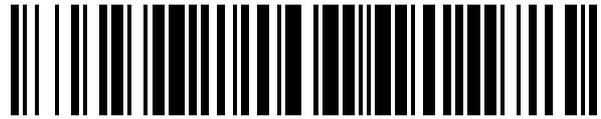


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 296 771**

21 Número de solicitud: 202231775

51 Int. Cl.:

H04W 4/38 (2008.01)

H04W 4/70 (2008.01)

G01N 33/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

27.10.2022

43 Fecha de publicación de la solicitud:

31.01.2023

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
(100.0%)**

**Plaza Cronista Isidoro Valverde, s/n Ed. La
Milagrosa
30202 CARTAGENA (Murcia) ES**

72 Inventor/es:

**ASOREY CACHEDA, Rafael;
GARCÍA HARO, Juan y
GARCÍA SÁNCHEZ, Antonio Javier**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

54 Título: **Sistema para la medición de la calidad de aire**

ES 1 296 771 U

DESCRIPCIÓN

Sistema para la medición de la calidad de aire

5 SECTOR DE LA TÉCNICA

El presente modelo se refiere a aparatos para la medición de la calidad del aire en especial, pero no restringido a, entornos industriales. El modelo se refiere más en particular a un sistema provisto de dispositivos para la medición de la concentración de partículas en el aire y de gases contaminantes.

ESTADO DE LA TÉCNICA

El control de la calidad del aire en entornos industriales es un tema de vital importancia en la actualidad. Las industrias demandan poder llevar un control en tiempo real de sus emisiones para evitar enfrentarse a sanciones por exceder los límites establecidos en las localidades en las que operan.

En estos entornos es muy importante vigilar las concentraciones de partículas en el aire, ya que son muy perjudiciales para la salud de la población. Este tipo de partículas están formadas por una compleja mezcla de partículas sólidas, sólidas y líquidas o líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Estas partículas pueden penetrar en el tracto respiratorio, pudiendo llegar a mayor profundidad cuanto menor sea su tamaño. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las partículas en suspensión están afectando a la población mundial más que cualquier otro tipo de contaminante.

En el aire también se pueden encontrar gases muy perjudiciales para la salud. Estos gases suelen monitorizarse junto a los niveles de partículas para establecer el índice de calidad del aire que respiramos. Entre los gases más perjudiciales encontramos el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono (O₃) y el monóxido de carbono (CO).

Se hace necesario proporcionar un sistema portátil que sea capaz de monitorizar tanto la concentración de partículas como la presencia de gases contaminantes de manera independiente de la red eléctrica para asegurar un fácil transporte y uso en cualquier entorno.

RESUMEN DE LA INVENCION

El presente modelo resuelve el problema técnico expuesto anteriormente gracias a un sistema de medición de calidad del aire que comprende dos dispositivos independientes, un primer dispositivo capaz de monitorizar material particulado en suspensión y un segundo dispositivo para medir la concentración de gases contaminantes, ambos dispositivos situados en una estructura de soporte. Cada dispositivo está provisto de un controlador de carga propio y una batería para asegurar que se pueden usar puntualmente de forma independiente al ser extraídos de la estructura. Ambos dispositivos disponen cada uno de un sensor de temperatura y humedad, un receptor GPS y un microcontrolador, encargado de leer datos de los sensores, procesarlos y enviarlos a una red LoRaWAN. A través de esta red enviarán la información relativa a los niveles de contaminación y se comunicarán con un servidor que procesará y almacenará los datos en bases de datos para su posterior visualización y monitorización.

En una puesta en práctica, para facilitar la instalación de ambos de forma que sean totalmente independientes de la red eléctrica, el presente modelo propone un panel solar en la parte superior de la estructura de soporte y una batería auxiliar capaces de alimentar ambos dispositivos de forma continuada.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención y para complementar esta descripción, se acompañan como parte integrante de la misma las siguientes figuras, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo:

La figura 1 muestra los elementos esenciales de la invención.

La figura 2 es un flujograma del funcionamiento del software desarrollado para un primer dispositivo que forma parte de la invención.

La figura 3 es un flujograma del funcionamiento de un segundo dispositivo.

DESCRIPCION DETALLADA

En la figura 1 se puede observar un esquema de la invención, cuyo principal objetivo es obtener y visualizar los datos recogidos por una serie de sensores que, para facilitar su instalación, se encontrarán protegidos dentro de una estructura de soporte preferentemente metálica (1) y alimentados por una batería auxiliar contenida en ella que, a su vez, será recargada empleando un panel solar (4) ubicado en la parte superior de la estructura.

Los dispositivos, empleados para la monitorización de la calidad del aire, son capaces de medir material particulado en suspensión y cuatro tipos de gases contaminantes diferentes. Asimismo, son capaces de medir otro tipo de información que puede resultar de interés como, por ejemplo, la temperatura y humedad del ambiente o la ubicación GPS en la que se encuentra el dispositivo.

Los datos de calidad del aire son enviados por los dispositivos empleando la tecnología LoRa en la banda de frecuencias de 868 MHz, como se indica en la especificación LoRaWAN para el caso de despliegues realizados en Europa.

Se ha desarrollado el despliegue de una red LoRaWAN que dispone de distintas pasarelas que envían los datos recibidos a un servidor a través de la red. El servidor dispone de un sistema de gestión de datos encargado del almacenamiento de estos en una base de datos InfluxDB que permitirá su visualización en paneles Grafana desde cualquier dispositivo conectado a la red interna de la empresa cliente. Además, integrará un servidor OPCUA y, si es necesario, se dispondrá de una máquina virtual con el sistema operativo Windows en la que se encontrará un proxy que obtendrá los datos almacenados en el servidor OPCUA y los enviará al servidor OPCDA de la empresa que lo solicite. El empleo de Windows es necesario, ya que OPCDA emplea el protocolo DCOM, exclusivo de Microsoft®, en sus comunicaciones.

Los datos que lleguen al servidor anterior son reenviados a un servidor externo a través de una VPN para facilitar una conexión segura. En este servidor se almacenará una copia de los datos y permitirá su visualización en Grafana desde cualquier dispositivo con conexión a internet, ya que dispone de su propia IP pública a la que el cliente podrá acceder para iniciar sesión con su cuenta y visualizar los datos recibidos de sus dispositivos. En este último servidor dispondremos de un sistema de generación de alertas. A modo de servicio básico se emplea el propio sistema de avisos integrado en Grafana, que informará al usuario cuando se detecten altos niveles de contaminación. A su vez, como servicio avanzado, dispondremos de la herramienta Alertmanager de Prometheus que notificará al gestor de la red ante cualquier fallo detectado en cualquiera de los servicios proporcionados.

Dispositivo medidor de material particulado en suspensión.

Dentro del sistema de la invención, que se puede ver en la figura 1, se encuentra un primer dispositivo (2) sensor medidor de material particulado en suspensión, capaz de medir partículas en el rango de 0.3 μm a 40 μm , que puede ser configurado para medir cualquier tamaño de partículas dentro de ese rango. En un ejemplo preferencial, el primer dispositivo se encuentra configurado para medir partículas PM10, PM2.5 y PM1. Además, este primer

dispositivo dispone de un sensor de temperatura y humedad, un receptor GPS y al menos un microcontrolador, encargado de leer datos de los sensores, procesarlos y enviarlos a la red LoRaWAN. El microcontrolador ha sido programado, en una puesta en práctica, empleando el lenguaje de programación MicroPython, que es una implementación eficiente y sencilla del lenguaje Python 3 que dispone de un subconjunto de bibliotecas de Python y está optimizado para su uso en microcontroladores.

La programación en Micropython es muy sencilla, ya que el código se carga mediante un programa diseñado para un tipo específico de microcontrolador en su memoria interna y luego se comunica normalmente usando una aplicación de terminal en un ordenador usando la emulación de una interfaz serie.

El dispositivo enviará datos por ejemplo cada cinco minutos, siendo éstos la media de la concentración de partículas registrada desde el envío del último dato, así como los datos de temperatura, humedad y posicionamiento GPS.

Para comunicarse con los diferentes sensores conectados al microcontrolador, MicroPython dispone de una librería capaz de manejar distintas interfaces de comunicación tales como SPI, empleado en la comunicación con el sensor de partículas; UART, para la comunicación con el receptor GPS o I2C necesario para la lectura de datos del sensor de temperatura y humedad.

En su interior, a su vez, dispone de un controlador de carga encargado de recargar una batería interna, preferentemente una batería de litio de gran capacidad, que le brinda una autonomía aproximada de dos días en caso de encontrarse desconectado de la corriente o, en este caso, de la batería auxiliar. Esto último le permite que, en caso de ser necesario realizar una medición puntual en alguna zona concreta, pueda extraerse el dispositivo de la estructura y ubicarlo donde se precise.

La estructura contenedora tiene en cuenta que el dispositivo debe resistir frente a condiciones climatológicas adversas como la lluvia, y dispone de una entrada y salida de aire para el sensor de partículas ubicadas en ambos laterales. Para ello, se ha diseñado una tobera que mira hacia abajo y se ha comprobado que, además de proteger al dispositivo, no afecta a la correcta medición de la concentración de partículas.

35

El flujograma de funcionamiento del software desarrollado para este dispositivo puede verse en la figura 2. Tras pulsar el botón de encendido, ubicado en un lateral junto al conector de carga, el dispositivo inicia la secuencia de encendido del sensor de partículas integrado. Tras ello, iniciará la solicitud de histograma y obtendrá una media de los datos de partículas de los últimos cinco minutos. A continuación, el dispositivo obtendrá los datos de temperatura y humedad y calculará el porcentaje de batería restante. Seguidamente, tratará de obtener la ubicación GPS, que solo podrá ser obtenida en espacios abiertos y enviará los datos a la red LoRaWAN. Tras esto último iniciará de nuevo la secuencia de solicitud de histograma para seguir con la ejecución en bucle del software.

10

Dispositivo medidor de gases contaminantes

El segundo dispositivo (3) se ha diseñado de forma que alberga sensores para cuatro tipos distintos de gases contaminantes, preferente pero no necesariamente SO_2 , NO_2 , O_3 y CO . Los sensores reaccionan a estos gases generando unos niveles de tensión en sus electrodos que deben medirse para realizar el cálculo de la concentración de ese gas en el aire. Dispone de dos electrodos en los que realizar la medición: un electrodo de trabajo y un electrodo auxiliar, que permite compensar los errores producidos por efectos de la temperatura y humedad del ambiente. El objetivo es obtener la equivalencia entre los niveles de tensión y la concentración de cada uno de los gases en $[\mu\text{g}/\text{m}]^3$.

15
20

El dispositivo cuenta con convertidores de analógico a digital que permiten obtener valores digitales de la tensión medida en los electrodos de los sensores. Con ello, desde el microcontrolador integrado en el dispositivo, se leen con facilidad esos valores y se envían a través de LoRa para realizar un postprocesado de los datos en el servidor.

25

Al igual que el primer dispositivo medidor de partículas, este segundo dispositivo integra un receptor GPS y un sensor de temperatura y humedad que. Los sensores de gases son sensibles a la temperatura y humedad y estos parámetros deben ser tenidos en cuenta a la hora de realizar el postprocesado. El segundo dispositivo también dispone de un controlador de carga y una batería que le ofrece capacidad suficiente para unos tres días de uso continuado.

30

El software desarrollado para este dispositivo se encarga de la lectura de los valores de tensión de los electrodos principal y auxiliar de los sensores de gases durante un minuto, obteniendo un valor de cada uno de los electrodos por segundo y realizando la media de los

35

niveles de tensión. Este valor se almacena para, posteriormente, enviarlo al servidor. A continuación, obtiene del receptor GPS la ubicación en la que se encuentra y, por último, lee los valores actuales de temperatura y humedad. Una vez obtiene todos los datos necesarios, los envía a la red LoRaWAN para realizar su postprocesado y almacenamiento en el servidor. Un flujograma del funcionamiento del dispositivo se puede ver en la figura 3.

Para la calibración del dispositivo se han obtenido muestras durante un largo periodo de tiempo de los valores de tensión de los dos electrodos de los que dispone cada uno de los cuatro sensores, estando el dispositivo ubicado en un punto cercano a una estación medidora que dispone de sensores de gases calibrados de altas prestaciones. Una vez obtenidas las muestras necesarias, se han almacenado los datos en un csv (fichero de valores separados por comas). Este csv contiene, en medias horarias, los datos de tensión del electrodo de trabajo y del electrodo auxiliar de los cuatro sensores, datos sobre la temperatura y humedad del ambiente en el momento de la toma de la muestra y las concentraciones de cada uno de los gases dadas por la estación medidora, cuyos datos, que son públicos, son actualizados cada hora con la media de la concentración en esa última hora. La calibración del dispositivo se ha realizado empleando Python y el método de regresión lineal, que es uno de los algoritmos de aprendizaje máquina más conocidos. En la regresión lineal se dispone de una ecuación que se compone de los datos de entrada y de un valor predicho, resultado de la ecuación. A cada valor de entrada se le asigna un coeficiente que puede ser cero, indicando que ese valor de entrada no influye en el resultado de la predicción. Para el cálculo de los coeficientes del algoritmo de regresión lineal, se ha tomado como resultado esperado los datos ofrecidos por la estación medidora. Para la calibración de cada uno de los sensores se han empleado como datos de entrada los valores de tensión de los electrodos de todos ellos, así como la temperatura y humedad del ambiente en el momento de la toma de las muestras. Con ello, se han obtenido unos coeficientes de ajuste distintos para cada uno de los sensores de gases que deberán ser multiplicados por los datos de entrada para obtener la concentración de ese gas en el aire en $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. En el proceso de calibración de un sensor se han tenido en cuenta los datos obtenidos por el resto de los sensores, debido a que estos sensores presentan interferencias cruzadas entre ellos.

La red LoRaWAN es un protocolo de control de acceso a medios (MAC) para redes de área amplia, construido sobre la modulación LoRa. Está diseñado para permitir que dispositivos de baja potencia se comuniquen con aplicaciones conectadas a internet a través de conexiones inalámbricas de largo alcance. En un ejemplo preferencial, se emplea la banda

de 868 MHz que es la indicada para el uso de esta tecnología en Europa. Se puede emplear por ejemplo una pasarela diseñada para exteriores que es capaz de ofrecer cobertura en un rango de aproximadamente diez kilómetros en entornos rurales y un kilómetro en ciudades. Esta pasarela es capaz de ofrecer una comunicación bidireccional entre los dispositivos conectados a la red y el servidor, al que se encuentra conectada a través de una conexión Ethernet.

El servidor dispone de una instalación Chirpstack, que es un servidor de red para redes LoRaWAN y ofrece una interfaz web en la que podremos configurar con gran facilidad nuevas pasarelas, definir diferentes tipos de aplicaciones para distintos usos y añadir los dispositivos que se van a emplear en cada aplicación.

Estos dispositivos son, en una puesta en práctica, el o los microcontroladores encargados de realizar la recogida y envío de los datos a la red. Para cada uno de ellos se deben configurar la clase de comunicación LoRa que van a emplear. La especificación LoRaWAN define tres clases de dispositivos: clase A, clase B y clase C. Los microprocesadores integrados en la invención son capaces de funcionar como clase A o clase C. Los dispositivos de clase A, cuando transmiten un dato, abren dos ventanas de recepción en las que el dispositivo estará a la espera de una transmisión desde la pasarela. Estas serán las dos únicas oportunidades que tendrá la pasarela de comunicarse con el dispositivo hasta que este no envíe otro dato. Si durante la primera ventana de recepción no se recibe nada, se abrirá, tras un tiempo, una segunda ventana de recepción. Ambas ventanas de recepción solo estarán abiertas durante un breve periodo de tiempo. Sin embargo, los dispositivos de clase C mantienen la ventana de recepción abierta hasta la próxima transmisión, por lo que la pasarela podrá comunicarse en cualquier momento con el dispositivo, siempre y cuando no se encuentre transmitiendo. Esto último se traduce en un mayor consumo de energía. Por ello, los dispositivos de esta clase suelen estar conectados permanentemente a corriente. Por el contrario, los dispositivos de clase A son más eficientes y suelen estar alimentados por una batería. Así, para la invención se ha configurado el microcontrolador para funcionar como dispositivo de la clase A.

En cuanto a los métodos de autenticación para los dispositivos, LoRa dispone de dos: OTAA y ABP. Los dispositivos disponen de un identificador único conocido como DevEUI que es definido previamente. Sin embargo, para identificar a un dispositivo dentro de una red LoRa y a todas las comunicaciones que se produzcan por su parte, se emplea un identificador que no tiene por qué ser único denominado DevAddr. Cuando se produce un proceso de

activación, ya sea empleando OTAA o ABP, se asigna un DevAddr al dispositivo. En el caso de ABP el dispositivo dispone, almacenado en su memoria, de un DevAddr y unas claves de sesión fijas, por lo que no necesita realizar un proceso de activación en la red. En el caso de OTAA, el dispositivo debe iniciar un procedimiento de inicio de sesión en la red y el DevAddr y las claves de sesión cambian en cada nueva sesión.

5

En una puesta en práctica se han empleado ambos métodos de autenticación, aunque se ha priorizado ABP. Esto es debido a que OTAA precisa de una buena conexión para asegurar la recepción de los paquetes enviados desde la pasarela, necesarios para activar el dispositivo, lo que podría suponer un problema para dispositivos que se encuentren en zonas con una cobertura limitada.

10

El servidor Chirpstack se encargará de enviar los datos a un servidor MQTT, que es un protocolo muy ligero cuyos mensajes se componen de un tema y del cuerpo del mensaje. Los datos serán enviados por un dispositivo hacia un bróker que lo redirigirá a los suscriptores que se encuentren suscritos al tema del mensaje. Los suscriptores solo podrán recibir los mensajes del tema al que se encuentren suscritos.

15

Alimentación y estructura de soporte

La estructura permite albergar ambos dispositivos y extraerlos de manera independiente. Para garantizar la total independencia de la red eléctrica, en una puesta en práctica se dispone de un panel solar en la parte superior de esta estructura de soporte. Esto facilita, en gran medida, las labores de instalación, ya que el instalador únicamente deberá colocar la estructura en la ubicación deseada y ubicar en su interior los dispositivos, comprobando previamente que se dispone de cobertura suficiente para que los dispositivos establezcan comunicación con la pasarela.

20

25

La parte superior de la estructura se puede realizar con una cierta inclinación, para orientarla hacia el sur, al encontrarnos en el hemisferio norte. También se puede disponer de un controlador y una batería de gran tamaño, que sirva para almacenar toda la energía generada por el panel solar pero que, además, pese lo suficiente como para mantener la estructura en su sitio sin necesidad de asegurarla atornillándola al suelo, aunque se recomienda hacerlo para mayor seguridad. Tanto la batería como el controlador de la placa solar se sitúan dentro de una caja estanca en el interior de la estructura de soporte, en la parte inferior. A la caja entrarán, por la parte inferior, los cables de la placa solar que irán conectados al controlador, así como los cables de alimentación de los dos dispositivos de

30

35

medición de calidad del aire que irán conectados a los conectores USB del controlador del panel solar, al que además está conectada la batería.

El panel solar además, sirve para proteger de lluvia, etc. a los dispositivos ubicados justo debajo de ésta. Debajo del panel solar van situados tanto el medidor de material particulado
5 en suspensión como el medidor de gases contaminantes en sentido vertical.

A la vista de esta descripción y figuras, el experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes, sin
10 exceder el objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para la medición de la calidad de aire provisto de un primer dispositivo (2) de medición de la concentración de material particulado en suspensión y un segundo
5 dispositivo (3) de medición de gases contaminantes, donde ambos dispositivos disponen además respectivamente de un sensor de temperatura y humedad, un receptor GPS y un microcontrolador provisto de medios de programa para leer datos de los sensores, procesarlos y enviarlos mediante una red LoRaWAN a un servidor externo, caracterizado por que ambos dispositivos disponen además de un controlador de carga y una batería
10 respectivamente, estando ambos dispositivos situados en una estructura de soporte (1) provista de una entrada y salida de aire, donde ambos dispositivos son extraíbles de manera independiente fuera de la estructura de soporte.
2. Sistema para la medición de la calidad de aire según la reivindicación 1, caracterizado
15 por que la estructura de soporte está provista de un panel solar (4) y medios de conexión de ambos dispositivos a dicho panel solar para su alimentación.
3. Sistema para la medición de la calidad del aire según la reivindicación 1 o 2 caracterizado
20 por que el primer dispositivo de medición de material particulado en suspensión está adaptado para medir la concentración de partículas PM desde PM0.3 a PM40 y el segundo dispositivo está adaptado para medir la concentración de SO₂, NO₂, O₃ y CO.

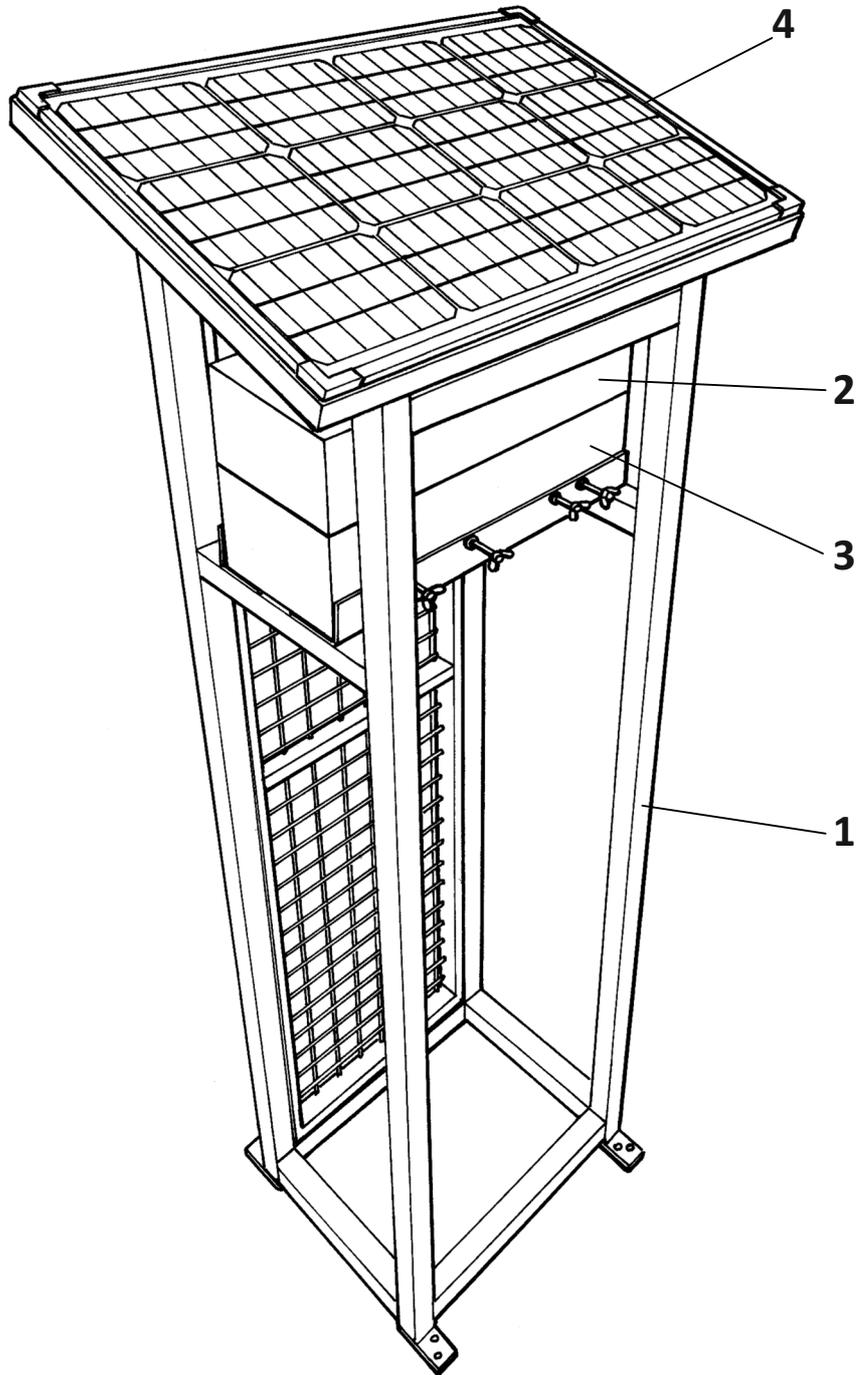


FIG. 1

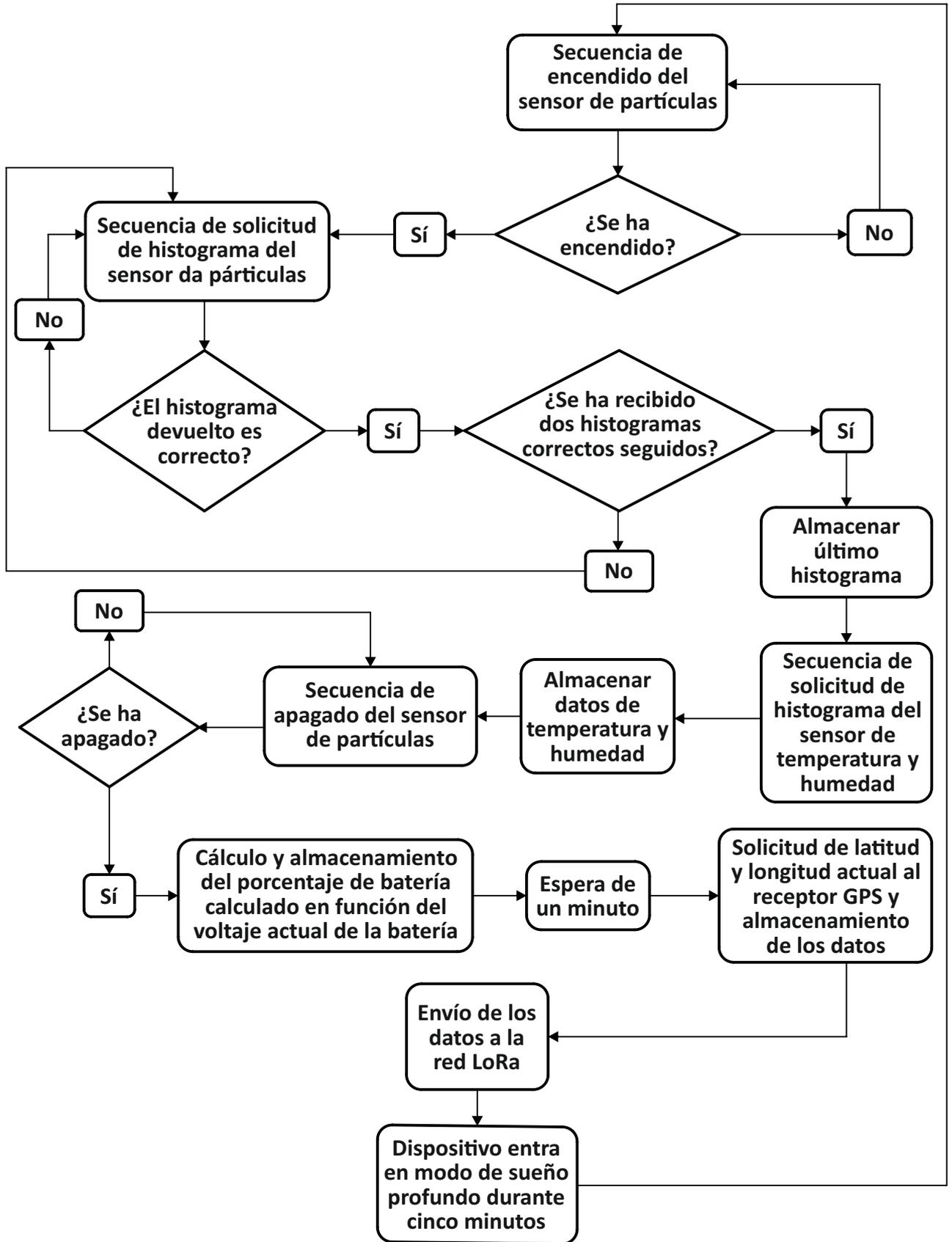


FIG. 2

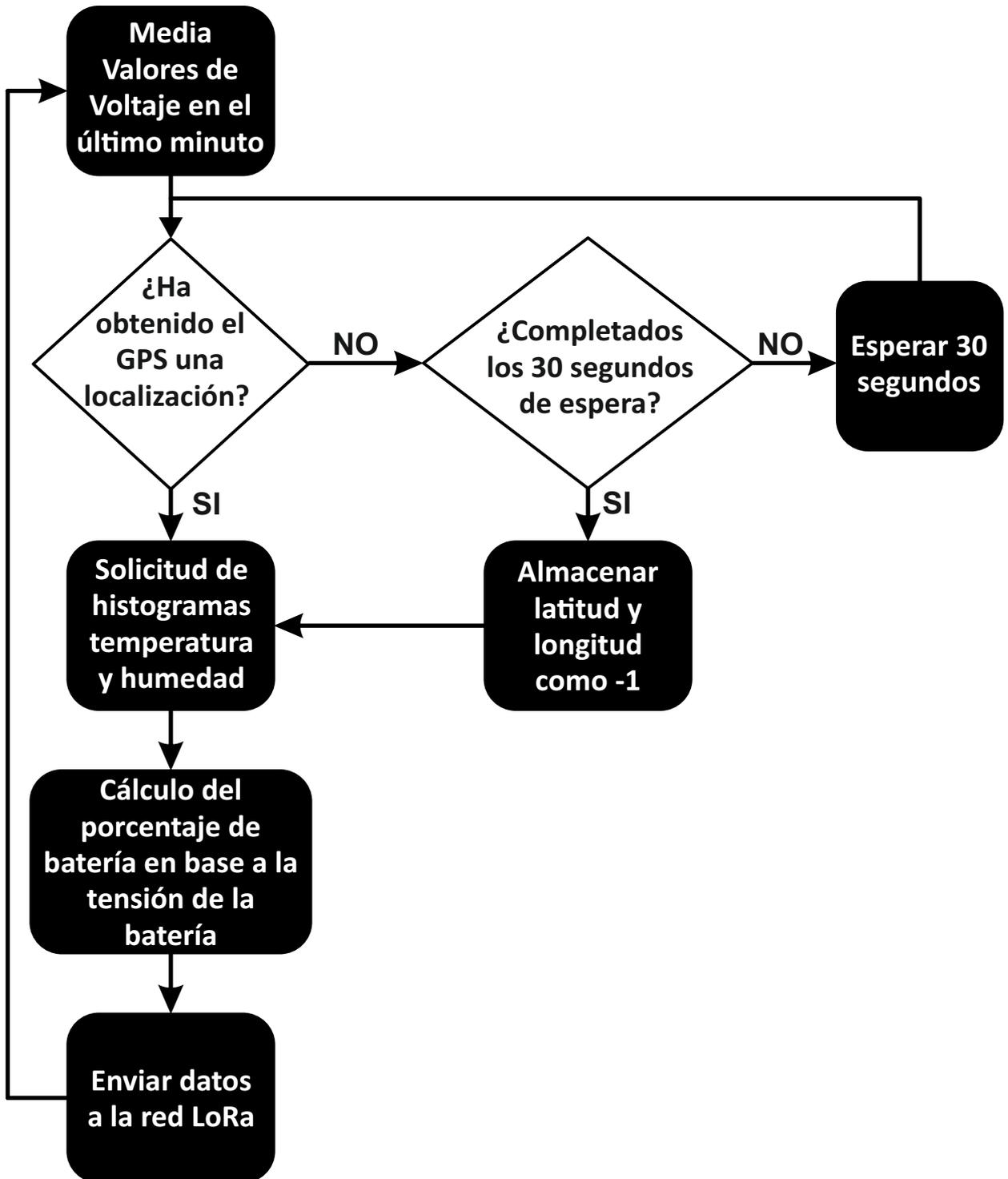


FIG. 3