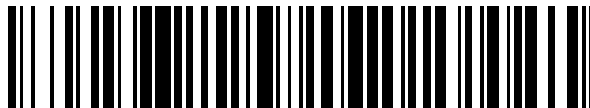


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 786 129**

51 Int. Cl.:

G01F 1/00 (2006.01)

G05B 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.11.2013 PCT/GB2013/053144**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.06.2014 WO14083340**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.11.2013 E 13801700 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 2926094**

54 Título: **Un dispositivo, método y sistema para monitorizar una red de conductos que llevan fluido**

30 Prioridad:

30.11.2012 GB 201221644

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

08.10.2020

73 Titular/es:

**IP2IPO INNOVATIONS LIMITED (100.0%)
Top Floor, The Walbrook Building, 25 Walbrook
London EC4N 8AF, GB**

72 Inventor/es:

**HOSKINS, ASHER JOHN y
STOIANOV, IVAN IORDANOV**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 786 129 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

Un dispositivo, método y sistema para monitorizar una red de conductos que llevan fluido

5 Campo

Esta invención se refiere a un dispositivo y sistema, y un método, de monitorización de flujo de fluido en un conducto. En las realizaciones, se refiere a la monitorización de flujo de agua en un sistema de suministro de agua.

10 Antecedentes

En ocasiones, se supone que los sistemas de suministro de agua operan en condiciones hidráulicas de estado estático. En realidad, estas condiciones hidráulicas son a menudo casi estáticas y no estáticas debido a la naturaleza estocástica de la demanda, las operaciones de las válvulas, bombas, dispositivos de protección de funcionamiento incorrecto contra sobretensión y ráfagas ocasionales. El accionamiento actual para gestionar las fugas reduciendo y controlando la presión operacional casi en tiempo real agrava aún más el problema ya que introduce inestabilidades hidráulicas. Además, la optimización de bomba que incluye apagar y encender las bombas con frecuencia para la reducción de energía da como resultado cambios repentinos en las condiciones hidráulicas. Esto provoca un aumento en el estrés de las tuberías y conduce a fallos de fatiga asociados. Estas variaciones hidráulicas repentinas y graduales conducen a un nivel creciente de ráfagas y coste significativo en términos de reparación de fallos de tubería y demandas de litigios civiles de aquellos que sufren pérdida financiera relacionada.

Por lo tanto, es altamente deseable que la infraestructura envejecida de las tuberías se mantenga bajo condiciones hidráulicas de estado estático para extender la vida de servicio. Esto requiere que las condiciones hidráulicas dinámicas se monitoricen y analicen de manera continua, de manera que los fallos u otros eventos indeseables puedan identificarse y repararse oportunamente o tratarse de alguna otra manera.

La práctica de la industria actual para monitorizar condiciones hidráulicas en las redes de suministro de agua hace uso de dispositivos de monitorización que muestrean a una frecuencia de una muestra cada quince minutos (denominado en esta divulgación como muestreo de 15 min). Estos dispositivos de monitorización se apagan entre periodos de muestreo para minimizar el consumo de potencia y extender la vida de la batería. En consecuencia, los datos obtenidos usando estos dispositivos proporcionan únicamente instantáneas periódicas de las condiciones hidráulicas que no capturan el comportamiento hidráulico dinámico y/o eventos transitorios y de sobretensión.

Ya existen los dispositivos que pueden muestrear a alta frecuencia para monitorizar transitorios de presión, tales como los aumentos de presión. Ejemplos son aquellos dispositivos desvelados en la Patente de Estados Unidos N. ° 7.219.553 y en la Patente de Estados Unidos N. ° 7.357.034. Estos dispositivos capturan eventos transitorios predefinidos a medida que se aumenta la tasa de muestreo cuando se detecta un evento y el dispositivo almacena estos eventos en una memoria interna. Un aumento, que es un ejemplo de un evento transitorio, se determina por la tasa de cambio (usando un detector de gradiente) y un umbral máximo. La implementación de los eventos transitorios se hace por un operador humano y requiere el uso de habilidades de ingeniería especializadas.

Las principales desventajas del sistema descrito en la Patente de Estados Unidos N. ° 7.219.553 y en la Patente de Estados Unidos N. ° 7.357.034 y otros dispositivos de monitorización de sobretensión son:

- 45 (i) Únicamente se capturan eventos de sobretensión extrema a medida que se activa la obtención por valores absolutos y umbrales de gradiente. En realidad, las condiciones hidráulicas dinámicas son estocásticas y están caracterizadas por un amplio intervalo de frecuencias y amplitudes. Estas se omiten por los dispositivos existentes.
- 50 (ii) El conjunto de datos de sobretensión post facto de múltiples ubicaciones se ve obstaculizado significativamente ya que los transitorios pueden haberse disipado por debajo de los umbrales de activación establecidos y no capturados. Esto limita significativamente la calidad y disponibilidad de los datos capturados para analizar los eventos de sobretensión y fallos de diagnóstico; y
- 55 (iii) El sistema está desplegado principalmente a través de instalaciones sobre el suelo, ya que requiere el uso de fuentes de energía grandes (por ejemplo paneles solares grandes) y de línea de visión (GPS) para sincronización de tiempo.

La investigación por los presentes inventores en el área de transitorios hidráulicos demuestra que estos eventos tienen diferentes características, frecuencia de ocurrencia, amplitud, forma, tasa de cambio y disipación de energía. Muchos de estos eventos no constituyen transitorios repentinos y extremos que provocan fallos de tubería inmediatos. Las condiciones hidráulicas dinámicas incluyen frecuentemente oscilaciones de presión de alta frecuencia de baja amplitud para las que no son apropiados valores de activación tales como detectores y umbrales de gradiente. Reducir los valores de activación daría como resultado un muestreo continuo con la adquisición de más datos de varios órdenes de magnitud que el equipo de registro existente de sobretensión (es decir transitorio) no puede gestionar.

Las condiciones hidráulicas dinámicas descritas no comprometerán inmediatamente la integridad de una tubería. La investigación experimental por los presentes inventores ha demostrado que tales eventos provocan fallos de fatiga y aceleran la corrosión inducida por fatiga. Ambos de estos mecanismos contribuyen al deterioro de tubería y frecuencia de ráfaga. Adicionalmente, los cambios rápidos en la velocidad de fluido aumentan la tensión de cizalla a lo largo de la pared de tubería que da como resultado la resuspensión de sedimentos y el fregado de biopartículas. Como resultado, las condiciones hidráulicas dinámicas también afectan la calidad del agua, reducen el cloro residual y dan como resultado decoloración y quejas de los clientes. Estos ejemplos ilustran que la definición y caracterización de un evento transitorio tal como un evento de sobretensión que requiere rutinas de procesamiento y gestión de datos más sofisticadas que las descritas en la Patente de Estados Unidos N. ° 7.219.553 y en la Patente de Estados Unidos N. ° 7.357.034.

Sumario

Los aspectos y características de la presente invención se definen en las reivindicaciones adjuntas.

[Almacenamiento estratificado; submuestreo; subconjuntos estadísticos]

Se proporciona un dispositivo de monitorización de flujo de líquido dispuesto para monitorizar el flujo de líquido en un conducto, comprendiendo el dispositivo medios de muestreo, medios de procesamiento y medios de almacenamiento de datos, en el que:

los medios de muestreo están dispuestos para recibir datos sustancialmente de manera continua desde un sensor, indicativos de al menos una variable detectada por el sensor indicativa del flujo de fluido en un conducto y para muestrear los datos para producir un flujo de datos muestreados;

los medios de procesamiento están dispuestos para procesar el flujo de datos muestreados para extraer al menos un flujo submuestreado a partir de los mismos, comprendiendo el flujo submuestreado una pluralidad de conjuntos de datos, siendo cada conjunto de datos un subconjunto estadístico del flujo de datos muestreados a través de un respectivo periodo de conjunto de datos;

los medios de almacenamiento de datos están dispuestos para almacenar el al menos un flujo submuestreado.

Se proporciona adicionalmente un método de monitorización del flujo de líquido en un conducto, comprendiendo el método las etapas de un dispositivo de monitorización de flujo de líquido:

recibir datos sustancialmente de manera continua de un sensor, los datos indicativos de flujo de fluido en un conducto, y operar medios de muestreo del dispositivo para muestrear los datos para producir un flujo de datos muestreados;

procesar el flujo de datos muestreados usando medios de procesamiento del dispositivo para extraer información a partir de los mismos;

transmitir periódicamente la información extraída a una ubicación central operando medios de comunicación del dispositivo;

almacenar, usando medios de almacenamiento de datos del dispositivo, una representación más completa del flujo de datos muestreados durante al menos un periodo de tiempo que se proporciona por la información extraída;

recibir en los medios de comunicación una solicitud de la ubicación central u otra para una representación más completa del flujo de datos muestreados durante el periodo de tiempo y, en respuesta a lo mismo, transmitir a la ubicación central u otra la representación más completa.

[Desventajas tratadas de los dispositivos existentes]

En dispositivos existentes, no es posible "retroceder" de manera retrospectiva y extraer datos de alta frecuencia y de tiempo sincronizado para intervalos de tiempo arbitrarios o datos entre las instantáneas de datos periódicos para obtener más información acerca de un evento de interés; los datos para estos periodos no se obtienen y se pierden. Por ejemplo, si ocurre una ráfaga u otro fallo, los operadores no pueden consultar las condiciones hidráulicas dinámicas (estado no estático) antes de la ráfaga, o muestrear de manera ascendente los datos históricos (aumentar la resolución temporal), y consultar múltiples dispositivos durante el mismo intervalo de tiempo para identificar las causas y mecanismos de fallo. Proporcionando al menos un flujo de datos submuestreados - es decir, proporcionando almacenamiento estratificado, de subconjuntos estadísticos de los datos - la información relevante durante el periodo de tiempo de interés puede obtenerse fácilmente, ya sea localmente acoplado el dispositivo a un dispositivo de interrogación, o remotamente a través de un enlace de comunicaciones.

[Generación de informes periódicos]

El dispositivo comprende medios de comunicación. Los medios de procesamiento están dispuestos adicionalmente para procesar el flujo de datos muestreados para extraer información de resumen a partir de los mismos. Los medios de comunicaciones están dispuestos para transmitir periódicamente la información de resumen a una ubicación central remota del dispositivo. El al menos un flujo submuestreado puede comprender una representación más completa del flujo de datos muestreados durante un periodo particular que se proporciona por la información de resumen extraída durante ese periodo.

[La variable detectada]

Ejemplos de la variable que se está detectando son presión de fluido y/o velocidad de fluido. El dispositivo puede comprender el sensor.

El subconjunto estadístico comprendido en cada conjunto de datos del flujo submuestreado comprende el máximo y/o mínimo y/o promedio y/o desviación típica y/u otro valor estadístico de los datos durante el respectivo periodo del conjunto de datos.

[Interrogación retrospectiva]

El dispositivo está dispuesto adicionalmente, tras recibir los medios de comunicación de la ubicación central u otra una solicitud para una representación más completa del flujo de datos muestreados en o durante un tiempo especificado, para transmitir a la ubicación central o a la otra uno o más de los conjuntos de datos que corresponden al tiempo especificado. La solicitud para una representación más completa puede ser una solicitud para al menos una porción del al menos un flujo submuestreado. Los medios de comunicación transmiten el conjunto de datos o cada uno contenido en esa porción.

Puede haber una pluralidad de flujos submuestreados, comprendiendo cada uno una pluralidad de conjuntos de datos que comprenden un subconjunto estadístico y/o decimado del flujo de datos muestreados, comprendiendo los conjuntos de datos de cada flujo submuestreado un subconjunto estadístico durante periodos de la diferente longitud respectiva. En otras palabras, cada flujo submuestreado puede submuestrearse a una frecuencia diferente. Las frecuencias pueden diferir en un orden de magnitud.

Cuando haya una pluralidad de flujos submuestreados, la solicitud para una representación más completa puede ser una solicitud para una respectiva porción de cada uno de una pluralidad de los flujos submuestreados. Los medios de comunicación, en respuesta a esta solicitud, transmiten el conjunto de datos o cada uno en cada una de estas porciones.

La duración del flujo submuestreado o cada uno que se almacena puede ser una duración predeterminada. Esta puede ser la misma para cada flujo submuestreado. El flujo submuestreado o cada uno puede almacenarse en una memoria intermedia circular. El dispositivo puede almacenar también un flujo ininterrumpido del flujo de datos muestreados de duración correspondiente. Este puede almacenarse también en una memoria intermedia circular. La duración puede ser del orden de días o semanas o meses.

[Muestreo]

El muestreo por los medios de muestreo puede ser a alta frecuencia. Por ejemplo, puede ser entre 64 y 1024 muestras por segundo (M/s). 256 M/s es un ejemplo. La tasa de muestreo puede ser cualquiera de estas dos tasas; puede ser cualquier tasa entre medias. En otras realizaciones, puede usarse en su lugar otra tasa de muestreo. Cuando la variable que se detecte sea presión de fluido, la tasa de muestreo puede encontrarse entre 100 y 300 M/s, y puede ser 200 M/s. Cuando la variable que se detecte sea velocidad de fluido, la tasa de muestreo puede encontrarse entre 0,5 y 2 M/s, y puede ser 1 M/s. Las variables de calidad (cloro y turbidez) se muestrean a 15 minutos pero a una tasa de muestreo más rápida que se activa (5 min) si se detecta un transitorio. La presión puede usarse como una variable primaria para activar una tasa de muestreo aumentada para las variables secundarias. La tasa de muestreo de los medios de muestreo puede controlarse por los medios de procesamiento. La tasa de muestreo puede controlarse así en respuesta a la recepción de una señal en los medios de comunicación de la ubicación central u otra para cambiar la tasa de muestreo. Los medios de muestreo pueden indicar cada punto de datos con una indicación de tiempo que corresponde al tiempo en el que se detectó el punto de datos.

Los medios de muestreo pueden recibir los datos del sensor sustancialmente en tiempo real. El flujo de datos muestreados puede producirse por los medios de muestreo sustancialmente en tiempo real.

[Identificar transitorios]

El procesamiento del flujo de datos muestreados para extraer información de resumen de los mismos puede comprender la identificación de eventos transitorios y/o la identificación de eventos no transitorios. La identificación de un evento transitorio y/o no transitorio puede formar al menos parte de la información de resumen extraída. El

procesamiento puede comprender porciones de procesamiento del flujo de datos muestreados, correspondiendo cada porción a un respectivo periodo de tiempo. La porción puede ser una porción que corresponde a un periodo de tiempo continuo. En otras palabras, el procesamiento puede ser a través de una ventana continua sobre el flujo de datos muestreados. Los periodos de tiempo pueden seleccionarse para que sean lo suficientemente largos de manera que cada porción contenga un conjunto completo de datos muestreados para el evento transitorio más largo que se experimentará por un sistema del cual el conducto y/o dispositivo forman parte. Para cada porción, los datos muestreados pueden analizarse para determinar si la porción contiene o no datos indicativos de un evento transitorio. Esto se hace sumando la diferencia entre puntos de datos sucesivos a través del periodo de tiempo para proporcionar una suma acumulativa. La suma se compara contra una probabilidad de que la suma sea indicativa de un evento transitorio para determinar si un evento transitorio se ha identificado o no. Esto puede hacerse comparando la suma contra un registro de la probabilidad de que la suma sea indicativa de un transitorio. El registro puede ser una función de distribución de probabilidad de la probabilidad de que la suma tenga lugar contra el valor de la suma. El registro puede generarse durante la operación del dispositivo registrando cada suma y su frecuencia de ocurrencia. El registro puede actualizarse continuamente durante la operación a medida que se calcula cada suma acumulativa. El registro puede comprender una indicación de un umbral indicativo del valor de probabilidad por debajo del cual se determina que la suma es indicativa de un evento transitorio y por lo tanto de que se ha identificado un evento transitorio. La probabilidad de la suma acumulativa calculada que tiene lugar puede compararse contra ese umbral. El algoritmo de detección de transitorio por lo tanto permite el auto-ajuste autónomo de dispositivos individuales y este proceso es específico de sitio - diferentes sistemas de suministro de agua experimentarán diferentes niveles de comportamiento hidráulico dinámico (comportamiento de antecedentes).

En respuesta a la identificación de un evento transitorio, los medios de comunicación pueden transmitir una señal indicativa de esto a la ubicación central. Esto puede tener lugar sin esperar la siguiente transmisión periódica de la información de resumen extraída. Puede ocurrir tras identificar el evento transitorio. La señal puede comprender datos de la porción en la que se ha identificado el evento transitorio.

[Información estadística de resumen]

Procesar el flujo de datos para extraer la información de resumen a partir de los mismos puede comprender determinar información estadística de resumen del flujo de datos muestreados, formando la información estadística de resumen al menos parte de la información de resumen extraída. La información estadística de resumen comprende uno o más valores máximo y/o mínimo y/o promedio y/o varianza y/o desviación típica de la porción del flujo. La información estadística de resumen puede comprender uno o más valores de máximo y/o mínimo y/o promedio y/o varianza y/o desviación típica de un periodo de tiempo, denominado como un "periodo de tiempo de resumen", que puede corresponder a varias de las porciones. Por ejemplo, el periodo de tiempo de resumen puede ser una o más horas, días o semanas. En las realizaciones, la noción de monitorización de manera continua del comportamiento hidráulico dinámico tendrá también un impacto en los intervalos de comunicación. El sistema puede tolerar periodos más largos entre comunicación (por ejemplo una vez por hora frente a una tendencia actual de 30 min) si la hidráulica de la red de tuberías tiene poca variación y está en estado estático.

El periodo de transmisión por los medios de comunicación de la información extraída puede ser sustancialmente igual que el periodo de tiempo de resumen.

[PDF y métricas de impacto]

En respuesta a la identificación de un evento transitorio, los medios de procesamiento pueden generar también un descriptor de transitorio que indica una o más características del evento de transitorio identificado. Un ejemplo de un descriptor de transitorio es el gradiente del transitorio, que es la tasa de cambio de la variable detectada con el tiempo a través del tiempo del transitorio o algún otro tiempo tal como la duración de la respectiva porción en la que se identifica el transitorio. Otros descriptores transitorios incluyen la dirección del gradiente, las magnitudes de inicio y/o parada del transitorio, el gradiente de disipación, una secuencia de cambios de gradiente. El descriptor de transitorio o cada uno se usa por los medios de procesamiento para generar una indicación de la gravedad del transitorio. Esto puede hacerse comparando el valor del descriptor transitorio contra una indicación de la probabilidad de que esté teniendo lugar el descriptor transitorio. Esto puede hacerse sustancialmente de la misma manera que la manera en la que se identifican transitorios. Por ejemplo, el valor del descriptor transitorio puede compararse con una distribución de probabilidad de valores medidos del descriptor transitorio durante el uso para determinar la probabilidad de ese valor. La probabilidad determinada puede compararse con uno o más umbrales para proporcionar la gravedad del transitorio. Por lo tanto, la disposición puede proporcionar auto-ajuste autónomo y umbrales específicos de sitio. Los umbrales pueden usarse para clasificar el transitorio en términos de su gravedad. Puede haber tres clases. Estas medidas de gravedad pueden denominarse "métricas de impacto". Las métricas de impacto pueden combinar resultados de la información estadística de resumen. Las métricas de impacto pueden formar parte de la información de resumen extraída que se envía periódicamente a la ubicación central.

La métrica de impacto puede determinar la frecuencia de transmisión de la información de resumen extraída de los medios de comunicación. En respuesta a la métrica de impacto que se eleva por encima de un umbral definido, la

información de resumen extraída puede transmitirse con más frecuencia. En respuesta a que la métrica de impacto caiga por debajo del umbral definido u otro, la información de resumen extraída puede transmitirse con menos frecuencia. Una métrica de impacto indicativa de un transitorio de alto interés puede iniciar sustancialmente la transmisión inmediata a la ubicación central de la información extraída.

5

[Varios canales]

El dispositivo puede tener varios canales de datos detectados. El dispositivo puede recibir respectivos datos sustancialmente de manera continua de cada uno de una pluralidad de sensores indicativos de una respectiva variable detectada por cada sensor. Los medios de muestreo pueden muestrear los datos para producir un respectivo flujo de datos muestreados para cada una de las variables detectadas. El dispositivo puede estar dispuesto de manera que, y el método puede ser de manera que, cada flujo se maneje en paralelo sustancialmente de la misma manera.

10

[Desviación de reloj]

15

Se proporciona un dispositivo de monitorización dispuesto para recibir datos de alta frecuencia de un sensor y para asociar puntos de datos de esos datos cada uno con una respectiva indicación de tiempo, comprendiendo el dispositivo un módulo de reloj y medios de recepción, comprendiendo el módulo de reloj un reloj local dispuesto para rastrear el tiempo y que comprende adicionalmente medios de recepción de señal dispuestos para recibir periódicamente una señal de tiempo inalámbrica de una fuente remota indicativa del tiempo preciso, el módulo de reloj dispuesto para comparar el tiempo mantenido por el reloj local con la señal de tiempo y para ajustar el reloj local y mejorar de esta manera la precisión de su mantenimiento del tiempo.

20

El módulo de reloj puede estar dispuesto para comparar de manera repetitiva, y opcionalmente periódica, el tiempo mantenido por el reloj local con la señal de tiempo y para ajustar el reloj local. El módulo de reloj puede ajustar de manera variable el reloj local acelerando y/o ralentizando el reloj a diferentes tiempos durante un periodo de tiempo. El módulo de reloj puede aprender cómo el reloj local tiende a variar con referencia al tiempo preciso durante un periodo de tiempo y compensar esta varianza ajustando el reloj para conseguir mantenimiento del tiempo sustancialmente preciso. El módulo de reloj puede recibir también una señal indicativa de la temperatura local y variar el reloj local al menos parcialmente basándose en esto. El dispositivo puede operar los medios de recepción más frecuentemente de manera inicial para recibir la señal de tiempo para aprender cómo el reloj local tiende a variar y a continuación operar los medios de recepción menos frecuentemente cuando se ha aprendido la varianza del reloj local.

25

30

El dispositivo de este aspecto puede ser adicionalmente el dispositivo del primer aspecto, que tiene las mismas características y características opcionales. De manera similar, las características de este aspecto pueden ser características de cualquier otro aspecto.

35

[Modular]

El dispositivo de cualquier aspecto puede ser modular. Los componentes del dispositivo pueden alojarse en respectivos alojamientos que pueden estar acoplados juntos local, y opcionalmente de manera liberable, para su operación. Los medios de procesamiento pueden estar alojados en un módulo principal; los medios de almacenamiento y opcionalmente los medios de comunicación, si los hubiera, pueden alojarse en un módulo de memoria; el sensor y opcionalmente los medios de muestreo pueden estar alojados en un módulo de sensor. Una fuente de alimentación, tal como una batería, puede estar alojada en un módulo de potencia. El módulo de memoria puede comprender una pantalla en el alojamiento de la misma indicativa de la operación del dispositivo y los datos obtenidos. La pantalla puede ser indicativa de si se ha determinado o no un evento transitorio en un periodo previo; puede ser indicativa de la gravedad de cualquier evento transitorio determinado. La pantalla puede ser indicativa de la métrica de estrés de impacto. El módulo de memoria puede estar dispuesto para comunicación local con aparatos de interrogación, tal como un ordenador portátil. Esta puede ser comunicación alámbrica o inalámbrica. El módulo de memoria puede estar dispuesto para operar como un servidor de micro-servidor durante tal comunicación. El módulo presurizado o cada uno puede comprender un sensor de presión de aire dispuesto para proporcionar datos a los medios de procesamiento. Tras detectar una caída en presión de aire por debajo de un umbral especificado, los medios de procesamiento pueden identificar que el módulo en cuestión debería examinarse y generar una señal indicativa de esto. Esta señal puede comunicarse a la ubicación central. El procesador puede también apagarse en respuesta a esto.

40

45

50

55

El módulo de batería puede comprender un chip de ID para identificar de manera única la batería, siendo legible el chip de ID por los medios de procesamiento cuando el módulo de batería está conectado para su operación.

60

[Procesamiento central]

Se proporciona una estación de control central para identificación de la ubicación aproximada de las causas de los eventos transitorios en una red de conductos a través de los cuales fluye el fluido, comprendiendo la estación de control central medios de procesamiento y medios de comunicación, en la que:

65

los medios de comunicación están dispuestos para recibir, de una pluralidad de dispositivos remotos, respectiva información extraída indicativa de un evento de flujo de fluido transitorio en una respectiva longitud de conducto con el que está asociado el dispositivo remoto, comprendiendo la información extraída una indicación de tiempo sustancialmente precisa asociada con el evento transitorio; y

5 los medios de procesamiento están dispuestos para determinar basándose en la información extraída, y el conocimiento de la posición geográfica de cada dispositivo, la ubicación aproximada de la causa del evento transitorio.

10 Los dispositivos remotos de este tercer aspecto pueden ser cada uno uno de los dispositivos del primer aspecto.

Los medios de control central y procesamiento pueden comprender al menos un procesador de ordenador, almacenamiento no volátil legible por ordenador asociado, y medios de pantalla visual asociados.

15 Se proporciona un sistema de monitorización de fluido de líquido para monitorizar el flujo de líquido en una pluralidad de conductos que componen una red, comprendiendo el sistema una pluralidad de los dispositivos como se definen en el primer aspecto y medios de control y procesamiento central como se definen en el tercer aspecto.

[General]

20 Para los aspectos anteriores, excepto cuando una característica opcional indicada anteriormente haga referencia a otra característica opcional que sea necesaria para que funcione la primera característica, cada una de las características opcionales anteriormente indicadas puede proporcionarse en una realización en aislamiento de las otras características opcionales. Se prevé también que las características opcionales puedan incluirse juntas en las realizaciones en cualquier combinación que pueda hacerse funcionar. Se prevé adicionalmente que las características opcionales de cada aspecto sean también características opcionales de cada otro aspecto.

25 Se prevé que, en realizaciones preferidas, el conducto sea un conducto de suministro de agua de un sistema de suministro de agua, tal como un sistema de suministro de agua que suministra agua a usuarios de agua domésticos y/o industriales. En otras realizaciones, el conducto puede ser un conducto en un sistema de agua residual, una tubería de petróleo o gas, un conducto en una planta de proceso o planta nuclear. Son posibles y se prevén también otras aplicaciones.

30 Al menos ciertas características de realizaciones de ejemplo proporcionan lo siguiente:

35 (i) Monitorizar de manera continua y retroactiva consultas y extraer datos de alta frecuencia de múltiples dispositivos de registro/telemetría embebidos para caracterizar las condiciones hidráulicas dinámicas y facilitar el análisis post mortem de fallos y diagnósticos de dispositivos de protección de sobretensión. Esto elimina el ajuste complejo de registro de velocidad variable como se describe en la Patente de Estados Unidos N.º 7.219.553 y en la Patente de Estados Unidos N.º 7.357-034 que omiten de manera frecuente eventos críticos, no captura datos críticos y no puede proporcionar datos históricos de alta frecuencia durante periodos arbitrarios seleccionados por el usuario.

40 (ii) Detectar desviaciones casi en tiempo real de las condiciones hidráulicas de estado estático designadas dentro de sistemas de suministro de agua complejos. Correlacionar información extraída de datos de estado cuasi estático y datos transitorios con información física de tubería y topológica que se usa para el cálculo de un índice de transitorio (un nivel de estrés de sistema) para facilitar el reconocimiento oportuno de operación subóptima y mantenimiento de activador. Esto incluirá también la detección de inestabilidades hidráulicas debido a funcionamiento incorrecto o válvulas de control configuradas de manera errónea. Mantener los sistemas de distribución de agua bajo condiciones hidráulicas de estado estático ampliará el ciclo de vida de la infraestructura, reducirá el coste anual al fijar ráfagas, y reducirá el número de eventos de decoloración.

45 (iii) Diagnosticar la operación y desviaciones de las especificaciones de diseño de dispositivos de protección contra sobretensión: los datos se usan para detectar, ubicar y planificar el mantenimiento de control de funcionamiento incorrecto y válvulas de aire y equipo de protección de sobretensión fallido. Puede usarse también como una garantía de aseguración y seguridad de que los dispositivos de protección contra sobretensión están operando de acuerdo con sus especificaciones de diseño. Comparar la respuesta de un sistema de suministro de agua a un intervalo de transitorios hidráulicos.

50 (iv) Asegurar y monitorizar la implementación segura de los esquemas de optimización de bomba.

(v) Monitorizar las redes de transmisión de agua para fugas obteniendo de manera continua señales de presión de alta frecuencia y detectando cambios de gradiente bajo diferentes variaciones de presión.

60 (vi) Usar el aparato como una base de datos distribuida para almacenar datos de alta frecuencia sin procesar, medidas estadísticas de las variaciones de presión durante un conjunto de intervalos predefinidos (por ejemplo 1

s, 1 minuto, 15 minutos) y firmas de eventos transitorios. Esta configuración es esencial para realizar datos de tiempo sincronizado a alta velocidad continuos con consumo de muy baja potencia.

5 (vii) Reducir el riesgo de contaminación de calidad de agua debido a presión subatmosférica generada por transitorios hidráulicos.

(viii) Controlar el riesgo de un cambio repentino (reducción) en el residuo de cloro.

10 (ix) Reducir la variabilidad en las condiciones hidráulicas mejorará la precisión de modelos de simulación hidráulicos casi en tiempo real.

(x) Gestión de datos eficaz en energía para muestreo/monitorización continua y almacenamiento de datos optimizado.

15 Breve descripción de los dibujos

Se describirán ahora realizaciones específicas de la invención a modo de ejemplo únicamente y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

20 La Figura 1 es una vista general en forma esquemática de un sistema de monitorización de flujo de líquido que comprende una estación de control central y cinco dispositivos remotos;

25 La Figura 2 es un diagrama esquemático de la disposición de hardware de uno representativo de los dispositivos remotos;

La Figura 3 es un diagrama esquemático de la operación del dispositivo remoto de la Figura 1;

30 La Figura 4 es un diagrama detallado esquemático detallado de una parte de la operación el dispositivo remoto de la Figura 2;

La Figura 5 es un diagrama detallado esquemático detallado de otra parte de la operación del dispositivo remoto de la Figura 2;

35 La Figura 6 es un diagrama esquemático de la disposición de hardware del servidor central;

La Figura 7 es un diagrama esquemático de operación de la estación de control central;

La Figura 8 es un diagrama esquemático detallado de parte de la operación de estación de control central;

40 La Figura 9 muestra una representación de un evento transitorio con descriptores transitorios;

La Figura 10 es una representación esquemática de la geolocalización de componentes del sistema;

45 La Figura 11 es una vista en perspectiva de componentes modulares del dispositivo remoto de la Figura 2;

La Figura 12 muestra un diagrama de flujo de acceso manual del dispositivo y carga de datos;

La Figura 13 muestra procedimientos de gestión de datos de acceso, descarga y procesamiento de datos;

50 La Figura 14 muestra sincronización de tiempo para monitorización de área extensa;

La Figura 15 muestra incertidumbres en una señal de difusión de tiempo;

55 La Figura 16 es un diagrama de flujo que muestra un método de estimación de latencia;

La Figura 17 es un diagrama de flujo que muestra un método para minimizar la fluctuación de frecuencia y decodificar una referencia de tiempo de precisión; y

60 La Figura 18 es un diagrama de flujo que muestra un método de ampliación de un periodo remanente; y

La Tabla 1 es una tabla que muestra un ejemplo de datos almacenados en el dispositivo remoto de la Figura 2.

Descripción específica de ciertas realizaciones de ejemplo

65 Los sistemas de transmisión y distribución de agua son una infraestructura crítica con un nivel creciente de control y consecuencias de fallos. La monitorización continua de las condiciones de carga resultantes del comportamiento

hidráulico dinámico facilita el mantenimiento de la resistencia estructural del envejecimiento de la infraestructura de tuberías y protege la calidad del agua. La monitorización y el control de las condiciones hidráulicas dinámicas requiere un método y aparato para la recopilación de datos de tiempo sincronizado de alta frecuencia continua y para la gestión de grandes volúmenes de datos bajo restricciones de potencia graves. El sistema de monitorización debe permitir también consultas casi en tiempo real y retrospectivas que extraen datos hidráulicos de alta frecuencia de tiempo sincronizado durante periodos de tiempo arbitrarios. Esto es particularmente útil cuando han ocurrido ráfagas y otros fallos y se requiere un análisis de causa raíz para identificar los mecanismos de fallo extrayendo datos de tiempo sincronizado de alta frecuencia antes y durante el fallo de sistema.

Una vista general de un sistema 100 que incorpora la invención se muestra en la Figura 1. Como puede observarse, el sistema 100 está compuesto de unos varios dispositivos remotos 10 dispuestos para comunicarse con una estación de control central en forma de un servidor 200. En esta realización, la comunicación es comunicación inalámbrica como se explicará a continuación. Cada dispositivo 10 remoto es un dispositivo de monitorización de flujo de líquido dispuesto para monitorizar flujo de líquido en un conducto. Cada dispositivo 10 está compuesto de varios componentes de hardware, llevando a cabo cada uno varias funciones.

La Figura 2 muestra en más detalle, pero en forma esquemática, los componentes de hardware principales que componen uno representativo de los dispositivos 10.

El dispositivo incluye medios de detección en forma de un sensor 12. En esta realización, el sensor 12 está dispuesto en un conducto de una red de suministro de agua, aunque se prevé que, en otras realizaciones, el sensor pueda estar ubicado para otras aplicaciones. El sensor 12 está dispuesto para detectar una variable indicativa del flujo de agua en el conducto. Esto puede incluir, por ejemplo, la presión, velocidad, altura, o temperatura del flujo, o cualquier otra característica. En este ejemplo, la variable que se detecta es presión. El sensor 12 proporciona los datos indicativos de la presión detectada como una señal continua en tiempo real.

El dispositivo 10 también incluye medios 20 de muestreo en forma de un convertidor de analógico a digital (ADC) 20 que recibe datos de los medios 12 de detección indicativos de la presión detectada. El ADC 20 está dispuesto para muestrear los datos 25 a alta frecuencia. En esta realización, los datos indicativos de presión de agua se muestrean a una tasa de 200 M/s. El ADC indica en tiempo cada punto de datos para emitir un flujo de datos 27 muestreados con indicación de tiempo. Los datos se indican en tiempo con alta precisión, que en esta realización es precisa en milisegundos. La indicación de tiempo se describirá a continuación en detalle con referencia a la Figura X.

La salida del ADC 20 proporciona una entrada a medios de procesamiento en forma de un microprocesador 30 que tiene RAM 35 asociada con el mismo y es accesible de esta manera. El dispositivo también incluye medios de almacenamiento en forma de memoria 40 no volátil, que en esta realización es memoria flash. El microprocesador 40 está dispuesto para comunicarse con la NVM 40 para leer datos a partir de la misma y almacenar datos en la misma. El dispositivo 10 incluye adicionalmente medios de comunicación en forma de un módulo 50 de radio acoplado de manera operativa al microprocesador 30 y dispuestos para comunicarse de acuerdo con normas de GSM y GPRS a través de una red de telefonía celular móvil (no mostrada en la Figura 2).

Cada dispositivo 10 del sistema 100 tiene uno o más canales de entrada de datos que provienen de respectivos sensores 12.

Aunque la Figura 2 muestra, por simplicidad, un dispositivo 10 con un único sensor 12 y un único canal de datos a partir del mismo, se prevé que otros dispositivos 10 en el sistema 100 puedan tener múltiples sensores 12 detectando cada uno diferente variable indicativa del flujo de fluido. Cada sensor 12 tiene un respectivo flujo de datos continuos a partir del mismo, cada uno tratado como una variable independiente en un canal separado del dispositivo 10. Las tasas de muestreo pueden ser diferentes para variables específicas: por ejemplo: la presión de fluido se mide a 200 M/s y la velocidad de flujo de fluido a 1 M/s mientras que la temperatura o tensión de batería puede medirse únicamente cada 15 minutos. Las variables de calidad (cloro y turbidez) se muestrean a 15 minutos pero a una tasa de muestreo más rápida que se activa (5 min) si se detecta un transitorio. La presión puede usarse como una variable primaria para activar una tasa de muestreo aumentada para las variables secundarias. Las fuentes de datos pueden generarse también por cálculos después de una o más otras fuentes de datos. Por ejemplo, una fuente de datos booleana (una que puede tener únicamente los valores "verdadero" y "falso") que representa la declaración "se ha detectado un transitorio" puede generarse desde una fuente de datos de presión de fluido.

Con referencia a la Figura 3, que ilustra flujos de datos en el dispositivo 10 en lugar de en la disposición de hardware, los datos muestreados con indicación de tiempo desde el ADC 20 experimentan dos operaciones de procesamiento principales: análisis 110 de señal transitoria, en la que el microprocesador 30 extrae información de la señal; y almacenamiento 120 estratificado, en el que los datos con indicación de tiempo del ADC 20 se submuestran por el microprocesador 30 en varios flujos submuestrados paralelos y se almacenan en la memoria 40 no volátil, disponible para su recuperación a una fecha posterior. Este modelo está diseñado para mantener muestreo continuo a altas tasas de muestreo mientras se minimiza el uso de energía y la comunicación. La operación de sistema está configurada mediante "consultas", comandos y solicitudes enviados desde el servidor 200 central con el que el dispositivo 10 se comunica mediante el módulo 50 de radio. Estas consultas establecen los parámetros del análisis 110 de señal

transitoria y definen datos que se transmiten de manera regular por el dispositivo 10 usando "consultas persistentes": consultas que se almacenan en el dispositivo 10 y que continúan ejecutándose hasta que se detengan por otra consulta. Los resultados del análisis de señal transitoria y los datos generados por las consultas se transmiten al servidor 200 central.

5

[Almacenamiento estratificado]

El sistema de "almacenamiento estratificado" desarrollado se muestra en la Figura 4. Cada variable detectada (desde un respectivo sensor 12) en el dispositivo 10, después de que se muestree por el ADC 20, se almacena como un "flujo estratificado". Por lo tanto, habrá tantos flujos estratificados como haya sensores 12. Un flujo 130 estratificado se muestra en la Figura 4 que es representativo de los flujos estratificados en esta realización. El flujo 130 estratificado contiene los datos sin procesar del ADC 20 y varios flujos submuestreados, submuestreados por el microprocesador 30, de datos almacenados en paralelo con los datos sin procesar. Los flujos submuestreados están compuestos de muchos conjuntos de datos. Cada conjunto de datos en un flujo submuestreado consiste en una tupla compuesta del tiempo del comienzo del elemento submuestreado y un número de descriptores estadísticos de los datos sin procesar a través del tiempo que se cubrió por el elemento de conjunto de datos.

10

15

El tipo de submuestreo estadístico que se realiza por el microprocesador 30 depende del tipo de datos: para los datos continuamente variables se calculan los valores mínimo, máximo, promedio y de varianza; para datos booleanos puede calcularse la O lógica de los elementos de datos. Pueden calcularse también otros valores estadísticos, tales como la desviación típica, cuando se genera un conjunto submuestreado. La Tabla 1 muestra una fuente de datos que toma una lectura una vez cada 15 segundos y se prevé que se cree a partir de ella la submuestra estadística de un minuto.

20

Estos flujos submuestreados permiten que se recuperen largos periodos de datos sin el gran número de accesos de datos que se requeriría para obtener información para el mismo periodo de tiempo dado únicamente acceso a los datos sin procesar. Esto es crítico para minimizar el tiempo de comunicación y la energía mientras se gestionan altos volúmenes de datos. Por ejemplo, una hora de datos de 200 M/s requeriría 720.000 lecturas de datos si únicamente estuvieran disponibles los datos sin procesar pero únicamente 60 lecturas de un conjunto submuestreado de un minuto.

25

30

Los datos sin procesar, y por lo tanto los conjuntos de datos submuestreados, se almacenan en el orden en el que se midieron. Cada flujo de datos se almacena por lo tanto aumentando el valor de tiempo. Esto permite que los datos en un valor de tiempo particular se hallen sin el uso de un índice puesto que puede usarse un algoritmo de búsqueda binaria eficaz (búsqueda de medio intervalo). El medio de almacenamiento es una memoria intermedia circular, los elementos de datos nuevamente registrados por lo tanto siempre se almacenarán en ella. Si el medio está lleno entonces se borrarán los datos más antiguos para dejar espacio. Una vez escritos, los datos nunca se modificarán. Los datos copiados de un dispositivo 10 pueden considerarse por lo tanto fiables independientemente de lo que ocurra al dispositivo en consecuencia. El uso de conjuntos submuestreados incurre en una penalización de almacenamiento típicamente entre el 5 % y 10 %, pero esto es insignificante dado el bajo coste de almacenamiento.

35

40

[Análisis de señal transitoria]

En paralelo con el sistema de almacenamiento estratificado anteriormente descrito, cada dispositivo 10 también realiza análisis de datos en los datos sin procesar (de envío por flujo continuo) que se proporcionan del ADC 20. Esto se muestra en la Figura 5. Estas operaciones de procesamiento se llevan a cabo en paralelo en cada fuente de datos medida por el dispositivo 10.

45

La RAM 35 y la potencia de procesamiento de cada dispositivo 10 está limitada y también todas las operaciones matemáticas tienen lugar durante una memoria intermedia de ventana continua. El tamaño de esta memoria intermedia es específico de la implementación pero típicamente se encontrará en el intervalo de 30 segundos a 300 s: lo suficientemente grande para mantener una imagen completa del transitorio más largo (la duración máxima de un transitorio depende de un número de factores tales como la topología del sistema, tamaño de tubería, la naturaleza y fuente del evento transitorio, etc.). En esta realización, y para datos indicativos de presión de agua, la memoria intermedia es de 300 s.

50

55

Después de filtrar el ruido de sensor (por ejemplo, usando una media móvil) la primera tarea de procesamiento de datos es el bloque 140 funcional de la "selección de transitorio". Esto incluye dividir los datos en transitorios probables y transitorios no probables. Se realiza la suposición de que a través del corto periodo de tiempo de la memoria intermedia de ventana, el valor de señal promedio no cambiará y así la suma de las diferencias siempre será aproximadamente cero. Se crea una función de distribución acumulativa (CDF) de la suma de las diferencias entre muestras posteriores en la ventana. La CDF es un registro del valor de las sumas contra su probabilidad de ocurrencia, basándose en la frecuencia de ocurrencia medida. Si la suma es "poco probable" de acuerdo con la CDF (por ejemplo <0,1 % de posibilidad) entonces la ventana se declara como que mantiene un transitorio. Cuantos más datos pasen a través del sistema mejor se hará la CDF. Este enfoque permite que los transitorios que están apenas por encima del ruido suelo de una señal que va a detectarse, en contraste con la detección de transitorio en los dispositivos existentes, que son en general detectores de pendiente sencillos y que únicamente detectan transitorios grandes. El presente

60

65

enfoque también es de auto-ajuste y por lo tanto específico de sitio.

Estadísticas de resumen ("Indicadores Estadísticos Periódicos") tales como mínimo, máximo, promedio y varianza/desviación típica se recopilan de la señal no transitoria para cada día de la semana. Esto se ilustra en el bloque 150 funcional. Estas se almacenan localmente así como transmitiéndose al servidor central periódicamente. En la presente realización se recopilan todas estas estadísticas.

La tarea del bloque 160 de "clasificación de transitorio" adapta un conjunto de variables a un transitorio detectado (detectado en el bloque 140) para proporcionar un descriptor comprimido del evento (por ejemplo un vector de transitorio). Un conjunto de ejemplo de variables ajustadas en la parte superior de un transitorio medido puede observarse en la Figura 7 del sistema. Esto muestra una representación de la presión según se mide por el sensor 12 y se muestrea por el ADC 20 en el eje y frente al tiempo en el eje x. Los descriptores en esta realización incluyen la amplitud del transitorio (también conocida como la magnitud de inicio), el gradiente del transitorio (no mostrado en la Figura 7), el gradiente de disipación del transitorio, que puede considerarse la pendiente del primer pico o a través del transitorio hasta un punto en el que el transitorio se haya disipado sustancialmente y la secuencia de gradientes de alteración. Para cada descriptor, con la excepción del tiempo del transitorio (que será de manera obvia diferente para cada transitorio), el valor del descriptor se usa para crear una función de distribución de probabilidad (PDF). Esto se hace en el bloque 162. Esta PDF muestra la probabilidad de un tipo particular de transitorio que tiene lugar y es de manera periódica (por ejemplo, una vez cada 24 horas). Estas PDF se envían al servidor 200 central. A medida que se ejecuta el dispositivo 10, la PDF se vuelve más precisa a medida que se agregan más datos.

Usando la PDF transitoria, se recopilan conjuntos de variables, esta vez *incluyendo* su tiempo de inicio, que describen transitorios representativos y se envían al servidor 200 central. Esto se hace en el bloque 165. Un transitorio representativo es uno que se repite de manera regular o que es "poco habitual" (baja probabilidad) de acuerdo con la PDF transitoria. El servidor central usa estas instantáneas de transitorios para correlacionar de manera cruzada eventos de diferentes ubicaciones de medición.

Los indicadores estadísticos periódicos y de PDF de transitorio se usan para calcular una "métrica de impacto" sencilla en el registrador. Esto se hace en el bloque 180. Esta métrica de impacto usa suposiciones acerca de las propiedades físicas de las tuberías promedio para clasificar la cantidad de estrés, en términos coloquiales, midiéndose la sección de la tubería que se encuentra en un número limitado de estados. Esta información puede visualizarse a continuación en un medio de visualización del dispositivo 10 (en esta realización, el dispositivo comprende adicionalmente un módulo de memoria extraíble que aloja la NVM 40 e incluye tres LED con color de manera diferente que se usan para indicar la métrica de impacto en el bloque 185) para permitir que los técnicos en el campo evalúen la condición de la red en ese punto. Para dispositivos 10 que no pueden comunicar con el servidor 200 central y que se basan en la recogida manual de los módulos de memoria, esta indicación de "estrés" local puede mostrar si merece la pena o no recopilar el módulo de memoria en un tiempo particular. La métrica de impacto local puede usarse también para variar la tasa de transmisión de datos: cuando se detectan los transitorios extremos, aquellos que provocan una métrica de alto impacto, el dispositivo 10 puede establecerse automáticamente para transmitir datos de evento al servidor central inmediatamente en lugar de esperar su tiempo de transmisión normal. La métrica de impacto local se clasifica usando un sistema de semáforo. Se usan alertas rojas para activar la comunicación inmediata con el servidor 200 central.

[Procesamiento central]

El servidor 200 central se muestra en forma de diagrama esquemático en la Figura 6. El servidor 200 incluye medios de comunicación en forma de un módulo 210 dispuesto para comunicarse con la internet, y por lo tanto con cada dispositivo 10, mediante cualquier medio adecuado para la comunicación. El servidor 200 también incluye un microprocesador 220 en comunicación con el módulo 210 de radio, y la RAM 230 y memoria no volátil 240 ambas de las cuales están en comunicación de lectura/escritura con el microprocesador 220. La NVM 240 constituye un almacén de datos central. También se proporcionan medios de entrada/salida en forma de una interfaz 250 de usuario gráfica.

Se muestra una vista general de la disposición funcional del servidor central en la Figura 7. El servidor 200 recibe datos que constituyen eventos, estadísticas de transitorios y datos de forma de onda de todos los registradores bajo su control - la "nube de registrador" 210 - mediante el módulo 210 de internet.

El servidor 200 central realiza dos tareas principales: almacenar y solicitar datos de los registradores 10 en su almacén de datos permanente; y combinar, los datos de análisis de transitorio de todos los registradores en análisis de red amplia. También proporciona una interfaz de usuario que constituye gráficos interactivos para visualizar datos de sensor, y un mapa interactivo, para visualizar datos ubicados geográficamente. Se prevé que el servidor central también extraiga de manera ocasional fragmentos de código fuente de datos de alta frecuencia de diversas ubicaciones (transitorios detectados con diferente gravedad) para ajustar y actualizar los estimadores de transitorios. De esta manera, el sistema de servidor/de monitorización mejora de manera autónoma sus capacidades de detección. Los estimadores de transitorios actualizados se "traspasan" a continuación a los dispositivos de monitorización embebidos.

El almacén 240 de datos central en el servidor tiene la misma estructura que los almacenes de datos estratificados en los dispositivos 10 pero es significativamente mayor y no estructurado como una memoria intermedia circular. Los datos antiguos no se sobrescribirán. Cuando se solicitan datos de los dispositivos 10 se copian en este almacén y se mantienen como un registro permanente.

5 Un aspecto clave del sistema 240 de almacenamiento de datos en el servidor 200 central es el concepto de "recuperación de datos retrospectiva y consulta de datos de alta frecuencia durante periodos de tiempo arbitrarios". Si el usuario desea ver información detallada del pasado después de una alerta puede enviar consultas fuera de la nube del registrador para recuperar datos pasados con resolución espacial superior desde uno o más registradores. De esta
10 manera el usuario puede ver datos detallados de manera arbitraria desde los registradores sin que los registradores tengan que transmitir constantemente información de alto ancho de banda al servidor central. El proceso es iterativo - un usuario recibe los datos de 15 minutos tradicionales junto con unos datos de evento transitorio de baja resolución, el evento transitorio requiere investigación adicional y el usuario a continuación emite consultas retroactivas para
15 extraer datos pasados con alta resolución temporal durante los intervalos de eventos/tiempo específicos. La recuperación de datos retrospectiva puede activarse también por rutinas de análisis automático que se ejecutan en el servidor: por ejemplo, si se detecta un transitorio en un dispositivo 10 entonces se genera una consulta automática para extraer datos de dispositivos 10 vecinos en la red local circundante. Los datos se usan a continuación para ubicar la fuente del evento, investigar la conectividad hidráulica en sistemas de topología complejos y diagnosticar el
20 rendimiento dispositivos de protección contra sobretensión.

Un sistema de información geográfica (GIS) proporciona información sobre materiales y diámetros de tubería, distribución de red, ubicación de registrador e información tal como fotos y notas usados cuando se planifican despliegues de registrador.

25 El servidor 200 central recibe indicadores estadísticos periódicos, PDF de transitorios y clasificaciones de transitorios junto con capturas representativas de cada dispositivo 10. Cuando los dispositivos 10 tienen más de un canal de medición, cada canal se trata como si fuera un dispositivo separado 10 para fines de análisis (aunque los datos para todos los canales en un dispositivo particular 10 se transmitan juntos, en esta realización, a través del enlace de comunicaciones por eficacia). Los análisis realizados en estos datos se muestran en la Figura 6.

30 Los datos de cada dispositivo 10 se combinan con información de tubería sencilla (material, antigüedad, diámetro y condición probable, si son conocidos) desde el GIS para calcular una métrica de impacto por registrador, usando los mismos métodos que se usan en el mismo dispositivo 10.

35 La ubicación de cada dispositivo es conocida y estas ubicaciones están dispuestas en un gráfico de geolocalización jerárquica que almacena las relaciones de estas ubicaciones entre sí. Se muestra un gráfico de ejemplo en la Figura 10 del sistema. Para los fines de análisis zonal, no se usa la ubicación de GPS real de cada dispositivo 10, solamente las relaciones descritas en el gráfico de geolocalización. La ubicación de GPS se usa, sin embargo, para la visualización de los datos. En los canales del gráfico de ejemplo 0 y 1 del dispositivo "L1" se considera que están estrechamente relacionados puesto que comparten el mismo padre. El canal 0 de "L1" y el canal 0 de "L2" están
40 menos estrechamente relacionados puesto que únicamente comparten un abuelo. Ambos se consideran apenas relacionados con el canal 0 de "L4" (bisabuelo común) y no están relacionados en absoluto con el canal 0 de "L9" (ningún ancestro común).

45 Las indicaciones de tiempo en las instantáneas de transitorio representativas se usan para intentar e identificar los mismos transitorios que tienen lugar en diferentes sitios. La diferencia de tiempo entre y la magnitud de los transitorios se usa para clasificar sitios por cercanía a la fuente del transitorio.

50 La etapa final de este análisis es combinar las métricas de impacto por dispositivo, cercanía a la fuente de transitorio, y posición en el gráfico de geolocalización en las "métricas de impacto zonales". En cada nivel en el árbol de geolocalización una media ponderada de las métricas de impacto (métricas "malas" tienen un peso superior que métricas "buenas") de los nodos por debajo de ese nivel proporciona una métrica de impacto zonal. Estas métricas zonales pueden representarse en un mapa, permitiendo que un usuario vea de un vistazo las secciones estresadas de red a través de un gran área geográfica usando un sistema de semáforo, y que se acerque hasta el nivel de un
55 registrador individual. Además, los datos obtenidos pueden usarse para identificar la probabilidad de frecuencia de ráfaga con relación al indicador de "estrés" extraído. Esto ayudará a los operadores de red a seleccionar la estrategia de control óptima para minimizar el comportamiento hidráulico dinámico en sus sistemas y cuantificar los beneficios de tal gestión proactiva.

60 En paralelo con el análisis estadístico, las instantáneas de transitorios transmitidas por los registradores pueden usarse para accionar un modelo de análisis de transitorio para predecir su propagación alrededor de la red. La ejecución periódica de estas simulaciones de transitorio basándose en los datos de tiempo sincronizado de alta frecuencia obtenidos proporcionarán instantáneas de la respuesta de transitorio modelada frente a observada de los sistemas. El análisis de estos residuos se usa para identificar y diagnosticar fallos y operación subóptima. Por ejemplo, una
65 conectividad hidráulica entre partes de la red, como una válvula, se ha dejado abierta o incluso una sección de tubería que no se ha registrado en el mapa de red.

Las métricas y enlaces entre dispositivos 10 pueden usarse con visualización de datos tradicional para seleccionar automáticamente fuentes de datos: por ejemplo, un usuario puede acercarse a un conjunto de datos para ver un transitorio y puede solicitar que el sistema visualice automáticamente los conjuntos de datos de todos los otros registradores que también midieron el transitorio. Si estos datos no están actualmente disponibles en el servidor central entonces las solicitudes pueden enviarse para recuperar retrospectivamente los datos de alta frecuencia.

Los ajustes iniciales de los diversos parámetros que controlan el procesamiento, tal como el umbral de CDF de transitorio/no transitorio se calculan usando un periodo de datos sin procesar recopilado en un sitio representativo (no necesariamente en la zona que se está registrando) y se procesan en el servidor 200 central. Durante el tiempo de ejecución del dispositivo 10, estos parámetros se actualizan inalámbricamente desde el servidor 200 central.

[Gestión de datos manual y remota (inalámbrica)]

El sistema de la presente realización soporta instalaciones de monitorización tanto permanentes como temporales. El dispositivo 10 en esta realización incluye una memoria y un módulo de extensión de comunicaciones (mostrado en 45 en la Figura 11) que posibilita manejo de datos flexible y óptimo para un escenario de monitorización inalámbrico mediante interrogación remota y un escenario de interrogación local mediante inspección física en el campo. La memoria y el módulo de comunicaciones 45 son externos al módulo 46 de detección principal y obtención de datos y pueden sustituirse en el sitio. Esto elimina descargas de datos que consumen tiempo si se requiere el acceso a grandes volúmenes de datos o todos los datos de alta frecuencia obtenidos para su análisis (o si la comunicación inalámbrica no está disponible). Pueden hacerse mejoras de comunicación y memoria de bajo coste con interrupción mínima para el usuario final, la ejecución de las tareas de monitorización/control y la configuración de instalación. Para instalaciones permanentes (sistemas de telemetría/SCADA), el acceso remoto y la transferencia de datos pueden hacerse mediante GSM o cualquier tecnología de comunicación inalámbrica y/o alámbrica. En esta configuración, varios de los dispositivos 10 forman un sistema de detección y almacenamiento distribuido como se ha descrito en el presente documento anteriormente.

El módulo 45 de memoria y comunicaciones soporta maneras alternativas para descargar y visualizar los datos de gran volumen de alta frecuencia obtenidos. Estos se resumen en la Figura 12.

Como se muestra en la Figura 12, puede accederse al conjunto complejo de los datos de gran volumen obtenidos de dos maneras:

1. El módulo 45 de extensión de memoria y comunicaciones (denominado como el "módulo de memoria/comunicaciones" en la figura) se recopila manualmente y está conectado al Controlador de Despliegue (DC) que soporta carga de datos automática a servidores en la nube seguros/privados. El DC es un portátil o tableta resistente dispuesto para su uso en el campo y para comunicación local con el dispositivo 10. Todos los datos almacenados en el módulo de memoria/comunicaciones (incluyendo la estructura de datos estratificada descrita anteriormente en el presente documento) se envían automáticamente por el DC a servidores en la nube privados para almacenamiento de datos en la nube, procesamiento de evento y exploración de datos mediante un enlace de carga de alta velocidad (por ejemplo ADSL o banda ancha de fibra óptica que usa el DC). Una interfaz basada en web permite que los usuarios accedan a los servicios en la nube que incluyen: (a) información espacial/de ubicación relacionada con el despliegue o despliegues del registrador; (b) información de calibración con respecto a los sensores usados; (c) un resumen/configuración de los ajustes de obtención de datos y regímenes de muestreo; (d) tanto datos sin procesar como conjuntos de datos extraídos/submuestreados como se ha descrito anteriormente; (e) un resumen de uso de batería, estado para cada paquete de baterías y recordatorios para sustituir las baterías; (f) un conjunto de herramientas de gestión con consultas de procesamiento de datos específicas y una interfaz con herramientas de modelación y analíticas externas.

2. El módulo 45 de extensión de memoria y comunicaciones es un micro-servidor que proporciona una interfaz sin interrupciones cuando se conecta con dispositivo de PC externos tales como portátiles/PC/tabletas. De esta manera, puede accederse a los datos sin procesar y estratificados almacenados en el módulo de extensión de memoria/comunicaciones que incluyen los eventos transitorios extraídos sin la necesidad de instalar software especializado en el PC anfitrión. La gestión de datos también es independiente del sistema operativo usado (por ejemplo, Windows, Linux, Mac OS) y las especificaciones de hardware de PC. La interfaz basada en web comparte una GUI similar que el esquema de interfaz web en la Opción 1. La GUI permite que se descarguen datos al PC anfitrión. Sin embargo, los usuarios no necesitan descargar datos para ver los datos obtenidos y explorar eventos específicos y secciones de la señal.

Adicionalmente, la presente disposición incluye procedimientos y tecnologías para acceder, descargar y procesar datos obtenidos de instalaciones de sensor temporales sin acceso de datos inalámbrico o en caso cuando se requiera el conjunto de datos completo para ajustar los algoritmos embebidos. Estos se muestran en la Figura 13 y pueden resumirse como sigue:

1. Un técnico visita un sitio donde se despliega un dispositivo 10. El algoritmo de transitorio embebido ha detectado un evento o series de eventos extremos que activan un LED rojo (como parte del sistema de advertencia de

semáforo) visible a través de una sección transparente del módulo 45 de memoria/comunicaciones. El técnico sustituye el módulo 45 de memoria por un nuevo módulo, minimizando por lo tanto las interrupciones a la configuración de instalación de sensores y tiempo de inactividad para el proceso de adquisición de datos.

2. Los datos pueden inspeccionarse y visualizarse en el sitio (por ejemplo en un entorno protegido tal como un vehículo de servicio en lugar de en exteriores) conectando el módulo 45 de memoria/comunicaciones a un portátil/tableta resistente. La conexión es mediante un cable o un módulo de extensión 802.11 WiFi que puede conectarse al módulo 45 de memoria/comunicaciones. También se prevé conectar el módulo de memoria al DC y tener que alojar un micro servidor (en lugar de tener el micro-servidor en el mismo módulo de memoria) que puede conectarse un portátil mediante cable (por ejemplo ethernet/USB) o inalámbricamente (por ejemplo WiFi/Bluetooth). No se requiere software especializado para acceder, visualizar o explorar los datos en el módulo 45 de memoria - esto se facilita por el modelo de almacenamiento estratificado anteriormente descrito en el presente documento.

3. El técnico puede tomar también el módulo 45 de memoria/comunicaciones para una oficina con acceso a redes de datos de alta velocidad (por ejemplo ADSL, banda base de fibra óptica) o usar servicios inalámbricos de alta velocidad tales como 4G. El módulo 45 de memoria comunicaciones está conectado al Controlador de Despliegue que se usa para enviar los datos a servicios designados personalizados en la nube para almacenamiento de datos en la nube, procesamiento de eventos y exploración de datos.

[Indicación de tiempo; Modificar desvío de reloj; corregir reloj en tiempo de ejecución]

Se proporciona sincronización de tiempo precisa y estable de los dispositivos 10 que forman el sistema para analizar continuamente el estado casi estático y las condiciones hidráulicas de transitorios en el sistema de suministro de agua. Con referencia a la Figura 2, el dispositivo 10 incluye un módulo 90 de reloj. Este proporciona al presente sistema una solución de sincronización de tiempo para la monitorización de alta frecuencia distribuida. El módulo 90 de reloj incorpora un receptor de señal de tiempo de radio, un oscilador y algoritmos de procesamiento de señal embebidos que mantienen la precisión de sincronización de tiempo hasta 5 ms entre los dispositivos de detección distribuidos.

Con referencia a la Figura 14, utilizando una fuente de tiempo fuera de banda, se consigue un servicio de sincronización de tiempo escalable, independiente de la topología y rápidamente convergente, que soporta redes de sensores dispersos de área amplia. Con referencia continuada a la Figura 14, el presente sistema de monitorización y control distribuido implementa un reloj en tiempo real (RTC) para funciones de mantenimiento de tiempo. Los RTC integran comúnmente un oscilador de cristal de baja potencia que usa la resonancia mecánica de un cristal de vibración de material piezoeléctrico para crear una señal eléctrica con una frecuencia precisa (por ejemplo 32,768 kHz). Los efectos del entorno tales como temperatura, variaciones de fuente de alimentación y otros factores que son típicos en entornos industriales hostiles provocan inestabilidades de periodo de frecuencia y tiempo (por ejemplo, desvío y sesgo) (Figura 14). El rendimiento del reloj se mide en partes por millón (ppm). Los osciladores de cristal (XO) de baja potencia comúnmente usados en sistemas de detección distribuidos restringidos en energía tienen estabilidad de frecuencia en el intervalo de 10 ppm a 100 ppm. Los desarrollos recientes en osciladores de temperatura compensada (TCX-O) de baja potencia proporcionan estabilidad mejorada de 0,1 ppm a 10 ppm (Kyocera 2011; Rakon 2011; SiTime 2011). La estabilidad de un XO puede dar como resultado un error de tiempo de 860 ms a 8,6 s durante un periodo de 24 horas mientras que el error de tiempo para un TCXO variará de 86 ms a 860 ms durante 24 horas. Dentro del entorno de detección distribuido de la presente realización, la precisión de tiempo requerida de +/- 5 ms (el equivalente de 0,05 ppm) puede conseguirse únicamente usando una señal externa para proporcionar un tiempo fiable y referencia de frecuencia para disciplinar el oscilador local.

Para proporcionar la exactitud y precisión de tiempo necesarias, el módulo 90 de reloj en cada uno de los dispositivos 10 del presente sistema está sincronizado al UTC (Tiempo Universal Coordinado), que es una escala de tiempo global. El uso de las difusiones de señal de radio para disciplinar los osciladores de cristal embebidos a UTC se reconoce como una solución potencial para controlar el desvío de reloj. Sin embargo, existen desafíos significativos con respecto a la aplicación de este enfoque al método de la presente realización de muestreo de presión de alta velocidad. Los desafíos principales para sincronizar en tiempo el aparato descrito para muestreo de alta velocidad continua son:

- Sincronización de tiempo exacta y robusta dentro de +/- 5 ms (0,05 ppm) entre los dispositivos 10 distribuidos sin comunicación directa entre ellos (con referencia a UTC);
- Instalación en condiciones subterráneas (por ejemplo pozos de registro, cámaras de inspección, hidrantes contra el fuego y cámaras de lavado) sin línea directa de visión y entorno de propagación de radio complejo. Esto impide el uso de GPS en la mayoría de ubicaciones de instalación.
- Calidad de señal variable y fluctuación de onda de la señal de tiempo/frecuencia de radio externa dentro del entorno operacional descrito.
- Consumo de baja potencia que se consigue minimizando el número de conexiones a la señal de referencia de tiempo/frecuencia externa. En consecuencia, se requieren periodos remanentes más largos con la opción de control de manera adaptativa estos periodos de modo que se garantice el umbral de 5 ms.

El sesgo de un oscilador de cristal local variará y puede superar rápidamente el umbral de 5 ms. Por ejemplo, un TCXO de buena calidad con precisión de 2 ppm en el intervalo de 0 °C a 40 °C puede superar +/-5 ms dentro de 1-2 horas. Para minimizar el consumo de energía, la sincronización de tiempo con la fuente de tiempo/frecuencia externa no debe

superar una sesión por 24 horas. Esto es el equivalente de un oscilador de cristal con una precisión de mínimo 0,05 ppm y superior. Mientras que existan tales dispositivos, el consumo de energía es significativamente superior que limita su uso para la aplicación descrita.

5 Además de extender los periodos remanentes de operación de un oscilador de cristal, un desafío significativo es la decodificación de la señal de referencia de tiempo dentro de un entorno operacional que afecte a la calidad de la señal de radio recibida. La latencia acumulada debido a procesamiento de la señal transmitida y retardo de propagación de radio combinado con fluctuación de fase pueden introducir desplazamientos significativos en el tiempo recibido. Con referencia a la Figura 15, estos incluyen:

- 10
- Latencia de transmisor - 1 ms
 - Propagación de señal y tiempo de procesamiento de receptor ~ 10-100 ms
 - Fluctuación de fase ~ 5-10 ms

15 La disposición de la presente realización proporciona:

- Un método para estimar la latencia para cada dispositivo de medición durante su despliegue usando el controlador de despliegue, como se muestra en la Figura 16;
 - Un método para estimar y minimizar la fluctuación de fase, como se muestra en la Figura 17.
 - 20 • Un método para recibir/decodificar una referencia de tiempo de precisión sin la necesidad de descomponer la señal de código de referencia de hora y fecha completa, también como se muestra en la Figura 17.
 - Un método para ampliar el periodo remanente y mejorar el rendimiento del oscilador de cristal, como se muestra en la Figura 18.
 - Un método para cambiar de manera adaptativa los intervalos de sincronización de tiempo (periodos remanentes) para garantizar que se mantenga un umbral de precisión definido personalizado (por ejemplo 5 ms), también como se muestra en la Figura 18.
- 25

El módulo 90 de reloj de cada dispositivo 10 está dispuesto y es operable para llevar a cabo las etapas de estos métodos.

30 El método de la Figura 15 a 18 se describirá ahora en más detalle.

La sincronización de tiempo de los RTC (relojes en tiempo real) en los dispositivos distribuidos incluye el uso de un tiempo común (Tiempo Universal Coordinado (UTC)) que alinea los desplazamientos entre relojes y proporciona comprobaciones periódicas para mantener y corregir la tasa a la que operan los osciladores embebidos. Los dispositivos no tienen comunicación directa entre ellos mismos y, en consecuencia, no son aplicables métodos de intercambio de mensajes de radio para sincronizar el tiempo. El Tiempo Universal Coordinado (UTC) es la norma de tiempo primaria mediante la cual se regulan los relojes y el tiempo. Un RTC está caracterizado por su *tiempo* (Figura 14), *desplazamiento* (la diferencia en tiempo informada por un reloj de un dispositivo distribuido con relación al tiempo de referencia/UTC), *frecuencia* (la tasa a la que progresa el reloj), *sesgo* (la diferencia en frecuencias entre un reloj y el tiempo de referencia/UTC; por ejemplo un oscilador estable tiene un sesgo constante) y *desvío* (definido por el cambio en el sesgo).

35

40

La operación de relojes de RTC usados por los dispositivos distribuidos y la precisión de tiempo resultante pueden experimentar variaciones significativas. La no linealidad y el ruido de fase se combinan con las fluctuaciones térmicas y de tensión de suministro, y el envejecimiento del oscilador de cristal. Como resultado, el desvío de cada RTC difiere y está regido por el desplazamiento de reloj inicial, el sesgo de reloj instantáneo y observación aditiva y ruido de medición. Las incertidumbres en estos componentes necesitan cuantificarse y minimizarse de manera precisa ya que estas son específicas de dispositivo y sitio y varían en el tiempo, Figura 14.

45

50

Las incertidumbres asociadas con la señal de referencia de tiempo y frecuencia que se usan periódicamente para recibir el tiempo verdadero (tiempo de UTC) se muestran en la Figura 15. Pueden utilizarse las señales de referencia de tiempo de diversos transmisores nacionales - por ejemplo, MSF en RU, DCF77 en Alemania y WWVB en los Estados Unidos (por ejemplo códigos de tiempo de amplitud/fase modulada usados para la transmisión de datos de tiempo precisos mediante señales de RF). La realización actual usa un receptor de múltiples bandas (UK (MSF), Europa/Alemania (DCF), Estados Unidos (WWVB) y Japón (JJY)). El análisis presentado está basado en datos recibidos del bit de MSF (RU) que es aplicable a los otros sistemas de difusión de tiempo enumerados. La Figura 15 muestra que se transmite una referencia de tiempo global (UTC) en t_0^{UTC} pero se recibe en t_0^{Rd} en lugar de $t_0^{RTC(UTC)}$. Los requisitos de aplicación definen que el error de sincronización de tiempo no debería superar 5 ms ($\delta = \text{diff}\{t_0^{UTC} - t_0^{RTC(UTC)}\} < 5 \text{ ms}$); sin embargo, mediciones extensivas hechas por los presentes inventores muestran que el retardo total al recibir una señal de referencia de tiempo ($\theta_0^{TD} \approx \text{diff}\{t_0^{UTC} - t_0^{Rd}\} \approx 20 \text{ ms} \square 350 \text{ ms}$) varía entre 20 ms a 350 ms. Si bien esto está dentro de los límites de lo que se requiere por la mayoría de los Relojes Controlados por Radio, es un orden de magnitud mayor que la precisión de sincronización de tiempo requerida para analizar transitorios. La solución de sincronización de tiempo presentada necesita satisfacer de manera fiable los límites de error de sincronización de tiempo especificado, que pueden también definirse por el usuario después del despliegue, evaluando

55

60

65

sistemáticamente y minimizando automáticamente las incertidumbres asociadas con: (i) las características y precisión de la señal de referencia de tiempo difundida (t^{TR}), el retardo de propagación y la latencia (t^{LT}), la fluctuación de fase (t_0^{JR}), la duración (y precisión) de decodificación de la señal de referencia de tiempo (t^{PD}); y, modelar el comportamiento y compensar el sesgo del oscilador de cristal de cuarzo local entre las sincronizaciones. Esto se hace usando un término de corrección estimado periódicamente de modo que el desplazamiento de tiempo dentro del periodo remanente $\tau_{0,1}^{Rd}$ está dentro de 5 ms $diff\{t_1^{UTC} - t_1^{RTC(TCXO)}\} < 5 \text{ ms}$ y de manera ideal cerca del límite superior de la sincronización de tiempo (por ejemplo 5 ms). El objetivo principal es minimizar el consumo de potencia maximizando el periodo remanente mientras se mantiene la precisión de sincronización de tiempo requerida entre dispositivos distribuidos. Un término de corrección K para el desplazamiento se define como $K = \tau_{0,1}^{DRIFT_{TCXO}} = diff\{t_1^{RTC(TCXO)} - t_1^{RTC(UTC)}\}$ que es la diferencia entre el tiempo estimado $t_1^{RTC(TCXO)}$ y tiempo de UTC recibido $t_1^{RTC(UTC)}$.

Las realizaciones incluyen métodos y algoritmos para definir de manera fiable el retardo estimado θ_0^{ESTD} bajo condiciones del entorno y operacionales variables; como $\theta_0^{ESTD} = \{t^{TR} + t^{LT} + t^{PD}\} + t_0^{JR}$. En esta estimación, el retardo agregado definido por $\{t^{TR} + t^{LT} + t^{PD}\} = Const^{Cal}$ es aproximadamente constante y se calibra en el sitio como parte de la configuración de despliegue usando el método resumido en la Figura 16. La fluctuación de onda mide la varianza entre marcadores de tiempo en segundos modulados sucesivos que pueden reducir significativamente la precisión de sincronización de tiempo. El error de tiempo asociado con la fluctuación de tiempo t_0^{JR} varía con las condiciones de entorno que afectan la comunicación y necesita minimizarse para cada evento de sincronización; el método para minimizar t_1^{JR} se muestra en la Figura 17.

Es deseable que un RTC pueda mantener tiempo preciso o "remanente" entre eventos de sincronización de tiempo. Cuanto más largo sea el intervalo remanente menor es el consumo de energía para mantener la sincronización de tiempo precisa. Por otra parte, el intervalo remanente está limitado por el error máximo en la sincronización de tiempo definida por los requisitos de aplicación para analizar la propagación de transitorios; esto depende del desvío y sesgo del oscilador de cristal y las condiciones de entorno (por ejemplo temperatura) durante un periodo de tiempo relativamente corto, por ejemplo, de horas a días. La Figura 18 describe un método para ampliar el periodo remanente y mejorar el rendimiento del oscilador de cristal. En la realización actual, un oscilador de cristal de temperatura compensada, TCXO, se usa como un equilibrio entre precisión y consumo de baja potencia. La capacidad remanente del método descrito puede variar de varias horas a varios días, mejorando por lo tanto significativamente el rendimiento de un TCXO (por ejemplo, de 2 ppm a 0,05 ppm).

El método de estimación de la latencia $Const^{Cal}$ se muestra en la Figura 16. Este proceso se lleva a cabo durante el despliegue de los dispositivos e incluye: (i) recibir y registrar los marcadores de tiempo en segundos dentro de la señal de difusión de tiempo de amplitud modulada durante un periodo mínimo de 2 minutos (mínimo marcadores de 120 segundos de tiempo consecutivos), o un periodo promedio de 10 minutos por el receptor del dispositivo (registrador); (ii) recibir la señal de PPS (pulso por segundo) de GPS por el receptor de GPS embebido en el Controlador de Despliegue (la señal de GPS de 1PPS es precisa hasta 1 microsegundo) y comunicar la señal de PPS de GPS al dispositivo mediante enlace alámbrico o inalámbrico; (iii) calcular la diferencia entre la señal de PPS de GPS y la señal de difusión de tiempo $diff\{GPS_{PPS} - Tiempo_{TB}\}$ para marcadores de tiempo en segundos consecutivos o acumulativos. Las medidas estadísticas y técnicas de filtración se aplican a continuación para definir la latencia estimada y caracterizar la fluctuación de onda inicial. Durante la etapa de despliegue, el usuario puede definir también el error de precisión de tiempo máximo (por ejemplo +/-5 ms para el análisis de transitorios). El tiempo de RTC inicial (DD.MM.AAAA HH:MM:SS) se configura usando el PPS de GPS; este proceso no requiere la decodificación de la señal de difusión de tiempo.

El método para minimizar la fluctuación de tiempo se describe en la Figura 17. El receptor de radio se alimenta para obtener un conjunto de marcadores de tiempo en segundos de la señal de difusión de tiempo de amplitud modulada. El intervalo de tiempo entre los marcadores de tiempo en segundos deben ser exactamente 1 s. El oscilador local que tiene estabilidad alta durante periodos de tiempo cortos (por ejemplo minutos) se usa para medir los intervalos de tiempo entre marcadores de tiempo consecutivos $1 - \mu < diff\{t_{i-1}^{Rd} - t_i^{Rd}\} < 1 + \mu$, donde μ es un umbral empírico. La estabilidad de frecuencia del oscilador de cristal embebido durante periodos de tiempo cortos se estima durante la etapa de despliegue y se describe por la varianza de Allan. Los datos experimentales obtenidos por los presentes inventores muestran que la fluctuación de onda típicamente sigue una distribución gaussiana. El proceso termina una vez que se recibe un conjunto de marcadores de tiempo. El proceso también termina si supera un periodo de tiempo de espera (por ejemplo 360 s) sin obtener satisfactoriamente un conjunto de marcadores de tiempo en segundos consecutivos; en tales casos, el proceso se repite en un intervalo predefinido (por ejemplo 60 minutos). La razón para el periodo de tiempo de espera es que pueden surgir los problemas de comunicación ocasionales, por ejemplo, un vehículo aparcado sobre una tapa de registro. Basándose en $1 - \mu < diff\{t_{i-1}^{Rd} - t_i^{Rd}\} < 1 + \mu$, se calcula un valor promedio para t_i^{JR} . Este método tiene ventajas significativas sobre el enfoque tradicional de la decodificación la señal de difusión de tiempo en cada instancia de sincronización de tiempo. El método procesa satisfactoriamente señales débiles. Las señales débiles deben dar como resultado omisiones frecuentes de marcadores de tiempo en segundos, extendiendo de esta manera significativamente el tiempo de proceso de decodificación y consumo de energía.

El método de extensión del periodo remanente y la mejora del rendimiento del oscilador de cristal se presentan en la Figura 18. Se usa un oscilador de cristal de temperatura compensada en esta realización. El TCXO usa un modelo de temperatura para compensar la desviación en la señal de oscilador a través de un intervalo de temperaturas. Este modelo es preciso dentro de 2 ppm. El rendimiento de un oscilador de cristal (por ejemplo TCXO) puede mejorarse significativamente si el modelo de temperatura a priori se calibra y ajusta para el oscilador individual. Esto es un proceso costoso y que consume tiempo. La invención actualiza el modelo de temperatura basado en el rendimiento de oscilador individual y sus condiciones operacionales (por ejemplo las variaciones de temperatura dentro de la carcasa del dispositivo colocado en una cámara subterránea no variarán significativamente). Las mediciones de desvío de error real obtenidas de la sincronización de tiempo periódica se usan para ajustar de manera precisa el modelo de temperatura. De esta manera, puede conseguirse un rendimiento mejorado de ~0,05 ppm. El proceso incluye una etapa de aprendizaje inicial durante la cual se lleva a cabo sincronización de tiempo más frecuente (por ejemplo cada 3 h durante las primeras 24 horas). El dispositivo también tiene un sensor de temperatura de alta precisión ubicado en proximidad cercana al oscilador de cristal; la temperatura se mide una vez cada 5 minutos. El desplazamiento medido, el sesgo calculado y temperaturas medidas se usan para derivar una correlación entre el oscilador de cristal, el gradiente de temperatura y el sesgo. Esto se hace como una tabla de búsqueda, una curva polinomial o un conjunto de funciones afines. A medida que los datos se hacen disponibles, el proceso actualiza estas correlaciones y auto-ajusta sus valores. Por ejemplo, si el desplazamiento medido está dentro de los límites máximos y la temperatura promedio está dentro de la F-T conocida: la relación de frecuencia-temperatura, entonces aumenta el periodo remanente (por ejemplo 3 h → 6 h...-> 24 h). Si la temperatura medida o los gradientes de temperatura están fuera del intervalo de relaciones conocidas, entonces se lleva a cabo sincronización de tiempo más frecuente para ampliar la relación de F-T. Puede haber también un caso cuando el valor de desplazamiento supere el error máximo delimitado de +/-5 ms durante relaciones ya conocidas; en este caso, los datos obtenidos (por ejemplo, presión) están etiquetados en que la sincronización de tiempo no pueda garantizarse a través del último periodo remanente y se establece sincronización de tiempo más frecuente para actualizar las relaciones de F-T. Este método garantiza que el proceso de sincronización de tiempo sea autónomo y se auto-ajuste controlando de manera adaptativa los periodos entre sincronización de tiempo para optimizar el consumo de energía y precisión requeridos.

[Diseño mecánico]

Los dispositivos 10 tienen un diseño modular, con el módulo 46 de procesador principal separado, módulo 47 de batería y módulo 45 de memoria como se muestra en la Figura 11.

El módulo 47 de batería puede sustituirse por un módulo convertidor de potencia (no mostrado) para permitir que el dispositivo 10 se ejecute de cualquier fuente de potencia fijada arbitraria (o un recogedor de potencia tal como una micro-turbina). Las baterías dentro del módulo 47 de baterías se sustituyen fácilmente por el usuario final (esta es una funcionalidad que los registradores existentes no proporcionan). Los registradores de datos actuales vienen con paquetes de baterías separados pero estos deben enviarse de vuelta al fabricante cuando las baterías se agotan lo que añade costes significativos al usuario final. La presente realización proporciona una carcasa IP68 (clasificación de protección de entrada muy alta) que un usuario final podría abrir fácilmente para sustituir las baterías.

Los dispositivos 10 tienen un módulo 45 de memoria externa (extraíble). Los LED en el módulo 45 de memoria se proporcionan para indicar el estado de sistema, que permite que un técnico observe si es necesario o no sustituir el módulo. Este enfoque también minimiza la instalación de indicadores adicionales en el módulo 46 de procesador principal, minimizando de esta manera el riesgo de entrada de agua y fallos.

Tanto el módulo 45 de memoria como el módulo 47 de batería están rellenos de aire y presurizados durante la producción e instalación. Esto reduce la posibilidad de entrada de agua. También evita que las unidades se sumerjan bajo agua en cámaras inundadas. Durante la configuración de despliegue, se mide la presión en las carcasas separadas y se comprueba para certificar una operación segura (el protocolo de comprobaciones de seguridad y de equipo). La información se visualiza al operador mediante el Controlador de Despliegue y también se envía al servidor central.

Los diversos módulos pueden sustituirse por otras unidades para mejorar funcionalidades críticas tales como opciones de comunicación para el dispositivo 10, capacidad de almacenamiento, interfaz de sensores sin sustituir el hardware de dispositivo principal. Por ejemplo, un módulo 45 de memoria que contiene un módem de GPRS podría usarse para añadir capacidades de comunicación a un dispositivo que carecía de él, que puede a continuación mejorarse a la LTE a una fracción del coste en comparación con sustituir el dispositivo 10 completo. Esto es una ventaja comercial importante al ampliar el ciclo de vida de los dispositivos 10 y sus funcionalidades.

[Predicción de ciclo de vida de la batería]

Los "Sistemas de Baterías Inteligentes" existentes consisten en una célula recargable combinada con un controlador digital de algún tipo que monitoriza el uso de batería y presenta una indicación de "Estado de Carga" (SoC) para el sistema que se alimenta por la batería. El controlador de batería mide tensión de batería y carga de entrada/salida a través de múltiples ciclos de descarga/recarga y usa esta información para calibrarse a sí mismo.

Sin embargo, los registradores de datos usarán típicamente baterías desechables para conseguir densidades de energía más superiores y tasas de auto-descarga inferiores (la tendencia de las baterías a perder espontáneamente carga con el tiempo). Aunque un chip de monitorización de batería (un chip de "indicador de gas", por ejemplo, el Texas Instruments BQ27000) puede monitorizar de manera precisa la potencia suministrada por una batería durante su tiempo de vida esto es únicamente útil si la cantidad inicial de energía almacenada en la batería es conocida. La cantidad de energía que una batería desechable puede suministrar durante su tiempo de vida es altamente dependiente del consumo de corriente y así, a menos que se suministre el sistema con únicamente un tipo de batería, o el usuario esté dispuesto a transcribir gráficos de consumo de batería, la cantidad de energía que ya ha suministrado una batería no es un indicador útil de vida restante. La tensión de salida de las baterías de litio, la química de la batería del registrador predominante, es casi constante durante la mayoría de su vida, y así esto no puede usarse como una indicación de vida restante (variará también con la temperatura de sistema).

Los módulos 47 de baterías del dispositivo de la presente realización contienen un chip de memoria pequeño que, así como suministra un ID único para su uso en rastreo de bienes, puede leerse y escribirse por el microprocesador 30 del dispositivo 10 durante operación normal. Los módulos 47 de baterías están diseñados de modo que el usuario puede sustituir las mismas baterías. Después de una sustitución de batería el usuario coloca el módulo 47 de batería en comunicación con el servidor 200 central (mediante una "unidad de carga" o "controlador de despliegue") que registra la hora y fecha de la sustitución de batería en el chip de memoria de batería y resetea a cero su contador del número de días que ha estado operando. Simultáneamente el usuario indica al servidor 200 central la marca/modelo de la batería que ha insertado en el módulo 47 y esta información está asociada con el número de ID del módulo de batería hasta el momento del siguiente cambio de batería.

Cuando se inicia el dispositivo 10 escribirá el ID de batería en su fichero de registro para que los datos cargados tengan un ID de batería asociado con ellos. Durante la operación el dispositivo 10 actualizará el contador de tiempo de ejecución del módulo de batería una o más veces al día (el número de veces para hacer esto únicamente está limitado por la resistencia de la escritura del chip de EEPROM de módulo de memoria, por ejemplo con resistencia de ciclos de 50.000 el chip durará 11 años con una actualización de contador cada 2 horas). El consumo de energía de un dispositivo 10 durante un único día será aproximadamente constante y, así, es válido basar los tiempos de vida de la batería en una única medida de tiempo de ejecución.

Los dispositivos 10 tienen múltiples salvaguardas de modo que pueden apagarse de manera limpia cuando se agota una batería y registrarán la vida de la batería en su fichero de datos cuando esto ocurre. Cuando se cargan los datos el servidor 200 central podrá crear por lo tanto una tabla de fabricantes/modelos de baterías y tiempos de vida buenos conocidos. Estos datos pueden hacerse disponibles para desplegar controladores o presentarse simplemente al usuario manualmente. Cuando un usuario despliega un dispositivo 10 en el campo, el registrador puede leer el contador de la vida de la batería del módulo 47 de batería y comunica esto al controlador de despliegue del usuario que puede presentar esta información junto con un número previsto de días de vida restante.

Como se ha mencionado, el diseño mecánico de la carcasa 47 de batería es a IP68. Además, proporciona una presurización excesiva cuando se cierra en el intervalo de 0,2-1 bares por encima de la presión atmosférica. La carcasa de batería incluye un sensor de presión de aire digital embebido (Sensor de presión activa digital. Especialidades de medición MS5534C). Cuando la unidad del módulo 46 principal alimentada por la batería está operacional - la presión se mide periódicamente en la carcasa 47 de la batería y si se detecta un cambio del 10 %, se activa una alarma y se comunica, opcionalmente, al servidor 200. Un proceso puede apagar también el dispositivo 10 durante un corto periodo de tiempo después de la alarma. El usuario puede establecer esta opción para protección adicional contra entrada de agua y seguridad adicional. Durante la configuración de despliegue, se mide la presión en las carcasas separadas y se comprueba para certificar una operación segura (el protocolo de comprobaciones de seguridad y de equipo). La información se visualiza al operador mediante el Controlador de Despliegue y también se envía al servidor central.

REIVINDICACIONES

1. Un método de monitorización del flujo de líquido en un conducto, comprendiendo el método las etapas de un dispositivo (10) de monitorización de flujo de líquido:

recibir datos sustancialmente de manera continua desde un sensor (12), los datos indicativos de flujo de fluido en un conducto, y operar medios (20) de muestreo del dispositivo (10) para muestrear los datos para producir un flujo de datos muestreados; y
en el dispositivo (10) de monitorización de flujo de líquido:

procesar, usando medios (30) de procesamiento del dispositivo (10), el flujo de datos muestreados para extraer información de resumen y al menos un flujo submuestreado de los mismos, comprendiendo el flujo submuestreado una pluralidad de conjuntos de datos, siendo cada conjunto de datos un subconjunto estadístico que comprende el máximo y/o mínimo y/o promedio y/o desviación típica y/u otro valor estadístico del flujo de datos muestreados a través de un respectivo periodo de conjunto de datos;
en el que el procesamiento del flujo de datos muestreados para extraer información de resumen de los mismos comprende al menos uno de:

procesar el flujo para identificar eventos transitorios y/o eventos no transitorios sumando la diferencia entre puntos de datos sucesivos en el flujo durante un periodo de tiempo para proporcionar una suma acumulativa, y comparar la suma contra una probabilidad de que esa suma sea indicativa de un evento transitorio para determinar si se ha identificado o no un evento transitorio; y
determinar información estadística de resumen del flujo de datos muestreados que comprende uno o más del valor máximo y/o mínimo y/o promedio y/o varianza y/o desviación típica del flujo, formando la información estadística de resumen al menos parte de la información de resumen extraída;

comprendiendo el método adicionalmente:

almacenar, usando medios (40) de almacenamiento del dispositivo (10), el al menos un flujo submuestreado; transmitir periódicamente, usando medios (50) de comunicación del dispositivo (10), la información de resumen a una ubicación (200) central remota del dispositivo (10); y
tras recibir una solicitud en el dispositivo (10) para una representación más completa del flujo de datos muestreados en o durante un tiempo especificado de la ubicación (200) central, transmitir uno o más de la pluralidad de conjuntos de datos que corresponden al tiempo especificado a la ubicación (200) central.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, donde hay una pluralidad de flujos submuestreados, comprendiendo cada uno una pluralidad de conjuntos de datos que comprenden un subconjunto estadístico del flujo de datos muestreados, comprendiendo los conjuntos de datos de cada flujo submuestreado un subconjunto estadístico durante periodos de diferente longitud respectiva.

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la solicitud para una representación más completa es una solicitud para una respectiva porción de cada uno de una pluralidad de los flujos submuestreados, y en el que los medios de comunicación, en respuesta a esta solicitud, transmiten el conjunto de datos o cada uno en cada una de estas porciones.

4. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el flujo submuestreado o cada uno se almacena en una memoria intermedia circular.

5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el procesamiento del flujo de datos muestreados para identificar eventos transitorios y/o no transitorios comprende procesar el flujo durante un periodo de tiempo continuo en el flujo.

6. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 5, en el que la suma se compara contra un registro de la probabilidad de que la suma sea indicativa de un transitorio, siendo el registro una función de distribución de probabilidad de la probabilidad de que la suma tenga lugar contra el valor de la suma.

7. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior en el que el dispositivo (10) tiene varios canales de datos detectados y el método comprende recibir el dispositivo (10) respectivos datos sustancialmente de manera continua de cada uno de una pluralidad de sensores (12) indicativos de una respectiva variable detectada por cada sensor (12); muestreando los medios (20) de muestreo los datos para producir un respectivo flujo de datos muestreados para cada una de las variables detectadas, de manera que cada flujo se maneja en paralelo sustancialmente de la misma manera.

8. Un dispositivo (10) de monitorización de flujo de líquido dispuesto para llevar a cabo el método de cualquier reivindicación anterior y dispuesto para monitorizar el flujo de líquido en un conducto, comprendiendo el dispositivo (10) medios (20) de muestreo, medios (30) de procesamiento, medios (40) de almacenamiento de datos y medios (50)

de comunicación, en el que:

5 los medios (20) de muestreo están dispuestos para recibir datos sustancialmente de manera continua desde un sensor (12) indicativos de al menos una variable detectada por el sensor (12) indicativa del flujo de fluido en un conducto y para muestrear los datos para producir un flujo de datos muestreados;

10 los medios (30) de procesamiento están dispuestos para procesar el flujo de datos muestreados para extraer información de resumen y al menos un flujo submuestreado de los mismos, comprendiendo el flujo submuestreado una pluralidad de conjuntos de datos, siendo cada conjunto de datos un subconjunto estadístico del flujo de datos muestreados durante un respectivo periodo de conjunto de datos;

15 los medios (40) de almacenamiento de datos están dispuestos para almacenar el al menos un flujo submuestreado y el flujo de datos muestreados; y los medios (50) de comunicación están dispuestos para transmitir periódicamente la información de resumen a una ubicación (200) central remota del dispositivo (10) y, tras recibir una solicitud para una representación más completa del flujo de datos muestreados en o durante un tiempo especificado de la ubicación (200) central, están dispuestos para transmitir uno o más de la pluralidad de conjuntos de datos que corresponden al tiempo especificado a la ubicación (200) central.

20 9. Medios (200) de control y procesamiento central dispuestos para recibir información de cada uno de una pluralidad de dispositivos (10) de acuerdo con la reivindicación 8 en respuesta a una solicitud de los medios (200) de control y procesamiento central para la representación más completa de un flujo de datos muestreados en o durante un tiempo especificado, y en el que la información es el uno o más de la pluralidad de conjuntos de datos que corresponden al tiempo especificado.

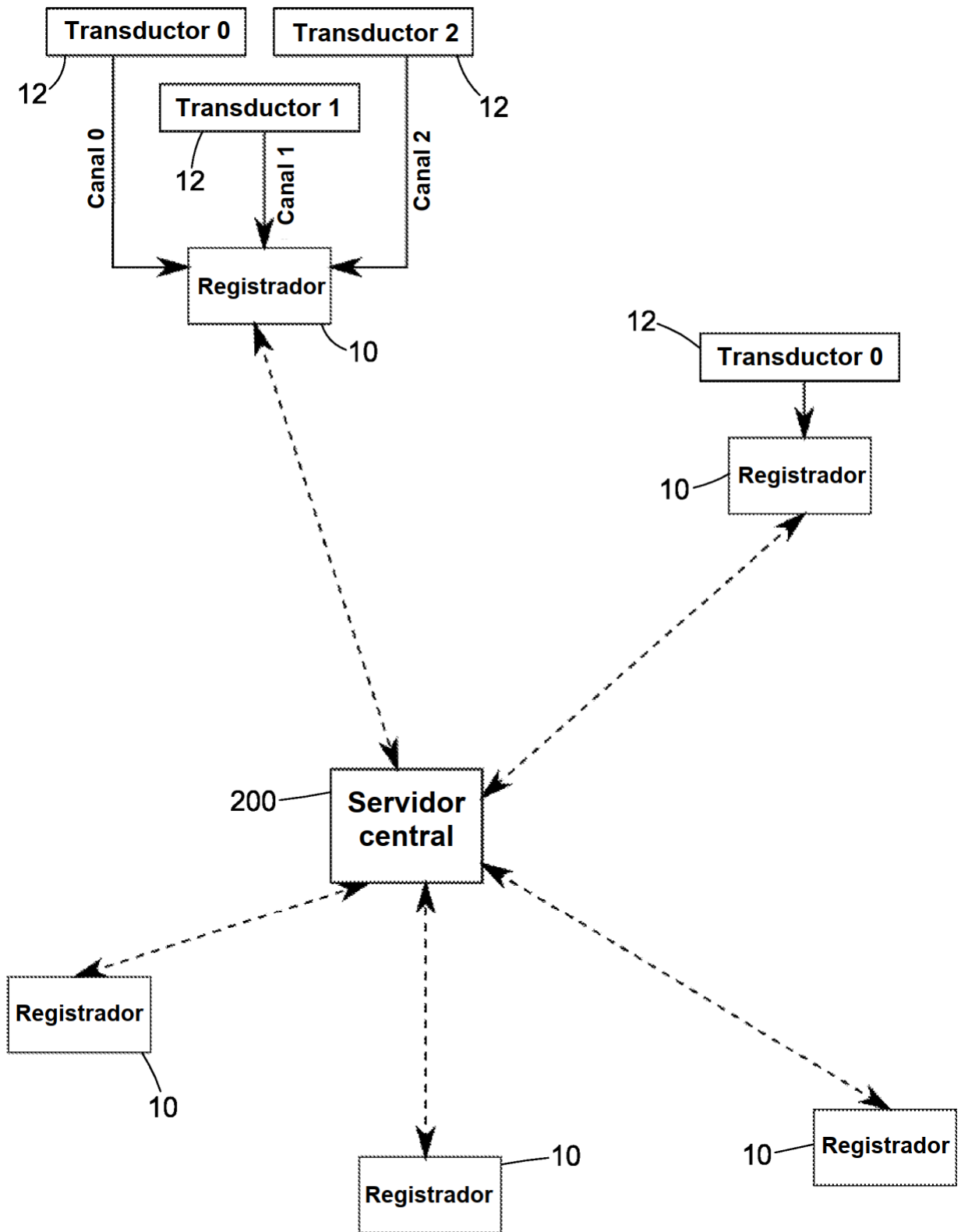


Fig. 1

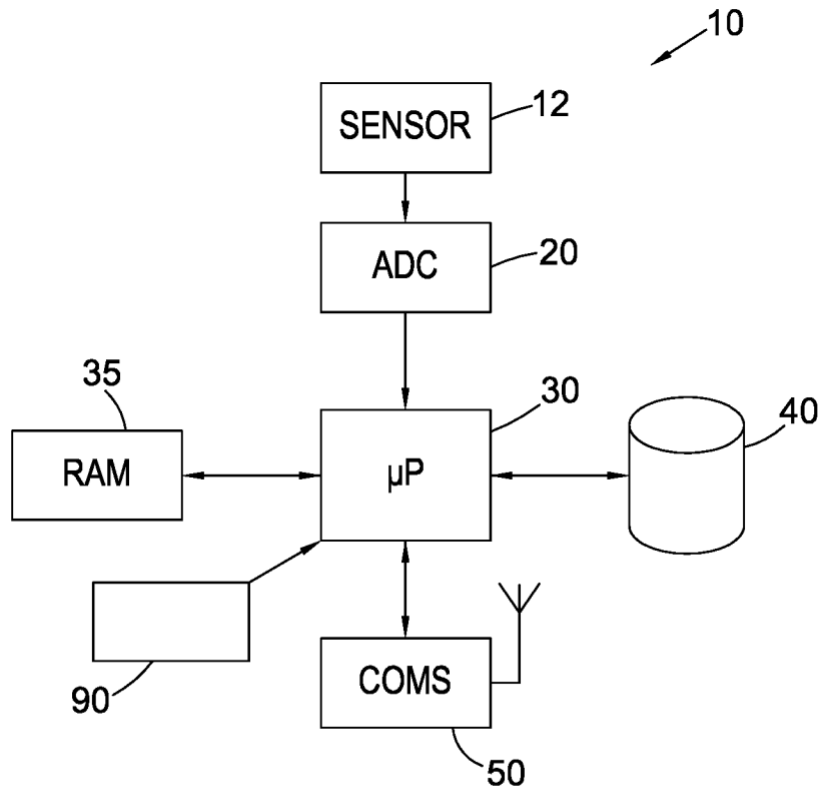


Fig. 2

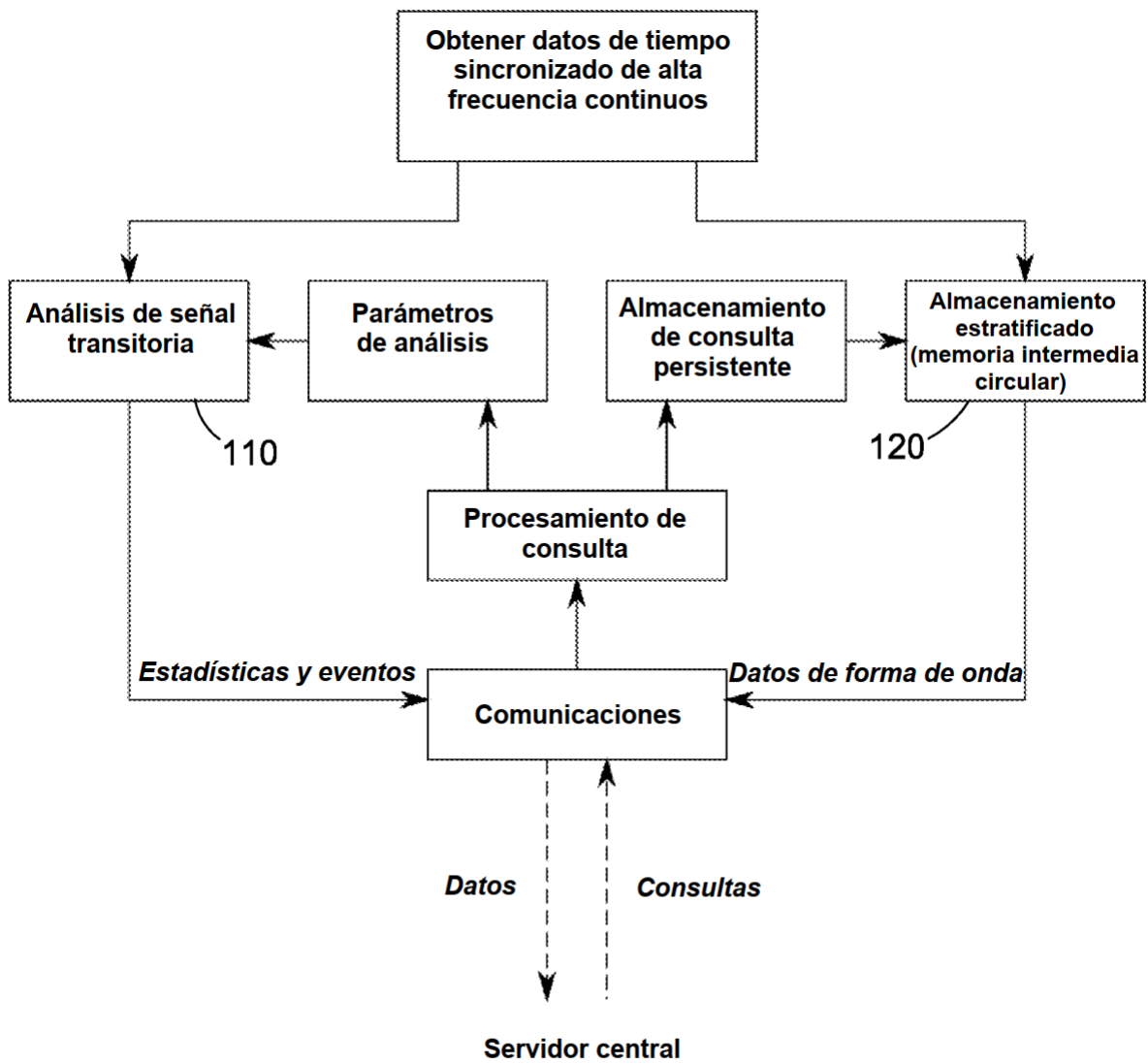


Fig. 3

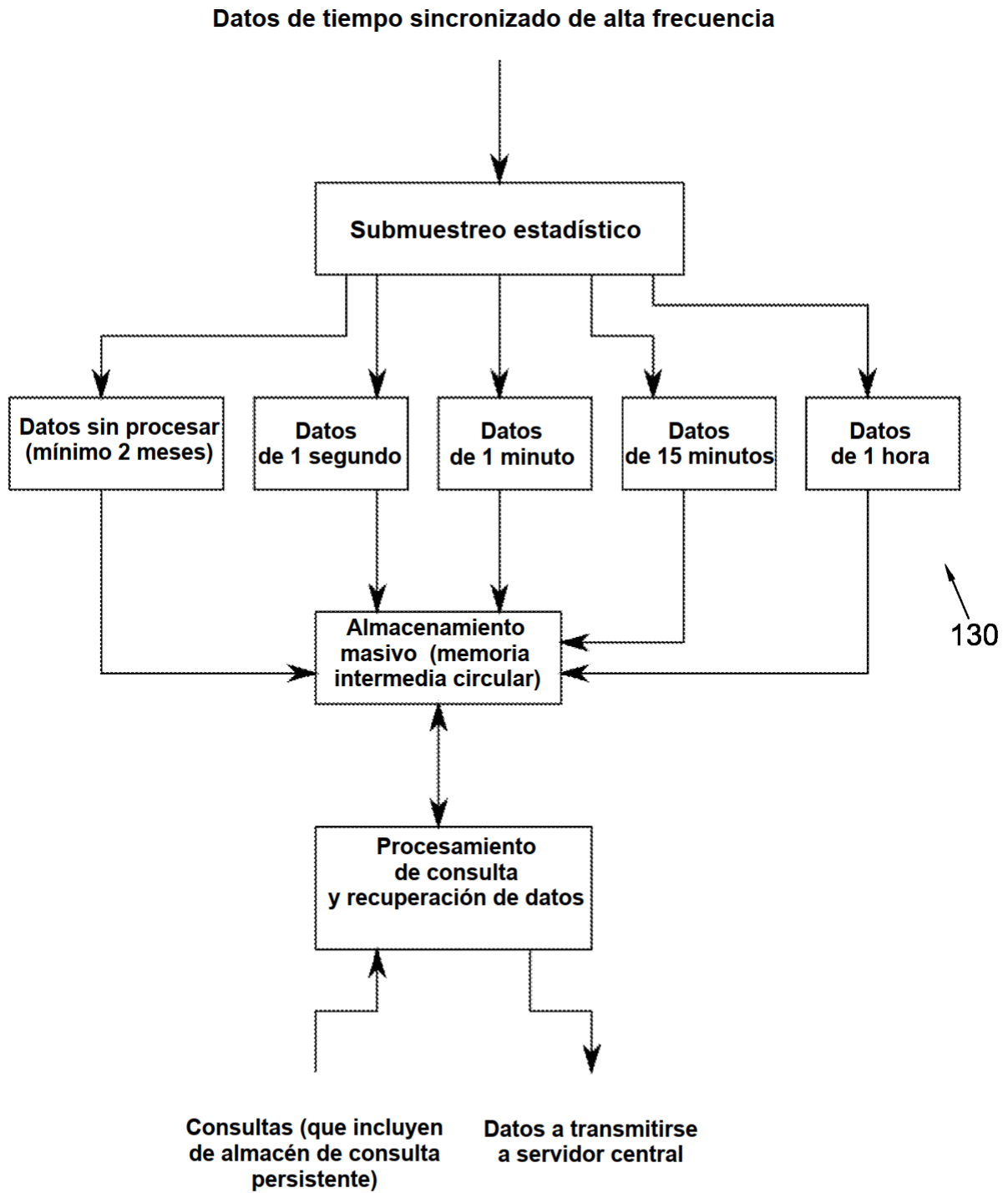


Fig. 4

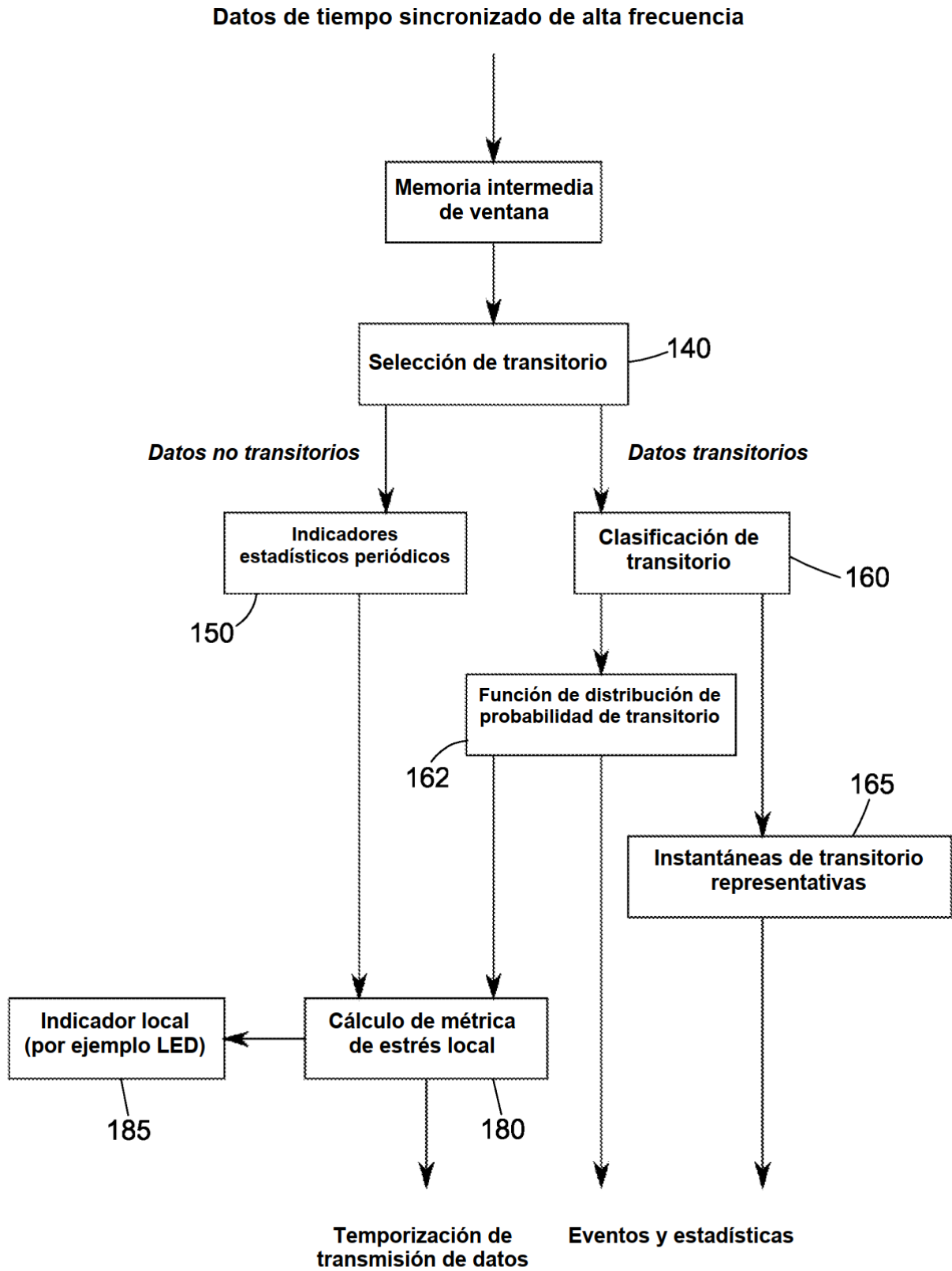


Fig. 5

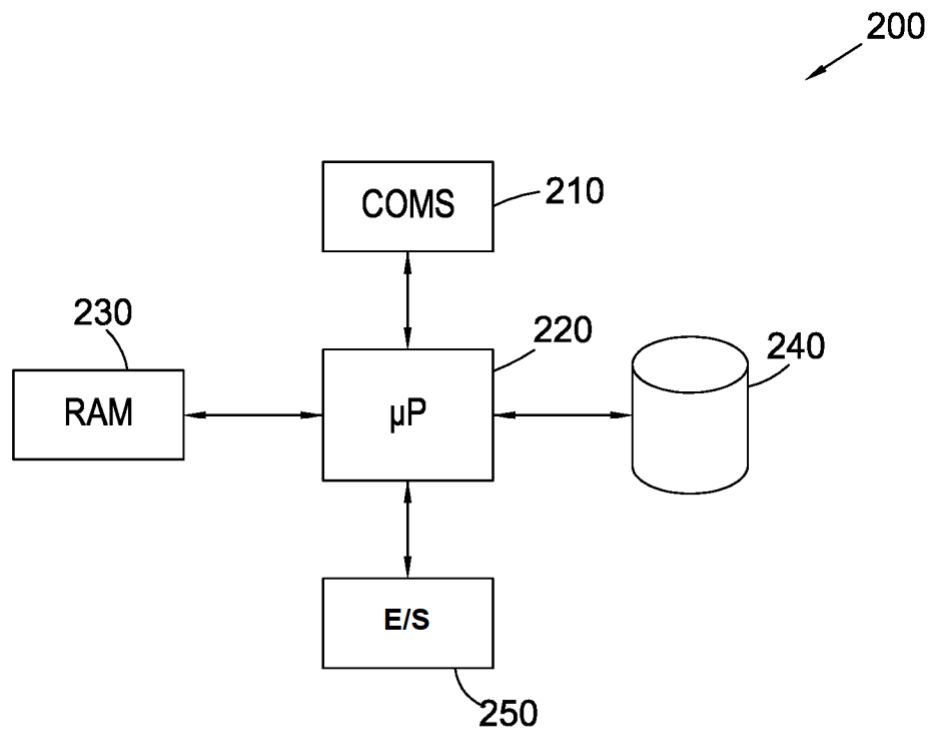


Fig. 6

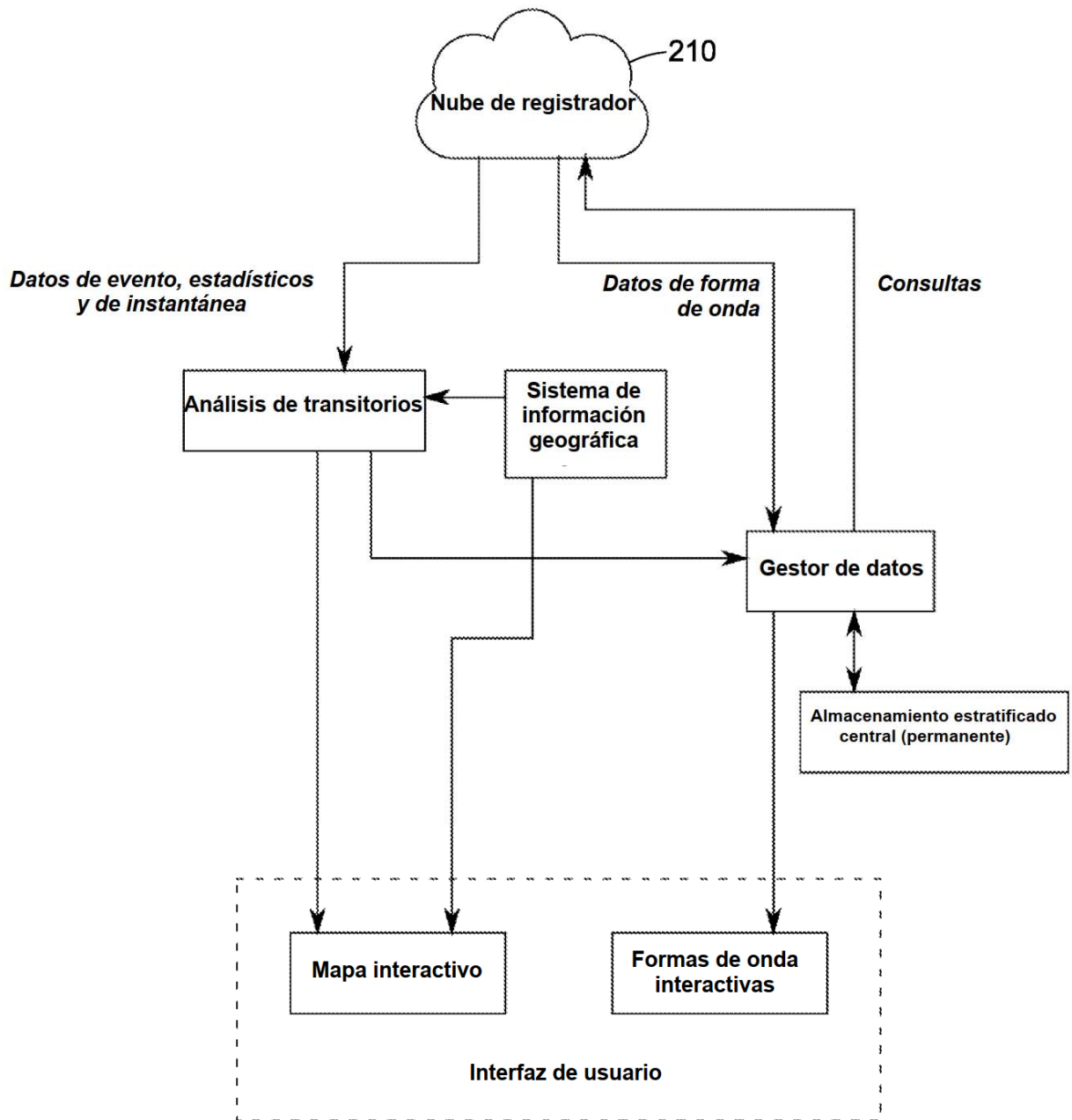


Fig. 7

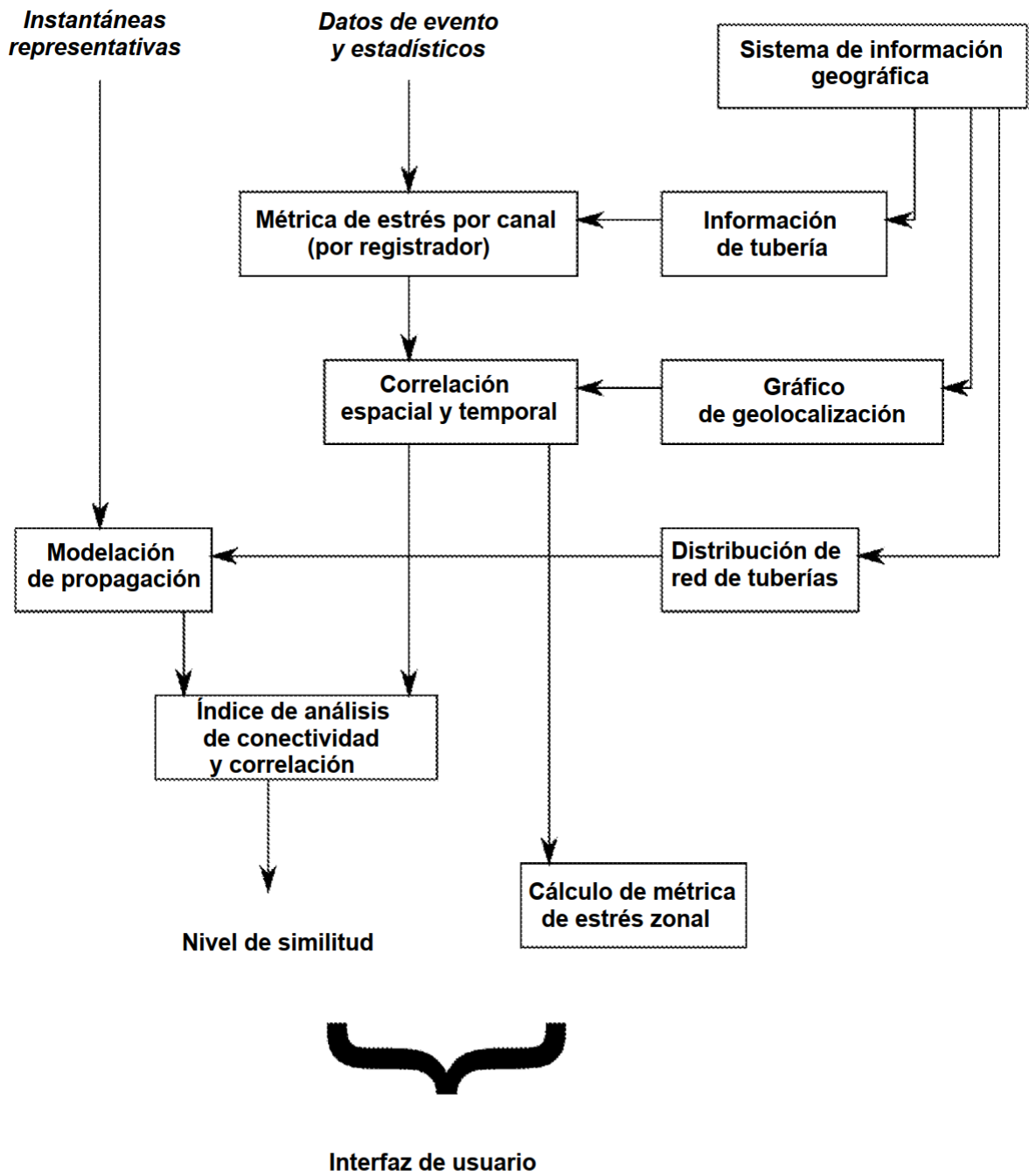


Fig. 8

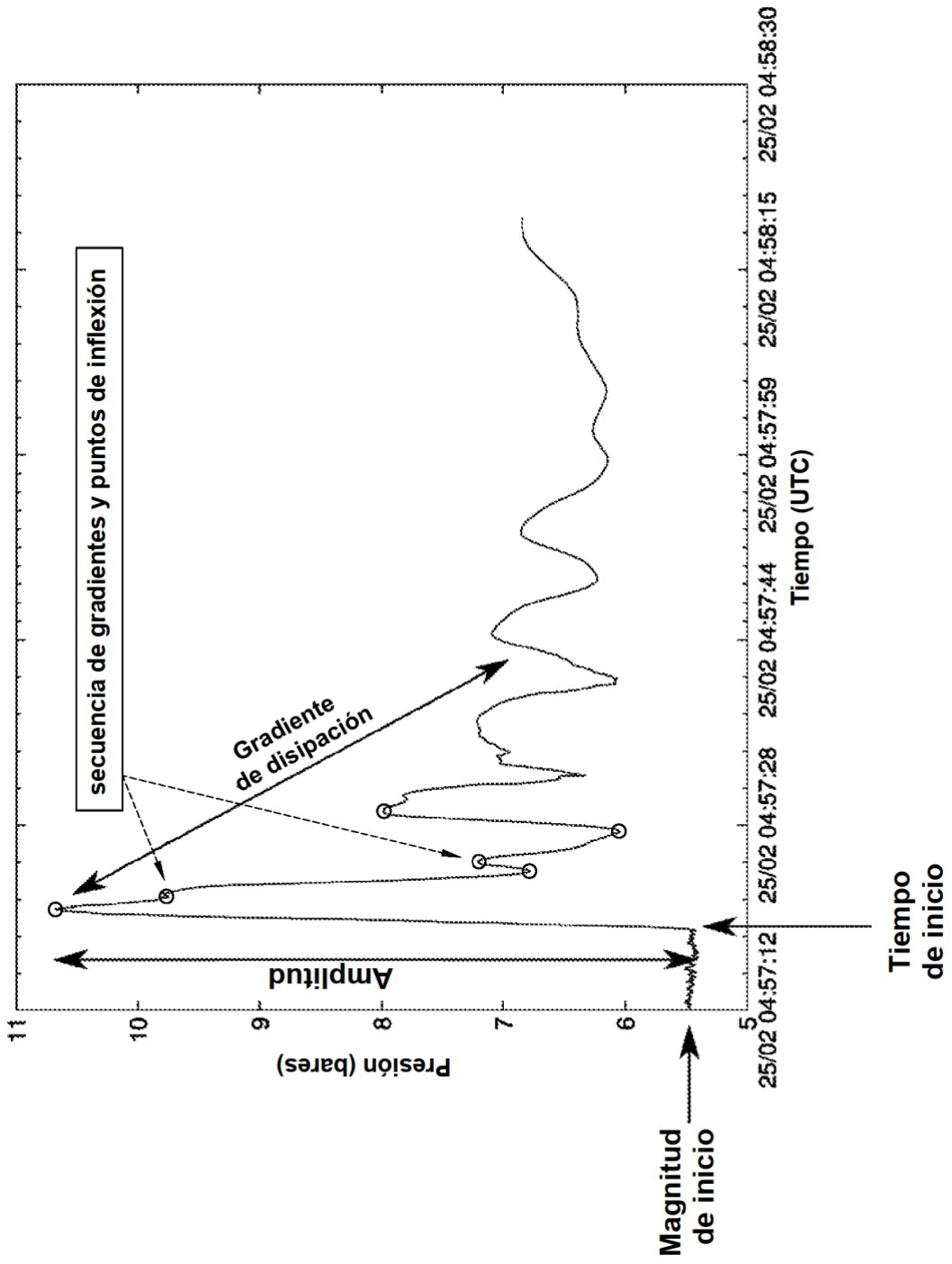


Fig. 9

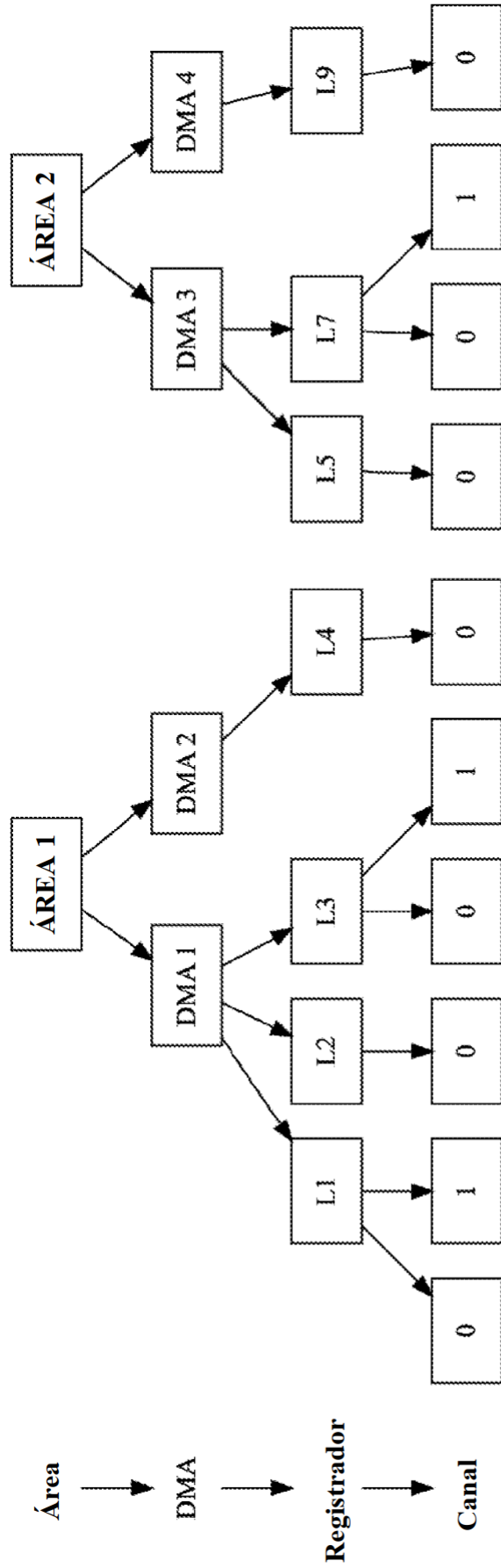


Fig. 10

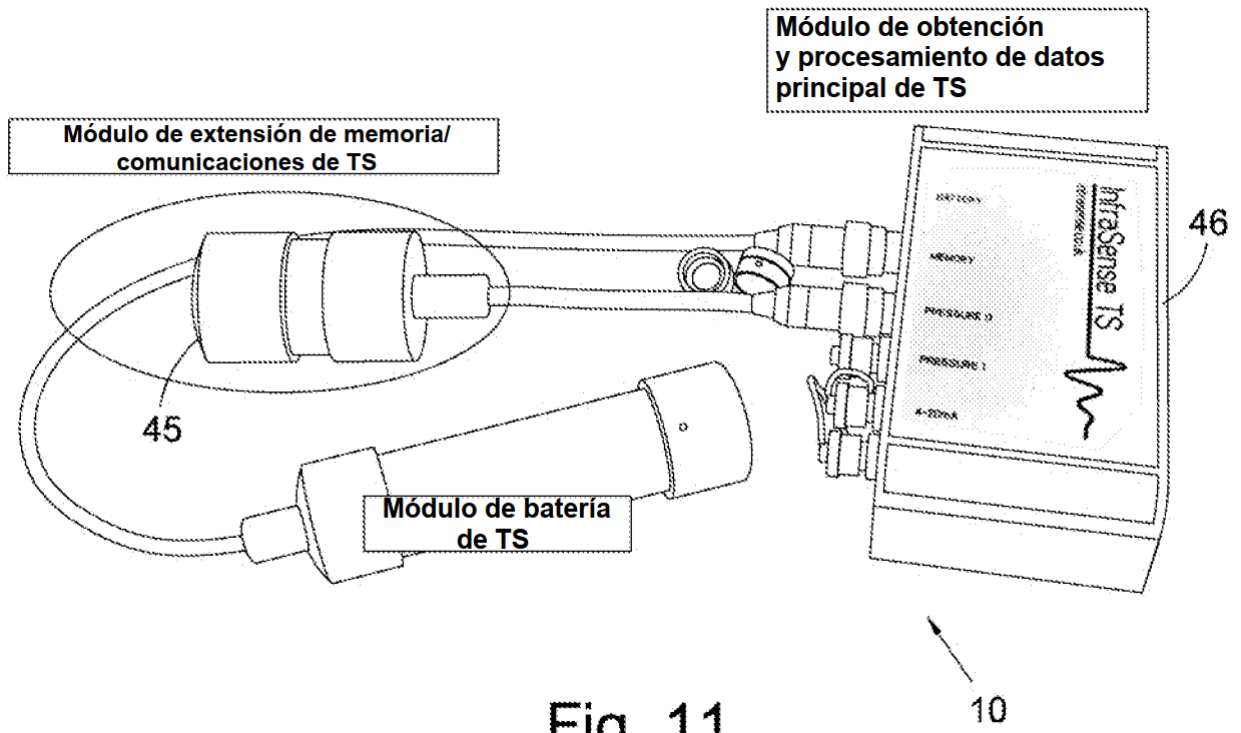


Fig. 11

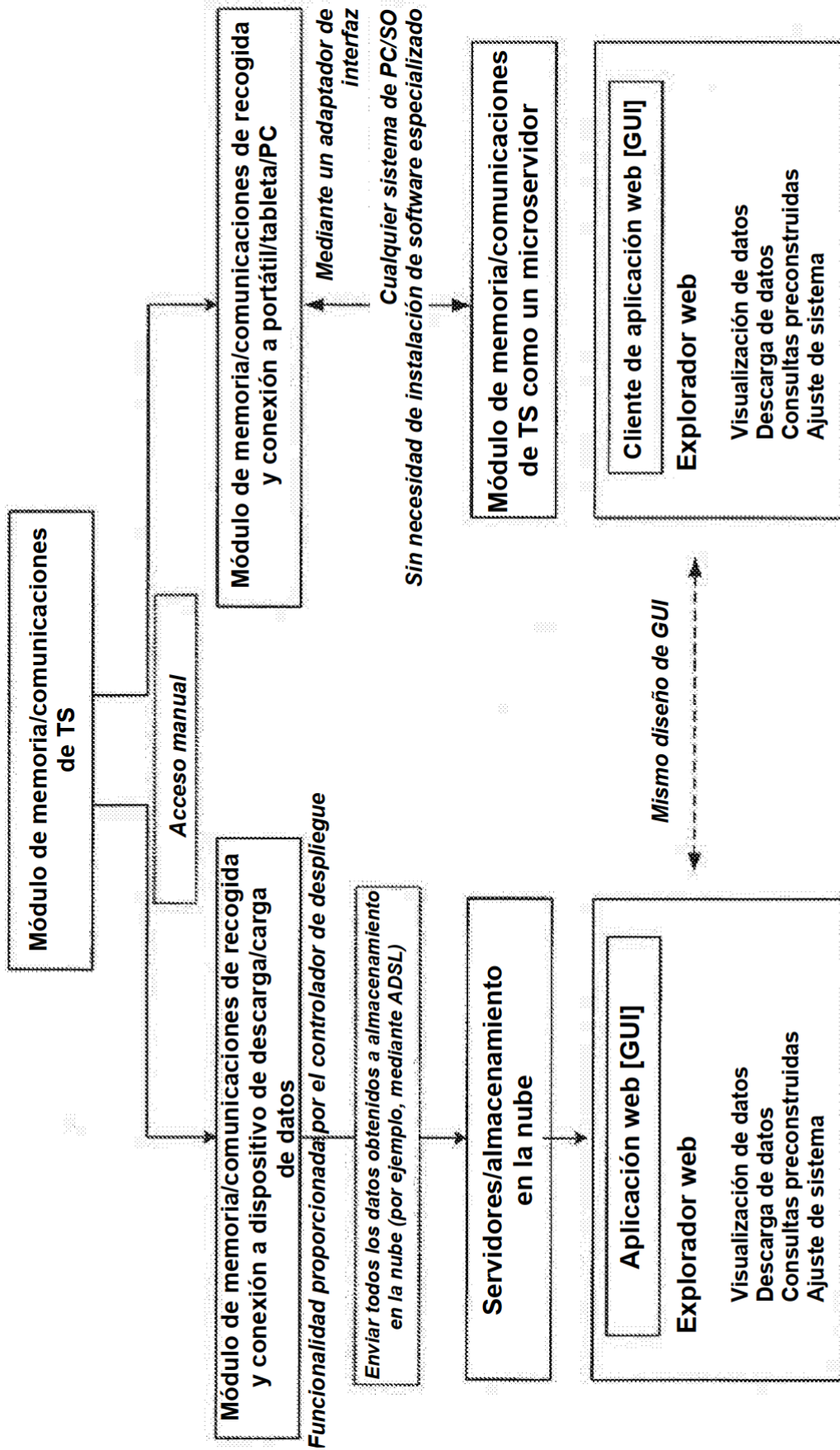


Fig. 12

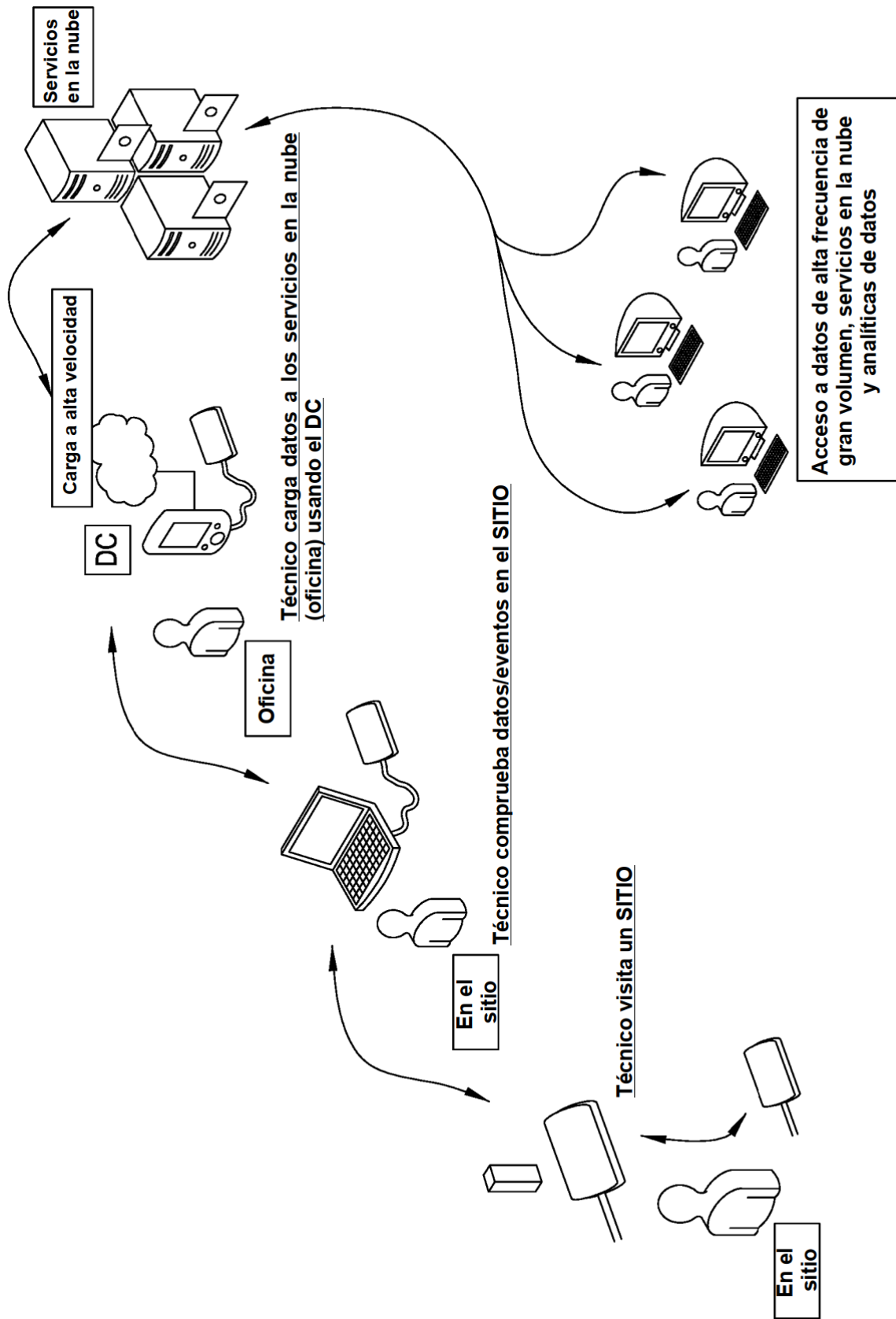


Fig. 13

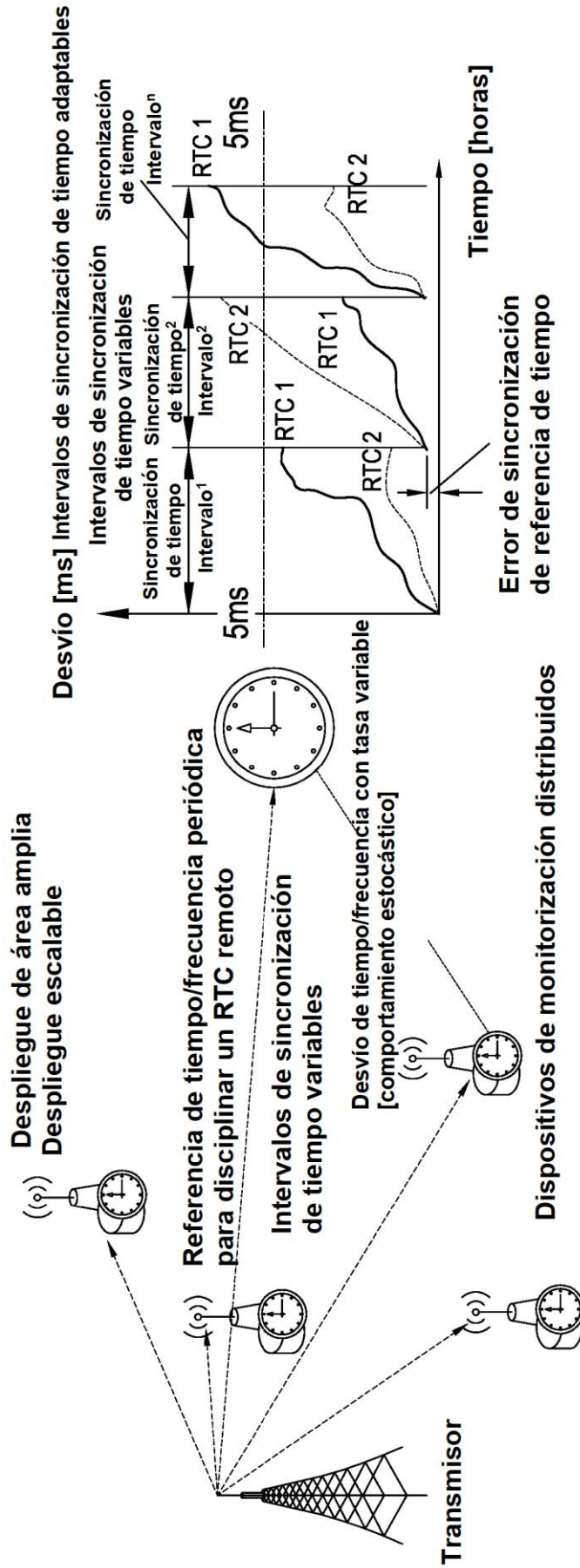


Fig. 14

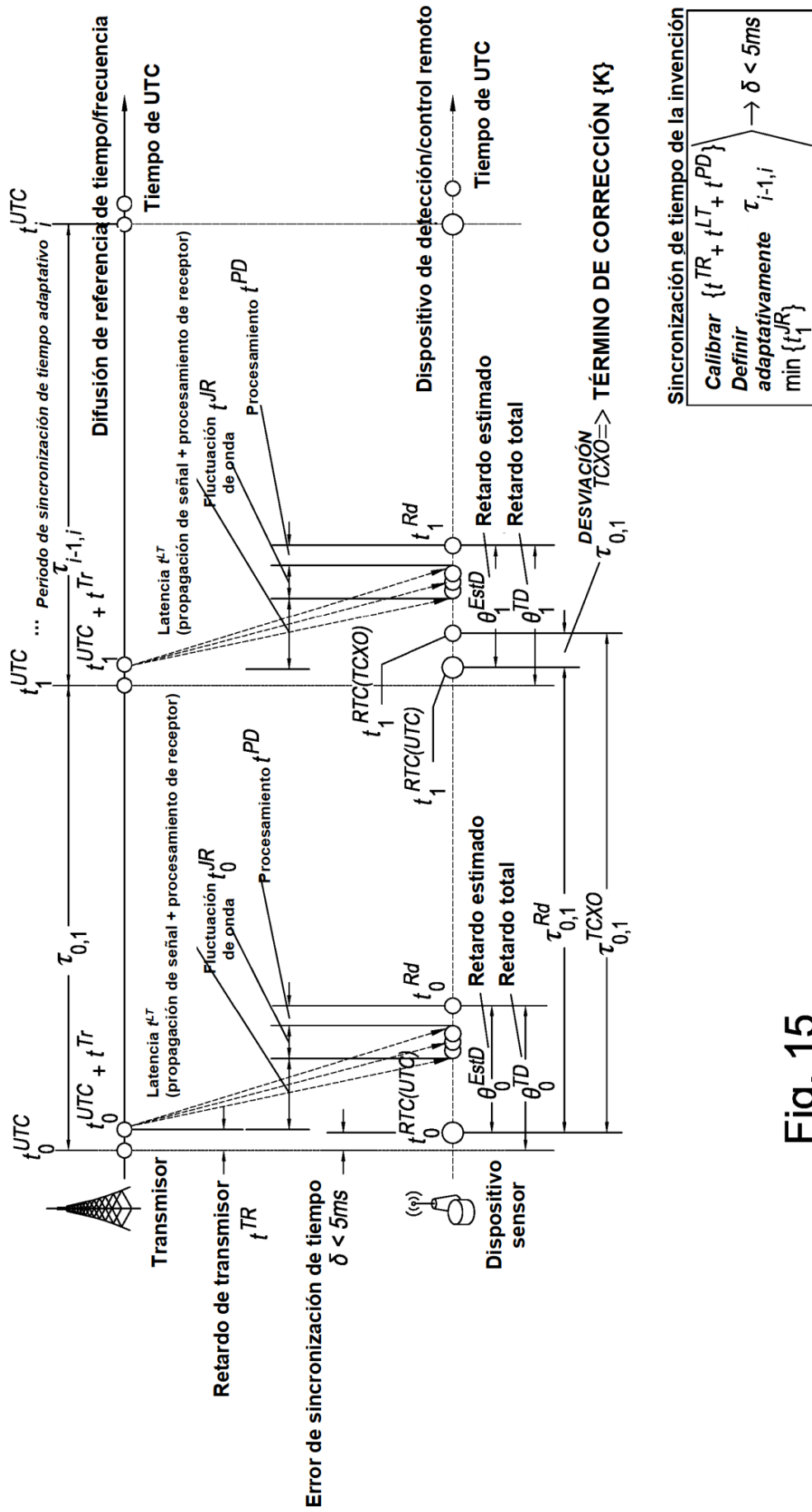


Fig. 15

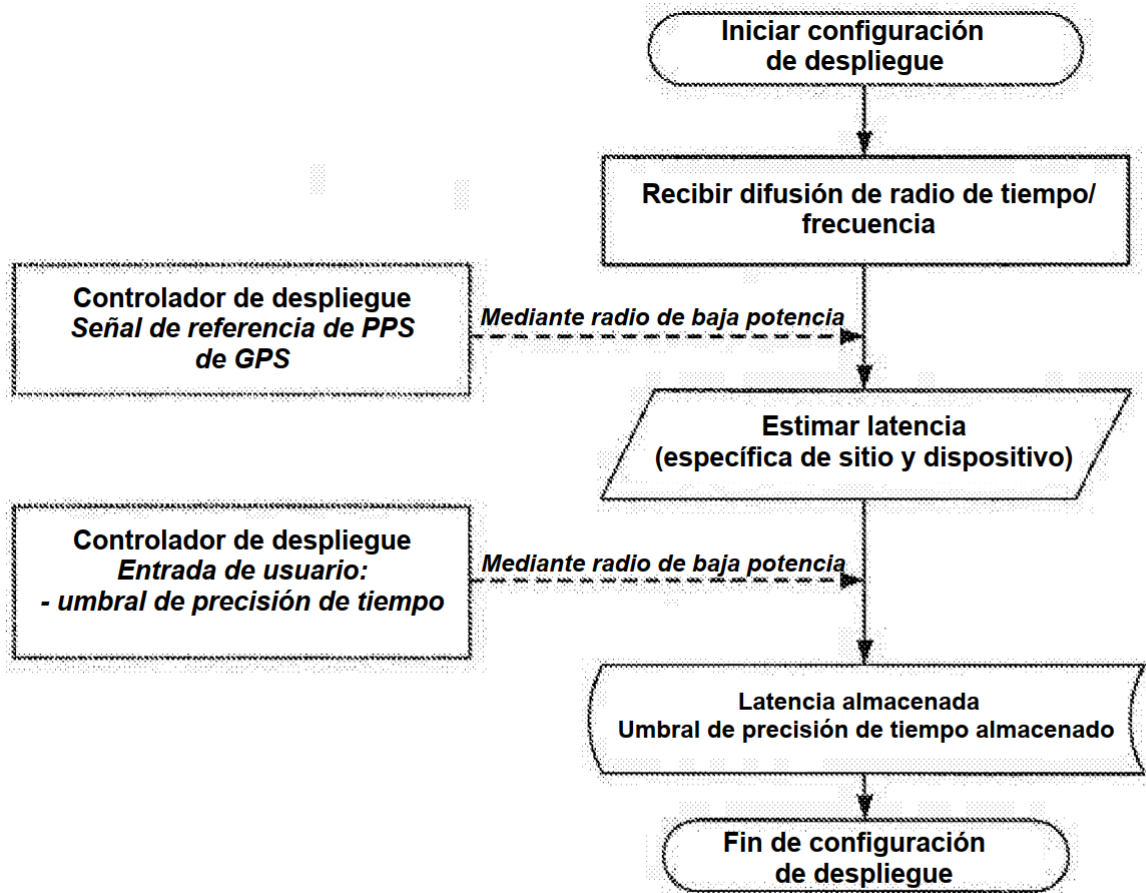


Fig. 16

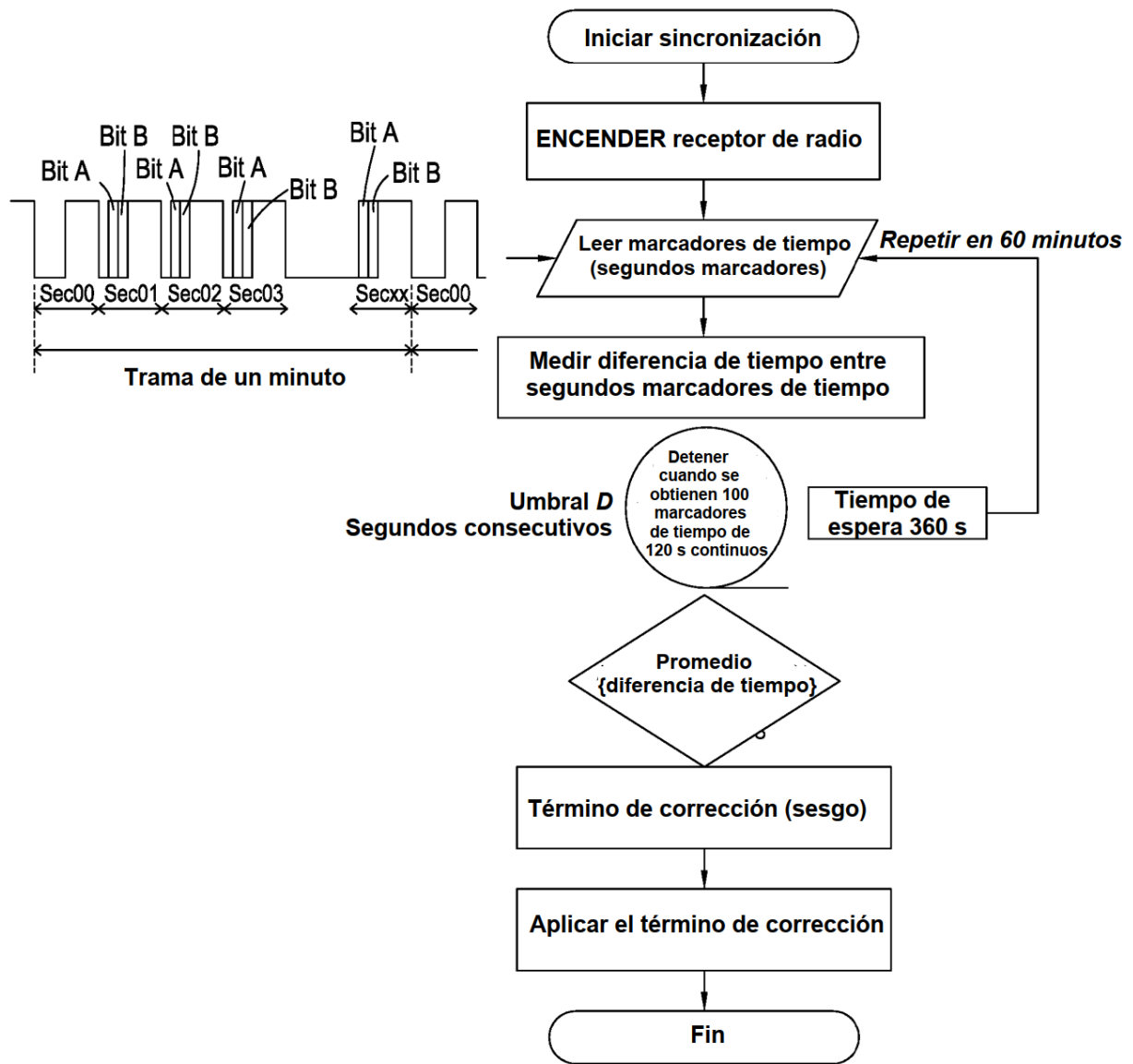


Fig. 17

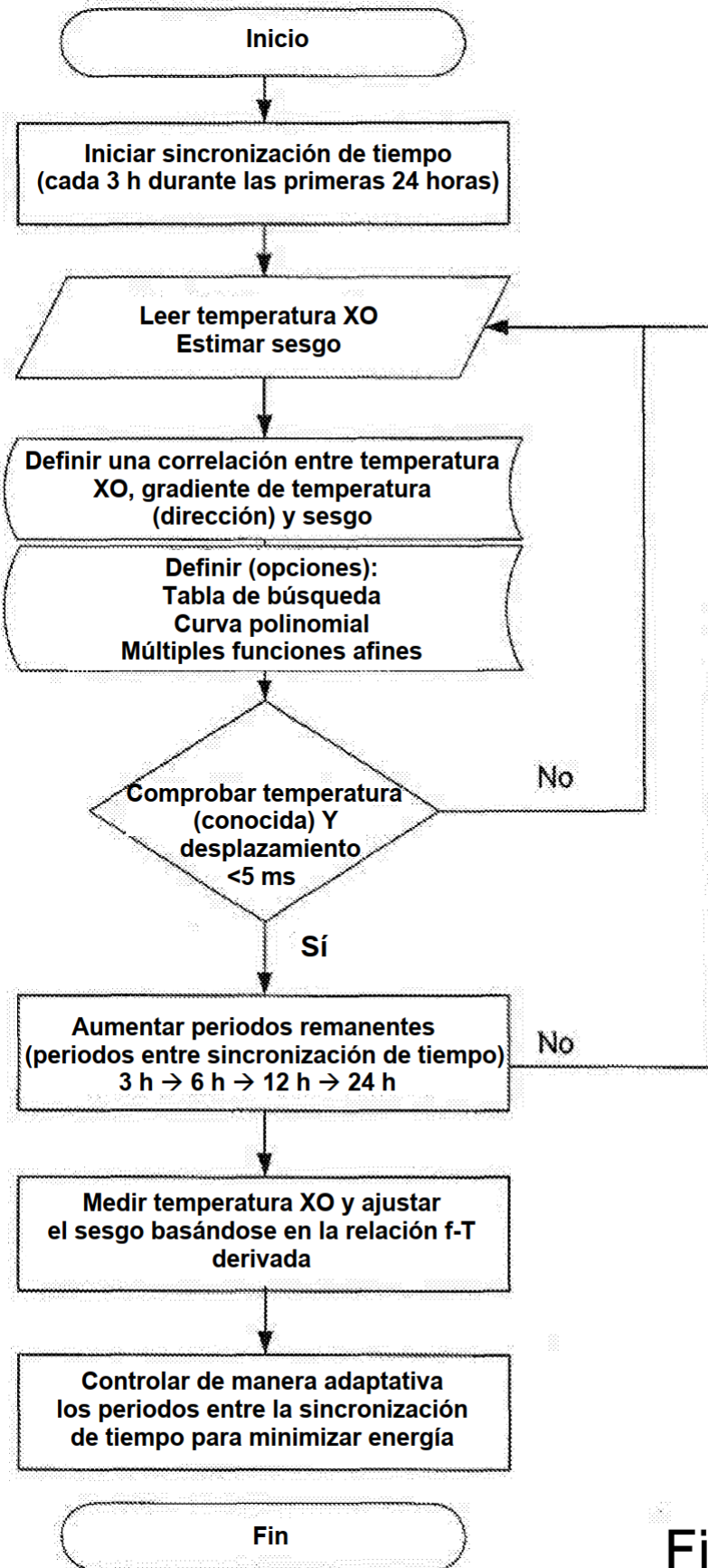


Fig. 18

Tabla 1

Datos sin procesar		Submuestra de un minuto			
Tiempo (segundos)	Datos	Tiempo (segundos)	Mínimo	Promedio	Máximo
0	10	0	10	12,25	14
15	12				
30	14				
45	13				
60	9	60	5	7,75	10
75	5				
90	10				
105	7				
120	8	120	8	11	15
135	12				
150	15				
165	9				