

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 994 789**

51 Int. Cl.:

G01F 1/00 (2012.01)

E03B 7/00 (2006.01)

G01D 4/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.11.2013** **E 22177686 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2024** **EP 4163602**

54 Título: **Un dispositivo, procedimiento y sistema para monitorizar una red de conductos de transporte de fluido**

30 Prioridad:

30.11.2012 GB 201221644

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

31.01.2025

73 Titular/es:

IP2IPO INNOVATIONS LIMITED (100.00%)
Top Floor, The Walbrook Building 25 Walbrook
London EC4N 8AF, GB

72 Inventor/es:

HOSKINS, ASHER JOHN y
STOIANOV, IVAN IORDANOV

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 994 789 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, procedimiento y sistema para monitorizar una red de conductos de transporte de fluido

5 CAMPO

[0001] La presente invención se refiere a un dispositivo y sistema y un procedimiento de monitoreo del flujo de fluido en un conducto. En realizaciones, se refiere a monitorear el flujo de agua en un sistema de suministro de agua.

10 ANTECEDENTES

[0002] A veces se supone que los sistemas de suministro de agua funcionan en condiciones hidráulicas de estado estacionario. En realidad, estas condiciones hidráulicas suelen ser cuasi-estacionarias e inestables debido a la naturaleza aleatoria de la demanda, el funcionamiento de las válvulas, las bombas, el mal funcionamiento de los dispositivos de protección contra tensiones excesivas y rupturas ocasionales. El impulso actual para gestionar las fugas mediante la reducción y el control de la presión operativa casi en tiempo real podría exacerbar aún más el problema, ya que introduce inestabilidades hidráulicas. Además, la optimización de la bomba, que incluye apagar y encender frecuentemente las bombas para reducir la energía, da como resultado cambios repentinos en las condiciones hidráulicas. Esto provoca un aumento en la tensión de la tubería y conduce a fallas de fatiga asociadas. Estas variaciones hidráulicas repentinas y graduales conducen a un mayor nivel de roturas y un costo significativo en términos de reparación de fallas de tuberías y reclamaciones de litigios civiles de aquellos que sufren pérdidas financieras relacionadas.

[0003] Por lo tanto, es altamente deseable que la infraestructura de tuberías envejecida se mantenga en condiciones hidráulicas de estado estable para extender la vida útil. Esto requiere que las condiciones hidráulicas dinámicas se monitoreen y analicen continuamente, de modo que las fallas u otros eventos indeseables puedan identificarse y repararse rápidamente o abordarse de alguna otra manera.

[0004] La práctica actual de la industria para monitorear las condiciones hidráulicas en las redes de suministro de agua hace uso de dispositivos de monitoreo que toman muestras a una frecuencia de una muestra cada quince minutos (a los que se hace referencia en esta descripción como muestreo de 15 minutos). Estos dispositivos de monitoreo se apagan entre períodos de muestreo para minimizar el consumo de energía y prolongar la vida útil de la batería. En consecuencia, los datos adquiridos que utilizan estos dispositivos proporcionan solo instantáneas periódicas de las condiciones hidráulicas que no capturan el comportamiento hidráulico dinámico y/o los eventos transitorios y de sobrecarga.

[0005] Ya existen dispositivos que son capaces de realizar muestreos de alta frecuencia para monitorear los eventos transitorios de presión, como los picos de presión. Son ejemplos los dispositivos descritos en la patente de EE. UU. N ° 7.219.553 y la patente de EE. UU. N ° 7.357.034. Estos dispositivos capturan eventos transitorios predefinidos a medida que aumenta la frecuencia de muestreo cuando se detecta un evento y el dispositivo almacena estos eventos en una memoria interna. Una sobrecarga, que es un ejemplo de un evento transitorio, se determina por la velocidad de cambio (utilizando un detector de gradiente) y un umbral máximo. La interpretación de los eventos transitorios es realizada por un operador humano y requiere el uso de habilidades de ingeniería especializadas.

[0006] Los principales inconvenientes del sistema descrito en la patente de EE. UU. N ° 7.219.553 y la patente de EE. UU. N ° 7.357.034 y otros dispositivos de monitoreo de sobrecargas son:

- (i) Solo se capturan los eventos de sobrecarga extrema, ya que la adquisición se desencadena por valores absolutos y umbrales de gradiente. En realidad, las condiciones hidráulicas dinámicas son aleatorias y se caracterizan por un amplio intervalo de frecuencias y amplitudes. Estos son omitidos por los dispositivos existentes.
- (ii) El conjunto de datos de sobrecarga post-facto desde múltiples ubicaciones se ve significativamente obstaculizado ya que los efectos transitorios podrían haberse disipado por debajo de los umbrales de activación establecidos y no haberse capturado. Esto limita significativamente la calidad y disponibilidad de los datos capturados para analizar los eventos de sobrecarga y diagnosticar fallas; y
- (iii) El sistema se implementa principalmente en instalaciones terrestres, ya que requiere el uso de grandes fuentes de energía (por ejemplo, grandes paneles solares) y de línea de visión (GPS) para la sincronización horaria.

[0007] La investigación realizada por los presentes inventores en el área de eventos transitorios hidráulicos demuestra que estos eventos tienen diferentes características, frecuencia de ocurrencia, amplitud, forma, velocidad de cambio y disipación de energía. Muchos de estos eventos no constituyen eventos transitorios repentinos y extremos que causan fallas inmediatas en las tuberías. Las condiciones hidráulicas dinámicas con frecuencia incluyen oscilaciones de presión de baja amplitud y alta frecuencia para las cuales los valores de activación, como los detectores de gradiente y el umbral, no son apropiados.

[0008] La reducción de los valores de activación daría como resultado un muestreo continuo con la adquisición

de varios órdenes de magnitud más datos que los equipos de registro de sobrecargas existentes (es decir, eventos transitorios) no pueden gestionar.

[0009] Las condiciones hidráulicas dinámicas descritas no comprometerán inmediatamente la integridad de una tubería. La investigación experimental realizada por los presentes inventores ha demostrado que dichos eventos causan fallas de fatiga y aceleran la corrosión inducida por fatiga. Ambos mecanismos contribuyen al deterioro de la tubería y a la frecuencia de roturas. Además, los rápidos cambios en la velocidad del fluido aumentan la tensión de cizallamiento a lo largo de la pared de la tubería, lo que da como resultado la resuspensión de los sedimentos y el lavado de las biopelículas. Como resultado, las condiciones hidráulicas dinámicas también afectan la calidad del agua, disminuyen el cloro residual y resultan en decoloración y quejas de los clientes. Estos ejemplos ilustran que la definición y caracterización de un evento transitorio, como un evento de sobrecarga, requiere rutinas de procesamiento y gestión de datos significativamente más sofisticadas que las descritas en la patente de EE. UU. N ° 7.219.553 y la patente de EE. UU. N ° 7.357.034.

15 RESUMEN

[Almacenamiento estratificado; submuestreo; subconjuntos estadísticos]

[0010] Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo de monitoreo de flujo de líquido dispuesto para monitorear el flujo de líquido en un conducto, comprendiendo el dispositivo medios de muestreo, medios de procesamiento y medios de almacenamiento de datos, donde:

el medio de muestreo está dispuesto para recibir datos de forma sustancialmente continua desde un sensor indicativo de al menos una variable detectada por el sensor indicativa de flujo de fluido en un conducto y para muestrear los datos para producir una corriente de datos muestreados, donde los datos se muestrean a una alta frecuencia de entre 64 y 1024 muestras por segundo;

el medio de procesamiento está dispuesto para procesar el flujo de datos muestreados para extraer al menos un flujo submuestreado del mismo, 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 período de conjunto de datos respectivo;

el medio de almacenamiento de datos está dispuesto para almacenar el al menos un flujo submuestreado.

[0011] Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de monitoreo del flujo de líquido en un conducto mediante un dispositivo de monitoreo del flujo de líquido, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

recibir datos de forma sustancialmente continua desde un sensor, los datos indicativos del flujo de fluido en un conducto, y operar los medios de muestreo del dispositivo para muestrear los datos para producir una corriente de datos muestreados, donde los datos se muestrean a una alta frecuencia de entre 64 y 1024 muestras por segundo; procesar el flujo de datos muestreados utilizando medios de procesamiento del dispositivo para extraer información del mismo;

transmitir periódicamente la información extraída a una ubicación central mediante el funcionamiento de los medios de comunicación del dispositivo;

almacenar, utilizando medios de almacenamiento de datos del dispositivo, una representación más completa del flujo de datos muestreados durante al menos un período de tiempo que la proporcionada por la información extraída;

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

[Aborda inconvenientes de los dispositivos existentes]

[0012] En los dispositivos existentes, no es posible "retroceder" retrospectivamente y extraer datos sincronizados en el tiempo de alta frecuencia para intervalos de tiempo arbitrarios o datos entre las instantáneas de datos periódicas para obtener más información sobre un evento de interés; datos de estos periodos no se adquieren y se pierden. Por ejemplo, si se produce una rotura u otra falla, los operadores no pueden consultar las condiciones hidráulicas dinámicas (estado inestable) antes de la rotura, o muestrear los datos históricos (aumentar la resolución temporal), y consultar múltiples dispositivos durante el mismo intervalo de tiempo para identificar las causas y mecanismos de falla. Al proporcionar al menos un flujo de datos submuestreados, es decir, al proporcionar almacenamiento estratificado, de subconjuntos estadísticos de los datos, la información relevante durante el período de tiempo de interés se puede obtener fácilmente ya sea localmente acoplando el dispositivo a un dispositivo de interrogación, o remotamente a través de un enlace de comunicaciones.

[Informes periódicos]

[0013] El dispositivo puede comprender medios de comunicación. Los medios de procesamiento pueden disponerse además para procesar el flujo de datos muestreados para extraer información resumida de los mismos. Los medios de comunicación pueden ser dispuestos periódicamente para transmitir la información resumida a una ubicación central remota del dispositivo. El al menos un flujo submuestreado puede comprender una representación
5 más completa del flujo de datos muestreados durante un período particular que la proporcionada por la información resumida extraída durante ese período.

[La variable detectada]

10 **[0014]** La variable que se detecta puede ser la presión del fluido y/o la velocidad del fluido y/o la altura de flujo en el conducto. La variable que se detecta puede ser indicativa de la calidad del agua, por ejemplo, de la concentración de cloro o la turbidez del agua. El dispositivo puede comprender el sensor.

[0015] El subconjunto estadístico comprendido en cada conjunto de datos del flujo submuestreado puede
15 comprender el máximo y/o el mínimo y/o la media y/o la desviación estándar y/u otro valor estadístico de los datos durante el período respectivo del conjunto de datos.

[Interrogación retrospectiva]

20 **[0016]** El dispositivo puede disponerse además, al recibir los medios de comunicación desde la misma u otra ubicación central una solicitud para una representación más completa del flujo de datos muestreados en o durante un tiempo especificado, para transmitir a la u otra ubicación central uno o más de los conjuntos de datos correspondientes al tiempo especificado. La solicitud de una representación más completa puede ser una solicitud de al menos una porción del al menos un flujo submuestreado. El medio de comunicación puede transmitir el o cada conjunto de datos
25 contenido en esa porción.

[0017] Puede haber una pluralidad de flujos submuestreados, comprendiendo cada uno una pluralidad de conjuntos de datos que comprenden un subconjunto estadístico y/o diezmado del flujo de datos muestreados, comprendiendo los conjuntos de datos de cada flujo submuestreado un subconjunto estadístico durante períodos de
30 diferente longitud respectiva. En otras palabras, cada flujo submuestreado puede submuestrearse a una frecuencia diferente. Las frecuencias pueden diferir en un orden de magnitud.

[0018] Cuando hay una pluralidad de flujos submuestreados, la solicitud de una representación más completa puede ser una solicitud de una porción respectiva de cada uno de una pluralidad de los flujos submuestreados. Los
35 medios de comunicación pueden, en respuesta a esta solicitud, transmitir el o cada conjunto de datos en cada una de estas porciones.

[0019] La duración del o de cada flujo submuestreado que se almacena puede ser una duración predeterminada. Esta puede ser la misma para cada flujo submuestreado. El flujo submuestreado o cada flujo
40 submuestreado puede almacenarse en un búfer circular. El dispositivo también puede almacenar un flujo ininterrumpido del flujo de datos muestreados de duración correspondiente. Esto también puede almacenarse en un búfer circular. La duración puede ser del orden de días, semanas o meses.

[Muestreo]

45 **[0020]** El muestreo por los medios de muestreo puede ser de alta frecuencia. Esta está entre 64 y 1024 muestras por segundo (M/s). 256 M/s es un ejemplo. La velocidad de muestreo puede ser cualquiera de estas dos velocidades; puede ser cualquier velocidad intermedia. En otras realizaciones, se puede usar otro muestreo. Cuando la variable que se detecta es la presión del fluido, la velocidad de muestreo puede estar entre 100 y 300 M/s, y puede
50 ser de 200 M/s. Cuando la variable que se detecta es la velocidad del fluido, la velocidad de muestreo puede estar entre 0,5 y 2 M/s, y puede ser de 1 M/s. Las variables de calidad del agua (cloro y turbidez) se muestrean cada 15 minutos, pero se activa una velocidad de muestreo más rápida (5 minutos) si se detecta un evento transitorio. La presión se puede utilizar como una variable primaria para desencadenar un aumento de la velocidad de muestreo para las variables secundarias. La velocidad de muestreo de los medios de muestreo puede ser controlada por los medios
55 de procesamiento. La velocidad de muestreo puede controlarse de este modo en respuesta a la recepción de una señal en los medios de comunicación desde la u otra ubicación central para cambiar la velocidad de muestreo. Los medios de muestreo pueden sellar cada punto de datos con una marca de tiempo correspondiente al momento en que se detectó el punto de datos.

60 **[0021]** Los medios de muestreo pueden recibir los datos del sensor sustancialmente en tiempo real. El flujo de datos muestreados puede ser producido por los medios de muestreo sustancialmente en tiempo real.

[Identificación de eventos transitorios]

65 **[0022]** Procesar el flujo de datos muestreados para extraer información resumida de los mismos puede

comprender identificar eventos transitorios y/o identificar eventos no transitorios. La identificación de un evento transitorio y/o evento no transitorio puede formar al menos parte de la información resumida extraída. El procesamiento puede comprender procesar porciones del flujo de datos muestreados, correspondiendo cada porción a un período de tiempo respectivo. La porción puede ser una porción que corresponde a un período de tiempo continuo. En otras palabras, el procesamiento puede ser a través de una ventana móvil hacia el flujo de datos muestreados. Los períodos de tiempo pueden seleccionarse para que sean lo suficientemente largos como para que cada porción contenga un conjunto completo de datos muestreados para el evento transitorio más largo que experimentaría un sistema del que forma parte el conducto y/o dispositivo. Para cada porción, los datos muestreados pueden analizarse para determinar si la porción contiene o no datos indicativos de un evento transitorio. Esto se puede hacer sumando la diferencia entre puntos de datos sucesivos durante el período de tiempo para obtener una suma acumulativa. La suma se puede comparar con una probabilidad de que esa suma sea indicativa de un evento transitorio para determinar si se ha identificado o no un evento transitorio. Esto se puede hacer comparando la suma con un registro de la probabilidad de que esa suma sea indicativa de un evento transitorio. El registro puede ser una función de distribución de probabilidad de la probabilidad de que la suma ocurra contra el valor de la suma. El registro se puede generar durante el funcionamiento del dispositivo registrando cada suma y su frecuencia de aparición. El registro se puede actualizar continuamente durante la operación a medida que se calcula cada suma acumulada. 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, que se ha identificado un evento transitorio. La probabilidad de que se produzca la suma acumulada calculada se puede comparar con ese umbral. Por lo tanto, el algoritmo de detección de eventos transitorios permite el autoajuste autónomo de dispositivos individuales y este procedimiento es específico del sitio: diferentes sistemas de suministro de agua experimentarán diferentes niveles de comportamiento hidráulico dinámico (comportamiento de fondo).

[0023] 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 ocurrir sin esperar la próxima transmisión periódica de la información resumida extraída. Esto puede ocurrir al identificar el evento transitorio. La señal puede comprender datos de la porción donde se ha identificado el evento transitorio.

[Información estadística resumida]

[0024] El procesamiento del flujo de datos para extraer la información resumida de este puede comprender determinar la información estadística resumida del flujo de datos muestreados, la información estadística resumida forma al menos parte de la información resumida extraída. La información estadística resumida puede comprender uno o más valores máximos y/o mínimos y/o medios y/o de varianza y/o desviación estándar de la porción del flujo. La información estadística resumida puede comprender uno o más valores máximos y/o mínimos y/o medios y/o de varianza y/o desviación estándar de un período de tiempo, denominado "período de tiempo resumido", que puede corresponder a varias de las porciones. Por ejemplo, el período de tiempo de resumen puede ser de una o más horas, días o semanas. En realizaciones, la noción de monitorear continuamente el comportamiento hidráulico dinámico también tendrá un impacto en los intervalos de comunicación. El sistema puede tolerar períodos más largos entre la comunicación (por ejemplo, una vez por hora frente a una tendencia actual de 30 minutos) si el sistema hidráulico de la red de tuberías tiene poca variación y está en estado estacionario.

[0025] El período de transmisión por los medios de comunicación de la información extraída puede ser sustancialmente el mismo que el período de tiempo resumido.

[FDP y métricas de impacto]

[0026] En respuesta a la identificación de un evento transitorio, el medio de procesamiento también puede generar un descriptor evento transitorio que indique una o más características del evento transitorio identificado. Un ejemplo de un descriptor de eventos transitorios es el gradiente del evento transitorio, es decir, la velocidad de cambio de la variable detectada con el tiempo durante el tiempo del evento transitorio o en algún otro momento, como la duración de la porción respectiva donde se identifica el evento transitorio. Otros descriptores de eventos transitorios incluyen la dirección del gradiente, las magnitudes de inicio y/o parada del evento transitorio, el gradiente de disipación, una secuencia de cambios de gradiente. El o cada descriptor de evento transitorio es utilizado por los medios de procesamiento para generar una indicación de la gravedad del evento transitorio. Esto se puede hacer comparando el valor del descriptor de eventos transitorios con una indicación de la probabilidad de que ocurra ese valor del descriptor de eventos transitorios. Esto se puede hacer sustancialmente de la misma manera que la forma en que se identifican los eventos transitorios. Por ejemplo, el valor del descriptor de eventos transitorios puede compararse con una distribución de probabilidad de valores medidos del descriptor de eventos transitorios durante el uso para determinar la probabilidad de ese valor. La probabilidad determinada se puede comparar con uno o más umbrales para dar la gravedad del evento transitorio. Por lo tanto, la disposición puede proporcionar autoajuste autónomo y umbrales específicos del sitio. Los umbrales se pueden usar para clasificar el evento transitorio en términos de su gravedad. Puede haber tres clases. Estos pueden corresponder a eventos transitorios que son de baja preocupación, de preocupación media, de alta preocupación. Estas medidas de gravedad pueden denominarse "métricas de impacto". Las métricas de impacto pueden combinar los resultados de la información estadística resumida. Las métricas de

impacto pueden formar parte de la información resumida extraída que se envía periódicamente a la ubicación central.

[0027] La métrica de impacto puede determinar la frecuencia de transmisión de la información resumida extraída de los medios de comunicación. En respuesta a que la métrica de impacto se eleve por encima de un umbral definido, la información de resumen extraída puede transmitirse con mayor frecuencia. En respuesta a que la métrica de impacto caiga por debajo del u otro umbral definido, la información de resumen extraída puede transmitirse con menos frecuencia. Una métrica de impacto indicativa de un evento transitorio de alta preocupación puede iniciar una transmisión sustancialmente inmediata a la ubicación central de la información extraída.

10 [Canales plurales]

[0028] El dispositivo puede tener múltiples canales de datos detectados. El dispositivo puede recibir datos respectivos de forma sustancialmente continua de cada uno de una pluralidad de sensores indicativos de una variable respectiva detectada por cada sensor. Los medios de muestreo pueden muestrear los datos para producir un flujo respectivo de datos muestreados para cada una de las variables detectadas. El dispositivo puede disponerse de manera que, y el procedimiento puede ser tal que, cada flujo se maneje en paralelo sustancialmente de la misma manera.

[Deriva del reloj]

20

[0029] Según otro aspecto, se proporciona un dispositivo de monitoreo dispuesto para recibir datos de alta frecuencia desde un sensor y para asociar puntos de datos de esos datos cada uno con una marca de tiempo respectiva, comprendiendo el dispositivo un módulo de reloj y medios de recepción, comprendiendo el módulo de reloj un reloj local dispuesto para mantener la hora y comprendiendo además medios de recepción de señal dispuestos periódicamente para recibir una señal de tiempo inalámbrica desde una fuente remota indicativa de la hora precisa, estando dispuesto el módulo de reloj para comparar la hora mantenida por el reloj local con la señal de tiempo y para ajustar el reloj local y mejorar así la precisión de su mantenimiento de tiempo.

25

[0030] El módulo de reloj puede disponerse repetidamente, y opcionalmente periódicamente, para comparar la hora mantenida por el reloj local con la señal de hora y para ajustar el reloj local. El módulo de reloj puede ajustar de forma variable el reloj local acelerando y/o ralentizando el reloj en diferentes momentos durante un período de tiempo. El módulo de reloj puede aprender cómo el reloj local tiende a variar con referencia a la hora precisa durante un período de tiempo y compensar esta variación ajustando el reloj para lograr un mantenimiento de la hora sustancialmente preciso. El módulo de reloj también puede recibir una señal indicativa de la temperatura local y variar el reloj local al menos en parte según esto. El dispositivo puede operar los medios de recepción con mayor frecuencia inicialmente para recibir la señal de tiempo con el fin de aprender cómo el reloj local tiende a variar y a continuación operar los medios de recepción con menos frecuencia cuando se ha aprendido la varianza del reloj local.

30

35

[0031] 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 también pueden ser características de cualquier otro aspecto.

40

[Modular]

[0032] El dispositivo de cualquier aspecto puede ser modular. Los componentes del dispositivo pueden alojarse en carcasas respectivas que pueden acoplarse localmente, y opcionalmente de forma liberable, para su funcionamiento. El medio de procesamiento puede estar alojado en un módulo principal; los medios de almacenamiento y opcionalmente los medios de comunicación, si los hay, pueden estar alojados en un módulo de memoria; el sensor y, opcionalmente, los medios de muestreo pueden estar alojados en un módulo de sensor. Una fuente de energía, como una batería, puede estar alojada en un módulo de energía. El módulo de memoria puede comprender una pantalla en su carcasa que indica el funcionamiento del dispositivo y los datos adquiridos. La pantalla puede ser indicativa de si se ha determinado o no un evento transitorio en un período anterior; puede ser indicativa de la gravedad de cualquier evento transitorio determinado. La pantalla puede indicar la métrica de estrés de impacto. El módulo de memoria puede estar dispuesto para comunicación local con el aparato de interrogación, tal como un ordenador portátil. Esto puede realizarse mediante una conexión por cable o inalámbrica. El módulo de memoria puede disponerse para funcionar como un servidor de microservidor durante dicha comunicación. El o cada módulo presurizado puede comprender un sensor de presión de aire dispuesto para proporcionar datos a los medios de procesamiento. Al detectar una caída en la presión del aire por debajo de un umbral especificado, los medios de procesamiento pueden identificar que el módulo en cuestión debe examinarse y generar una señal indicativa de esto. Esta señal puede ser comunicada a la ubicación central. El procesador también puede apagarse en respuesta a esto.

45

50

55

60

[0033] El módulo de batería puede comprender un chip de identificación para identificar de forma única la batería, el chip de identificación puede ser leído por los medios de procesamiento cuando el módulo de batería está conectado para su funcionamiento.

65

[Procesamiento central]

[0034] Según un tercer aspecto de esta invención, se proporciona una estación de control central para identificar la ubicación aproximada de las causas de eventos transitorios en una red de conductos a través de los cuales fluye el fluido, la estación de control central comprende medios de procesamiento y medios de comunicación, donde:

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

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.

[0035] Los dispositivos remotos de este tercer aspecto pueden ser cada uno de los dispositivos del primer aspecto.

[0036] Los medios de control y procesamiento centrales pueden comprender al menos un procesador informático, almacenamiento no volátil legible por ordenador asociado y medios de visualización asociados.

[0037] Según un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de monitoreo de flujo de líquido para monitorear el flujo de líquido en una pluralidad de conductos que forman una red, comprendiendo el sistema una pluralidad de los dispositivos tal como se definen en el primer aspecto y medios de control y procesamiento centrales tal como se definen en el tercer aspecto.

[General]

[0038] Para todos los aspectos anteriores, excepto cuando una característica opcional mencionada anteriormente hace referencia a otra característica opcional que se necesita para que la primera característica funcione, cada una de las características opcionales mencionadas anteriormente puede proporcionarse en una realización aislada de las otras características opcionales. También se prevé que características opcionales puedan incluirse juntas en realizaciones en cualquier combinación viable. Se prevé además que las características opcionales de cada aspecto también sean características opcionales de cada otro aspecto.

[0039] 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 domésticos e/o industriales de agua. En otras realizaciones, el conducto puede ser un conducto en un sistema de aguas residuales, un oleoducto o gasoducto, un conducto en una planta de procedimiento o una planta nuclear. También son posibles y se prevén otras aplicaciones. En particular, se prevé que el dispositivo, el procedimiento y el sistema se puedan utilizar para detectar parámetros que afecten a estructuras tales como puentes, carreteras, edificios y otras estructuras, en lugar de una variable indicativa del flujo de fluido en un conducto. En estas aplicaciones, se pueden detectar uno o todos los siguientes: fuerza, frecuencia y/o amplitud de vibración, amplitud y/o frecuencia de sonido, desplazamiento. Esta lista no es exhaustiva.

[0040] Al menos ciertas características de las realizaciones de ejemplo proporcionan lo siguiente:

(i) Monitorear de forma continua y retroactiva la consulta y extracción de datos de alta frecuencia de múltiples dispositivos de registro/telemetría integrados para caracterizar las condiciones hidráulicas dinámicas y facilitar el análisis post mortem de fallas y el diagnóstico de dispositivos de protección contra sobrecargas. Esto elimina el complejo ajuste del registro de velocidad variable como se describe en la patente de EE. UU. N ° 7.219.553 y la patente de EE. UU. N ° 7.357.034, que con frecuencia omite eventos críticos, no captura datos críticos y no puede proporcionar datos históricos de alta frecuencia para períodos arbitrarios seleccionados por el usuario.

(ii) Detectar desviaciones casi en tiempo real de las condiciones hidráulicas de estado estacionario diseñadas dentro de sistemas complejos de suministro de agua. La correlación de la información extraída de los datos de estado casi estable y eventos transitorios con la información física y topológica de la tubería se utiliza para el cálculo de un índice evento transitorio (un nivel de tensión del sistema) para facilitar el reconocimiento rápido de la operación subóptima y el mantenimiento del disparador. Esto también incluirá la detección de inestabilidades hidráulicas debido a un mal funcionamiento o una configuración incorrecta de las válvulas de control. Mantener los sistemas de distribución de agua en condiciones hidráulicas de estado estacionario prolongará significativamente el ciclo de vida de la infraestructura, reducirá el coste anual de la reparación de explosiones y reducirá el número de eventos de decoloración.

(iii) Diagnosticar el funcionamiento y las desviaciones de las especificaciones de diseño de los dispositivos de protección contra sobrecargas: los datos se utilizan para detectar, localizar y programar el mantenimiento del mal funcionamiento del control y las válvulas de aire y los equipos de protección contra sobrecargas fallidos. También

se puede utilizar como garantía de seguridad y seguro de que los dispositivos de protección contra sobrecargas funcionan según sus especificaciones de diseño. Comparar la respuesta de un sistema de suministro de agua a un intervalo de eventos transitorios hidráulicos.

(iv) Garantizar y supervisar la implementación segura de los esquemas de optimización de la bomba.

5 (v) Supervisar la red de transmisión de agua para detectar fugas mediante la adquisición continua de señales de presión de alta frecuencia y la detección de cambios de gradiente bajo diferentes variaciones de presión.

(vi) Utilizar el aparato como una base de datos distribuida para almacenar datos brutos de alta frecuencia, medidas estadísticas de las variaciones de presión en 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 sincronizados en el tiempo de alta velocidad continuos con un consumo de energía muy bajo.

10 (vii) Reducir el riesgo de contaminación de la calidad del agua debido a la presión subatmosférica generada por los eventos transitorios hidráulicos.

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

15 (ix) La reducción de la variabilidad en las condiciones hidráulicas mejorará la precisión de los modelos de simulación hidráulica casi en tiempo real.

(x) Gestión de datos energéticamente eficiente para el muestreo/monitoreo continuo y el almacenamiento de datos optimizado.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20 [0041] Ahora se describirán realizaciones de la invención, únicamente a modo de ejemplo y haciendo referencia a los dibujos adjuntos, donde:

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

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 del 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;

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

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

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

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

La Figura 10 es una representación esquemática de los principales componentes funcionales con los que se realiza la invención;

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

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

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

La Figura 14 muestra la sincronización de tiempo para el monitoreo de área amplia;

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

La Figura 16 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para estimar la latencia;

45 La Figura 17 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para minimizar el jitter (*fluctuación*) y decodificar una referencia de tiempo precisa; y

La Figura 18 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para extender un período de retención; y

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

50 DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DE DETERMINADAS REALIZACIONES DE EJEMPLO

[0042] Los sistemas de transmisión y distribución de agua son una infraestructura crítica con un nivel creciente de control y consecuencias de fallas. El monitoreo continuo de las condiciones de carga resultantes del comportamiento hidráulico dinámico facilita el mantenimiento de la resistencia estructural de la infraestructura de tuberías envejecida y la protección de la calidad del agua. El monitoreo y control de las condiciones hidráulicas dinámicas requiere un procedimiento y un aparato novedosos para la recopilación continua de datos sincronizados en el tiempo de alta frecuencia y para la gestión de grandes volúmenes de datos bajo severas restricciones de energía. El sistema de monitoreo también debe permitir consultas casi en tiempo real y consultas retrospectivas que extraigan datos hidráulicos de alta frecuencia sincronizados en el tiempo durante períodos de tiempo arbitrarios. Esto es particularmente útil cuando se han producido roturas y otros fallos y se requiere un análisis de la causa raíz para identificar los mecanismos de fallo mediante la extracción de datos sincronizados en el tiempo de alta frecuencia antes y durante el fallo del sistema.

[0043] En la Figura 1 se muestra una descripción general de un sistema 100 que incorpora la invención. Como se puede observar, el sistema 100 está compuesto por 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 una comunicación inalámbrica como se explicará a continuación. Cada dispositivo remoto 10 es un dispositivo de monitoreo de flujo de líquido dispuesto para monitorear el flujo de líquido en un conducto. Cada dispositivo 10 se compone de varios componentes de hardware, cada uno de los cuales realiza varias funciones.

5

[0044] La Figura 2 muestra con más detalle, pero de forma esquemática, los principales componentes de hardware que conforman un dispositivo representativo de los dispositivos 10.

[0045] 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 colocarse 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 la presión. El sensor 12 proporciona los datos indicativos de la presión detectada como una señal continua en tiempo real.

15

[0046] El dispositivo 10 también incluye medios de muestreo 20 en forma de un convertidor de analógico a digital (ADC) 20 que recibe datos de los medios de detección 12 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 la presión del agua se muestrean a una velocidad de 200 M/s. El ADC marca el tiempo de cada punto de datos para emitir un flujo de datos muestreados con sello de tiempo 27. Los datos tienen una marca de tiempo con alta precisión, que en esta realización es precisa en milisegundos. La marca de tiempo se describirá a continuación en detalle haciendo referencia a la Figura X.

[0047] La salida del ADC 20 proporciona una entrada a los medios de procesamiento en forma de un microprocesador 30 que tiene RAM 35 asociada con el mismo y accesible por el mismo. El dispositivo también incluye medios de almacenamiento en forma de memoria no volátil 40, que en esta realización es memoria flash. El microprocesador 40 está dispuesto para comunicarse con la MNV 40 para leer datos de la misma y almacenar datos en la misma. El dispositivo 10 incluye además medios de comunicación en forma de un módulo de radio 50 acoplado operativamente al microprocesador 30 y dispuesto para comunicarse según los estándares GSM y GPRS a través de una red de telefonía celular móvil (no mostrada en la Figura 2).

[0048] Cada dispositivo 10 del sistema 100 tiene uno o más canales de entrada de transmisión de datos desde los sensores 12 respectivos.

[0049] Aunque la Figura 2 muestra, por simplicidad, un dispositivo 10 con un único sensor 12 y un único canal de datos del mismo, se prevé que otros dispositivos 10 en el sistema 100 puedan tener múltiples sensores 12, cada uno de los cuales detecte una variable diferente indicativa del flujo de fluido. Cada sensor 12 tiene un flujo respectivo de datos continuos desde el mismo, cada uno tratado como una variable independiente en un canal separado del dispositivo 10. Las velocidades de muestreo pueden ser diferentes para variables específicas: por ejemplo: la presión del fluido se mide a 200 M/s y la velocidad de flujo del fluido a 1 M/s, mientras que la temperatura o el voltaje de la batería pueden medirse solo una vez cada 15 minutos. Las variables de calidad del agua (cloro y turbidez) se muestrean cada 15 minutos, pero se activa una velocidad de muestreo más rápida (5 minutos) si se detecta un evento transitorio. La presión se puede utilizar como una variable primaria para desencadenar un aumento de la velocidad de muestreo para las variables secundarias. Las fuentes de datos también pueden generarse mediante cálculos en una o más de otras fuentes de datos. Por ejemplo, una fuente de datos booleana (una que solo puede tener los valores "verdadero" y "falso") que representa la afirmación "se ha detectado un evento transitorio" puede generarse a partir de una fuente de datos de presión de fluido.

[0050] Con referencia a la Figura 3, que ilustra los flujos de datos en el dispositivo 10 en lugar de la disposición de hardware, los datos muestreados con sello de tiempo del ADC 20 se someten a dos operaciones de procesamiento principales: análisis de señal transitoria 110, donde el microprocesador 30 extrae información de la señal; y el almacenamiento estratificado 120, donde los datos con sello de tiempo del ADC 20 son submuestreados por el microprocesador 30 en varios flujos submuestreados en paralelo y almacenados en la memoria no volátil 40, disponibles para su recuperación en una fecha posterior. Este modelo está diseñado para mantener el muestreo continuo a altas velocidades de muestreo al tiempo que minimiza el uso de energía y la comunicación. La operación del sistema se configura a través de "consultas", comandos y solicitudes enviadas desde el servidor central 200 con el que el dispositivo 10 se comunica a través del módulo de radio 50. Estas consultas establecen los parámetros del análisis de señal transitoria 110 y definen qué datos se transmiten regularmente por el dispositivo 10 utilizando "consultas persistentes": consultas que se almacenan en el dispositivo 10 y que continúan ejecutándose hasta que otra consulta las detiene. Los resultados del análisis de señales transitorias y los datos generados por las consultas se transmiten al servidor central 200.

[Almacenamiento estratificado]

[0051] El sistema desarrollado de "almacenamiento estratificado" se muestra en la Figura 4. Cada variable

detectada (de un sensor respectivo 12) en el dispositivo 10, después de ser muestreada por el ADC 20, se almacena como una "corriente estratificada". Por lo tanto, habrá tantos flujos estratificados como sensores 12. En la Figura 4 se muestra una corriente estratificada 130 que es representativa de las corrientes estratificadas en esta realización. El flujo estratificado 130 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 se componen de muchos conjuntos de datos. Cada conjunto de datos en un flujo submuestreado consiste en una tupla compuesta por el tiempo del comienzo del elemento submuestreado y una serie de descriptores estadísticos de los datos sin procesar a lo largo del tiempo que cubre el elemento del conjunto de datos.

10 **[0052]** El tipo de submuestreo estadístico que realiza el microprocesador 30 depende del tipo de datos: para datos continuamente variables se calculan los valores mínimo, máximo, medio y de varianza; para datos booleanos, se puede calcular el «O» lógico de los elementos de datos. También se pueden calcular otros valores estadísticos, como la desviación estándar, al generar un conjunto submuestreado. La Tabla 1 muestra una fuente de datos que toma una lectura una vez cada 15 segundos y a partir de ella se crea la submuestra estadística de un minuto que se prevé.

15 **[0053]** Estos flujos submuestreados permiten recuperar largos períodos de datos sin el gran número de accesos a datos que se requerirían para obtener información durante el mismo período de tiempo dado solo acceso a los datos sin procesar. Esto es fundamental para minimizar el tiempo y la energía de comunicación mientras se gestionan grandes volúmenes de datos. Por ejemplo, una hora de datos de 200 M/s requeriría 720.000 lecturas de datos si solo estuvieran disponibles los datos sin procesar, pero solo 60 lecturas de un conjunto submuestreado de un minuto.

25 **[0054]** Los datos sin procesar, y por lo tanto los conjuntos de datos submuestreados, se almacenan en el orden en que se miden. Por lo tanto, cada flujo de datos se ordena aumentando el valor de tiempo. Esto permite encontrar los datos en un valor de tiempo particular sin el uso de un índice, ya que se puede usar un algoritmo de búsqueda binaria eficiente (búsqueda de medio intervalo). El medio de almacenamiento es un búfer circular, por lo que los datos recién registrados siempre se almacenarán en él. Si el medio está lleno, a continuación se eliminarán los datos más antiguos para dejar espacio. Una vez escritos, los datos nunca se modificarán. Por lo tanto, los datos copiados de un dispositivo 10 pueden considerarse confiables independientemente de lo que le suceda al dispositivo posteriormente. El uso de conjuntos submuestreados incurre en una penalización de almacenamiento, típicamente entre 5 % y 10 %, pero esto es insignificante dado el bajo costo de almacenamiento.

[Análisis de señales transitorias]

35 **[0055]** En paralelo con el sistema de almacenamiento estratificado descrito anteriormente, cada dispositivo 10 también realiza el análisis de datos en los datos sin procesar (transmisión) a medida que se proporcionan desde el 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.

40 **[0056]** La RAM 35 y la energía de procesamiento de cada dispositivo 10 son limitadas y, por lo tanto, todas las operaciones matemáticas tienen lugar sobre un búfer de ventana móvil. El tamaño de este búfer es específico de la implementación, pero normalmente estará en el intervalo de 30 segundos a 300 segundos: tiempo suficiente para mantener una imagen completa del evento transitorio más largo (la duración máxima de un evento transitorio depende de una serie de factores, como la topología del sistema, el tamaño de la tubería, la naturaleza y la fuente del evento transitorio, etc.). En esta realización, y para los datos indicativos de la presión del agua, el búfer es de 300 s.

50 **[0057]** Después de filtrar el ruido del sensor (por ejemplo, usando una media móvil), la primera tarea de procesamiento de datos es el bloque funcional 140 de "selección transitoria". Esto incluye dividir los datos en eventos transitorios probables y eventos no transitorios probables. Se supone que durante el corto período de tiempo del búfer de ventana, el valor promedio de la señal no cambiará y, por lo tanto, la suma de las diferencias siempre será aproximadamente cero. Se construye una función de distribución acumulativa (FDC) de la suma de las diferencias entre muestras posteriores en la ventana. La FDC es un registro del valor de las sumas según su probabilidad de ocurrencia, según la frecuencia de ocurrencia medida. Si la suma es "improbable" según la FDC (por ejemplo, < 0,1 % de probabilidad), a continuación la ventana se declara como que contiene un evento transitorio. Cuantos más datos pasen a través del sistema, mejor será la FDC. Esta estrategia permite detectar eventos transitorios que apenas están por encima del nivel mínimo de ruido de una señal, en marcado contraste con la detección de eventos transitorios en dispositivos existentes, que generalmente son detectores de pendiente simple y que solo detectan grandes eventos transitorios. La presente estrategia también se autoajusta y, por lo tanto, es específica del sitio.

60 **[0058]** Se recopilan estadísticas resumidas ("Indicadores estadísticos periódicos") como mínimo, máximo, media y varianza/desviación estándar de la señal no transitoria para cada día de la semana. Esto se ilustra en el bloque funcional 150. Estos se almacenan localmente y se transmiten al servidor central periódicamente. En la presente realización, se recopilan todas estas estadísticas.

[0059] La tarea de "clasificación de eventos transitorios" del bloque 160 ajusta un conjunto de variables a un evento transitorio detectado (detectado en el bloque 140) para proporcionar un descriptor comprimido del evento (por ejemplo, un vector transitorio). Un conjunto de ejemplo de variables ajustadas en la parte superior de un evento transitorio medido se puede ver en la Figura 7 del sistema. Esto muestra un gráfico de la presión medida por el sensor 12 y muestreada por el ADC 20 en el eje y frente al tiempo en el eje x. Los descriptores en esta realización incluyen la amplitud del evento transitorio (también conocida como la magnitud de inicio), el gradiente del evento transitorio (no se muestra en la Figura 7), el gradiente de disipación del evento transitorio, que puede considerarse la pendiente desde el primer pico o valle del evento transitorio hasta un punto donde el evento transitorio se ha disipado sustancialmente y la secuencia de gradientes alternos. Para cada descriptor, con la excepción del tiempo del evento transitorio (que obviamente será diferente para cada evento transitorio), el valor del descriptor se utiliza para construir una función de distribución de probabilidad (FDP). Esto se hace en el bloque 162. Esta FDP muestra la probabilidad de que ocurra un tipo particular de evento transitorio y es periódicamente (por ejemplo, una vez cada 24 horas). Estas FDP se envían al servidor central 200. A medida que el dispositivo 10 se ejecuta, la FDP se vuelve más precisa a medida que se agregan más datos.

[0060] Usando la FDP de eventos transitorios, se recopilan conjuntos de variables, esta vez *incluyendo* su hora de inicio, que describen eventos transitorios representativos y se envían al servidor central 200. Esto se hace en el bloque 165. Un evento transitorio representativo es aquel que se repite regularmente o que es "inusual" (baja probabilidad) según la FDP transitoria. El servidor central utiliza estas instantáneas de eventos transitorios para correlacionar eventos de diferentes ubicaciones de medición.

[0061] Los indicadores estadísticos periódicos y el FDP evento transitorio se utilizan para calcular una "métrica de impacto" simple en el registrador. Esto se hace en el bloque 180. Esta métrica de impacto utiliza suposiciones sobre las propiedades físicas de las tuberías promedio para clasificar la cantidad de tensión, en términos coloquiales, la sección de la tubería que se mide se encuentra en un número limitado de estados. Esta información puede a continuación mostrarse en los medios de visualización del dispositivo 10 (en esta realización, el dispositivo comprende además un módulo de memoria extraíble que aloja la MNV 40 e incluye tres LED de diferentes colores que se utilizan para indicar la métrica de impacto en el bloque 185) para permitir a los técnicos en el campo evaluar el estado de la red en ese punto. Para los dispositivos 10 que no pueden comunicarse con el servidor central 200 y que se basan en la recopilación manual de los módulos de memoria, esta indicación de "estrés" local puede mostrar si vale la pena o no recopilar el módulo de memoria en un momento particular. La métrica de impacto local también se puede utilizar para variar la velocidad de transmisión de datos: cuando se detectan eventos transitorios extremos, aquellos que causan una métrica de alto impacto, el dispositivo 10 se puede configurar automáticamente para transmitir datos de eventos al servidor central inmediatamente en lugar de esperar su tiempo de transmisión normal. La métrica de impacto local se clasifica utilizando un sistema de semáforos. Las alertas rojas se utilizan para activar la comunicación inmediata con el servidor central 200.

[Procesamiento central]

[0062] El servidor central 200 se muestra de forma esquemática en la Figura 6. El servidor 200 incluye medios de comunicación en forma de un módulo 210 dispuesto para comunicarse con Internet, y por lo tanto con cada dispositivo 10, por cualquier medio adecuado para la comunicación. El servidor 200 también incluye un microprocesador 220 en comunicación con el módulo de radio 210, y la RAM 230 y la memoria no volátil 240, ambas en comunicación de lectura/escritura con el microprocesador 220. La MNV 240 constituye un almacenamiento de datos central 240. También se proporcionan medios de entrada/salida en forma de una interfaz gráfica de usuario 250.

[0063] En la Figura 7 se muestra una visión general de la disposición funcional del servidor central. El servidor 200 recibe datos que consisten en eventos, estadísticas transitorias y datos de forma de onda de todos los registradores bajo su control, la "nube de registradores" 210, a través del módulo de Internet 210.

[0064] El servidor central 200 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 eventos transitorios de todos los registradores en análisis de toda la red. También proporciona una interfaz de usuario que consiste en gráficos interactivos, para ver los datos del sensor, y un mapa interactivo, para mostrar los datos ubicados geográficamente. Se prevé que el servidor central también extraiga ocasionalmente fragmentos de datos de alta frecuencia de varias ubicaciones (eventos transitorios detectados con diferente gravedad) para ajustar y actualizar los estimadores de eventos transitorios. De esta manera, el sistema de monitoreo/servidor mejora de forma autónoma sus capacidades de detección. Los estimadores de eventos transitorios actualizados a continuación se "devuelven" a los dispositivos de monitoreo integrados.

[0065] El almacén de datos central 240 en el servidor tiene la misma estructura que los almacenes de datos estratificados en los dispositivos 10, pero es significativamente más grande y no está estructurado como un búfer 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.

[0066] Un aspecto clave del sistema de almacenamiento de datos 240 en el servidor central 200 es el concepto de "recuperación de datos retrospectiva y consulta de datos de alta frecuencia durante períodos de tiempo arbitrarios". Si el usuario desea ver información detallada del pasado después de una alerta, puede enviar consultas a la nube de registradores para recuperar datos pasados con mayor resolución espacial de uno o más registradores. De esta manera, el usuario puede ver datos arbitrariamente detallados de los registradores sin que los registradores tengan que transmitir constantemente información de gran ancho de banda al servidor central. El procedimiento es iterativo: un usuario recibe los datos tradicionales de 15 minutos junto con datos de eventos transitorios de baja resolución, el evento transitorio requiere más investigación y el usuario a continuación emite consultas retroactivas para extraer datos pasados con alta resolución temporal para los eventos/intervalos de tiempo específicos. La recuperación de datos retrospectiva también puede activarse mediante rutinas de análisis automáticas que se ejecutan en el servidor: por ejemplo, si se detecta un evento transitorio en un dispositivo 10, se genera una consulta automática para extraer datos de dispositivos vecinos 10 en la red local circundante. Los datos a continuación se utilizan para localizar el origen del evento, investigar la conectividad hidráulica dentro de sistemas de topología complejos y diagnosticar el rendimiento de los dispositivos de protección contra sobrecargas.

[0067] Un sistema de información geográfica (SIG) proporciona información sobre los materiales y diámetros de las tuberías, el diseño de la red, la ubicación del registrador e información como fotos y notas utilizadas al planificar las implementaciones del registrador.

[0068] El servidor central 200 recibe indicadores estadísticos periódicos, FDP eventos transitorios y clasificaciones transitorias junto con instantáneas 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 10 separado para fines de análisis (aunque los datos para todos los canales en un dispositivo 10 particular, en esta realización, se transmiten a través del enlace de comunicaciones juntos para mayor eficiencia). Los análisis realizados sobre estos datos se muestran en la Figura 6.

[0069] Los datos de cada dispositivo 10 se combinan con información de tubería simple (material, edad, diámetro y condición probable, si se conoce) del SIG para calcular una métrica de impacto por registrador, utilizando los mismos procedimientos que se utilizan en el propio dispositivo 10.

[0070] Se conoce la ubicación de cada dispositivo y estas ubicaciones están dispuestas en un gráfico de geolocalización jerárquico que almacena las relaciones de estas ubicaciones entre sí. Un ejemplo de gráfico se muestra en la Figura 10 del sistema. Con fines de análisis zonal, no se utiliza la ubicación GPS real de cada dispositivo 10, solo las relaciones descritas en el gráfico de geolocalización. Sin embargo, la ubicación GPS se utiliza para la visualización de los datos. En el gráfico de ejemplo, los canales 0 y 1 del dispositivo "L1" se consideran estrechamente relacionados ya que comparten el mismo padre. El canal 0 de "L1" y el canal 0 de "L2" están menos relacionados ya que solo comparten un abuelo. Ambas se consideran escasamente relacionadas con el canal 0 de "L4" (bisabuelo común) y no relacionadas en absoluto con el canal 0 de "L9" (no ancestro común).

[0071] Las marcas de tiempo en las instantáneas de eventos transitorios representativas se utilizan para tratar de identificar los mismos eventos transitorios que ocurren en diferentes sitios. La diferencia de tiempo entre y la magnitud de los eventos transitorios se utiliza para clasificar los sitios por cercanía a la fuente transitoria.

[0072] La etapa final de este análisis es combinar las métricas de impacto por dispositivo, la cercanía a la fuente transitoria y la posición en el gráfico de geolocalización en "métricas de impacto zonal". En cada nivel del árbol de geolocalización, una media ponderada de las métricas de impacto (las métricas "peores" tienen un peso mayor que las métricas "buenas") de los nodos por debajo de ese nivel da una métrica de impacto zonal. Estas métricas zonales se pueden trazar en un mapa, lo que permite a un usuario ver de un vistazo las secciones estresadas de la red en una gran área geográfica utilizando un sistema de semáforos, y hacer zoom hasta el nivel de un registrador individual. Además, los datos adquiridos se pueden usar para identificar la probabilidad de frecuencia de roturas 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 dicha gestión proactiva.

[0073] En paralelo con el análisis estadístico, las instantáneas transitorias transmitidas por los registradores se pueden usar para impulsar un modelo de análisis evento transitorio con el fin de predecir su propagación por la red. La ejecución periódica de estas simulaciones transitorias basadas en los datos sincronizados en el tiempo de alta frecuencia adquiridos proporcionará instantáneas de la respuesta transitoria modelada frente a la observada de los sistemas. El análisis de estos residuos se utiliza para identificar y diagnosticar fallas y un funcionamiento subóptimo. Por ejemplo, una conectividad hidráulica entre partes de la red como una válvula se ha dejado abierta o incluso una sección de tubería que no está registrada en el mapa de la red.

[0074] Las métricas y los enlaces entre los dispositivos 10 se pueden utilizar con la visualización de datos tradicional para seleccionar automáticamente las fuentes de datos: por ejemplo, un usuario puede hacer zoom en un conjunto de datos para ver un evento transitorio y poder pedirle al sistema que muestre automáticamente los conjuntos

de datos de todos los demás registradores que también midieron el evento transitorio. Si estos datos no están disponibles actualmente en el servidor central, a continuación se pueden enviar solicitudes para recuperar de forma retrospectiva los datos de alta frecuencia.

- 5 **[0075]** Los ajustes iniciales de los diversos parámetros que controlan el procesamiento, como el umbral de FDC evento transitorio/no evento transitorio, se calculan utilizando un período de datos sin procesar recopilados en un sitio representativo (no necesariamente en la zona que se está registrando) y se procesan en el servidor central 200. Durante el tiempo de ejecución del dispositivo 10, estos parámetros se actualizan de forma inalámbrica desde el servidor central 200.

10

[Gestión de datos manual y remota (inalámbrica)]

- [0076]** El sistema de la presente realización admite instalaciones de monitoreo permanentes y temporales. El dispositivo 10 en esta realización incluye un módulo adicional de memoria y comunicaciones (mostrado en 45 en la Figura 11) que permite un manejo de datos flexible y óptimo para un escenario de monitoreo inalámbrico mediante interrogación remota y un escenario de interrogación local mediante inspección física en el campo. El módulo de memoria y comunicaciones 45 es externo al módulo principal de detección y adquisición de datos 46 y se puede reemplazar in situ. Esto elimina las descargas de datos que consumen mucho tiempo si se requiere el acceso a grandes volúmenes de datos o a todos los datos de alta frecuencia adquiridos para el análisis (o si la comunicación inalámbrica no está disponible). Las actualizaciones de comunicación y memoria de bajo costo también se pueden realizar con una interrupción mínima para el usuario final, la ejecución de tareas de monitoreo/control y la configuración de la instalación. Para instalaciones permanentes (sistemas de telemetría/SCADA), el acceso remoto y la transferencia de datos se pueden realizar a través de GSM o cualquier tecnología de comunicación inalámbrica y/o cableada. En esta configuración, varios de los dispositivos 10 forman un sistema de detección y almacenamiento distribuido como se describió anteriormente.

- [0077]** El módulo de memoria y comunicaciones 45 admite formas alternativas de descargar y visualizar los datos de gran volumen de alta frecuencia adquiridos. Estos se describen en la Figura 12.

- 30 **[0078]** Como se muestra en la Figura 12, se puede acceder al conjunto completo de los datos de gran volumen adquiridos de dos maneras:

1. El módulo adicional de memoria y comunicaciones 45 (denominado "módulo mem/comms" en la Figura) se recopila manualmente y se conecta al Controlador de implementación (CI) que admite la carga automática de datos a servidores de nube seguros/privados. El CI es un ordenador portátil o tableta robusto dispuesto para su uso en el campo y para la comunicación local con el dispositivo 10. Todos los datos almacenados en el módulo de memoria/comunicaciones (incluida la estructura de datos estratificada descrita anteriormente) son enviados automáticamente por el CI a servidores de nube privada para el almacenamiento de datos en la nube, el procesamiento de eventos y la navegación de datos a través de un enlace de carga de alta velocidad (por ejemplo, ADSL o banda ancha de fibra óptica utilizando el CI). Una interfaz basada en la web permite a los usuarios acceder a los servicios en la nube, que incluyen: (a) información espacial/de ubicación relacionada con la o las implementaciones del registrador; (b) información de calibración con respecto a los sensores utilizados; (c) un resumen/configuración de la configuración de adquisición de datos y los regímenes de muestreo; (d) tanto los datos brutos como los conjuntos de datos extraídos/submuestreados como se describe anteriormente; (e) un resumen del uso de la batería, el estado de cada paquete de baterías y recordatorios para reemplazar las baterías; (f) un conjunto de herramientas de gestión con consultas específicas de procesamiento de datos y una interfaz con herramientas externas de modelado y análisis.
2. El módulo adicional de memoria y comunicaciones 45 es un microservidor que proporciona una interfaz perfecta cuando se conecta con dispositivos de PC externos, como ordenadores portátiles/PC/tabletas. De esta manera, se puede acceder a los datos sin procesar y estratificados almacenados en el módulo adicional de memoria/comunicaciones, incluidos los eventos transitorios extraídos, sin necesidad de instalar software especializado en el PC host. La gestión de datos también es independiente del sistema operativo utilizado (por ejemplo, Windows, Linux, Mac OS) y las especificaciones de hardware del PC. La interfaz basada en la web comparte una GUI similar a la del esquema de la interfaz web en la Opción 1. La GUI permite descargar datos al PC host. Sin embargo, los usuarios no necesitan descargar datos para ver los datos adquiridos y navegar por eventos y secciones específicos de la señal.

- [0079]** Además, la presente disposición incluye procedimientos y tecnologías para acceder, descargar y procesar datos adquiridos de instalaciones de sensores temporales sin acceso inalámbrico a datos o en los casos en que se requiere el conjunto de datos completo para ajustar los algoritmos integrados. Estos se muestran en la Figura 13 y se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Un técnico visita un sitio donde se implementa un dispositivo 10. El algoritmo de evento transitorio integrado ha detectado un evento extremo o una serie de eventos que activan un LED rojo (como parte del sistema de advertencia de semáforo) visible a través de una sección transparente del módulo de memoria/comunicaciones 45.

El técnico reemplaza el módulo de memoria 45 con un nuevo módulo, minimizando así las interrupciones en la configuración de la instalación de sensores y el tiempo de inactividad para el procedimiento de adquisición de datos.

2. Los datos se pueden inspeccionar y visualizar en el sitio (por ejemplo, en un entorno protegido, como un vehículo de servicio en lugar de al aire libre) conectando el módulo de memoria/comunicaciones 45 a un portátil/tableta resistente. La conexión se realiza a través de un cable o un módulo adicional WiFi 802.11 que se puede conectar al módulo de memoria/comunicaciones 45. También se prevé conectar el módulo de memoria al CI y tener ese host un micro servidor (en lugar de tener el micro servidor en el propio módulo de memoria) al que un ordenador portátil pueda conectarse por cable (por ejemplo, Ethernet/USB) o de forma inalámbrica (por ejemplo, WiFi/Bluetooth). No se requiere ningún software especializado para acceder, visualizar o navegar por los datos en el módulo de memoria 45; esto se ve facilitado por el modelo de almacenamiento estratificado descrito anteriormente.

3. El técnico también puede llevar el módulo de memoria/comunicaciones 45 a una oficina con acceso a redes de datos de alta velocidad (por ejemplo, ADSL, banda ancha de fibra óptica) o utilizar servicios inalámbricos de alta velocidad como 4G. El módulo de memoria/comunicación 45 está conectado al controlador de implementación que se utiliza para enviar los datos a servicios en la nube diseñados a medida para el almacenamiento de datos en la nube, el procesamiento de eventos y la navegación de datos

[Marcas de tiempo Modificación de deriva del reloj; Corrección del reloj en tiempo de ejecución]

[0080] Se proporciona una sincronización de tiempo precisa y estable de los dispositivos 10 que forman el sistema para analizar continuamente el estado casi estable y las condiciones hidráulicas transitorias en el sistema de suministro de agua. Con referencia a la Figura 2, el dispositivo 10 incluye un módulo de reloj 90. Esto proporcionó al presente sistema una solución de sincronización de tiempo para el monitoreo de alta frecuencia distribuida. El módulo de reloj 90 incorpora un receptor de señal de tiempo de radio, un oscilador y algoritmos de procesamiento de señal integrados que mantienen una precisión de sincronización de tiempo de hasta 5 ms entre dispositivos de detección distribuidos.

[0081] Con referencia a la Figura 14, al utilizar una fuente de tiempo fuera de banda, se logra un servicio de sincronización de tiempo escalable, independiente de la topología y convergente rápido, que admite redes de sensores dispersas de área amplia. Con referencia continua a la Figura 14, el presente sistema de monitoreo y control distribuido implementa un reloj en tiempo real (RTR) para las funciones de cronometraje. Los RTR comúnmente integran un oscilador de cristal de baja energía que utiliza la resonancia mecánica de un cristal vibrante de material piezoeléctrico para crear una señal eléctrica con una frecuencia precisa (por ejemplo, 32,768 kHz). Los efectos ambientales, como la temperatura, las variaciones de la fuente de alimentación y otros factores que son típicos en entornos industriales hostiles, causan inestabilidades en la frecuencia y el período de tiempo (por ejemplo, deriva y sesgo) (Figura 14). El rendimiento del reloj se mide en partes por millón (ppm). Los osciladores de cristal de baja energía (XO) comúnmente utilizados en sistemas de detección distribuidos con restricción de energía tienen una estabilidad de frecuencia en el intervalo de 10 ppm a 100 ppm. Desarrollos recientes en osciladores compensados por temperatura de baja energía (TCXO) proporcionan una estabilidad mejorada de 0,1ppm a 10ppm (Kyocera 2011; Rakon 2011; SiTime 2011). La estabilidad de un XO puede resultar en un error de tiempo de 860 ms a 8,6 s durante un período 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 a 0,05ppm) solo se puede lograr mediante el uso de una señal externa para proporcionar una referencia de tiempo y frecuencia confiable para disciplinar el oscilador local.

[0082] Con el fin de proporcionar la precisión y exactitud de tiempo necesarias, el módulo de reloj 90 en cada uno de los dispositivos 10 del presente sistema se sincroniza con TUC (Tiempo Universal Coordinado), que es una escala de tiempo global. El uso de transmisiones de señales de radio para disciplinar los osciladores de cristal integrados a TUC se reconoce como una solución potencial para controlar la deriva del reloj. Sin embargo, existen desafíos significativos con respecto a la aplicación de esta estrategia al procedimiento de la presente realización de muestreo de presión de alta velocidad. Los principales desafíos para la sincronización temporal del aparato descrito para el muestreo continuo de alta velocidad son:

- Sincronización de tiempo precisa y robusta dentro de +/- 5 ms (0.05ppm) entre dispositivos distribuidos 10 sin comunicación directa entre ellos (con referencia a TUC);
- Instalación en condiciones subterráneas (por ejemplo, pozos de inspección, cámaras de inspección, hidrantes contra incendios y cámaras de lavado) sin línea de visión directa y entorno de propagación de radio complejo. Esto impide el uso de GPS en la mayoría de las ubicaciones de instalación.
- Calidad de señal variable y jitter de la señal de tiempo/frecuencia de radio externa dentro del entorno operativo descrito.
- Bajo consumo de energía que se logra minimizando el número de conexiones a la señal de referencia externa de tiempo/frecuencia. En consecuencia, se requieren periodos de retención más largos con la opción de controlar adaptativamente estos periodos para que se garantice el umbral de 5ms.

[0083] El sesgo de un oscilador de cristal local variará y podría superar rápidamente el umbral de 5 ms. Por ejemplo, un TCXO de buena calidad con una precisión de 2 ppm en el intervalo de 0 °C a 40 °C podría superar los +/- 5 ms en 1-2 horas. Para minimizar el consumo de energía, la sincronización de tiempo con la fuente externa de tiempo/frecuencia no debe exceder una sesión cada 24 horas. Este es el equivalente a un oscilador de cristal con una precisión mínima de 0,05ppm y superior. Si bien existen tales dispositivos, el consumo de energía es significativamente mayor, lo que limita su uso para la aplicación descrita.

[0084] Además de extender los períodos de retención de funcionamiento de un oscilador de cristal, un desafío significativo es decodificar la señal de referencia de tiempo dentro de un entorno operativo que afecta la calidad de la señal de radio recibida. La latencia acumulada debido al procesamiento de la señal transmitida y el retardo de propagación de radio combinados con el jitter pueden introducir compensaciones significativas en el tiempo recibido. Con referencia a la Figura 15, estas incluyen:

- Latencia del transmisor ~ 1 ms
- 15 • Propagación de la señal y tiempo de procesamiento del receptor ~ 10-100 ms
- Jitter ~ 5-10ms

[0085] La disposición de la presente realización proporciona:

- 20 • Un procedimiento para estimar la latencia de cada dispositivo de medición durante su implementación utilizando el Controlador de Implementación, como se muestra en la Figura 16;
- Un procedimiento para estimar y minimizar el jitter, como se muestra en la Figura 17.
- Un procedimiento para recibir/decodificar una referencia de tiempo precisa sin la necesidad de descomponer la señal de código de referencia de fecha y hora completa, también como se muestra en la Figura 17.
- 25 • Un procedimiento para extender el período de retención y mejorar el rendimiento del oscilador de cristal, como se muestra en la Figura 18.
- Un procedimiento para cambiar de forma adaptativa los intervalos de sincronización de tiempo (períodos de retención) para garantizar que se mantenga un umbral de precisión definido a medida (por ejemplo, 5 ms), también como se muestra en la Figura 18.

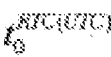
[0086] El módulo de reloj 90 de cada dispositivo 10 está dispuesto y puede funcionar para llevar a cabo las etapas de estos procedimientos.

[0087] El procedimiento de la Figura 15 a 18 se describirá ahora con más detalle.

[0088] La sincronización horaria de los RTR (relojes en tiempo real) en los dispositivos distribuidos incluye el uso de un tiempo común (Tiempo Universal Coordinado (TUC)) que alinea los desplazamientos entre los relojes y proporciona comprobaciones periódicas para mantener y corregir la velocidad a la que funcionan los osciladores integrados. Los dispositivos no tienen comunicación directa entre sí y, en consecuencia, los procedimientos de intercambio de mensajes de radio para sincronizar el tiempo no son aplicables. El Tiempo Universal Coordinado (TUC) es el estándar de tiempo principal por el cual se regulan los relojes y la hora. Un RTR se caracteriza por su *tiempo* (Figura 14), *desplazamiento* (la diferencia en el tiempo informada por un reloj de un dispositivo distribuido en relación con la hora de referencia/TUC), *frecuencia* (la velocidad a la que avanza el reloj), *sesgo* (la diferencia en frecuencias entre un reloj y la hora de referencia/TUC; por ejemplo, un oscilador estable tiene un sesgo constante) y *deriva* (definida por el cambio en el sesgo).

[0089] El funcionamiento de los relojes RTR utilizados por los dispositivos distribuidos y la precisión horaria resultante pueden experimentar variaciones significativas. La no linealidad y el ruido de fase se combinan con las fluctuaciones térmicas y de tensión de alimentación, y el envejecimiento del oscilador de cristal. Como resultado, la deriva de cada RTR difiere y se rige por el desplazamiento inicial del reloj, el sesgo instantáneo del reloj y el ruido aditivo de observación y medición. Las incertidumbres en estos componentes deben cuantificarse y minimizarse con precisión, ya que son específicas del dispositivo y del sitio y también varían en el tiempo, Figura 14.

[0090] Las incertidumbres asociadas con la señal de referencia de tiempo y frecuencia que se utiliza periódicamente para recibir el tiempo real (tiempo TUC) se muestran en la Figura 15. Se pueden utilizar señales de referencia de tiempo de varios transmisores nacionales, por ejemplo, MSF en el Reino Unido, DCF77 en Alemania y WWVB en los EE. UU. (por ejemplo, códigos de tiempo modulados en amplitud/fase utilizados para la transmisión de datos de tiempo precisos a través de señales de RF). La realización actual utiliza un receptor multibanda (Reino Unido (MSF), Europa /Alemania (DCF), EE.UU. (WWVB) y JAPÓN (JJY)). El análisis presentado se basa en los datos recibidos de MSF (Reino Unido). El bit es aplicable a los otros sistemas de radiodifusión horaria enumerados. La Figura

15 muestra que una referencia de tiempo global (TUC)  se recibe en  lugar de . Los requisitos de la solicitud definen que el error de sincronización de tiempo no debe exceder los 5 ms (

$$\delta = \text{diff}\{t_0^{UTC} - t_0^{REC(UTC)}\} < 5ms$$

); sin embargo, las extensas mediciones realizadas por los presentes inventores muestran que el retraso total en la recepción de una señal de referencia de tiempo (

$$\theta_0^{TD} \approx \text{diff}\{t_0^{UTC} - t_0^{RD}\} \approx 20ms \square 350ms$$

) varía entre 20 ms y 350 ms. Si bien esto está dentro de los límites de 1s que requieren la mayoría de los relojes controlados por radio, es un orden de magnitud mayor que la precisión de sincronización de tiempo requerida para analizar los eventos transitorios. La solución de sincronización de tiempo presentada debe satisfacer de manera confiable los límites de error de sincronización de tiempo especificados, que también se pueden definir por el usuario tras el implementación, evaluando sistemáticamente y minimizando de manera autónoma las incertidumbres asociadas con: (i) las características y la precisión de la señal

de referencia de tiempo emitida (t^{TR}), el retardo de propagación y la latencia (t^{LT}), el jitter (t_0^{JR}), la duración (y la precisión) de la decodificación de la señal de referencia de tiempo (t^{PD}); y, el modelado del comportamiento y compensación del sesgo del oscilador de cristal de cuarzo local entre sincronizaciones. Esto se realiza utilizando un término de corrección estimado periódicamente de modo que el desplazamiento de tiempo dentro del período de

$$\text{retención} \left(t_{es}^{RD} \right) \text{ esté dentro de } 5 \text{ ms } \left(\text{diff}\{t_1^{UTC} - t_1^{REC(TCXO)}\} < 5ms \right)$$

e idealmente cerca del límite superior de la sincronización de tiempo (por ejemplo, 5 ms). El objetivo principal es minimizar el consumo de energía maximizando el período de retención mientras se mantiene la precisión de sincronización de tiempo requerida entre los dispositivos distribuidos. Un término de corrección K para el desplazamiento se define como

$$K = t_{es}^{RD} = \text{diff}\{t_1^{REC(TCXO)} - t_1^{REC(UTC)}\}$$

que es la diferencia entre el tiempo estimado y

el tiempo TUC recibido $t_1^{REC(UTC)}$.

20 [0091] Realizaciones incluyen procedimientos y algoritmos para definir de forma fiable el retraso θ_0^{EstD} estimado en condiciones ambientales y operativas variables; como $\theta_0^{EstD} = \{t^{TR} + t^{LT} + t^{PD}\} + t_0^{JR}$. En esta

estimación, el retraso agregado definido por $\{t^{TR} + t^{LT} + t^{PD}\} = \text{Const}^{Cal}$ es aproximadamente constante y se calibra en el sitio como parte de la configuración de implementación utilizando el procedimiento descrito en la Figura 16. El jitter mide la varianza entre los segundos marcadores de tiempo modulados sucesivos, lo que puede reducir

25 significativamente la precisión de la sincronización de tiempo. El error de tiempo asociado con el jitter t_0^{JR} varía con las condiciones ambientales que afectan la comunicación y debe minimizarse para cada evento de sincronización; el

procedimiento para minimizar t_0^{JR} se muestra en la Figura 17.

[0092] Es deseable que un RTR pueda mantener un tiempo preciso o "de retención" entre eventos de sincronización de tiempo. Cuanto más largo sea el intervalo de retención, menor será el consumo de energía para mantener una sincronización de tiempo precisa. Por otro lado, el intervalo de retención está limitado por el error máximo en la sincronización temporal definido por los requisitos de la aplicación para analizar la propagación de los eventos transitorios; esto depende de la deriva y el sesgo del oscilador de cristal y de las condiciones ambientales (por ejemplo, la temperatura) durante un período de tiempo relativamente corto, por ejemplo, de horas a días. La Figura 18 describe un procedimiento para extender el período de retención y mejorar el rendimiento del oscilador de cristal. En la realización actual, se utiliza un oscilador de cristal con compensación de temperatura, TCXO, como compensación entre la precisión y el bajo consumo de energía. La capacidad de retención del procedimiento descrito puede variar de varias horas a varios días, mejorando así significativamente el rendimiento de un TCXO (por ejemplo, de 2 ppm a 0,05ppm).

40 [0093] El procedimiento de estimación de la latencia Const^{Cal} se muestra en la Figura 16. Este procedimiento se lleva a cabo durante la implementación de los dispositivos e incluye: (i) recibir y registrar los segundos marcadores de tiempo dentro de la señal de transmisión de tiempo modulada en amplitud durante un período mínimo de 2 minutos (mínimo 120 segundos marcadores de tiempo consecutivos), o un período medio de 10 minutos por el receptor del dispositivo (registrador); (ii) recibir la señal GPS PPS (pulso por segundo) por el receptor GPS integrado en el

Controlador de implementación (la señal 1PPS GPS tiene una precisión de 1 microsegundo) y comunicar la señal GPS PPS al dispositivo a través de un enlace cableado o inalámbrico; (iii) calcular la diferencia entre la señal GPS PPS y la señal de transmisión de tiempo $\text{diff}\{GPS_{PPS} - \text{Tiempo}_{TB}\}$ para marcadores de segundo de tiempo consecutivos o cumulativos. A continuación, se aplican medidas estadísticas y técnicas de filtrado para definir la latencia estimada y

5 caracterizar el jitter inicial. Durante la etapa de implementación, el usuario también puede definir el error de precisión de tiempo máximo (por ejemplo, +/-5 ms para el análisis de eventos transitorios). El tiempo RTR inicial (DD.MM.AAAA HH:MM:SS) se configura utilizando el GPS PPS; este procedimiento no requiere la decodificación de la señal de transmisión de tiempo.

- 10 **[0094]** El procedimiento para minimizar el jitter se describe en la Figura 17. El receptor de radio está alimentado para adquirir un conjunto de marcadores de segundos de tiempo de la señal de transmisión de tiempo modulada en amplitud. El intervalo de tiempo entre los marcadores de segundos de tiempo debe ser exactamente de 1 s. El oscilador local que tiene una alta estabilidad durante cortos períodos de tiempo (por ejemplo, minutos) se usa para medir los

$$1 - \mu < \text{diff}\{t_{i+1}^{RD} - t_i^{RD}\} < 1 + \mu$$

intervalos de tiempo entre marcadores de tiempo consecutivos, donde μ es

- 15 un umbral empírico. La estabilidad de frecuencia del oscilador de cristal integrado durante cortos períodos de tiempo se estima durante la etapa de implementación y se describe mediante la varianza de Allan. Los datos experimentales adquiridos por los inventores actuales muestran que el jitter normalmente sigue una distribución gaussiana. El procedimiento termina una vez que se recibe un conjunto de marcadores de tiempo. El procedimiento también termina si excede un período de tiempo de espera (por ejemplo, 360 segundos) sin adquirir con éxito un conjunto de segundos
- 20 marcadores de tiempo consecutivos; en tales casos, el procedimiento se repite en un intervalo predefinido (por ejemplo, 60 minutos). La razón del período de tiempo de espera es que pueden surgir problemas de comunicación ocasionales, por ejemplo, un vehículo estacionado sobre una tapa de alcantarilla. Según

$$1 - \mu < \text{diff}\{t_{i+1}^{RD} - t_i^{RD}\} < 1 + \mu$$

- , se calcula un valor promedio para t_i^{RD} . Este procedimiento tiene ventajas
- significativas sobre la estrategia tradicional de decodificación de la señal de difusión de tiempo en cada instancia de
- 25 sincronización de tiempo. El procedimiento procesa con éxito señales débiles. Las señales débiles pueden resultar en omisiones frecuentes de segundos marcadores de tiempo, extendiendo así significativamente el procedimiento de decodificación de tiempo y el consumo de energía.

- [0095]** El procedimiento para extender el período de retención y mejorar el rendimiento del oscilador de cristal se presenta en la Figura 18. En esta realización se utiliza un oscilador de cristal con compensación de temperatura. El TCXO utiliza un modelo de temperatura para compensar la deriva en la señal del oscilador en un intervalo de
- 30 temperaturas. Este modelo es preciso dentro de 2 ppm. El rendimiento de un oscilador de cristal (por ejemplo, TCXO) se puede mejorar significativamente si el modelo de temperatura a priori se calibra y ajusta para el oscilador individual. Este es un procedimiento caro y que requiere mucho tiempo. La invención actualiza el modelo de temperatura basado
- 35 en el rendimiento individual del oscilador y sus condiciones operativas (por ejemplo, las variaciones de temperatura dentro de la carcasa del dispositivo colocado en una cámara subterránea no variarán significativamente). Las mediciones de deriva de error real adquiridas a partir de la sincronización de tiempo periódica se utilizan para ajustar con precisión el modelo de temperatura. De esta manera, se puede lograr un rendimiento mejorado de ~ 0,05ppm. El procedimiento incluye una etapa de aprendizaje inicial durante la cual se lleva a cabo una sincronización de tiempo
- 40 más frecuente (por ejemplo, cada 3 horas durante las primeras 24 horas). El dispositivo también tiene un sensor de temperatura de alta precisión ubicado muy cerca del oscilador de cristal; la temperatura se mide una vez cada 5 minutos. El desplazamiento medido, el sesgo calculado y las temperaturas medidas se utilizan 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 polinómica o un conjunto de funciones afines. A medida que hay más datos disponibles, el
- 45 procedimiento actualiza estas correlaciones y autoajusta sus valores. Por ejemplo, si el desplazamiento medido está dentro de los límites máximos y la temperatura medida está dentro del F-T conocido: Relación Frecuencia-Temperatura, a continuación aumentar el período remanente (por ejemplo, 3 horas → 6 horas... → 24 horas). Si la temperatura o los gradientes de temperatura medidos están fuera del intervalo de relaciones conocidas, a continuación se lleva a cabo una sincronización de tiempo más frecuente para extender la relación F-T. También puede haber
- 50 caso donde el valor de desplazamiento exceda el límite de error máximo de +/-5 ms para relaciones ya conocidas; en este caso, los datos adquiridos (por ejemplo, presión) se marcan de modo que la sincronización de tiempo no se pueda garantizar durante el último período de retención y se establece una sincronización de tiempo más frecuente para actualizar las relaciones F-T. Este procedimiento garantiza que el procedimiento de sincronización de tiempo sea autónomo y autoajutable mediante el control adaptativo de los períodos entre la sincronización de tiempo para
- 55 optimizar el consumo de energía y la precisión requerida.

[Diseño mecánico]

- [0096]** Los dispositivos 10 tienen un diseño modular, con un módulo de procesador principal separado 46, un
- 60 módulo de batería 47 y un módulo de memoria 45 como se muestra en la Figura 11.

[0097] El módulo de batería 47 puede reemplazarse por un módulo convertidor de energía (que no se muestra) para permitir que el dispositivo 10 funcione desde cualquier fuente de energía fija arbitraria (o una cosechadora de energía, como una microturbina). Las baterías dentro del módulo de batería 47 son fácilmente reemplazadas por el usuario final (esta es una funcionalidad que los registradores existentes no proporcionan). Registradores de datos
5 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 para el usuario final. La presente realización proporciona una carcasa IP68 (clasificación de protección de entrada muy alta) que un usuario final podría abrir fácilmente para reemplazar las baterías.

10 **[0098]** Los dispositivos 10 tienen un módulo de memoria externo (extraíble) 45. Se proporcionan LED en el módulo de memoria 45 para indicar el estado del sistema, lo que permite a un técnico ver si es necesario o no reemplazar el módulo. Esta estrategia también minimiza la instalación de indicadores adicionales en el módulo del procesador principal 46, minimizando así el riesgo de entrada de agua y fallas.

15 **[0099]** Tanto el módulo de memoria 45 como el módulo de batería 47 se llenan de aire y se presurizan durante la producción y la instalación. Esto reduce la posibilidad de entrada de agua. También evita que las unidades se sumerjan bajo el agua en cámaras inundadas. Durante la configuración de implementación, se mide y verifica la presión en las carcasas separadas para certificar una operación segura (el protocolo de verificación de seguridad y equipo). La información se muestra al operador a través del controlador de implementación y también se envía al
20 servidor central.

[0100] Los diversos módulos pueden reemplazarse por otras unidades para actualizar las funcionalidades críticas, como las opciones de comunicación para el dispositivo 10, la capacidad de almacenamiento, la interfaz de los sensores sin reemplazar el hardware del dispositivo principal. Por ejemplo, se podría usar un módulo de memoria 45
25 que contenga un módem GPRS para agregar capacidades de comunicación a un dispositivo que carezca de ellas, que a continuación se puede actualizar a LTE a una fracción del costo en comparación con el reemplazo del dispositivo completo 10. Esta es una ventaja comercial importante para extender el ciclo de vida de los dispositivos 10 y sus funcionalidades.

30 [Predicción del ciclo de vida de la Batería]

[0101] Los "Sistemas de batería inteligente" existentes consisten en una celda recargable combinada con un controlador digital de algún tipo que monitorea el uso de la batería y presenta una indicación de "Estado de carga" (EdC) al sistema que está siendo alimentado por la batería. El controlador de la batería mide el voltaje de la batería y
35 la entrada/salida de carga durante múltiples ciclos de descarga/recarga y utiliza esta información para calibrarse.

[0102] Sin embargo, los registradores de datos suelen usar baterías desechables para obtener densidades de energía mucho más altas y velocidades de autodescarga más bajas (la tendencia de las baterías a perder carga espontáneamente con el tiempo). Si bien un chip de monitoreo de batería (un chip de "indicador de gas", por ejemplo,
40 Texas Instruments BQ27000) puede monitorear con precisión la energía suministrada por una batería durante su vida útil, esto solo es útil si se conoce la cantidad inicial de energía almacenada en la batería. La cantidad de energía que una batería desechable puede suministrar durante su vida útil depende en gran medida del drenaje de corriente, por lo que, a menos que el sistema se suministre con un solo tipo de batería, o el usuario esté dispuesto a transcribir los gráficos de drenaje de la batería, la cantidad de energía que una batería ya ha suministrado no es un indicador útil de
45 la vida útil restante. El voltaje de salida de las baterías de litio, la química predominante de las baterías del registrador, es casi constante durante la mayor parte de su vida útil, por lo que esto tampoco se puede usar como una indicación de la vida útil restante (también variará con la temperatura del sistema).

[0103] Los módulos de batería 47 del dispositivo de la presente realización contienen un pequeño chip de memoria que, además de proporcionar una ID única para su uso en el seguimiento de activos, puede ser leído y escrito por el microprocesador 30 del dispositivo 10 durante el funcionamiento normal. Los módulos de batería 47 están diseñados para que el usuario pueda reemplazar las baterías por sí mismo. Después de un reemplazo de la batería, el usuario coloca el módulo de batería 47 en comunicación con el servidor central 200 (a través de una "unidad de carga" o "controlador de implementación") que registra la hora y la fecha de reemplazo de la batería en el chip de
55 memoria de la batería y restablece su recuento del número de días que ha estado funcionando a cero. Simultáneamente, el usuario le dice al servidor central 200 la marca/modelo de batería que ha insertado en el módulo 47 y esta información se asocia con el número de identificación del módulo de batería hasta el momento del siguiente cambio de batería.

60 **[0104]** Cuando se inicia el dispositivo 10, escribirá la ID de la batería en su archivo de registro para que los datos que se carguen tengan una ID de batería asociada. Durante el funcionamiento, 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 solo está limitado por la resistencia de escritura del chip EEPROM del módulo de memoria, por ejemplo, con una resistencia de 50k ciclos, el chip durará 11 años con una actualización del contador de 2 horas). El consumo de energía
65 de un dispositivo 10 durante un solo día generalmente será aproximadamente constante, por lo que es válido basar la

vida útil de la batería en una simple medida del tiempo de ejecución.

[0105] Los dispositivos 10 tienen múltiples protecciones para que puedan apagarse limpiamente cuando una batería se agota y registrarán la duración de la batería en su archivo de datos cuando esto suceda. Por lo tanto, cuando se cargan los datos, el servidor central 200 podrá construir una tabla de marcas/modelos de baterías y tiempos de vida correctos conocidos. Estos datos pueden ponerse a disposición de los controladores de implementación o simplemente presentarse al usuario manualmente.

[0106] Cuando un usuario despliega un dispositivo 10 en el campo, el registrador puede leer el contador de duración de la batería del módulo de batería 47 y comunicarlo al controlador de implementación del usuario, que puede presentar esta información junto con un número previsto de días de vida útil.

[0107] Como se mencionó, el diseño mecánico de la carcasa de la batería 47 es IP68. Además, proporciona una sobrepresurización cuando se cierra en el intervalo de 0,2-1 bar por encima de la presión atmosférica. La carcasa de la batería incluye un sensor digital de presión del aire integrado (sensor digital de presión activa. MS5534C Measurement Specialties). Cuando la unidad del módulo principal 46 alimentada por la batería está en funcionamiento, la presión se mide periódicamente en la carcasa de la batería 47 y, si se detecta un cambio del 10 %, se activa una alarma y se comunica, opcionalmente, al servidor 200. Un procedimiento también puede apagar el dispositivo 10 durante un corto periodo de tiempo después de la alarma. El usuario puede configurar esta opción para una protección adicional contra la entrada de agua y una seguridad adicional. Durante la configuración de implementación, se mide y verifica la presión en las carcasas separadas para certificar una operación segura (el protocolo de verificación de seguridad y equipo). La información se muestra al operador a través del controlador de implementación y también se envía al servidor central.

25

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de monitoreo del flujo de líquido en un conducto mediante un dispositivo de monitoreo de flujo de líquido (10), comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - 5 recibir datos de forma sustancialmente continua desde un sensor (12), los datos indicativos del flujo de fluido en un conducto, y operar los medios de muestreo (20) del dispositivo (10) para muestrear los datos para producir una corriente de datos muestreados, donde los datos se muestrean a una alta frecuencia de entre 64 y 1024 muestras por segundo;
 - 10 procesar, usando medios de procesamiento del dispositivo (10), el flujo de datos muestreados para extraer información resumida y al menos un flujo submuestreado de la misma, 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 período de conjunto de datos respectivo;
 - 15 almacenar, utilizando medios de almacenamiento (40) del dispositivo (10), el al menos un flujo submuestreado; transmitir periódicamente, utilizando medios de comunicación (50) del dispositivo (10), la información resumida a una ubicación central remota del dispositivo (10); y al recibir una solicitud para una representación más completa del flujo de datos muestreados en o durante un tiempo especificado, transmitir uno o más de los conjuntos de datos correspondientes al tiempo especificado.
- 20 2. Un procedimiento según la reivindicación 1, donde el subconjunto estadístico comprendido en cada conjunto de datos del flujo submuestreado comprende el máximo y/o el mínimo y/o la media y/o la desviación estándar y/u otro valor estadístico de los datos durante el período respectivo del conjunto de datos.
3. Un procedimiento según la reivindicación 1, donde el al menos un flujo submuestreado comprende una
 - 25 representación más completa del flujo de datos muestreados durante un período particular que la proporcionada por la información resumida extraída durante ese período.
4. Un procedimiento según la reivindicación 1, donde la solicitud se recibe desde una ubicación central
 - 30 (200) remota del dispositivo (10) o desde un aparato de interrogación acoplado localmente con el dispositivo.
5. Un procedimiento según cualquier reivindicación anterior, 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
 - 35 subconjunto estadístico durante períodos de diferente longitud respectiva.
6. Un procedimiento según la reivindicación 5, donde la solicitud de una representación más completa es una solicitud de una porción respectiva de cada uno de una pluralidad de los flujos submuestreados, y donde el medio de comunicación (50), en respuesta a esta solicitud, transmite el o cada conjunto de datos en cada una de estas
 - 40 porciones.
7. Un procedimiento según cualquier reivindicación anterior, donde la o cada corriente submuestreada se almacena en un búfer circular.
8. Un procedimiento según cualquier reivindicación anterior, donde procesar el flujo de datos muestreados
 - 45 para extraer información resumida del mismo comprende 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 período de tiempo para dar una suma acumulativa, y comparar la suma con una probabilidad de que esa suma sea indicativa de un evento transitorio para determinar si se ha identificado o no un evento transitorio.
9. Un procedimiento según la reivindicación 8, donde el procesamiento del flujo de datos muestreados para
 - 50 identificar eventos transitorios y/o eventos no transitorios comprende procesar el flujo durante un período de tiempo continuo en el flujo.
10. Un procedimiento según la reivindicación 8 o 9, donde la suma se compara con un registro de la
 - 55 probabilidad de que esa suma sea indicativa de un evento transitorio, donde el registro es una función de distribución de probabilidad de la probabilidad de que la suma ocurra con respecto al valor de la suma.
11. Un procedimiento según cualquier reivindicación anterior, donde procesar el flujo de datos para extraer la información resumida de este puede comprender determinar la información estadística resumida del flujo de datos
 - 60 muestreados, donde la información estadística resumida forma al menos parte de la información resumida extraída; opcionalmente, la información estadística resumida que comprende uno o más valores máximos y/o mínimos y/o medios y/o de varianza y/o desviación estándar de la porción del flujo.
12. Un procedimiento según cualquier reivindicación anterior, donde el dispositivo (10) tiene múltiples
 - 65 canales de datos detectados y el procedimiento comprende que el dispositivo reciba datos respectivos de forma

sustancialmente continua desde cada uno de una pluralidad de sensores (12) indicativos de una variable respectiva detectada por cada sensor (12); los medios de muestreo muestrean los datos para producir un flujo respectivo de datos muestreados para cada una de las variables detectadas, de modo que cada flujo se maneja en paralelo sustancialmente de la misma manera.

5

13. El procedimiento según cualquier reivindicación anterior, donde los medios de muestreo (20) sellan cada punto de datos en el flujo de datos muestreados con un sello de tiempo correspondiente al tiempo donde se detectó el punto de datos.

10 14. Un dispositivo de monitoreo de flujo de líquido (10) dispuesto para controlar el flujo de líquido en un conducto, donde el dispositivo (10) comprende medios de muestreo (20), medios de procesamiento (30), medios de almacenamiento de datos (40) y medios de comunicación (50), donde:

15 los medios de muestreo (20) están dispuestos para recibir datos de forma sustancialmente 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 una corriente de datos muestreados, donde los datos se muestrean a una alta frecuencia de entre 64 y 1024 muestras por segundo;

20 el medio de procesamiento (30) está dispuesto para procesar el flujo de datos muestreados para extraer información resumida y al menos un flujo submuestreado del mismo, 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 período de conjunto de datos respectivo;

25 el medio de almacenamiento de datos (40) está dispuesto para almacenar el al menos un flujo submuestreado; y los medios de comunicación (50) están dispuestos para transmitir periódicamente la información resumida a una ubicación central remota del dispositivo y, al recibir una solicitud de una representación más completa del flujo de datos muestreados en o durante un tiempo especificado, están dispuestos para transmitir uno o más de los conjuntos de datos correspondientes al tiempo especificado.

15. Un dispositivo (10) según la reivindicación 14 y dispuesto para llevar a cabo el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

30

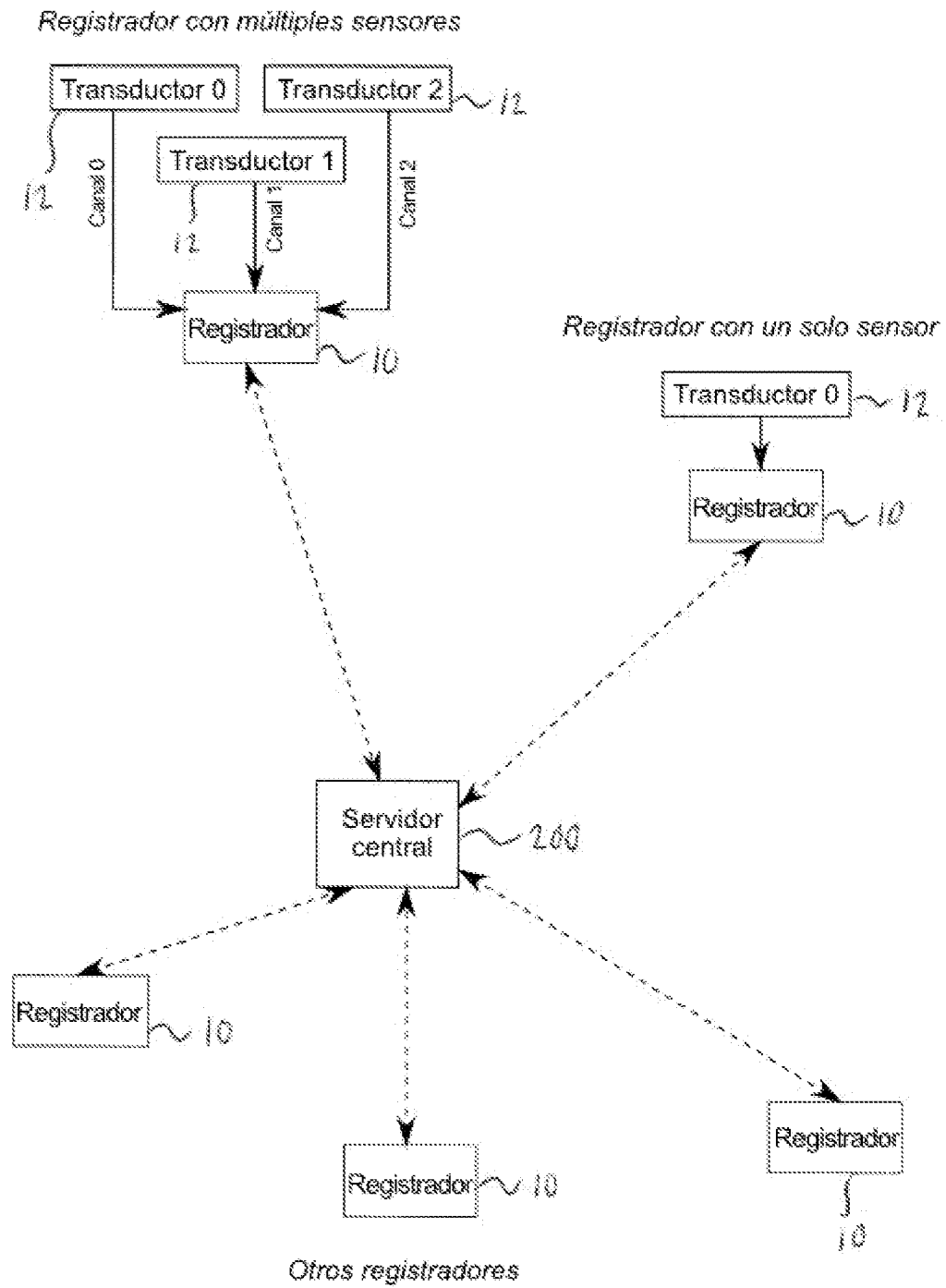


Fig. 1

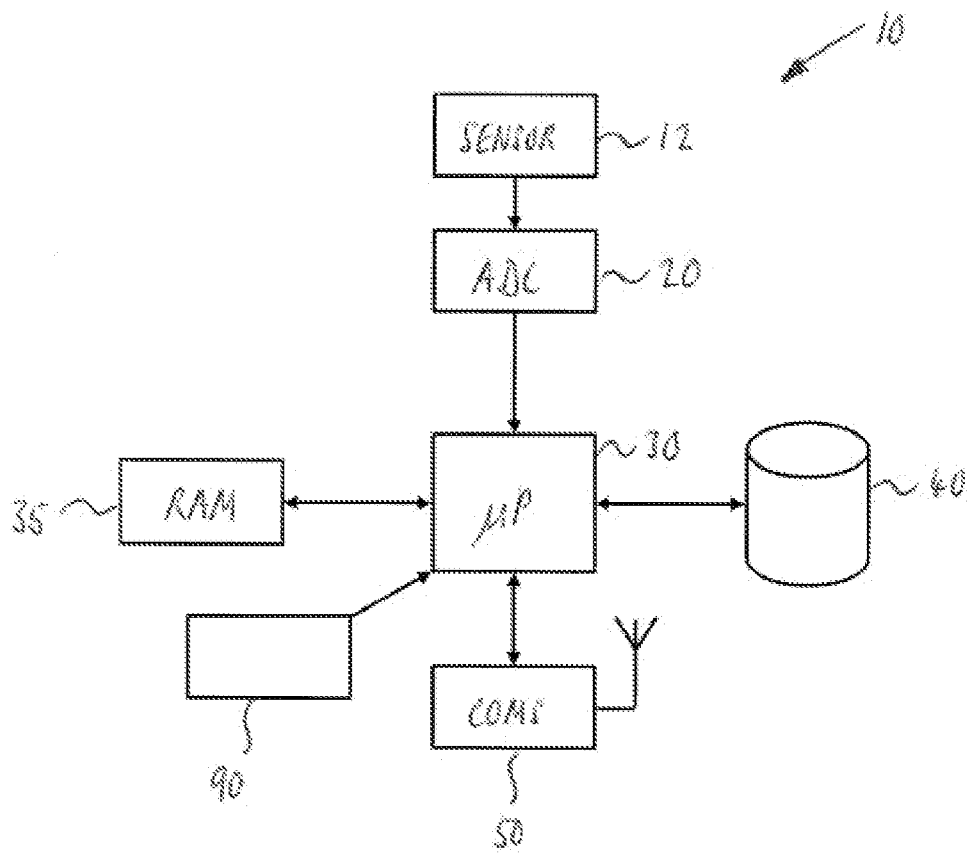


FIG. 2

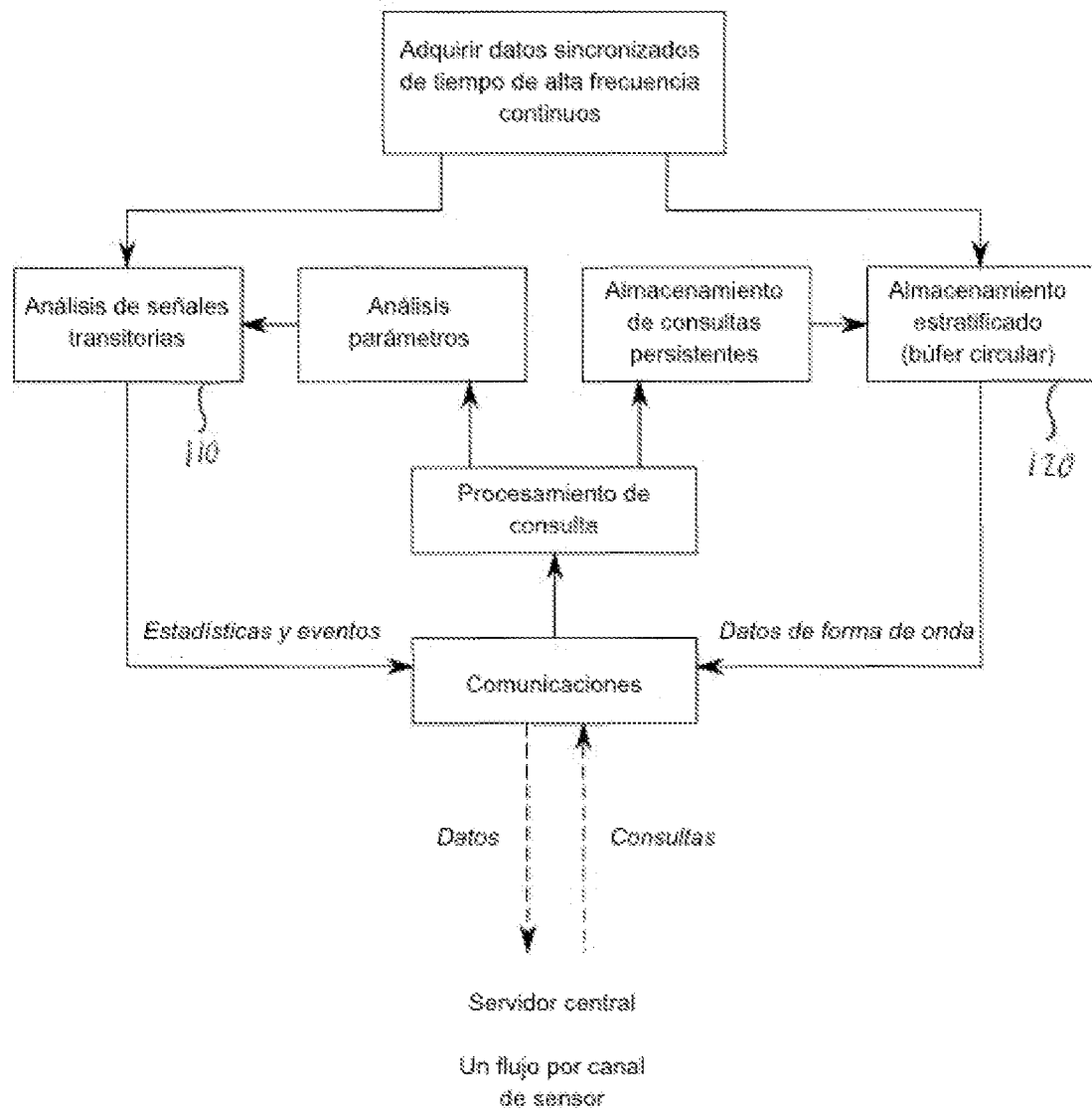


FIG. 3

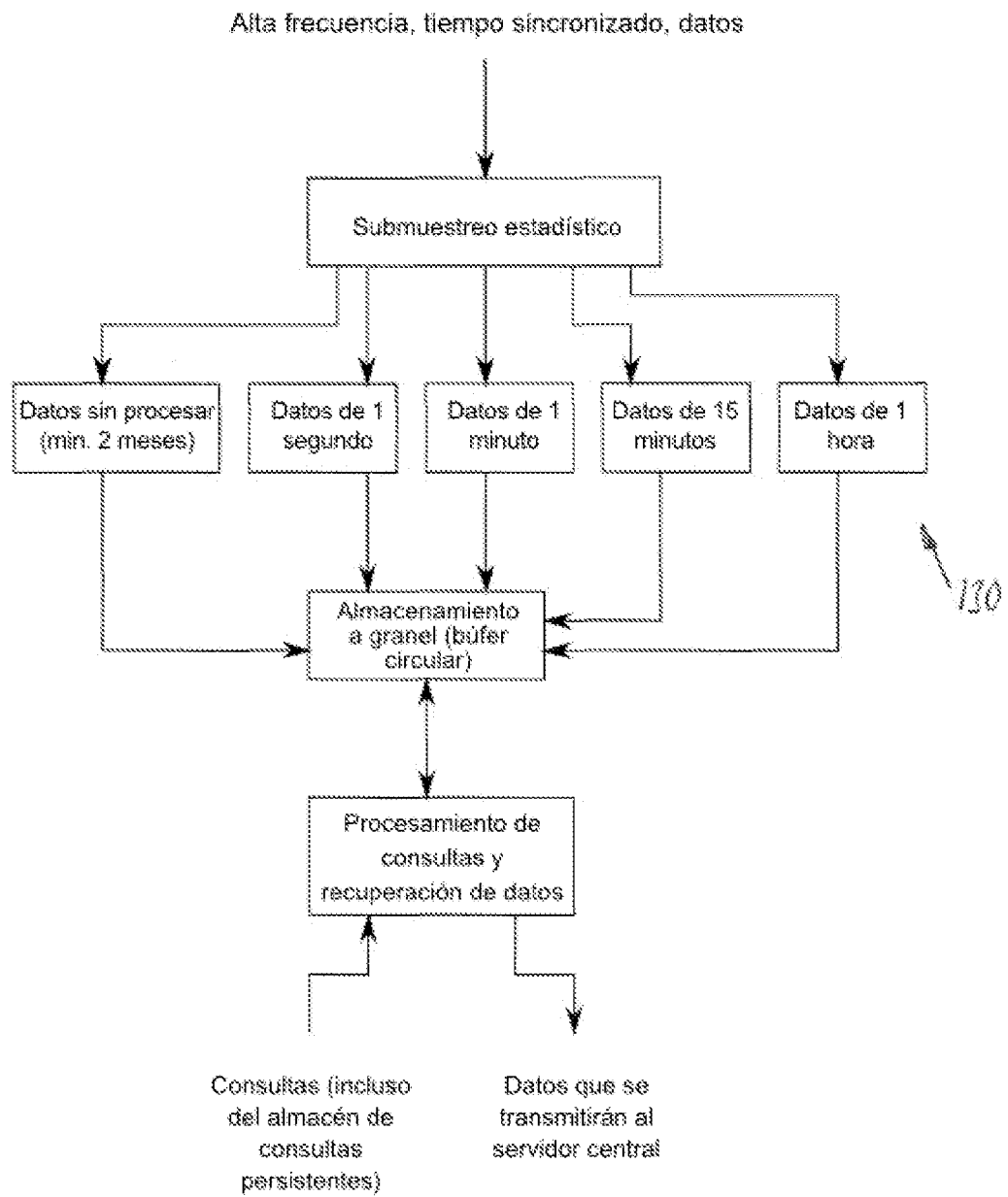
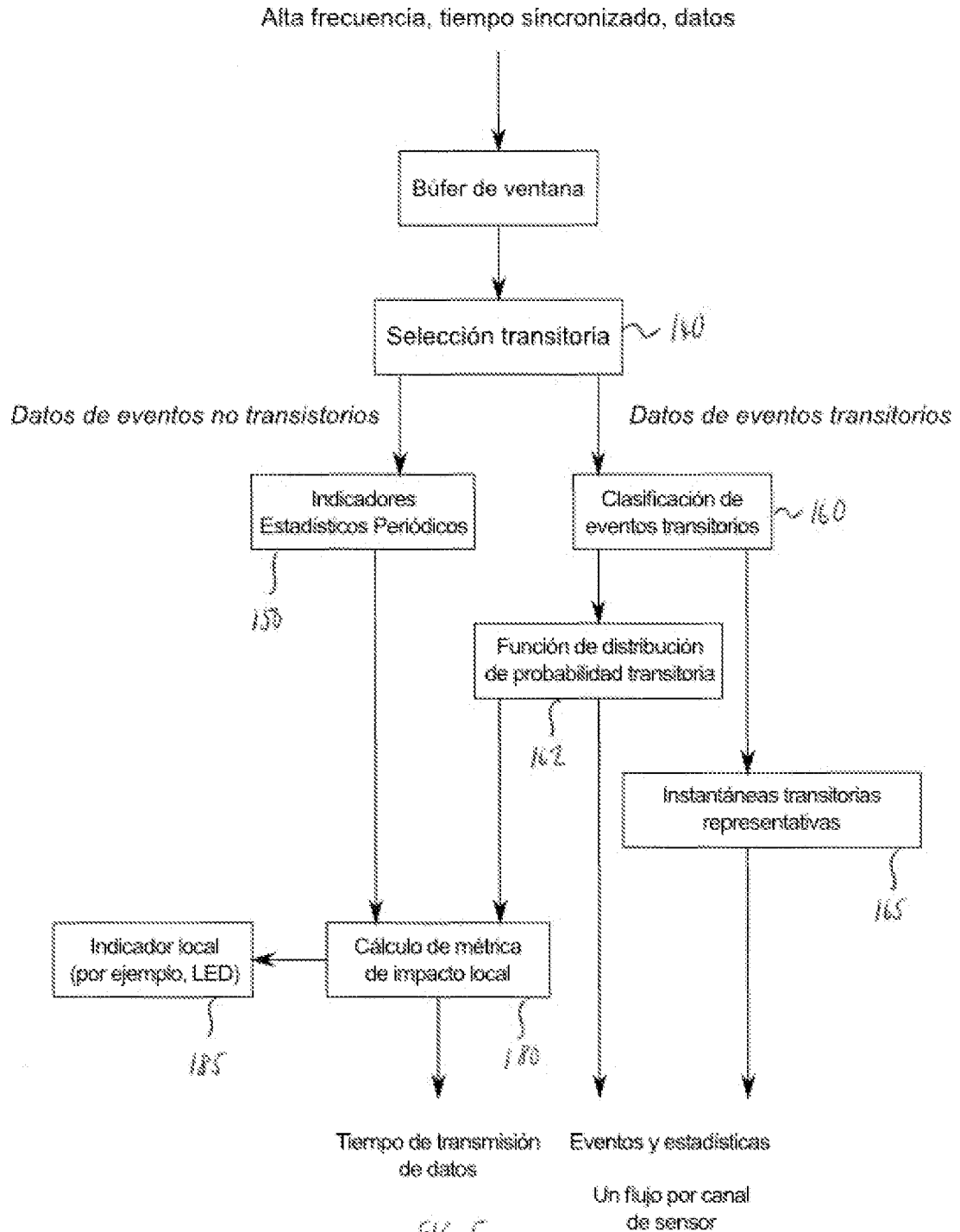


Fig. 4

(Flujo de datos de parámetros de análisis no se muestra para mayor claridad)



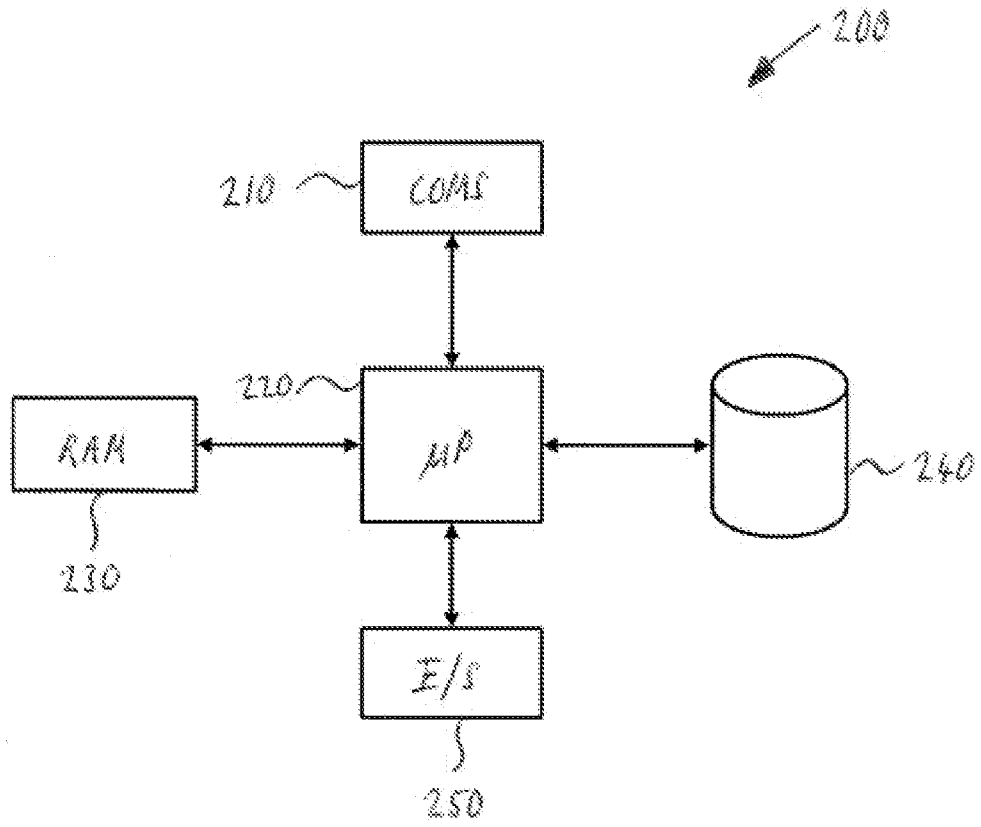


FIG. 6

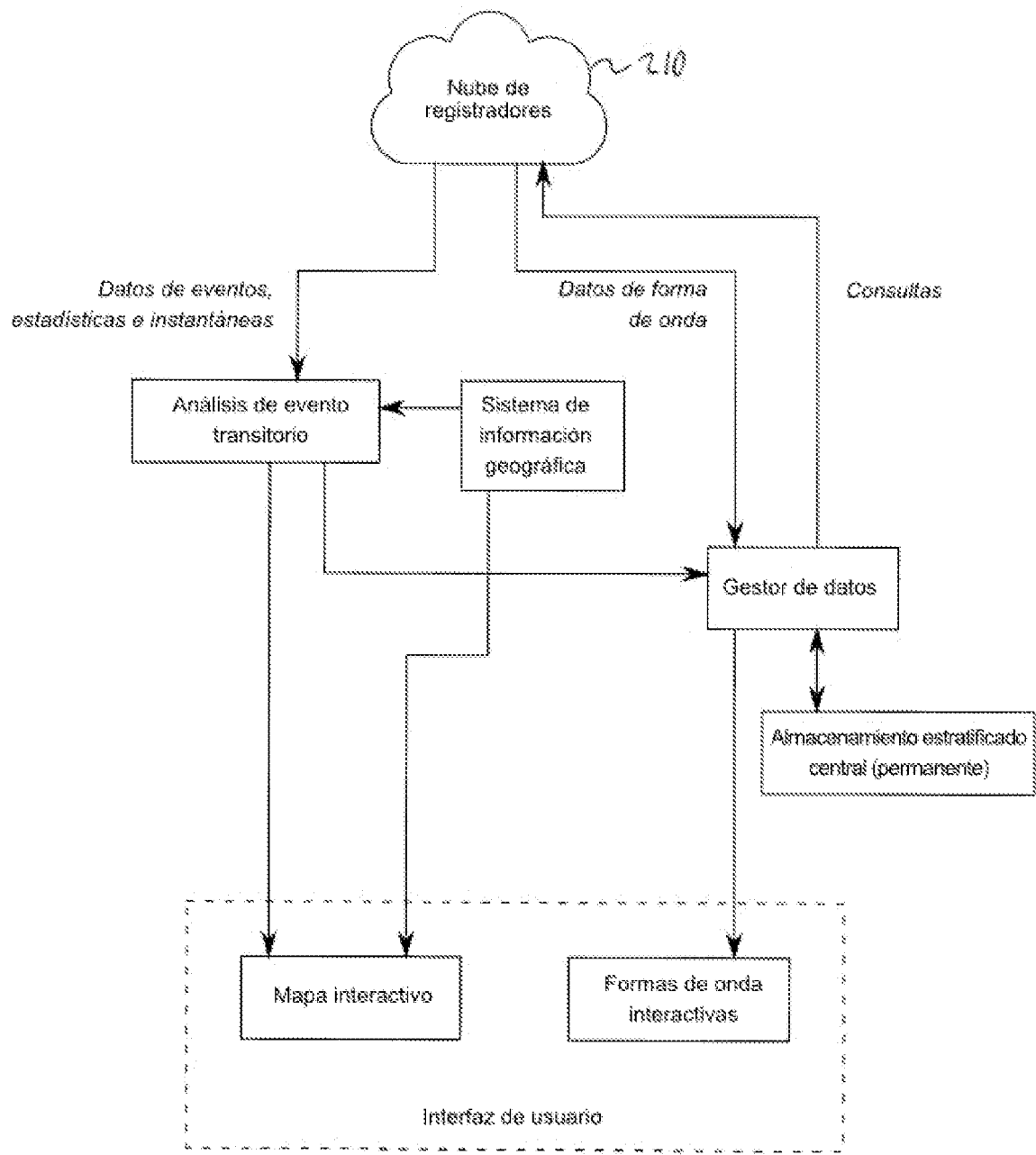


Fig. 7

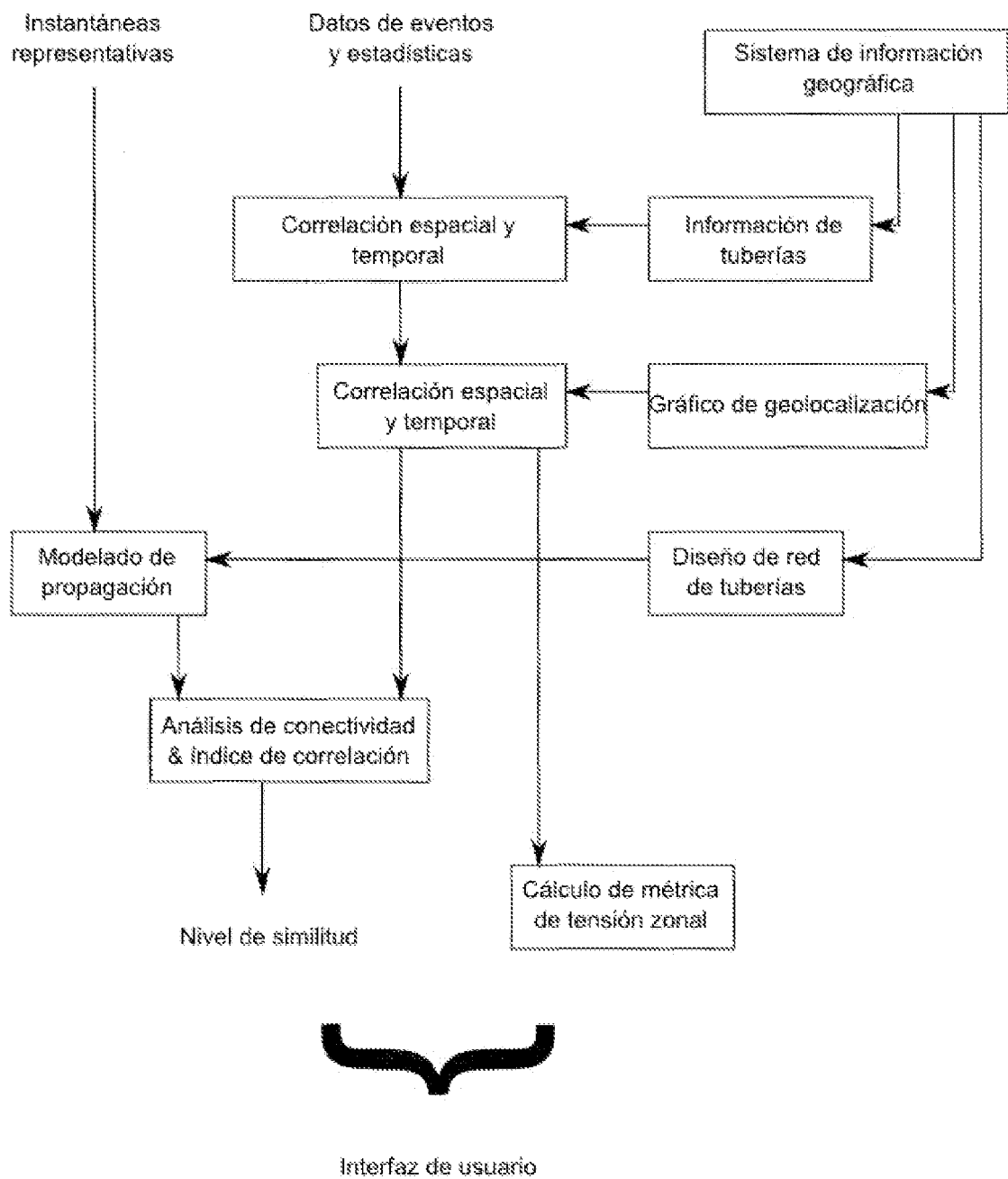


Fig. 8

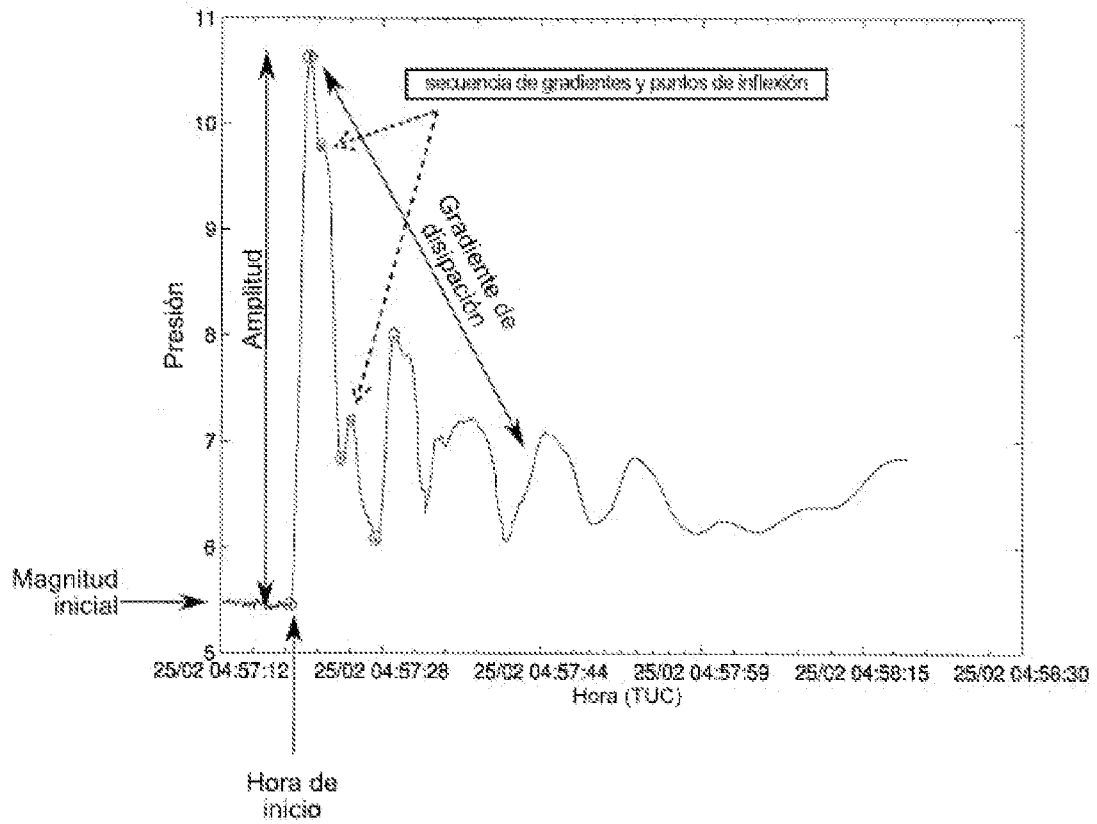


Fig. 9

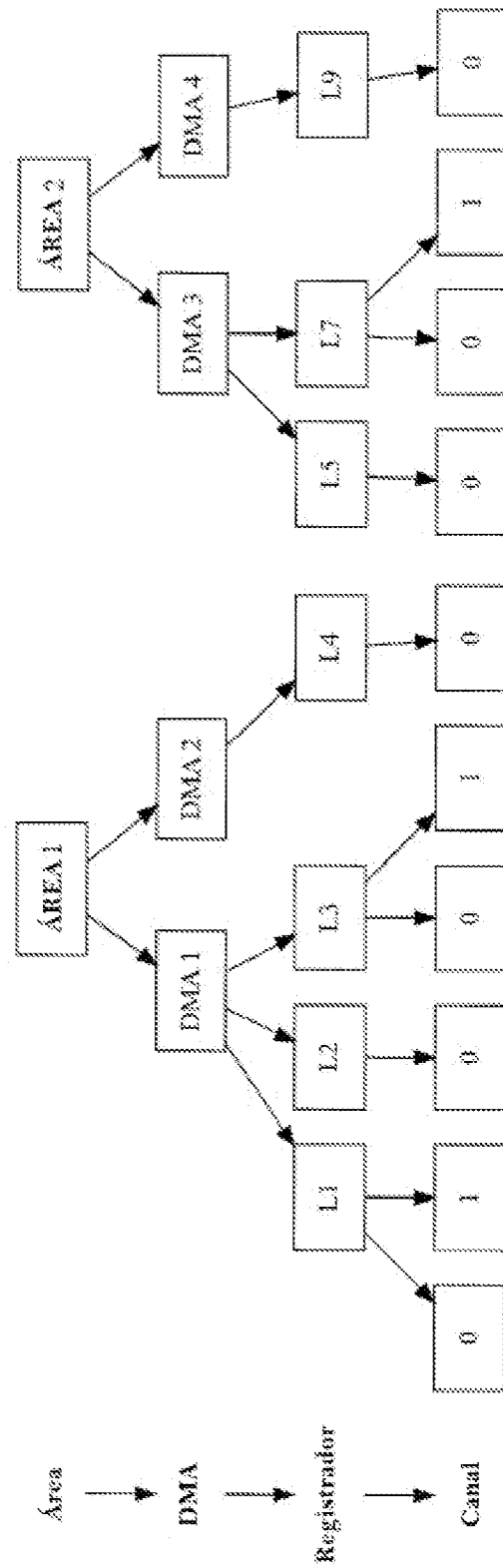


Fig. 10

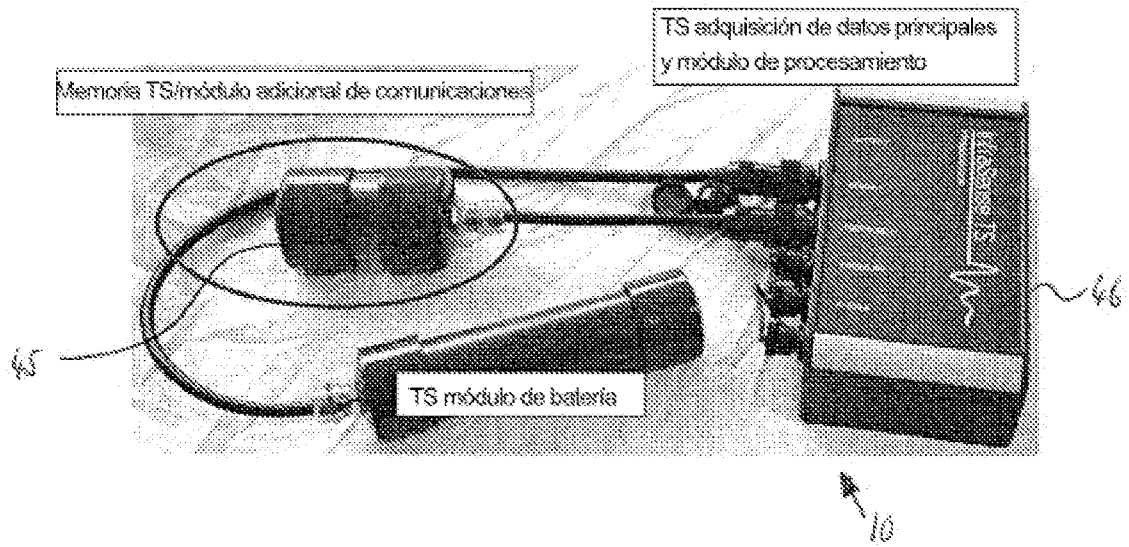


Fig. 11

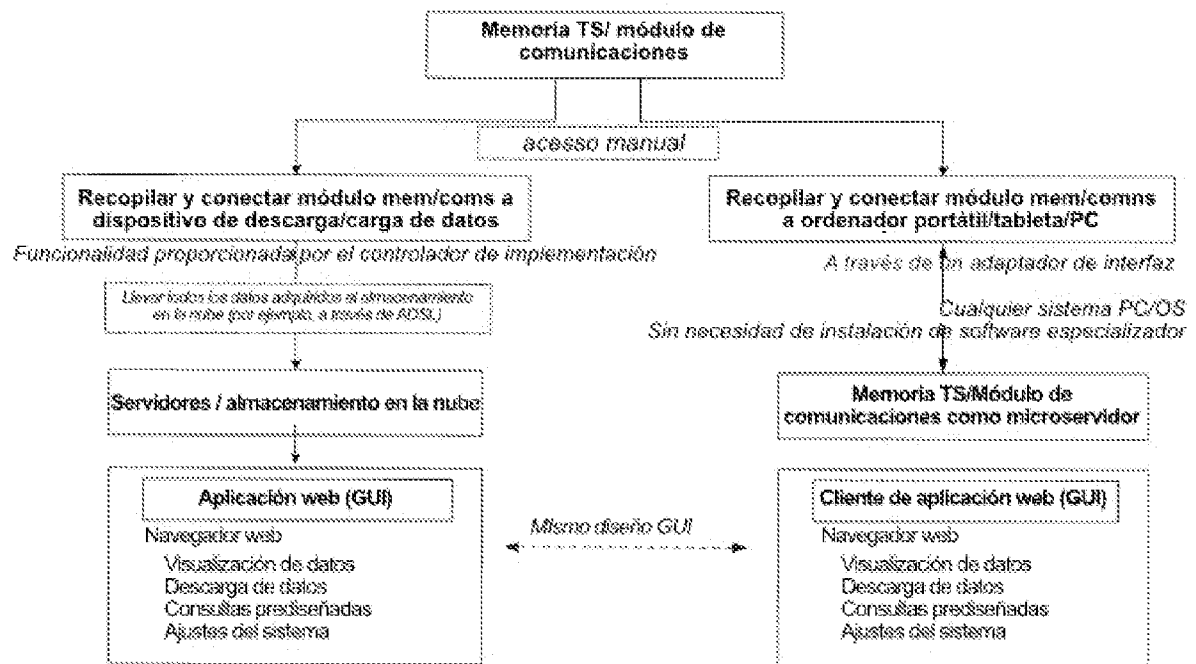


Fig. 12

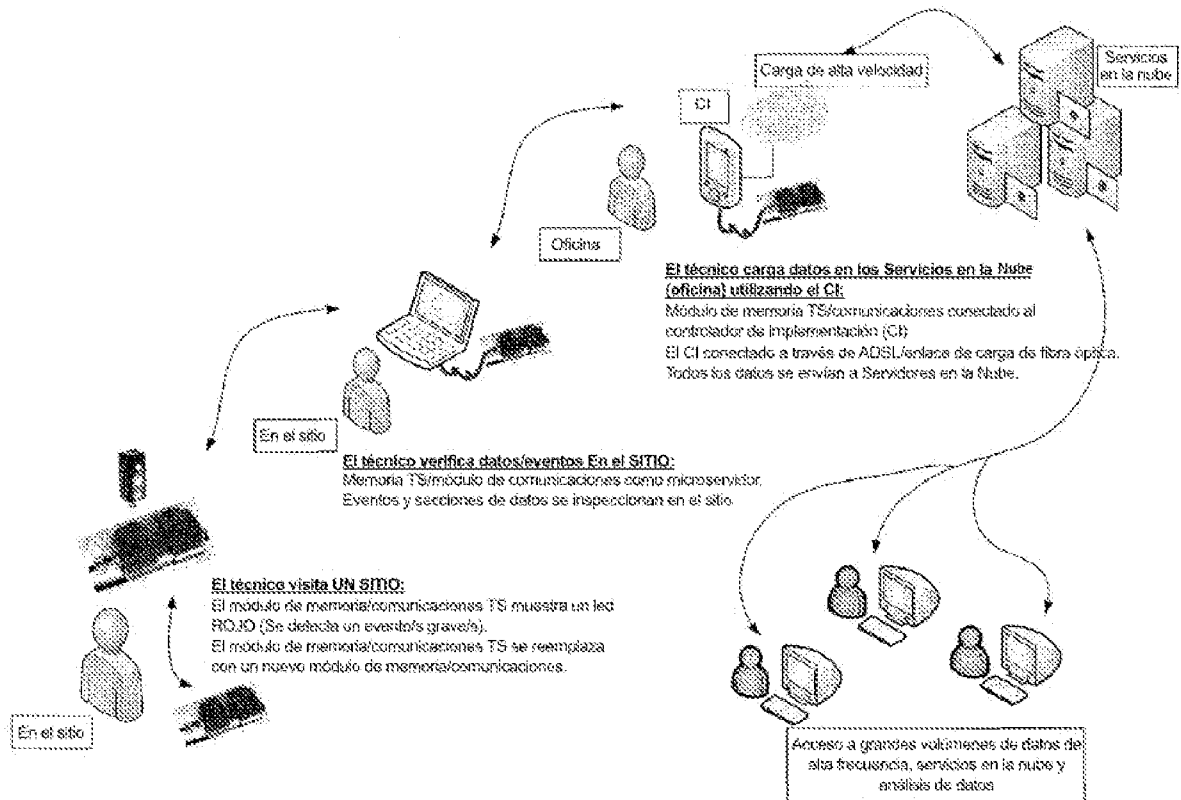


Fig. 13

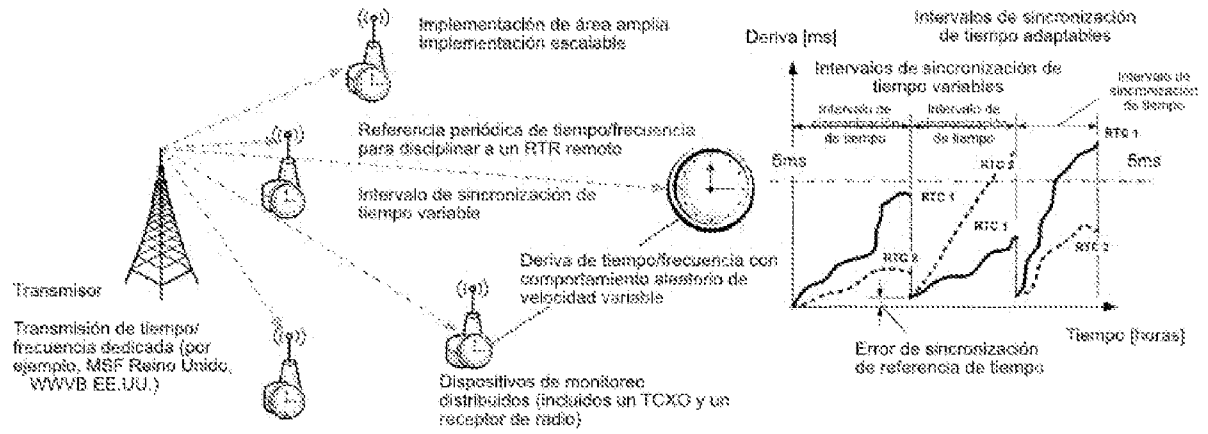
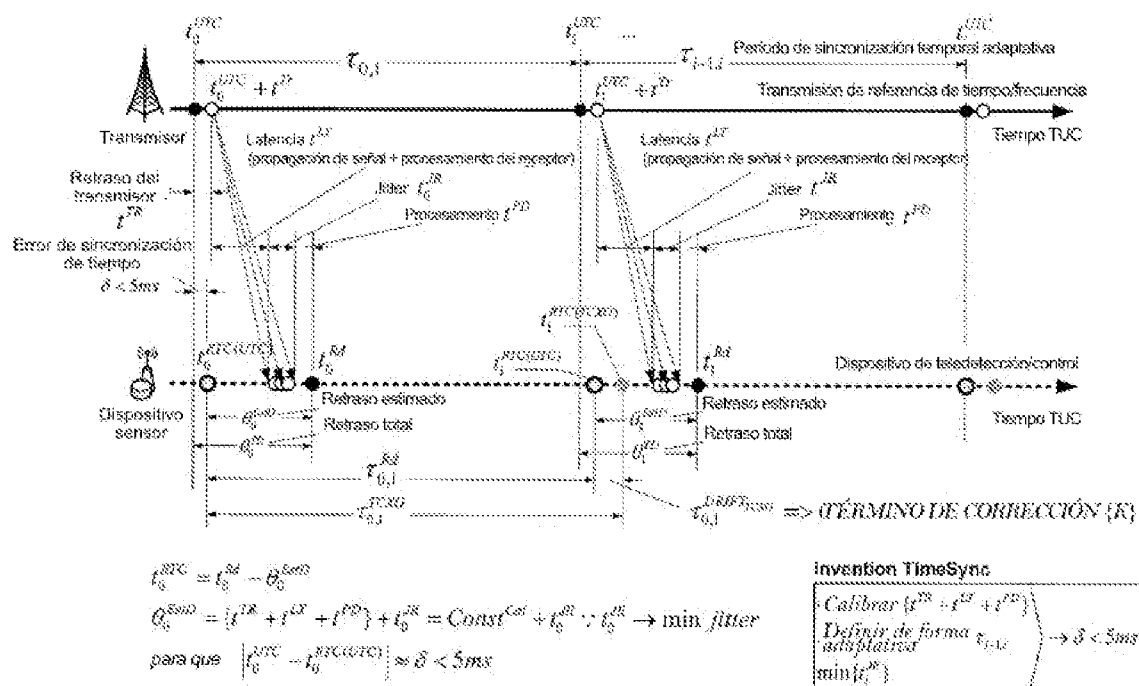


FIG. 14



$\{t^{IB} + t^{IT} + t^{ID}\} \approx \text{Const}^{Cal}$ es una constante que se estima durante la fase de despliegue/calibración mediante el controlador de despliegue y t_{θ}^{IB} se obtiene para cada sesión de sincronización hacia adelante mediante el algoritmo de filtrado desamplado Φ^{IB} .

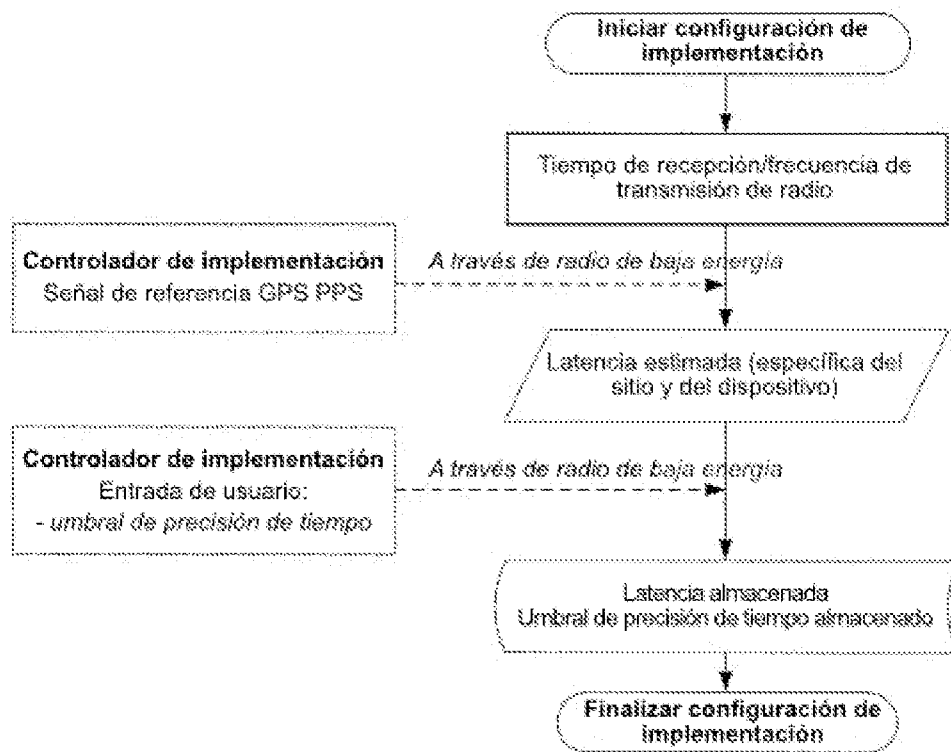
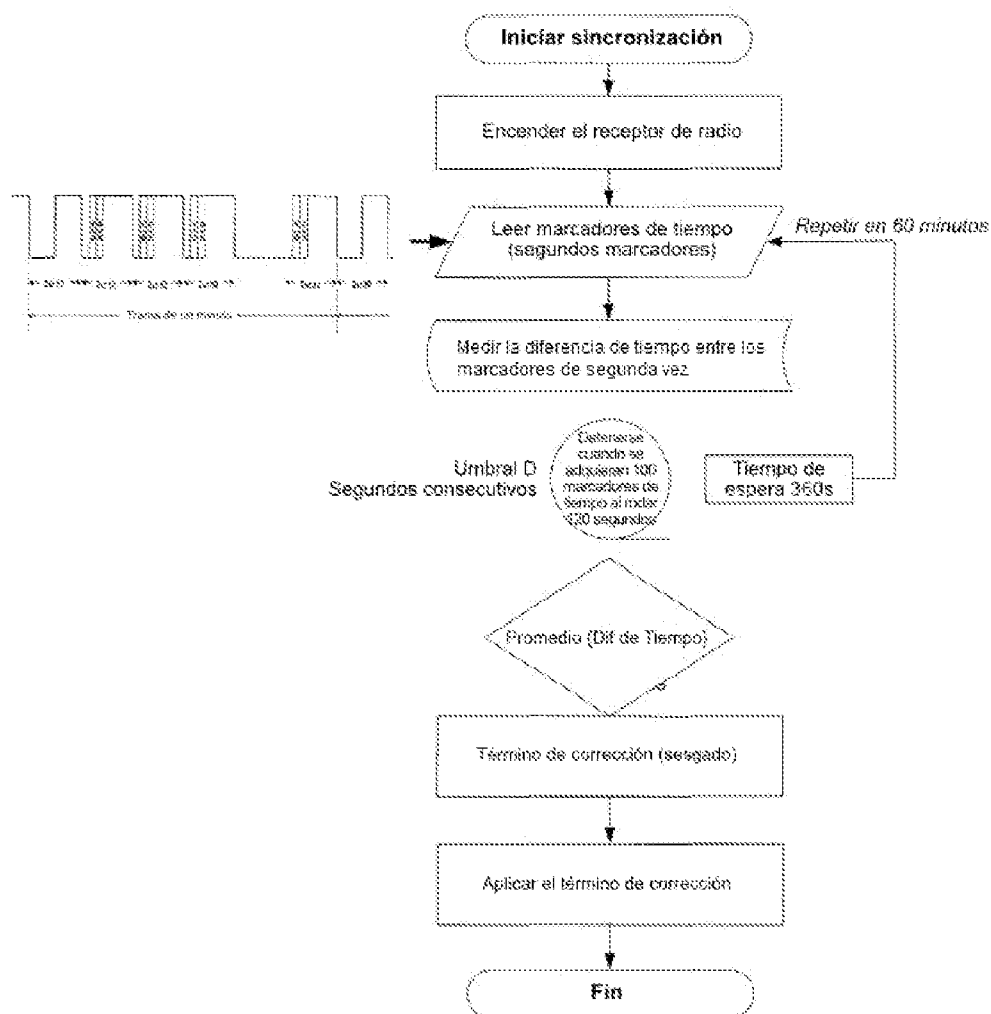
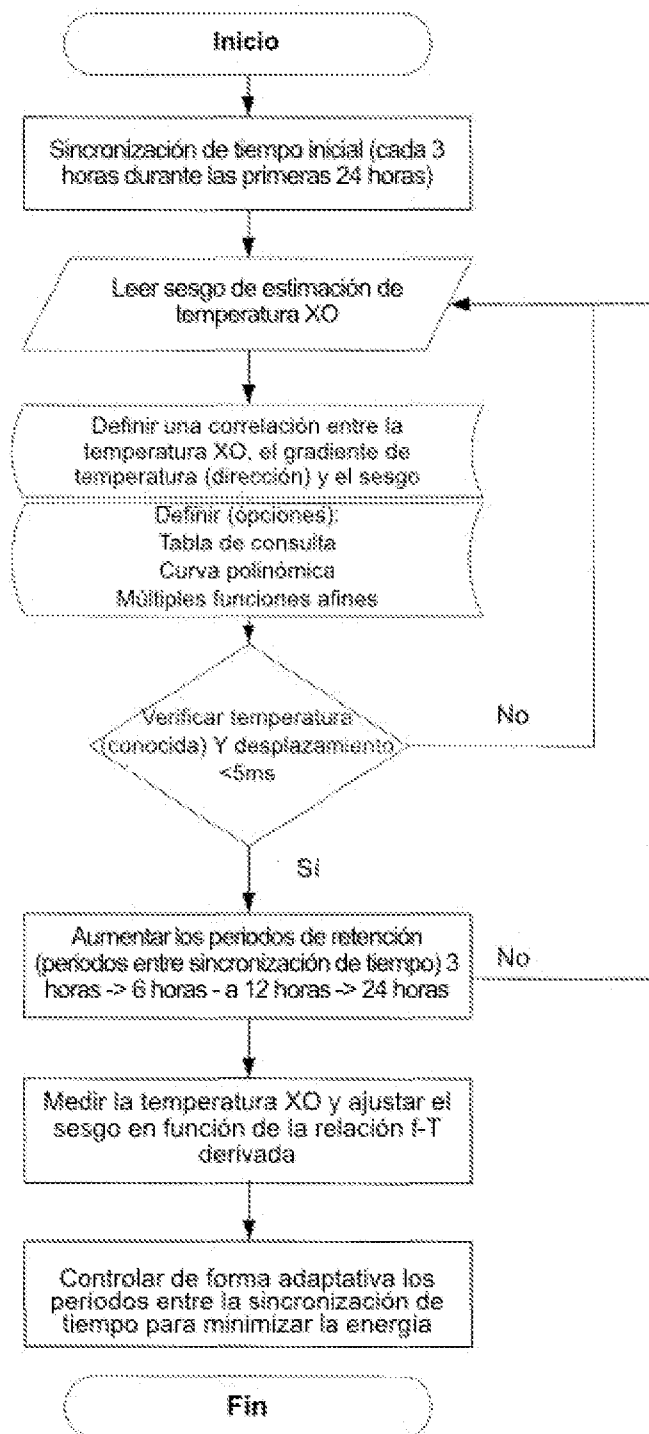


FIG. 16



Un procedimiento para minimizar el jitter y un procedimiento para recibir/decodificar una referencia de tiempo precisa sin la necesidad de descomponer la señal de código de referencia de fecha y hora completa (señales débiles).

Fig. 17



Un procedimiento para extender el período de retención y mejorar el rendimiento del oscilador de cristal.

H6. 18

Tabla 1

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