 (o transductor de medida volumétrica), una unidad de procesamiento de datos 14, un módulo de comunicación inalámbrica 16 y al menos una batería 18 encargada de proporcionar alimentación a los componentes electrónicos del sistema.

20 El dispositivo 10 puede estar ubicado en la parte interna superior del depósito 2, preferentemente en una posición centrada, con todos sus componentes alojados en el interior de una misma carcasa 20, tal y como se representa en la **Figura 4A**. En este caso la carcasa 20 dispone de una abertura en la parte inferior para facilitar las mediciones del  
25 transductor volumétrico 12 (alternativamente, el transductor volumétrico 12 puede estar dispuesto en el exterior de la carcasa 20, solidario a su superficie inferior externa).

En otra realización, los componentes del dispositivo 10 se distribuyen en varias posiciones diferentes del depósito 2. La **Figura 4B** ilustra a modo de ejemplo el transductor volumétrico  
30 12 fijado a la cara superior interna del depósito 2, en una posición centrada, y el resto de componentes incluidos en el interior de una carcasa 22 solidaria al depósito 2 por su cara superior externa. La unidad de procesamiento de datos 14 se comunica con el transductor volumétrico 12 por un cable 24, a través del cual recibe los datos sensoriales captados por el transductor volumétrico 12 y a su vez proporciona alimentación al transductor volumétrico  
35 12. El dispositivo 10 comunica al exterior la información procesada mediante una antena 26

del módulo de comunicación inalámbrica 16. Esta implementación distribuida es preferida a la de la Figura 4A cuando las paredes del depósito 2 son metálicas, las cuales dificultarían la transmisión de las ondas de radiofrecuencia generadas por el módulo de comunicación inalámbrica 16 si éste estuviera ubicado en el interior del depósito 2.

5

La presente invención se basa en un sistema que emplea un sensor (i.e. transductor volumétrico 12) en el interior de un contenedor de sustancias, y mediante el cual se monitoriza y obtiene el nivel de llenado del contenedor en función del volumen que ocupa la sustancia contenida en su interior. El dispositivo 10 realiza, utilizando el transductor volumétrico 12, las medidas pertinentes para la obtención de un mapa de superficie con los datos de posición y profundidad de la sustancia contenida, para cada uno de los tres ejes espaciales X, Y, Z, en cada punto o zona del mapa de superficie. Con estos datos, el dispositivo 10 determina de forma local, empleando técnicas de inteligencia artificial, el porcentaje de llenado volumétrico de la sustancia en el contenedor, y transmite dicha información a través de una tecnología de comunicación inalámbrica basada en radiofrecuencia (como, por ejemplo, tecnología de redes de baja potencia y área amplia, LPWAN).

La solución aportada por el dispositivo de la presente invención está ligada a las necesidades de obtener un sistema con las características de pequeño tamaño, bajo coste, portabilidad (alimentación a batería), bajo consumo (para una larga duración de la batería) y simplicidad de instalación. La componente de inteligencia artificial asociada a esta solución busca obtener el mejor resultado en base a los requisitos anteriores. Para ello, se procede a la siguiente metodología:

25 - Previo al despliegue del dispositivo se lleva a cabo en un elemento de cómputo de alto rendimiento el entrenamiento supervisado de una red neuronal para que sea capaz de determinar el volumen porcentual de llenado de un contenedor. Para ello se proporciona como entrada de la red neuronal un gran conjunto de mapas de datos representativos de multitud de estados de llenado que se corresponden con los mapas de superficie obtenidos previamente en el dispositivo (o en un conjunto de dispositivos), componiendo con ello una muestra de entrenamiento. Opcionalmente, como entrada de la red neuronal se pueden proporcionar también los parámetros físicos posibles de los contenedores (anchura, profundidad y altura).

30

Así por ejemplo, para un tipo de contenedor se recopilan todas sus características físicas y se lleva a cabo un proceso manual o automatizado, supervisado por un técnico u operario, de adquisición de mapas de superficie de un contenedor, variando de forma controlada y conocida el nivel de llenado del mismo. Se recopilan  
5 cada uno de los mapas de superficies obtenidos junto con el valor conocido del nivel de llenado, con el fin de obtener una base de datos de entradas (mapas de superficie) y salidas (niveles de llenado) que posteriormente son utilizados en el entrenamiento de la red neuronal, el cual consiste en la ejecución iterativa del algoritmo computacional interno de la red neuronal para cada una de las entradas  
10 (dicho algoritmo implica la corrección de las prioridades/pesos de las neuronas de cada capa de la red hasta llegar a adaptarse de la mejor forma posible para generar la salida esperada para cada una de estas entradas). Todos estos datos, opcionalmente junto con las dimensiones del depósito, son entregados como entradas a la red neuronal, la cual es la encargada de gestionar automáticamente el modelo de red que debe adoptar tras su entrenamiento, quedando dicha red  
15 neuronal como una "caja negra". Finalizada la etapa de entrenamiento, el modelo final de red neuronal es exportado y embebido en el firmware de los dispositivos sensores una vez han sido fabricados. El aprendizaje se puede realizar de forma independiente para cada tipo de contenedor con unas dimensiones determinadas. Alternativamente, se puede realizar un aprendizaje común a múltiples tipos de  
20 contenedores, con dimensiones diferentes con el fin de obtener un modelo neuronal más genérico.

- El resultado del modelo de red neuronal ya entrenada es exportado y añadido al firmware del dispositivo 10 con el fin de que éste, ante la obtención de un mapa de  
25 datos medidos (o mapa de superficie), determine de forma rápida y eficaz, con escasa carga computacional, el nivel de llenado que se corresponde con dicho mapa. El nivel de llenado se puede expresar, por ejemplo, en términos porcentuales con respecto al volumen total del depósito 2.

30 Este entrenamiento previo del dispositivo 10 permite minimizar el procesamiento asociado a la etapa de aprendizaje que existiría en el propio dispositivo, reduciendo de esta forma los requisitos computacionales de la unidad de procesamiento de datos 14 y el consumo energético asociado, lo cual favorece la portabilidad del dispositivo, la mayor duración de las baterías, y la reducción del coste al no requerir de una alta capacidad de procesamiento  
35 (con lo que se puede utilizar un procesador o un microcontrolador más sencillo).

La ventaja de esta aproximación, frente a la solución alternativa en la que el dispositivo se limitase a transmitir toda la información del mapa de superficie medido para que un elemento externo con capacidad de cómputo superior llevase a cabo el proceso de cálculo asociado para determinar el nivel de llenado, consiste en evitar que el dispositivo transmita una mayor cantidad de información en cada mensaje inalámbrico, lo que supone un coste energético extra, además de limitar el posible uso de tecnologías de comunicación LPWAN, en las cuales la cantidad máxima de datos que puede enviarse en cada mensaje es limitada.

La **Figura 5** muestra de manera simplificada el funcionamiento del dispositivo de la presente invención, y en particular el flujo y tratamiento de la información sensorial captada.

En primer lugar, el transductor volumétrico 12 proporciona unas mediciones con datos de distancia para un conjunto de puntos de medición superiores de la sustancia 3, para la posterior determinación del valor de nivel de llenado porcentual de sustancias 3 líquidas o sólidas localizadas en el interior del depósito 2. Los datos de distancia a cada uno de los puntos de medición 28 se pueden proporcionar, por ejemplo, mediante componentes en los tres ejes (X,Y,Z) o mediante la distancia  $d_i$  y el ángulo  $\alpha_i$  desde la antena del transductor volumétrico 12 a cada punto  $i$  de medición. El transductor volumétrico 12 puede ser un sensor volumétrico que funciona en el espectro de las microondas (entre 300 MHz y 30 GHz) o en el espectro mmWave (entre los 24 GHz y los 100 GHz). Se pueden emplear por ejemplo transductores comerciales, como el sensor IWR1443 mmWave de Texas Instruments, que emplea tecnología radar de alta frecuencia (77GHz a 81GHz).

La unidad de procesamiento de datos 14 (implementada por ejemplo mediante procesador, microprocesador o microcontrolador) controla al transductor volumétrico 12 y recibe una pluralidad de mediciones del mismo, a partir de las cuales obtiene un mapa de superficie formado por una pluralidad de puntos con los datos de posición  $(x_i, y_i)$  y profundidad  $(z_i)$  de la sustancia contenida, para cada uno de los tres ejes espaciales (X, Y, Z), en cada punto  $i$  o zona del mapa. En una realización, los puntos que forman el mapa de superficie coinciden con los puntos de medición 28. La amplitud del mapa de superficie está limitado por el ángulo de abertura del campo de medición que proporciona el transductor volumétrico 12 y, en consecuencia, por la distancia que se encuentre el sensor de la sustancia a medir.

35

Los valores que devuelve el transductor volumétrico 12 son por tanto una nube de puntos de medida con datos que pueden incluir la posición (x, y, z) en metros de cada punto de medición respecto a la antena, la distancia en metros y el ángulo desde el centro de la antena, la intensidad de la respuesta de la señal emitida, y la variación Doppler de dicha señal, tras ser reflejada por los objetos del entorno de medición. La interfaz que emplea la 5 unidad de procesamiento de datos 14 para comunicarse con el transductor volumétrico 12 y adquirir las mediciones 30 puede ser, entre otras, SPI, UART y CAN.

La unidad de procesamiento de datos 14 ejecuta un algoritmo que hace uso de los datos 10 recibidos para determinar de forma local, y mediante técnicas de inteligencia computacional, el nivel de llenado volumétrico (e.g. el porcentaje de llenado) de la sustancia en el depósito. En una realización preferida la unidad de procesamiento de datos 14 utiliza para ello una red neuronal artificial 34, la cual ha sido previamente entrenada. La red neuronal artificial 34 15 obtiene el nivel de llenado 36, el cual es enviado al módulo de comunicación inalámbrica 16 encargado de transmitir dicha información a un sistema remoto (por ejemplo, una unidad central de control en las instalaciones donde se ubican de los contenedores) para su posterior tratamiento.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo de monitorización del nivel de llenado de un depósito, caracterizado por que comprende:
- al menos una batería (18);
  - un transductor volumétrico (12) configurado para realizar mediciones (30) de distancia a una sustancia (3) localizada en el interior de un depósito (2);
  - una unidad de procesamiento de datos (14) configurada para:  
10            controlar al transductor volumétrico (12) y recibir una pluralidad de mediciones (30) de dicho transductor volumétrico (12);  
                 obtener, a partir de las mediciones (30) recibidas, un mapa de superficie (32) formado por una pluralidad de puntos, donde cada punto del mapa de superficie (32) contiene información de posición (x,y) y profundidad (z) de la sustancia (3) contenida  
15            en el depósito (2); y  
                 calcular, a partir del mapa de superficie (32) y utilizando una red neuronal artificial (34), un nivel de llenado (36) de la sustancia en el depósito; y
  - un módulo de comunicación inalámbrica (16) configurado para transmitir inalámbricamente el nivel de llenado (36) calculado.
- 20 2. El dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que el transductor volumétrico (12) está configurado para obtener mediciones (30) de distancia para un conjunto de puntos de medición (28).
- 25 3. El dispositivo según la reivindicación 2, caracterizado por que las mediciones (30) incluyen la distancia con componentes en tres ejes (X,Y,Z) a cada uno de los puntos de medición (28).
- 30 4. El dispositivo según la reivindicación 2, caracterizado por que las mediciones (30) incluyen la distancia y el ángulo desde el transductor volumétrico (12) a cada uno de los puntos de medición (28).
- 35 5. El dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el transductor volumétrico (12) opera en el espectro de las microondas.

6. El dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el transductor volumétrico (12) opera en el espectro mmWave.
- 5 7. El dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la red neuronal artificial (34) ha sido previamente entrenada con una muestra de entrenamiento formada por un conjunto de mapas de superficie (32) y sus niveles de llenado correspondientes.
- 10 8. El dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la unidad de procesamiento de datos (14) es un procesador, un microprocesador o un microcontrolador.

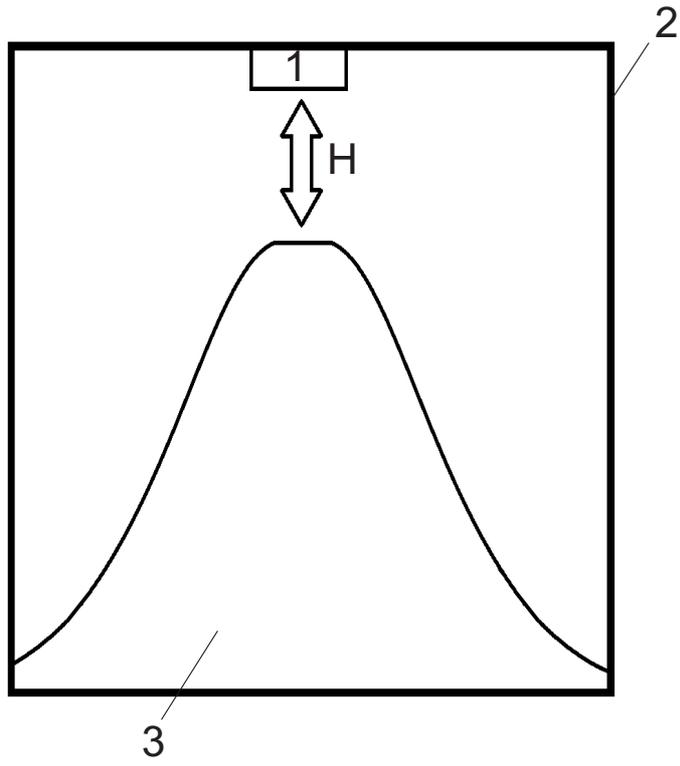


Fig. 1

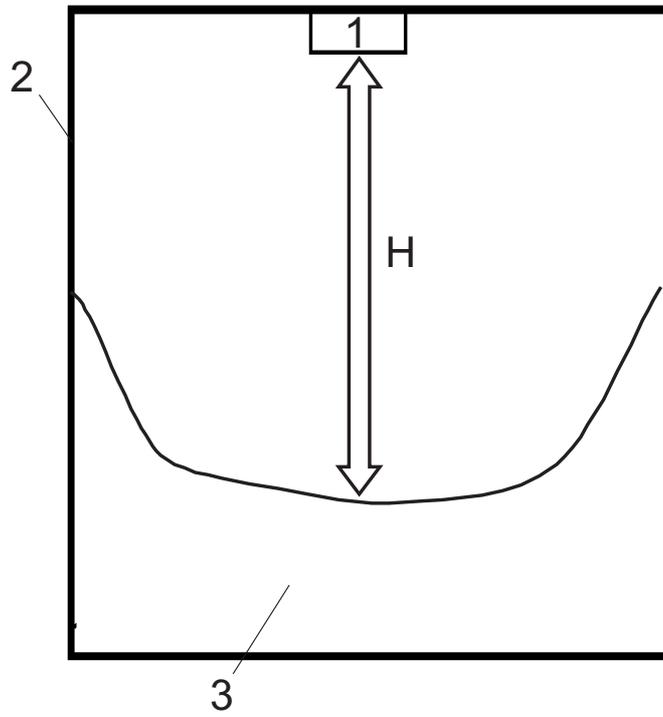


Fig. 2

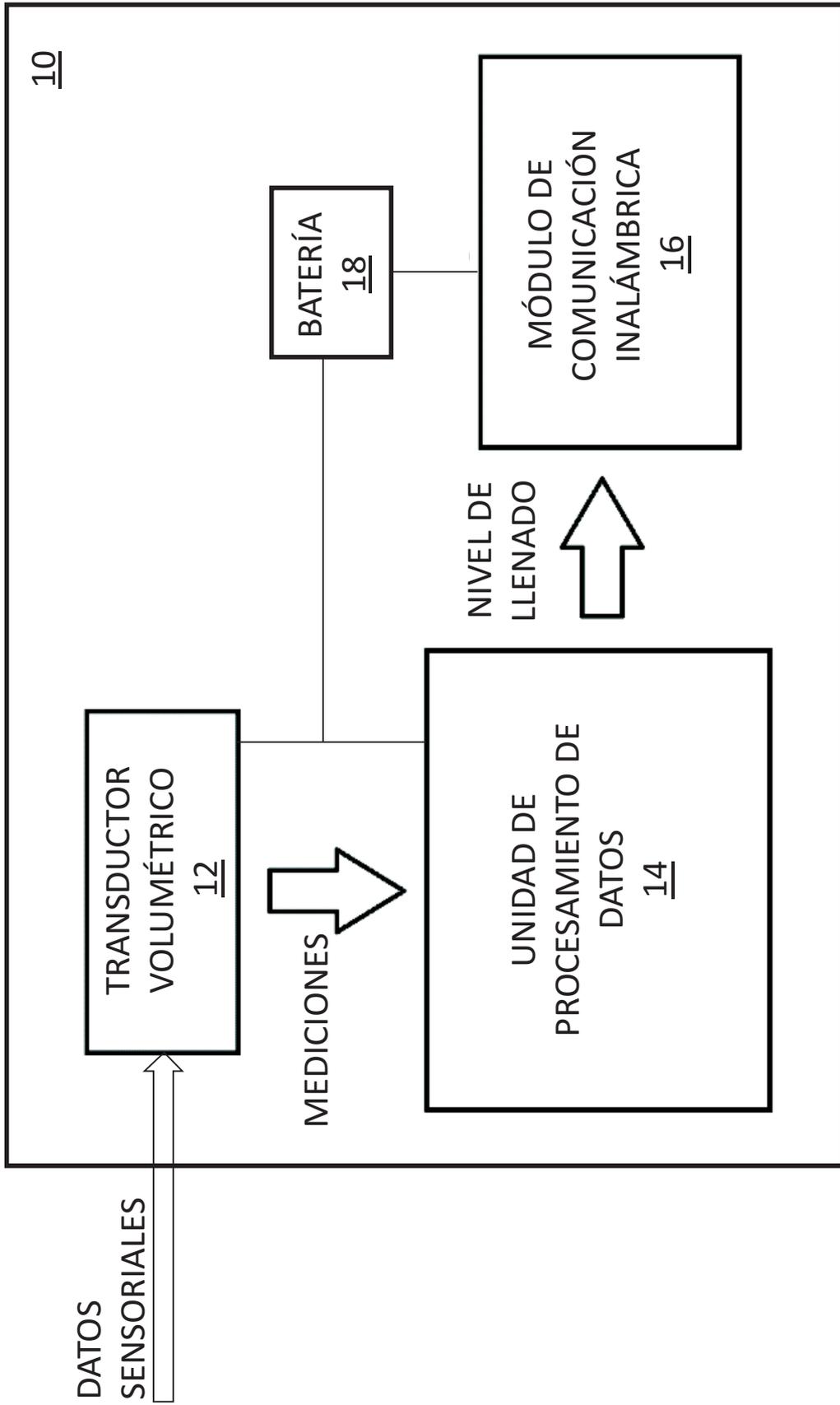


Fig. 3

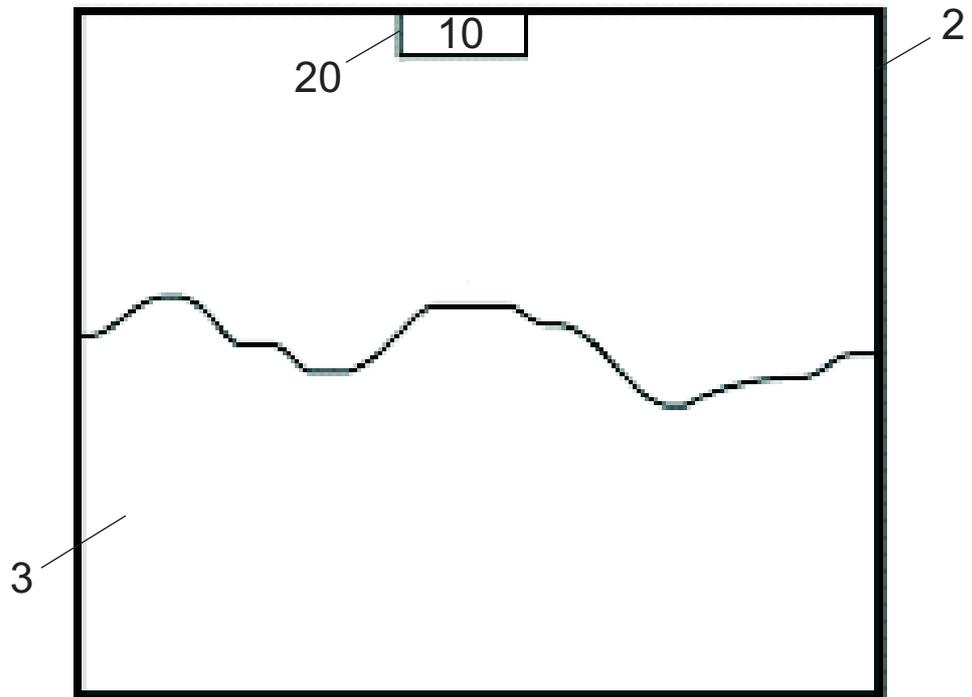


Fig. 4A

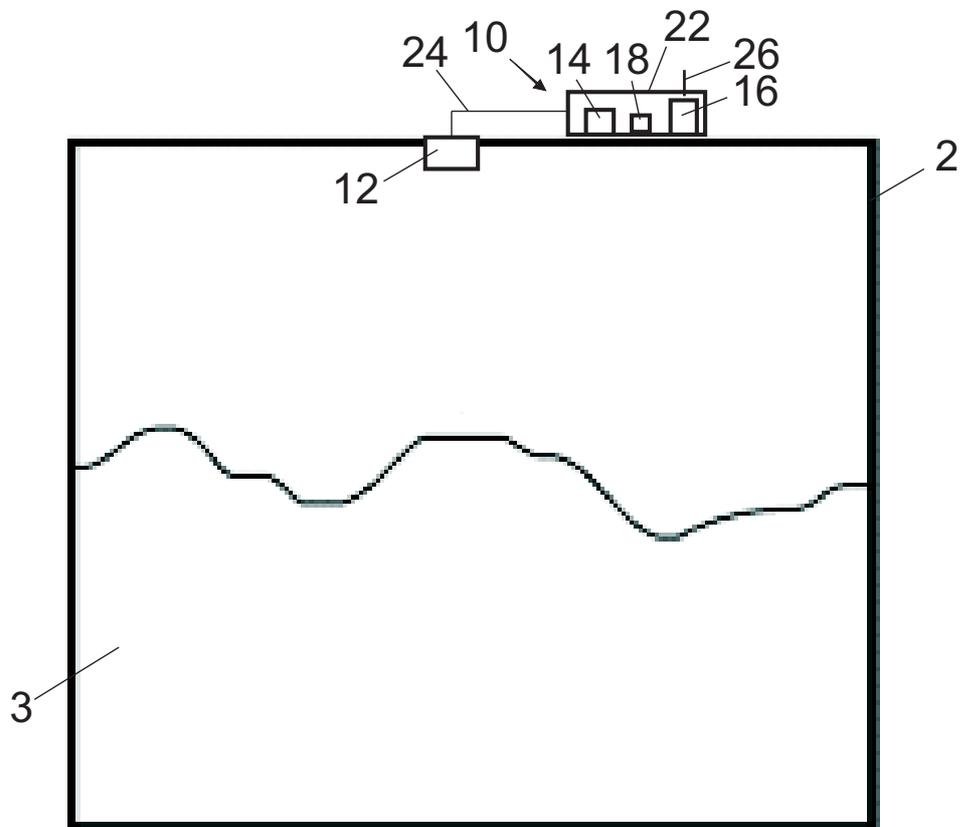


Fig. 4B

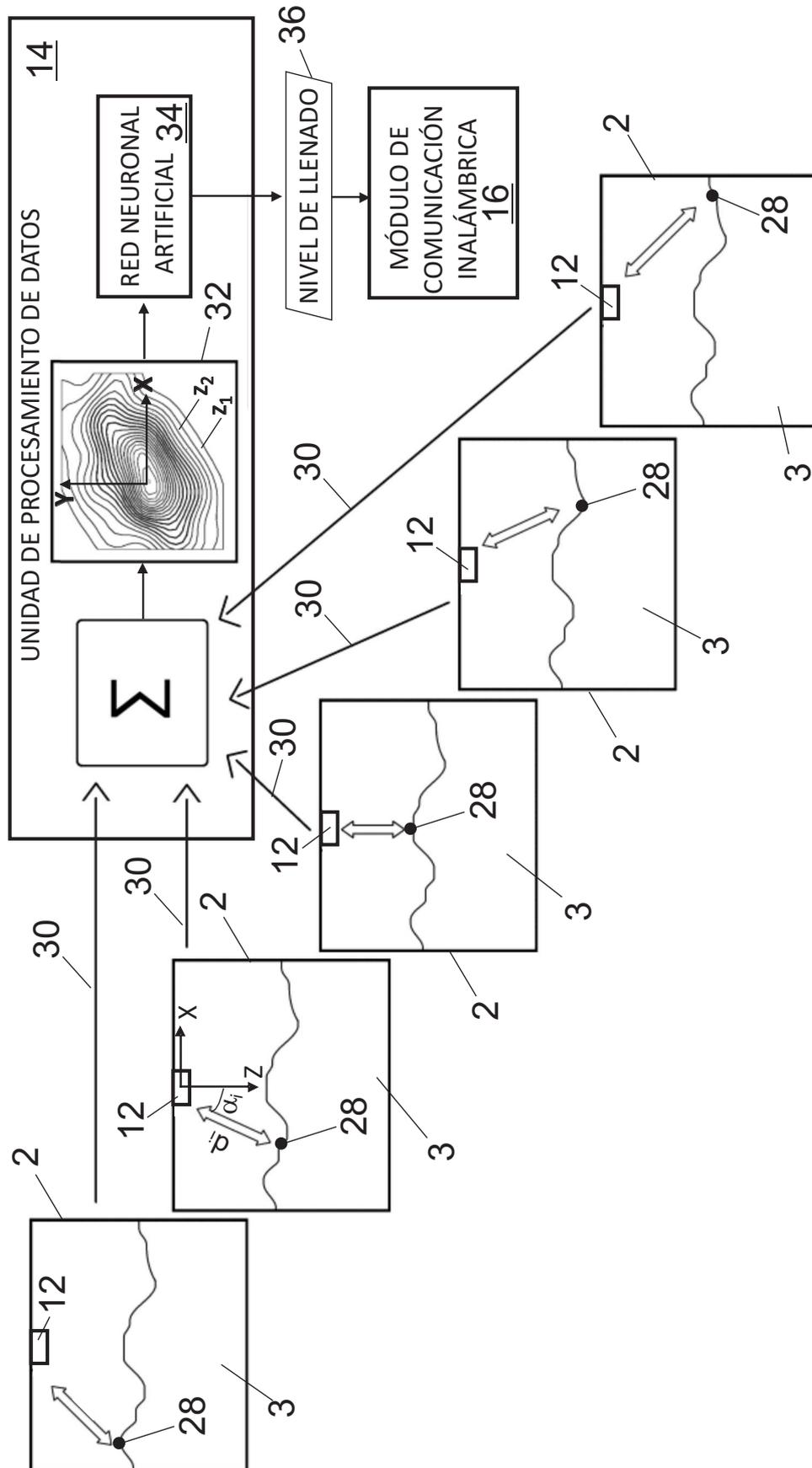


Fig. 5