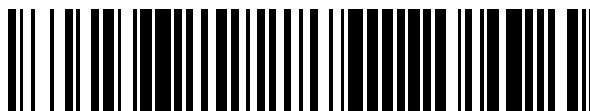


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 700 077**

51 Int. Cl.:

G01D 4/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.10.2008** **PCT/US2008/081115**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.05.2009** **WO09058683**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.10.2008** **E 08844658 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018** **EP 2212650**

54 Título: **Alineación automatizada de datos basada en relaciones de dispositivos indirectas**

30 Prioridad:

31.10.2007 US 981428

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

13.02.2019

73 Titular/es:

SCHNEIDER ELECTRIC USA, INC. (100.0%)
1415 S. Roselle Road
Palatine, Illinois 60067, US

72 Inventor/es:

BICKEL, JON, A.

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 700 077 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

Alineación automatizada de datos basada en relaciones de dispositivos indirectas

5 Campo de la invención

Los aspectos descritos en el presente documento se refieren, en general, a sistemas de monitorización de servicios públicos y, en particular, a la alineación automática de precisión de datos entre dispositivos de monitorización.

10 Antecedentes de la invención

Desde la introducción de los sistemas de distribución de energía eléctrica a finales del siglo 19, ha habido una necesidad de controlar sus características de funcionamiento y eléctricas. La capacidad de recopilar, analizar y responder a la información sobre el sistema de potencia eléctrica puede mejorar la seguridad, minimizar la pérdida de equipos, reducir la chatarra y, en última instancia, ahorrar tiempo y dinero. Con ese fin, se desarrollaron dispositivos de monitorización para medir y reportar dicha información. Con el comienzo de la era de la electrónica, la calidad y la cantidad de datos de los dispositivos de monitorización mejoraron enormemente, y se desarrollaron redes y software de comunicaciones para recopilar, mostrar y almacenar información. Desafortunadamente, los responsables de evaluar los datos de los dispositivos de monitorización ahora están abrumados por la información de sus sistemas de monitorización. En el esfuerzo por maximizar la utilidad de un sistema de monitorización, los fabricantes de equipos de monitorización están buscando métodos para presentar la información en el formato más útil.

Monitorizar efectivamente los sistemas de distribución de energía eléctrica de hoy es engorroso, costoso e ineficiente. Los sistemas de monitorización de energía eléctrica se organizan típicamente en una jerarquía con dispositivos de monitorización como medidores eléctricos instalados en varios niveles de la jerarquía (consulte la figura 2). Los dispositivos de monitorización miden varias características de la señal eléctrica (por ejemplo, tensión, corriente, distorsión de la forma de onda, potencia, etc.) que pasan a través de los conductores, y el usuario analiza los datos de cada dispositivo de monitorización para evaluar el rendimiento potencial o los problemas relacionados con la calidad. Sin embargo, los componentes de los sistemas de monitorización eléctrico de hoy en día (dispositivos de monitorización, software, etc.) actúan de manera independiente, lo que requiere que el usuario sea un experto en configurar hardware, recopilar y analizar datos y determinar qué datos son vitales o útiles. Hay dos problemas aquí: la cantidad de datos que se analizarán y el contexto de los datos. Estos son temas separados pero relacionados. Es posible automatizar el análisis de los datos para abordar la cantidad de datos. Pero, para hacer esto de manera confiable, los datos deben ponerse en contexto. La independencia de los datos entre cada dispositivo de monitorización que evalúa el sistema eléctrico esencialmente hace que cada dispositivo de monitorización no tenga en cuenta los datos de otros dispositivos de monitorización conectados al sistema que se está analizando. En consecuencia, los datos transmitidos al ordenador del sistema desde cada dispositivo de monitorización a menudo están desalineados, ya que los datos de cada dispositivo de monitorización en el sistema no llegan al ordenador del sistema de monitorización simultáneamente. Hay dos razones básicas para la desalineación temporal de los datos entre los dispositivos de monitorización: demoras en el tiempo de las comunicaciones y el control de la hora y el sellado de tiempo del dispositivo. Luego, el usuario debe analizar e interpretar estos datos independientes para optimizar el rendimiento o evaluar las posibles inquietudes relacionadas con la calidad en el sistema eléctrico.

Las sofisticadas capacidades de procesamiento en dispositivos de monitorización digital permiten que grandes cantidades de datos eléctricos complejos se deriven y acumulen a partir de una señal eléctrica aparentemente simple. Debido a la complejidad, la cantidad y la relación inconexa relativa de los datos de un dispositivo de monitorización a otro, el análisis manual de todos los datos es un esfuerzo enorme que a menudo requiere la contratación de expertos para completar la tarea. Este proceso es tedioso, complejo, propenso a errores y monitorización, y consume mucho tiempo. Una solución parcial ha sido utilizar los sistemas de posicionamiento por satélite (GPS) para marcar el evento, pero este enfoque requiere que el usuario compre e instale hardware y líneas de datos adicionales para vincular los dispositivos de monitorización. Y esta solución aún requiere la evaluación de grandes cantidades de datos porque el sistema solo está temporalmente en contexto; no espacialmente en contexto. La sincronización de datos mediante sistemas GPS también es desventajosa debido a los retrasos de tiempo asociados con otro hardware en el sistema. La pérdida de la señal de los satélites GPS hace que este enfoque no sea funcional. Además, cualquier alineación de datos por un sistema basado en GPS solo puede ser tan precisa como el retardo de propagación de la señal GPS, lo que significa que los datos pueden no estar alineados de manera óptima cuando se utiliza un sistema GPS.

La adición de dispositivos de control suplementarios en el sistema eléctrico no hace más que generar más información sobre el sistema eléctrico en el punto donde se añade el medidor en el sistema eléctrico, lo que aumenta la complejidad sin ningún beneficio. Cualquier utilidad de los datos generalmente se limita a la localidad del dispositivo de monitorización que se agregó, mientras que aún se acumulan más datos.

La complejidad de muchos sistemas eléctricos por lo general hace necesario un proceso de configuración relacionado de sistemas de monitorización, ya que cada punto de medida en el sistema eléctrico tiene

características diferentes, por lo que múltiples dispositivos de monitorización se instalan en el primer lugar. Como resultado del enorme volumen de datos complejos acumulados de los sistemas de monitorización eléctrica hasta ahora, un análisis exhaustivo de los datos generalmente no es factible debido a los recursos limitados, el tiempo y/o la experiencia.

5 La alineación temporal de los datos es un aspecto importante para comprender y caracterizar el sistema de potencia. Otro aspecto importante es tener un conocimiento profundo del diseño (o jerarquía) del sistema de monitorización de energía. Los dispositivos de monitorización de energía miden los parámetros operativos del sistema eléctrico, pero no proporcionan información sobre cómo se relacionan entre sí los parámetros en diferentes puntos del sistema de monitorización de energía. Conocer la jerarquía del sistema de monitorización de energía pone en contexto los parámetros operativos de múltiples dispositivos de monitorización.

15 Para determinar el diseño de un sistema de monitorización de la alimentación, un usuario debe revisar dibujos de una línea eléctrica o realizar físicamente un inventario del sistema eléctrico si no están disponibles dibujos de una línea. El usuario ingresa manualmente la información espacial en el software del sistema de monitorización para su análisis. Cuando se agrega o se mueve un nuevo dispositivo o carga monitoreada dentro del sistema de monitorización de energía, el usuario debe actualizar manualmente el software del sistema de monitorización para reflejar la nueva adición o cambio.

20 La alineación de los datos y la información de diseño son esenciales para comprender y caracterizar el sistema de potencia. Con estos dos datos, los datos de cada medidor se pueden integrar y poner en contexto con cada medidor del sistema de alimentación. Hasta ahora, las únicas técnicas para integrar de manera pasable los datos eran complejas, caras, manuales e intensivas para el usuario. Estas técnicas también permiten solo una integración limitada de datos y requieren hardware adicional (como hardware de GPS), líneas de datos y accesorios de dispositivos de monitorización suplementarios.

Lo que se necesita, por lo tanto, es una técnica de integración de datos automatizada, incluyendo la alineación de precisión automática de los datos y la clasificación jerárquica automática de la disposición del sistema. La presente invención está dirigida a satisfacer esta y otras necesidades.

30 El documento US 2007/0005275 A1 se refiere a la integración automatizada de datos en sistemas de vigilancia de utilidad. Se revela un algoritmo de monitorización integrado automático que coloca automáticamente los datos de un sistema de monitorización de servicios públicos en contexto al alinear temporalmente los datos a un punto de referencia común e identificando la ubicación de cada dispositivo de monitorización en una jerarquía con respecto a otros dispositivos. Los datos de variación de frecuencia se reciben de todos los medidores. Los datos se alinean automáticamente a un punto de referencia común.

El objetivo de la presente invención es proporcionar un método mejorado para alinear automáticamente los datos medidos por varios dispositivos de monitorización en un sistema de monitorización de potencia.

40 Este objeto es resuelto por la materia objeto de las reivindicaciones independientes.

Las realizaciones se definen mediante las reivindicaciones dependientes.

45 **Breve descripción de los dibujos**

Las anteriores y otras ventajas de la invención resultarán evidentes al leer la siguiente descripción detallada y con referencia a los dibujos.

50 La figura 1 es un diagrama de bloques funcional de un sistema automatizado de monitorización de integración de datos de acuerdo con la presente invención;
La figura 2 es un diagrama de bloques funcional de un sistema de monitorización de potencia simplificado;
La figura 3 es una vista en perspectiva de un dispositivo de inyección automática de acuerdo con otra realización de la presente descripción.
55 La figura 4 son ejemplos de muestras de datos de frecuencia de dos dispositivos de monitorización que están alineados de acuerdo con la presente invención;
La figura 5A es un diagrama de flujo de un algoritmo de alineación de datos de acuerdo con una realización de la presente invención;
La figura 5B es un diagrama de gráfico de flujo de un algoritmo de alineación de datos de acuerdo con otra realización de la presente descripción.
60 La figura 6 es un diagrama de bloques funcional de una jerarquía simplificada con un único y dos alimentadores principales;
La figura 7 es un diagrama ejemplar de un sistema de alimentación radial único;
La figura 8 es un diagrama ejemplar de un sistema de alimentación radial múltiple;
65 Las figuras 9-11A es un diagrama de gráfico de flujo de un algoritmo de jerarquía de aprendizaje automático;
La figura 11B es un diagrama de gráfico de flujo de un algoritmo de jerarquía de aprendizaje automático;

La figura 11C es un diagrama de gráfico de flujo de un algoritmo de jerarquía de aprendizaje automático;

La figura 12 es un diagrama de gráfico de flujo de un algoritmo de monitorización integrado automático de acuerdo con una realización de la presente invención;

La figura 13 es un gráfico de correlación cruzada para un par de dispositivos ejemplar que muestra un número de coeficientes de correlación;

La figura 14A es un diagrama de gráfico de flujo de un algoritmo de alineación de datos ruidosos de acuerdo con un aspecto; y

La figura 14B es un diagrama de flujo de un algoritmo de comprobación opcional para el algoritmo de alineación de datos ruidosos mostrado en la figura 14A.

Mientras que la invención es susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se muestran realizaciones específicas a modo de ejemplo en las figuras y se describirán aquí en detalle. Debe entenderse, sin embargo, que la invención no pretende limitarse a las formas particulares descritas. Más bien, la invención debe cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que se encuentran dentro del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Descripción detallada de las realizaciones ilustradas

Volviendo ahora a la figura 1, se muestra generalmente un sistema de monitorización integrado de datos automatizados 100. Un sistema de utilidad 102 que tiene múltiples dispositivos de monitorización M proporciona datos de cada dispositivo de monitorización M que se comunican a un sistema automatizado de alineación de datos 104 y a un sistema automatizado de clasificación de jerarquía 106. Los datos se alinean automáticamente en el sistema automatizado de alineación de datos 104 de acuerdo con la presente invención y producen datos que están alineados de tal manera que representan los datos cuando realmente se ven simultáneamente mediante los dispositivos de monitorización M en el sistema de monitorización de potencia 102. El sistema de clasificación de jerarquía 106 aprende automáticamente la jerarquía de los dispositivos de monitorización presentes en el sistema de utilidad 102 y sus relaciones entre sí.

Una vez que los datos de cada dispositivo de control M está alineado y se conoce la ubicación de cada dispositivo de control, se dice que los datos están en contexto 108. Los datos contextuales 108 pueden ser utilizados por las aplicaciones de software 110 para proporcionar y diagnosticar información útil sobre el sistema de utilidad 102 más allá de lo que generalmente está disponible si los datos no están en contexto. La utilidad que se monitoriza en el sistema de utilidad 102 puede ser cualquiera de las cinco utilidades designadas por el acrónimo, WAGES o agua, aire, gas, electricidad o vapor. Cada dispositivo de monitorización mide las características de la utilidad y cuantifica estas características en datos que pueden ser analizados por un ordenador.

Un usuario interactúa con las aplicaciones de software 110 a través de una interfaz de usuario convencional 112. Las aplicaciones de software 110 pueden vincularse a otros sistemas 114, como un sistema de facturación, y utilizar los datos contextuales 108 para comunicar mensajes entre los otros sistemas 114 y la interfaz de usuario 112.

El sistema de alineación de datos 104 alinea datos, tales como tensión, corriente, tiempo, eventos, y similares, a partir de múltiples dispositivos de monitorización M en un sistema de utilidad, y es una herramienta valiosa para los usuarios. Cuando los datos de todos los dispositivos de monitorización M se alinean con el mismo momento en que se produjeron los datos, los datos se pueden colocar en un contexto temporal desde el cual se pueden tomar o recomendar automáticamente decisiones adicionales sobre la configuración de hardware y software. Como se usa en este documento, un dispositivo de monitorización se refiere a cualquier elemento o aparato del sistema con la capacidad de muestrear, recolectar o medir una o más características operativas o parámetros de un sistema de utilidad 102. Cuando el sistema de utilidad 102 es un sistema de monitorización de energía, el dispositivo de monitorización M puede ser un medidor que mide las características eléctricas o los parámetros del sistema de monitorización de energía.

Las técnicas de alineación de datos (que se detallan a continuación) de acuerdo con diversos aspectos de la presente invención lograr al menos lo siguiente:

- 1) Alineación automatizada de datos en dispositivos de monitorización;
- 2) Sincronización automatizada del tiempo en dispositivos de monitorización;
- 3) Alineación de datos y tiempo en dispositivos de monitorización ubicados en diferentes puntos de la red eléctrica (donde el software del sistema de monitorización puede obtener datos de tiempo de Internet u otro servidor); y
- 4) Diagnóstico de identificación errónea o etiquetado incorrecto de fases en todo el sistema eléctrico.

Todas las señales eléctricas del mundo real en sistemas de potencia experimentan variaciones sutiles en su frecuencia y amplitud en el tiempo. Esta variación de la frecuencia y amplitud de la señal es indeterminada y única con respecto al tiempo. Cada dispositivo de monitorización ubicado en la misma red de servicios experimentará simultáneamente las mismas variaciones de frecuencia. El análisis de los datos de los dispositivos de monitorización que están directamente vinculados entre sí en la jerarquía revelará una correlación en sus variaciones de amplitud.

El análisis de las variaciones de frecuencia y amplitud de la señal se utiliza para alinear con precisión los datos de un dispositivo de monitorización con respecto a otro dispositivo (o todos los dispositivos de monitorización entre sí) en el sistema de alineación de datos 104. Los detalles del sistema de alineación de datos 104 se discuten a continuación.

5 Las técnicas de alineación de datos de la presente invención permiten que todos los dispositivos de monitorización M en una jerarquía de sistemas de suministro de energía para ser alineados con el cruce por cero de las tres tensiones de fase sin el uso de hardware adicional. La presente invención también anticipa posibles cambios de fase entre varios dispositivos de monitorización, por ejemplo, los causados por ciertas configuraciones de transformadores. Una vez que los datos de los dispositivos de monitorización se alinean entre sí, los datos del sistema se alinean esencialmente con respecto al tiempo en que ocurrieron, lo que hace que los análisis de datos más complejos sean factibles.

15 Una configuración simplificada de un sistema de monitorización de potencia 120 se muestra en la figura 2. El sistema de control de potencia 120 incluye un principal 122 conectado a una primera carga 124 por un primer alimentador y a una segunda carga 126 por un segundo alimentador. Los dispositivos de monitorización 128, 130 miden características eléctricas o parámetros asociados con el primer y segundo alimentadores, respectivamente. Cada dispositivo de monitorización 128, 130 está acoplado comunicativamente a un ordenador 132.

20 El primer dispositivo de control 128 puede ser un medidor de potencia (o medidor eléctrico), tal como se muestra en la figura 3. El dispositivo de monitorización 128 incluye un controlador 134, firmware 136, memoria 138, una interfaz de comunicaciones 140 y conectores de conductor de tensión trifásico 142a, b, c, que se conectan a los conductores de tensión de fase V_A , V_B y V_C , respectivamente, y se acoplan al controlador 134. Los conectores de corriente trifásica 143a, b, c, que se conectan a los conductores de corriente de fase I_A , I_B e I_C , respectivamente, están acoplados opcionalmente al controlador 134. El firmware 136 incluye instrucciones de la máquina para indicar al controlador que realice las operaciones requeridas para el dispositivo de monitorización. El controlador 134 utiliza la memoria 138 para almacenar datos de parámetros eléctricos medidos por el dispositivo de monitorización 128.

30 Las instrucciones desde el ordenador 132 son recibidas por el dispositivo de monitorización 128 a través de la interfaz de comunicaciones 140. Esas instrucciones incluyen, de acuerdo con una realización de la presente invención, instrucciones que dirigen al controlador 134 a marcar el recuento del ciclo, a comenzar a almacenar datos de parámetros eléctricos, o a transmitir al software del sistema de monitorización 132 datos de parámetros eléctricos almacenados en la memoria 138. Los datos de parámetros eléctricos pueden incluir cualquier dato adquirido por los dispositivos de monitorización, incluida cualquier combinación de variaciones de frecuencia, variaciones de amplitud y variaciones de fase.

40 La presente invención proporciona un algoritmo que, precisamente, de forma automática, y temporalmente alinea los datos de múltiples dispositivos de monitorización a la misma tensión cruzada por cero. Otros aspectos de alineación de datos que se analizan a continuación se basan en esta capacidad. El aspecto de alineación de los datos de la presente invención se ve facilitado por la funcionalidad tanto del dispositivo de monitorización 128 como del software del sistema de monitorización que se ejecuta en el ordenador 132, y los requisitos de cada uno se discutirán individualmente. La recolección y el análisis parcial de los datos se realiza en el dispositivo de monitorización 128.

45 Desde el momento en el dispositivo de monitorización 128 está energizado, se lleva a cabo una cuenta de ciclo de las señales de tensión medidas. El recuento de ciclos se itera secuencialmente con cada cruce de cero de tensión positiva (o, alternativamente, con cada cruce de cero de tensión negativa). Como el dispositivo de monitorización 128 mide las variaciones de frecuencia y amplitud de la tensión y la corriente de un ciclo a otro, se realiza una comparación con sus respectivos valores nominales. El firmware 136 del dispositivo realiza una monitorización de las variaciones de frecuencia y amplitud y el recuento de ciclos asociado. El tiempo del dispositivo de monitorización asociado en cualquier recuento de ciclos especificado se puede almacenar en la memoria 138.

50 El software del sistema de vigilancia ejecutado por el ordenador 132 inicia la alineación de los datos asociados con múltiples dispositivos de monitorización mediante el envío de un comando global a todos los dispositivos de control 128, 130 en el sistema de monitorización de potencia 120 para marcar su número de ciclo, tiempo y también una cantidad predeterminada de datos ciclo por ciclo.

60 Se establece esta cantidad predeterminada de datos en base al número de dispositivos de control en el sistema de monitorización de la alimentación, los retardos de tiempo de comunicaciones en el sistema de monitorización de la alimentación y la magnitud de la frecuencia y variaciones de amplitud. Cuando se completa el almacenamiento en búfer, los dispositivos de monitorización 128, 130 transmiten sus datos almacenados al ordenador 132.

65 Una vez que los datos se recogen por los dispositivos de monitorización 128,130, el software del sistema de vigilancia carga los datos almacenados temporalmente para su análisis. Es probable que haya un desplazamiento de tiempo en los datos almacenados de cada dispositivo de monitorización porque los dispositivos de monitorización en el sistema probablemente no comenzarán a almacenar los datos simultáneamente debido a los retrasos de las comunicaciones en el sistema de monitorización de energía y los retrasos internos dentro de los dispositivos de

monitorización. El software del sistema de monitorización analiza los datos almacenados en el búfer para localizar la correlación más alta en frecuencia entre todos los dispositivos de monitorización 128, 130. En general, la correlación más alta se ubica deslizando los datos de frecuencia almacenados en un dispositivo de monitorización con respecto a otro hasta que las variaciones de frecuencia se alineen entre sí, como se muestra en la figura 4.

Los datos de frecuencia 360 para el dispositivo de monitorización 128 se "deslizaron" en relación con los datos de frecuencia 362 para el dispositivo de control 130 hasta que los datos de frecuencia para cada dispositivo coinciden. Por lo tanto, el cruce por cero asociado con Δt_1 del dispositivo de monitorización 128 está alineado con el cruce por cero asociado con Δt_1 del dispositivo de monitorización 130, el cruce por cero asociado con Δt_2 del dispositivo de monitorización 128 está alineado con el cruce por cero asociado con Δt_2 del dispositivo de monitorización 130, y así sucesivamente. Los algoritmos de correlación cruzada para "deslizar" dos conjuntos de datos entre sí hasta que estén alineados se explican con más detalle a continuación en relación con las figuras 5A y 5B.

Una vez los datos tamponados está alineado, el recuento de ciclos del primer dispositivo de monitorización 128 está asociado con la cuenta de ciclos del segundo dispositivo de monitorización 130 en el software en el ordenador 132. El tiempo del dispositivo de monitorización a bordo también puede estar opcionalmente alineado o asociado entre sí. Este proceso se repite para cada dispositivo de monitorización en el sistema de monitorización de energía 120 hasta que todos los ciclos de los dispositivos estén asociados entre sí. Durante el proceso de alineación de datos, el software del sistema de monitorización en el ordenador 132 construye una matriz del recuento de ciclos de cada dispositivo y el tiempo entre sí y el tiempo en el ordenador 132.

Aunque la figura 2 muestra un sistema de monitorización de energía simplificado 120 con solo dos dispositivos de monitorización 128, 130, las realizaciones de alineación de datos de la presente invención se pueden aplicar a cualquier sistema de monitorización de energía 120 de cualquier complejidad con múltiples niveles jerárquicos, como el diagrama de una línea mostrado en la figura 7. Para facilitar la ilustración y la discusión, solo se han analizado dos dispositivos de monitorización 128, 130.

Una vez que los datos de los dos dispositivos de monitorización 128, 130 está alineado con respecto al otro, típicamente no hay necesidad de realinear los datos de nuevo a menos que un dispositivo de monitorización pierda su señal de tensión o se restaure. En esos casos, solo los dispositivos de monitorización que pierden su señal de tensión o se reinician necesitan ser realineados de acuerdo con la presente invención. La técnica de alineación de datos de la presente invención puede iniciarse por un evento, como una condición de subtenensión o sobretensión, que conecta o desconecta una carga al sistema de monitorización de energía, un cambio en las características de la tensión, la corriente o una carga, una monitorización del reinicio del dispositivo, o una pérdida de potencia. La técnica de alineación de datos de la presente invención también puede ser iniciada automáticamente por el software de monitorización o manualmente por el usuario.

Volviendo ahora a las figuras 5A, se muestra un diagrama de flujo, que puede implementarse como un algoritmo de alineación de datos 180 ejecutado por el ordenador 132, para llevar a cabo una realización de la presente invención. El algoritmo de alineación de datos 180 comienza enviando un mensaje a los dispositivos de monitorización (como los dispositivos de monitorización 128, 130) para que comiencen a tamponar los datos (200) hasta que se complete el tamponamiento (202). El ordenador 132 lee los datos a partir de cada dispositivo (204). Los datos representan, en una realización, datos de parámetros eléctricos tales como variaciones en la frecuencia (fundamental), variaciones en la amplitud y variaciones en la fase. Preferiblemente, los datos representan variaciones en frecuencia fundamental. La frecuencia fundamental es un criterio preferido porque permanece sin cambios en todo el sistema de monitorización de energía, incluso si los transformadores están presentes en el sistema. La amplitud y las fases pueden desplazarse cuando hay transformadores presentes en el sistema; sin embargo, la presente invención contempla el uso de información de amplitud y fase como criterio.

El ordenador 132 selecciona un dispositivo de control de referencia (206), como dispositivo de monitorización 128 y se selecciona un dispositivo de control para analizar (208) tal como el dispositivo de monitorización 130. Los datos de los dispositivos de monitorización 128, 130 se correlacionan luego de acuerdo con la presente invención (210), y el recuento de ciclos de cada dispositivo y las relaciones de tiempo se ingresan en una matriz (212). La correlación cruzada se lleva a cabo mediante un algoritmo de correlación cruzada convencional, preferiblemente como el que se proporciona a continuación en la Ecuación 1.

$$r(d) = \frac{\sum_i [(x(i) - mx) * (y(i - d) - my)]}{\sqrt{\sum_i (x(i) - mx)^2} \sqrt{\sum_i (y(i - d) - my)^2}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

El coeficiente de correlación se representa por $r(d)$, el retardo (compensación o desplazamiento) siendo representado por d , donde $-1 \leq r(d) \leq 1$ para dos series $x(i)$ e $y(i)$ representando los datos respectivos de los dispositivos de monitorización 128, 130; y mx y my son los medios de las series correspondientes $x(i)$ y $y(i)$. De acuerdo con una realización, el algoritmo de correlación es un algoritmo de correlación circular donde los índices

fuera de rango se "envuelven" nuevamente dentro del rango. En otra realización, el algoritmo de correlación es un algoritmo de correlación lineal donde se repite cada serie. En otras realizaciones más, el algoritmo de correlación es un algoritmo de coincidencia de patrón o un algoritmo de búsqueda de texto.

- 5 Después de correlación cruzada, el ordenador 132 comprueba si han sido analizados todos los dispositivos de control (214), y si es así, procede a comprobar el cableado de los conductores de fase. En muchos casos, los conductores de fase pueden ser identificados erróneamente en un sistema eléctrico por el contratista que los instaló. Por ejemplo, la fase que se identifica como "fase A" en el equipo de distribución principal puede identificarse como "fase B" en la carga. Esta nomenclatura de identificación errónea de los conductores de fase puede generar
10 confusión e incluso suponer un peligro para la seguridad.

Para mitigar este peligro, el ordenador 132 analiza la tensión (o corriente) de datos por muestreo de datos en la tensión (o corriente) de cruce por cero de un canal de referencia en cada dispositivo de monitorización (216). El ordenador 132 determina si el cableado es correcto (218) al determinar si los valores de los datos muestreados son
15 cero, negativos o positivos y, en función de esos valores, asignando notaciones de fase (como A, B o C) para cada canal de referencia. Si todos los dispositivos de monitorización se identifican con precisión, los valores de los datos para la Fase A deberían ser aproximadamente cero. Si los valores de los datos son negativos, entonces la fase en cuestión es la "Fase B" para una rotación de fase ABC. Si los valores de los datos son positivos, entonces la fase en cuestión es la "Fase C" para una rotación de fase ABC. Se notifica al usuario (220) si el cableado es correcto. Una
20 vez que se determina la notación de fase adecuada para cada dispositivo de monitorización (222), el ordenador 132 puede entonces permitir al usuario corregir la notación de fase identificada erróneamente en cualquiera o en todos los dispositivos de monitorización. Las realizaciones de diagnóstico de fase de acuerdo con la presente invención son aplicables a entradas de tensión, así como a entradas de corriente.

25 La figura 5B ilustra un diagrama de flujo para llevar a cabo otra realización de la presente invención. Como con la figura 5A, se hará referencia al sistema de monitorización de potencia 120 que se muestra en la figura 2 para facilitar la discusión, pero como se mencionó anteriormente, las técnicas de alineación de datos de la presente invención son aplicables a cualquier sistema de monitorización de servicios públicos.

30 El ordenador 132 ordena a cada dispositivo de control en el sistema de monitorización de la alimentación 120 para almacenar los datos en una base ciclo por ciclo (250) para un número predeterminado de ciclos, preferiblemente entre alrededor de 1.000 y alrededor de 10.000 ciclos. Cuando los dispositivos de monitorización han almacenado una cantidad suficiente de datos, el ordenador 132 recibe los datos de los dispositivos de monitorización (252) y selecciona un dispositivo de monitorización de referencia (254). Utilizando un algoritmo de correlación cruzada convencional como la ecuación 1 anterior, el ordenador 132 calcula un coeficiente de correlación $r(d)$ entre al menos
35 una porción de los datos (como unos 400 ciclos) del dispositivo de monitorización de referencia y los datos de un segundo dispositivo de monitorización (256). El coeficiente de correlación calculado se almacena, y los datos del segundo dispositivo de monitorización se desplazan en relación con el dispositivo de referencia en un ciclo (258).

40 Como se mencionó anteriormente, los índices fuera de la gama se pueden envolver de nuevo dentro de la gama de acuerdo con un algoritmo de correlación circular o los índices se puede repetir de acuerdo con un algoritmo de correlación lineal. Se calcula un coeficiente de correlación utilizando los datos desplazados (260) y, si no se requieren más desplazamientos (262), los datos del segundo dispositivo de monitorización se alinean con los datos del dispositivo de referencia en el punto donde se calcula el coeficiente de correlación máximo o donde el coeficiente
45 de correlación excede un valor de umbral, como 0,5 (264). Cabe señalar que cuando el coeficiente de correlación $r(d)$ está cerca de 1,0, el algoritmo puede salir sin realizar ningún cambio adicional.

El ordenador 132 sincroniza los relojes del segundo dispositivo de control y el dispositivo de referencia en el punto de alineación (266). El ordenador 132 lee el recuento de ciclos en cada dispositivo de monitorización y la hora del
50 reloj a bordo del dispositivo de monitorización asociado. El tiempo del reloj a bordo y el recuento de ciclos de un dispositivo de monitorización pueden variar entre sí debido a las limitaciones del reloj a bordo. Una vez que se alinean los datos, el recuento de ciclos se considera la referencia absoluta para un dispositivo de monitorización. Debido a la variación del reloj, puede ser necesario volver a leer la hora asociada con el recuento de ciclos de un dispositivo periódicamente para restablecer la hora del dispositivo. El software en el ordenador 132 actualizará luego
55 la matriz que contiene la información de tiempo del dispositivo de monitorización.

Otra capacidad de esta característica es permitir que todos los relojes dispositivos de control de a bordo sean periódicamente restablecidos al mismo valor para proporcionar un tiempo estándar para todo el sistema de monitorización de potencia. Preferiblemente, el tiempo dentro del software del sistema de monitorización (que se
60 ejecuta en el ordenador 132) se establece de acuerdo con alguna referencia de tiempo absoluta. Una vez que se establece el tiempo del ordenador, el software del sistema de monitorización restablece el tiempo en todos los dispositivos de monitorización en consecuencia. En esta realización, los datos y el tiempo de cada dispositivo de monitorización y el software se alinearán de manera más precisa con la referencia de tiempo absoluta.

65 Cuando no hay más dispositivos de monitorización para alinear (268), el procedimiento termina. En una realización alternativa, todos los datos del dispositivo de monitorización se alinean antes de sincronizar los relojes (266).

Otra ventaja de las técnicas de alineación de datos de la presente invención es la capacidad de alinear los datos y la hora en diferentes puntos de la red de suministro eléctrico. Si los dispositivos de monitorización se ubican en dos puntos diferentes de la misma red de servicios públicos, es posible alinear los dispositivos de monitorización juntos. En esta realización, los dispositivos de monitorización en cada ubicación geográfica se alinean primero entre sí de acuerdo con la presente invención. El software que gestiona todos los sistemas se utiliza como referencia temporal absoluta para todos los sistemas, lo que les da a todos un punto de referencia común.

Con referencia de nuevo a la figura 1, el sistema de monitorización integrado 100 incluye el sistema de clasificación de jerarquía 106. Tener un conocimiento profundo del diseño de un sistema de potencia eléctrica es esencial para comprender y caracterizar el sistema. Los medidores de potencia generalmente proporcionan solo los parámetros operativos del sistema eléctrico, pero no brindan información sobre cómo se relacionan entre sí los parámetros en diferentes puntos de monitorización en el sistema eléctrico. Tener la jerarquía de un sistema eléctrico coloca los parámetros operativos de múltiples dispositivos de monitorización en un contexto espacial entre sí. Este contexto espacial le brinda al usuario una herramienta más poderosa para solucionar problemas del sistema, mejorar la eficiencia del sistema, predecir fallos y degradación, localizar la fuente de las perturbaciones o modelar las respuestas del sistema.

El sistema de clasificación de jerarquía 106 de la presente invención permite que el software del sistema de monitorización para recopilar datos desde el dispositivo de control en el sistema de utilidad 102, y automáticamente determinar la jerarquía del sistema de utilidad 102 con poca o ninguna intervención del usuario. El nivel de detalle dado por el sistema de clasificación de jerarquía 106 se correlaciona directamente con el número y la extensión de los dispositivos de monitorización en el sistema de utilidad 102. A medida que se agregan dispositivos de monitorización suplementarios, el algoritmo jerárquico auto-aprendido de acuerdo con la presente invención permite que se incorporen automáticamente a la estructura jerárquica determinada.

Una jerarquía de nodos se basa en una relación que determina que un nodo es siempre mayor que otro nodo, cuando los nodos están relacionados. La relación de una jerarquía puede vincular o interrelacionar elementos de una de tres formas: directa, indirecta o en absoluto. Una ilustración de un enlace directo o de una interrelación se muestra en la figura 6 entre la Carga₂ 310 y el Alimentador₂ 306. En contraste, existe un enlace indirecto entre la Carga₂ 310 y el Principal₁ 302. Finalmente, efectivamente no hay enlace entre la Carga₁ 308 y la Carga₂ 310 y entre el Alimentador₁ 304 y el Alimentador₂ 306.

En el caso de una jerarquía de sistema de potencia, un objetivo es ordenar los elementos en el sistema de potencia con el fin de representar el verdadero esquema de conexión del sistema de potencia. La determinación de la jerarquía de un sistema de potencia proporciona información importante que se puede utilizar para resolver problemas, aumentar el rendimiento del equipo y del sistema, mejorar la seguridad y ahorrar dinero. El nivel de detalle contenido en una jerarquía del sistema de potencia dependerá de la cantidad de elementos o nodos que se estén monitoreando y de la capacidad del nodo para proporcionar retroalimentación al algoritmo de jerarquía de aprendizaje automático en el software del sistema de monitorización que se ejecuta en el ordenador 132.

En general, el sistema de clasificación de jerarquía 106 de acuerdo con la presente invención utiliza un algoritmo de jerarquía auto-aprendido en el software del sistema de vigilancia que se basa en las normas y métodos estadísticos. Periódicamente, el software del sistema de monitorización sondea cada dispositivo de monitorización en el sistema de utilidad 102 para determinar ciertas características o parámetros del sistema de utilidad 102 en ese nodo (representado por el dispositivo de monitorización M). Se toman múltiples muestras de parámetros específicos de cada medidor en el sistema en el mismo punto en el tiempo dado. Una vez que los datos de parámetros se recopilan de cada nodo M en el sistema de utilidad 102, el algoritmo de jerarquía de aprendizaje automático analiza los datos y rastrea las relaciones o enlaces entre los dispositivos de monitorización con respecto al tiempo en que se tomó la muestra de datos y el valor asociado de la muestra de datos. Este análisis puede realizarse periódicamente para aumentar la probabilidad de que la jerarquía sea precisa, o para determinar cualquier cambio en la jerarquía. Una vez que este proceso iterativo alcanza un nivel predeterminado de confianza estadística de que el diseño determinado del sistema de utilidad 102 es correcto, el algoritmo de jerarquía de aprendizaje automático finaliza. El diseño final del sistema de utilidad 102 se presenta al usuario para la concurrencia. A medida que los datos de cada dispositivo de monitorización se evalúan a lo largo del tiempo (el período de aprendizaje) con respecto a todos los demás dispositivos de monitorización que utilizan el algoritmo de jerarquía de aprendizaje automático, se determina una distribución básica de la estructura jerárquica del sistema de utilidad 102 en función de los puntos de monitorización disponibles. A este respecto, el algoritmo de acuerdo con la presente invención usa tendencias históricas de los datos de cada dispositivo de monitorización, y esas tendencias se comparan para determinar si existe alguna interrelación (enlace) entre los dispositivos de monitorización. Se puede determinar una estructura jerárquica más detallada con más puntos de monitorización disponibles para el análisis.

Una ventaja del algoritmo de jerarquía auto-aprendido de la presente invención es proporcionar automáticamente una estructura jerárquica básica de un sistema de servicios públicos se supervisa con mínima o ninguna entrada por parte del usuario. La jerarquía se puede utilizar como una herramienta para evaluación por otros sistemas 114. Otro beneficio es que la presente invención mejora la precisión de la sincronización de tiempo entre los dispositivos de monitorización y el software del sistema de monitorización.

En una forma de realización donde el sistema de suministro 102 es un sistema de monitorización de la alimentación, las muestras de los parámetros eléctricos específicos (tales como la potencia, tensión, corriente, o similar) se toman simultáneamente desde cada dispositivo de control en el sistema de monitorización de la alimentación. Estos datos de parámetros se almacenan y analizan con respecto al tiempo que se toma la muestra, el valor asociado del punto de datos y el dispositivo de monitorización que proporciona los datos.

Los datos tomados de cada dispositivo de monitorización en el sistema de monitorización de potencia se comparan entre sí para determinar si existe alguna correlación entre los dispositivos de monitorización. Los datos se analizan para determinar tendencias y correlaciones estadísticas, así como similitudes y diferencias durante un período de tiempo predeterminado de acuerdo con la presente invención.

Según una forma de realización, se utilizan una o más reglas o suposiciones para determinar el orden jerárquico del sistema de potencia. Es posible que se deban hacer ciertas suposiciones acerca del sistema de utilidad para poder aprender automáticamente la jerarquía del sistema de utilidad. Los supuestos se basan en la Ley de Ohm, la conservación de la energía y la experiencia de trabajo con la distribución de energía típica y los sistemas de monitorización de energía.

Las reglas generales que pueden ser hechas por el algoritmo de jerarquía auto-aprendido en conexión con sistemas de potencia y sistemas de control de potencia puede incluir o no incluir cualquier combinación de los siguientes:

1. El sistema de potencia que se está analizando está en una configuración de alimentación radial única 320 (figura 7) o múltiple 330 (figura 8).
2. Se supone que el medidor que mide el mayor consumo de energía se encuentra en la parte superior de la estructura jerárquica (por ejemplo, el Principal 322 que se muestra en la figura 7) teniendo en cuenta las inexactitudes en los contadores.
3. La tasa de datos de muestreo por los medidores es al menos mayor que el ciclo de trabajo más corto de cualquier carga.
4. La energía no se consume y genera alternativamente en el sistema de potencia durante el proceso de recolección de datos de parámetros.
5. El error debido al desplazamiento del tiempo en todos los medidores en el sistema de monitorización de energía es mínimo cuando los datos se envían desde el dispositivo de monitorización al software del sistema de monitorización que se ejecuta en el ordenador 132.

Cualquier combinación de los siguientes parámetros adicionales puede o no estar presente para el algoritmo de jerarquía de aprendizaje automático:

1. Los datos no se recopilan con fines jerárquicos de dos dispositivos de monitorización instalados en el mismo punto de un sistema de potencia, aunque este parámetro no es necesariamente un requisito en todos los aspectos descritos en este documento.
2. Los medidores sin carga se ignoran o solo usan tensión, mediciones y/o información de configuración para determinar su posición en la jerarquía.
3. Pueden existir múltiples redes (Principal1, Principal2, Principal3, etc.) en el sistema de alimentación.
4. Los datos se proporcionan al software del sistema de monitorización por cada dispositivo de monitorización en el sistema.
5. Las cargas que comienzan o se detienen afectan los perfiles de carga para cualquier dato medido ascendente correspondiente con un enlace directo o indirecto a esa carga.
6. Las características de tensión (componentes fundamentales, armónicos, simétricos) son relativamente consistentes para todos los dispositivos de monitorización en el mismo bus.
7. Las pérdidas del transformador en el sistema eléctrico son mínimas con respecto a las cargas aguas abajo del transformador.
8. La correlación general (a lo largo del tiempo) de las cargas entre los dispositivos de monitorización indica un enlace directo o indirecto.
9. Múltiples cargas sin medir en un punto del sistema de potencia se agregan en una sola carga desconocida.

Cualquiera de los supuestos y los parámetros anteriores se pueden combinar para un sistema de potencia eléctrica radial alimentado. Por ejemplo, en una realización específica, cualquier combinación de los siguientes supuestos y parámetros basados en reglas puede o no ser utilizada:

1. La potencia es mayor cuanto más arriba (más cerca de la parte superior de la jerarquía) está un dispositivo de monitorización, asumiendo que no intervienen transformadores ascendentes u otros elementos de conversión de energía.
2. Los valores armónicos son generalmente más bajos cuanto más aguas arriba está el dispositivo de monitorización.
3. Los transformadores pueden variar las tensiones y corrientes.
4. El flujo de potencia total es más alto aguas arriba que aguas abajo.
5. El sistema de potencia puede ser un sistema de alimentación radial.

6. Dos dispositivos de monitorización no se instalarán en el mismo punto, aunque este parámetro no es necesariamente un requisito en otros aspectos o realizaciones.

7. Los dispositivos de monitorización con la misma distorsión de tensión están conectados adyacentemente.

8. La carga total medida en un nivel jerárquico específico es igual (excluyendo las pérdidas) a la suma de todas las cargas medidas y no medidas directamente vinculadas a ese nivel jerárquico.

Se considera que los dispositivos de monitorización están en el mismo nivel jerárquico si todos ellos están directamente relacionados con el mismo dispositivo de referencia. Por ejemplo, refiriéndose a la figura 7, se muestra un diagrama simplificado de una línea de un sistema de monitorización de utilidad 320 que tiene cinco niveles distintos representados por 323a, b, c, d, e. En el caso específico de un sistema de monitorización de energía, cada nivel representa un alimentador al que se pueden vincular directamente múltiples dispositivos de monitorización. Todos los dispositivos de monitorización directamente vinculados a un alimentador se consideran en el mismo nivel de alimentador. Por lo tanto, el principal 322 está directamente vinculado al alimentador 323a, y por lo tanto existe en su propio nivel en la jerarquía. El alimentador 323b se vincula directamente a tres dispositivos de monitorización y, por lo tanto, comprende otro nivel distinto. El alimentador 323c comprende otro nivel distinto de los alimentadores 323a y 323b porque los dispositivos de monitorización directamente vinculados al alimentador 323c no están directamente vinculados a los alimentadores 323a o 323b. En el caso de los sistemas de agua, aire, gas y vapor, cada nivel puede estar representado por un encabezado en lugar de un alimentador.

Un aspecto específico del algoritmo de jerarquía auto-aprendido 400 está graficado en flujo en las figuras 9-11A. El algoritmo 400 primero verifica si hay más de un dispositivo de monitorización en el sistema (402), y si no, el algoritmo termina. Si hay más de un dispositivo de monitorización, los datos eléctricos se toman de cada dispositivo de monitorización (M1, M2, ..., Mk) y se compilan en una Tabla de datos (404). La Tabla de datos tabula los datos sin procesar (como potencia, magnitud de tensión, distorsión de tensión, magnitud de corriente, distorsión de corriente o datos de componentes simétricos) tomados a intervalos regulares (T1, T2, ..., Tn) durante un período de tiempo determinado. El período de tiempo entre las muestras depende del ciclo de trabajo más corto de cualquier carga en el sistema de monitorización de energía. El período de tiempo máximo (Tn) se determina en función del nivel de variación de la carga de cada dispositivo de monitorización en el sistema de monitorización de energía. Se supone que el dispositivo de monitorización con la potencia máxima en la Tabla de datos es un Principal (es decir, el nivel más alto en la jerarquía eléctrica) (408). Sin embargo, la presente invención también contempla múltiples jerarquías (*es decir*, múltiples Principales). Un ejemplo de la Tabla de datos se muestra en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1 Ejemplo de Tabla de datos

Tiempo	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3	Medidor 4	....	Medidor k
T ₁	D ₁₁	D ₂₁	D ₃₁	D ₄₁	....	D _{k1}
T ₂	D ₁₂	D ₂₂	D ₃₂	D ₄₂	....	D _{k2}
T ₃	D ₁₃	D ₂₃	D ₃₃	D ₄₃	....	D _{k3}
T ₄	D ₁₄	D ₂₄	D ₃₄	D ₄₄	....	D _{k4}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
T _n	D _{1n}	D _{2n}	D _{3n}	D _{4n}	....	D _{kn}

Una vez que los datos de la Tabla de datos se acumulan, se desarrolla una Matriz de comprobación. La Matriz de comprobación es una matriz de conexiones lógicas basadas en la Tabla de datos. Un cero (0) indica que no existe un enlace directo entre dos dispositivos de monitorización, y un uno (1) indica que existe una posible relación entre dos dispositivos de monitorización. Una Matriz de comprobación ejemplar se ilustra en la Tabla 2 a continuación. En la Tabla 2, se supone que no existe un vínculo entre el Medidor 1 y el Medidor 2. Esto se debe a que la potencia medida por el Medidor 1 excede al Medidor 2 en una entrada de la Tabla de datos y la potencia medida por el Medidor 2 excede al Medidor 1 en otra entrada de la Tabla de datos. El Medidor 1 siempre se correlaciona consigo mismo, por lo que se coloca una NA en esa celda de la Matriz de comprobación. Solo se requiere la mitad de la Matriz de comprobación debido a la redundancia de información.

Tabla 2 Ejemplo de Matriz de comprobación

	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3	Medidor 4	....	Medidor k
Medidor 1	NA	0	1	1	....	0
Medidor 2	0	NA	1	0	....	1
Medidor 3	1	1	NA	0	....	1
Medidor 4	1	0	0	NA	....	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
Medidor k 0			0	0	....	NA

Una vez que se determina la Matriz de comprobación, los datos de cada dispositivo de control en la Tabla de datos se utilizan para desarrollar una Matriz de coeficiente de correlación (CCM) que se muestra en la Tabla 3 a

continuación. En la CCM, se lleva a cabo una evaluación estadística para determinar la relación lineal de cada dispositivo de monitorización en el sistema eléctrico con respecto a los otros dispositivos de monitorización en la matriz. El coeficiente de correlación entre dos dispositivos de monitorización cualquiera se determina y se coloca en la celda apropiada en la CCM. En el ejemplo de la Tabla 3 a continuación, C_{12} es el coeficiente de correlación del Medidor 1 con respecto al Medidor 2. Cuanto mayor sea el valor del coeficiente de correlación, mayor será la probabilidad de que estos dos dispositivos de monitorización estén vinculados directa o indirectamente. Por el contrario, cuanto más bajo sea este número, menor será la probabilidad de que estos dos dispositivos de monitorización estén vinculados directa o indirectamente. La ecuación 2 a continuación se utiliza para determinar el coeficiente de correlación entre dos dispositivos de monitorización dados:

$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (\text{Ecuación 2})$$

dónde: $\rho_{x,y}$ es el coeficiente de correlación y se encuentra en el rango de $-1 \leq \rho_{x,y} \leq 1$; $Cov(x,y)$ es la covarianza de x y y ; y σ_x y σ_y son las desviaciones estándar de x e y , respectivamente.

$$Cov(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \mu_x)(y_j - \mu_y) \quad (\text{Ecuación 3})$$

dónde: n es el número de elementos de datos en x e y , y μ_x y μ_y son los valores medios de x e y respectivamente.

Las células de la diagonal de la matriz de correlación son todas siempre 1, ya que cada Medidor tiene 100 % de correlación con sí mismo. De nuevo, solo se requiere la mitad de la Matriz de correlación debido a la redundancia de datos (por ejemplo, $C_{12} = C_{21}$).

Tabla 3 Ejemplo de matriz de coeficiente de correlación (CCP)

	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3	Medidor 4	....	Medidor k
Medidor 1	1	C_{12}	C_{13}	C_{14}	....	C_{1k}
Medidor 2	C_{21}	1	C_{23}	C_{24}	....	C_{2k}
Medidor 3	C_{31}	C_{32}	1	C_{34}	....	C_{3k}
Medidor 4	C_{41}	C_{42}	C_{43}	1	....	C_{4k}
:	:	:	:	:	1	:
Medidor k	C_{k1}	C_{k2}	C_{k3}	C_{k4}	....	1

Volviendo a la figura 9, se desarrolla una lista de medidores para cada nivel de la jerarquía en consideración. Se supone que el nivel más alto es el medidor con la mayor lectura de potencia, que se supone que es un principal. Una vez que se encuentra ese medidor en la Tabla de datos (408), el algoritmo 400 coloca el principal en una lista de nivel de alimentador de la jerarquía y borra la lista de dispositivos de monitorización en el nivel de alimentador actual en la jerarquía (410). En iteraciones subsiguientes a través de LOOP Principal, el algoritmo 400 coloca el medidor de referencia en la lista de niveles de alimentador anterior de la jerarquía. Debe entenderse que en la primera iteración, no hay una lista de nivel anterior. El algoritmo 400 borra una matriz de referencia de correlación (CRA) (412), y designa el principal como el dispositivo de monitorización de referencia (414). En la Tabla 4, a continuación, se muestra una CRA ejemplar para n iteraciones para un nivel de alimentador determinado. C_{51} corresponde al coeficiente de correlación entre el medidor 5 (el medidor de referencia) y el Medidor 1, C_{52} corresponde al coeficiente de correlación entre el medidor 5 y el Medidor 2, y así sucesivamente. Inicialmente, la CRA se borra para cada nivel de alimentador y el algoritmo 400 desarrolla una nueva CRA para cada nivel de alimentador al rellenar cada columna de iteración con coeficientes de correlación para todos los medidores en el nivel de alimentador actual. Un ejemplo específico se explica en relación con la Tabla 5 a continuación.

El coeficiente de correlación de la matriz (CCM) se calcula en base a los datos de potencia (416). En la primera iteración, el único elemento conocido en la jerarquía es el principal, y la jerarquía se aprende automáticamente desde el nivel de alimentador más alto hacia abajo, de acuerdo con algunos o todos los supuestos o parámetros enumerados anteriormente.

Tabla 4 Ejemplo de matriz de referencia de correlación (CRA)

Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 5	....	Iteración n
C_{51}	C_{51}	C_{51}	C_{51}	C_{51}	....	C_{51}
C_{52}	C_{52}	C_{52}	C_{52}	C_{52}	....	C_{52}
C_{53}	C_{53}	C_{53}	C_{53}	C_{53}	....	C_{53}
C_{54}	C_{54}	C_{54}	C_{54}	C_{54}	....	C_{54}
....						

Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 5		Iteración n
C _{5m}	C _{5m}	C _{5m}	C _{5m}	C _{5m}		C _{5m}

Seguindo con la figura 10, el algoritmo 400 pone en cero los coeficientes de correlación en la CCM para los medidores que tienen ceros en la Matriz de comprobación y los medidores que ya se encontraron conectados (418). La columna para el dispositivo de monitorización de referencia se copia de la CCM a la CRA (420). A continuación, se explicará un ejemplo específico en relación con la Tabla 5 a continuación. Suponga que el medidor 5 en la CCM está designada como el medidor de referencia (414). El algoritmo 400 calcula la CCM basándose en la Tabla de datos (416) y pone a cero el (los) coeficiente(s) de correlación en la CCM para medidores que tienen cero en la Matriz de comprobación y medidores que se han encontrado conectados (418). La columna en la CCM correspondiente al medidor 5 se copia en la columna Iteración 1 de la CRA. Con referencia a la Tabla 5, el medidor 11 tiene la correlación más alta con el medidor 5 de 0,649, y el medidor 11 está marcado como conectado con el medidor 5 para el nivel actual del alimentador.

En la iteración 2, la potencia del medidor 11 se resta de la potencia del medidor 5 en la Tabla de datos, y el coeficiente de correlación de los medidores 5-11 cae a -0,048 en la iteración 2, que proporciona un alto grado de confianza de que Medidor 11 está interrelacionado con Medidor 5. También es de destacar que los coeficientes de correlación de algunos medidores tienen una tendencia mayor a medida que avanzan las iteraciones. Por ejemplo, los coeficientes de correlación para el medidor 18 en relación con el medidor 5 aumentan gradualmente de 0,296 en la Iteración 1 a 0,417 en la Iteración 2 a 0,436 en la Iteración 3 a 0,525 en la Iteración 4 y finalmente a 0,671 en la Iteración 5, que es el coeficiente de correlación más alto entre todos los medidores (el medidor 5 correlacionado consigo mismo es siempre 1,0, por lo que se ignora su coeficiente de correlación). Esta tendencia creciente también proporciona un alto grado de confianza de que el medidor 18 también está directamente relacionado con el medidor 5, y este enlace se confirma finalmente en la iteración 5. Las mismas tendencias crecientes se pueden observar para los medidores 12 y 15, por ejemplo. En la Iteración 7, ninguno de los coeficientes de correlación excede un umbral, y el algoritmo 400 procede a analizar el siguiente nivel de alimentador. Por la Iteración 7, el algoritmo 400 ha determinado que los medidores 11, 12, 14, 15, 18 y 20 están directamente relacionados con el medidor 5.

Tabla 5 Ejemplo de CRA con coeficientes de correlación ejemplares

	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 5	Iteración 6	Iteración 7
5 - 1	0,020	-0,029	0,010	0,016	-0,037	-0,004	0,007
5 - 2	0,043	-0,020	-0,037	-0,009	-0,095	-0,091	-0,099
5 - 3	0,067	0,079	0,017	0,024	-0,052	-0,046	-0,009
5 - 4	0,018	-0,024	-0,038	-0,018	0,037	0,015	0,037
5 - 5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5 - 6	0,058	0,022	-0,016	-0,015	-0,035	-0,010	0,029
5 - 7	-0,042	-0,005	0,001	0,054	0,033	0,026	0,031
5 - 8	-0,034	-0,016	-0,057	-0,058	0,005	-0,034	-0,049
5 - 9	0,418	0,386	0,308	0,292	0,189	0,099	0,136
5 - 10	0,022	0,077	0,016	0,014	-0,016	-0,018	0,022
5 - 11	0,649	-0,048	-0,090	-0,095	-0,076	-0,077	-0,014
5 - 12	0,344	0,506	0,628	0,725	0,047	-0,007	0,016
5 - 13	-0,038	-0,036	0,038	0,017	-0,046	-0,023	-0,010
5 - 14	0,483	0,591	0,072	0,044	0,066	-0,006	0,004
5 - 15	0,043	0,161	0,210	0,263	0,417	0,587	0,031
5 - 16	0,024	0,045	0,055	0,044	-0,017	-0,010	0,022
5 - 17	-0,057	-0,063	-0,101	-0,090	-0,061	-0,048	-0,049
5 - 18	0,296	0,417	0,436	0,525	0,671	0,113	0,165
5 - 19	-0,046	-0,053	-0,057	-0,047	-0,046	-0,050	-0,034
5 - 20	0,398	0,549	0,633	0,128	0,069	0,054	0,061
5 - 21	-0,060	-0,017	0,028	0,080	-0,013	0,010	0,005

Todavía en referencia a la figura 10, el algoritmo 400 encuentra el dispositivo de monitorización (alimentador) en la CRA que tiene la mayor correlación con el dispositivo de monitorización de referencia (422). Si la correlación no excede un umbral (0,5 en una realización preferida), el algoritmo 400 continúa hacia la figura 11A (OP3), como en el caso de la Iteración 7 en la Tabla 5 que se muestra arriba.

De lo contrario, el algoritmo 400 determina si la iteración actual es la primera iteración para el dispositivo de control de referencia (426), y si no, determina si la correlación del alimentador es una tendencia más alta (428). Si la correlación del alimentador no es más alta, el algoritmo 400 continúa hacia la figura 11A (OP3). Una tendencia más alta es una indicación de que es probable que el dispositivo de monitorización se encuentre en el nivel actual de la jerarquía en consideración.

Si la iteración actual es la primera iteración para el dispositivo de control de referencia, se añade el alimentador a la

lista de dispositivos de monitorización en el nivel actual de la jerarquía (430), y el algoritmo 400 continúa a la figura 11A (OP2). El dispositivo de monitorización de referencia y el alimentador se designan como directamente vinculados (o interrelacionados) en una tabla de conexión (446), y la potencia asociada con el alimentador se resta del dispositivo de monitorización de referencia en la Tabla de datos (448). La tabla de conexión mantiene una lista de dispositivos y sus interrelaciones (por ejemplo, si están directamente vinculados). Al restar la potencia del alimentador asociado con el coeficiente de correlación más alto en relación con el dispositivo de monitorización de referencia, otros alimentadores (dispositivos de monitorización) conectados al dispositivo de monitorización de referencia verán como aumentan sus coeficientes de correlación. El algoritmo 400 regresa al BUCLE DEL ALIMENTADOR de la figura 9, y la siguiente iteración continúa con los dispositivos de monitorización restantes.

Al pasar ahora a la función OP3, el algoritmo 400 determina si todos los dispositivos de monitorización en el nivel anterior han sido analizados (432), y si no, el siguiente dispositivo de monitorización (alimentador) se obtiene en el nivel anterior, y el algoritmo 400 regresa al BUCLE DEL ALIMENTADOR de la figura 9. Si se han analizado todos los dispositivos de monitorización en el nivel anterior, el algoritmo 400 verifica si se ha encontrado una conexión para todos los dispositivos de monitorización en la jerarquía (434). Si es así, el algoritmo 400 sale. Si no, el algoritmo 400 verifica si el coeficiente de correlación más alto en la CCM excede un umbral (436). Si no, el algoritmo 400 sale. Si es así, el algoritmo 400 determina si se encuentran más dispositivos de monitorización para el nivel actual (438). Si no, el algoritmo 400 regresa al BUCLE PRINCIPAL en la figura 9. Si es así, el algoritmo mueve los dispositivos de monitorización en el nivel actual al nivel anterior (440) y borra la CRA (442). El algoritmo regresa al BUCLE DEL ALIMENTADOR de la figura 9 para determinar las relaciones entre los dispositivos de monitorización restantes en el nivel actual.

Un algoritmo de jerarquía auto-aprendido 500 se ilustra en la figura 11B. El algoritmo 500 comienza al recibir de cada dispositivo de monitorización un criterio asociado con cada dispositivo de monitorización (502). El criterio puede ser un parámetro eléctrico, como potencia, tensión, corriente, distorsión de corriente, distorsión de tensión o energía, o un parámetro asociado con cualquier utilidad WAGES, como el volumen (BTU, MBTU, galones, pies cúbicos) por unidad de tiempo. Los dispositivos de monitorización pueden ser dispositivos de monitorización de energía. Por ejemplo, cuando el criterio es una distorsión de tensión, los dispositivos de monitorización en el mismo nivel de la jerarquía tendrán aproximadamente la misma distorsión de tensión. Adicional o alternativamente, el algoritmo puede usar los valores de distorsión armónica para verificar la jerarquía determinada por las correlaciones basadas en criterios de poder. El algoritmo también puede usar la distorsión armónica para predecir mejor los candidatos desconocidos con mayor precisión. Por ejemplo, un dispositivo de monitorización puede estar correlacionado marginalmente con un dispositivo de referencia de tal manera que el algoritmo no puede determinar si existe un enlace directo o no. La distorsión armónica puede aceptar o descartar una posible interrelación dependiendo de los valores de distorsión armónica de los dispositivos vecinos en el mismo nivel que el dispositivo de monitorización en cuestión. Por ejemplo, una distorsión armónica diferente devuelta para el dispositivo de monitorización en cuestión podría descartarlo como directamente vinculado con un dispositivo en el nivel anterior.

El algoritmo 500 calcula un coeficiente de correlación entre un dispositivo de monitorización de referencia y cada otro dispositivo de monitorización que se interrelaciona en la jerarquía (504). El algoritmo 500 determina el coeficiente de correlación más alto (506) e interrelaciona el dispositivo de monitorización asociado con el coeficiente de correlación más alto y el dispositivo de monitorización de referencia (508). El algoritmo 500 verifica si se deben interrelacionar más dispositivos de monitorización (510), y si no, el algoritmo 500 termina. Si es así, el algoritmo 500 verifica si se utiliza el mismo dispositivo de monitorización de referencia (512), y si es así, vuelve a calcular los coeficientes de correlación (504). De lo contrario, el algoritmo 500 selecciona un nuevo dispositivo de monitorización de referencia (514), y vuelve a calcular los coeficientes de correlación (504).

Un algoritmo de jerarquía auto-aprendido 550 se ilustra en la figura 11C. El algoritmo 550 comienza recibiendo datos de parámetros eléctricos de cada dispositivo de monitorización en intervalos de tiempo periódicos (552). El algoritmo 550 organiza los datos de parámetros eléctricos en una Tabla de datos que tabula los datos de parámetros en cada intervalo de tiempo (554). Se forma una matriz de correlación que incluye los coeficientes de correlación entre pares combinados de dispositivos de monitorización (556). El algoritmo 550 identifica una interrelación entre un par de combinación (558) y elimina de la Tabla de datos la potencia asociada con el dispositivo de monitorización para el cual se identificó una interrelación (560). Si no se van a identificar más interrelaciones (562), el algoritmo 550 termina. De lo contrario, vuelve a calcular los coeficientes de correlación entre los pares de combinación restantes (564) e identifica otra interrelación entre los pares de combinación restantes (558). Este proceso se repite hasta que se hayan identificado todas las interrelaciones entre los dispositivos de monitorización.

El algoritmo de jerarquía auto-aprendido es operable en ambos sistemas alimentados radiales y alimentados radiales múltiples. En múltiples sistemas de alimentación radial, el algoritmo primero determina el medidor principal que tiene la potencia más alta, luego determina la jerarquía de ese sistema primero antes de pasar a los siguientes sistemas que tienen calificaciones de potencia más bajas.

El algoritmo de jerarquía auto-aprendido se ha discutido en varios ejemplos en los que se desarrolla la jerarquía desde el nivel más superior hacia el nivel más inferior. En un ejemplo alternativo, un algoritmo de jerarquía auto-aprendido desarrolla una jerarquía desde el nivel más bajo basado en eventos locales a cada nivel. Por ejemplo, los

dispositivos de monitorización próximos a un evento "verán" un evento, como un encendido o apagado de la carga, antes de que los dispositivos de monitorización remotos del evento lo vean. El algoritmo reconoce las interrelaciones entre los dispositivos de monitorización en función de la ocurrencia de eventos y las marcas de tiempo asociadas con cada dispositivo de monitorización en cuanto a cuándo se dio cuenta de un evento. Al trazar una cronología de

5 cuándo cada dispositivo de monitorización en el sistema percibe un evento, se pueden extraer conclusiones automáticamente en función del orden de tiempo en que el dispositivo de monitorización percibió ese evento en cuanto a qué medidores están interrelacionados (directamente vinculados).

Con referencia de nuevo a la figura 1, el sistema de monitorización integrado de datos automatizados 100 produce

10 datos contextuales 108 desde el sistema de alineación de datos 104 y el sistema de clasificación de jerarquía 106. Los datos contextuales 108 contienen los datos de cada dispositivo de monitorización en contexto con todos los otros dispositivos de monitorización y, por lo tanto, son más valiosos para el usuario. Se puede realizar un análisis contextual de los datos medidos, lo que implica una evaluación de los datos de manera que los parámetros externos específicos de cada dispositivo de monitorización estén alineados o se den a conocer. Los principales parámetros

15 externos de preocupación incluyen:

La posición temporal de los datos de cada dispositivo de control en el sistema de utilidad 102 relativa a los datos de cada otro dispositivo de control en el sistema de utilidad 102; y

20 La posición espacial de cada dispositivo de monitorización M en el sistema de utilidad de 102 con respecto a cada otro dispositivo de monitorización de M en el sistema de utilidad 102.

La evaluación de todos los datos de monitorización acumulados desde el sistema de utilidad 102 en contexto proporcionará un grado de conocimiento sobre el sistema de utilidad 102 que hasta ahora no estaba disponible.

25 Debido a que la información de todo el sistema (software y dispositivos de monitorización) se integra a través de un contexto uniforme, este enfoque para monitorear un sistema de utilidad se denomina Monitorización integrada (IM).

Una analogía útil del enfoque de IM de acuerdo con la presente invención es el sistema nervioso central del cuerpo humano. El cerebro (software) sabe lo que sucede con todo el cuerpo (los dispositivos de monitorización) en relación

30 con el tiempo y la posición. Si se golpea un dedo del pie, el cerebro envía una señal para que el cuerpo reaccione de alguna manera. De manera similar, si ocurre un evento eléctrico, los algoritmos de IM ejecutados por el software del sistema de monitorización brindan información útil al usuario sobre los síntomas en todo el sistema monitoreado, las posibles fuentes del problema y las posibles soluciones o recomendaciones.

La presente invención implica la integración de datos basados en el análisis de los datos de cada punto de control utilizando algoritmos especiales (por ejemplo, un algoritmo de alineación de datos y un algoritmo de jerarquía auto-

35 aprendizaje) en el software de sistema de monitorización. En el sistema de alineación de datos 104, los cambios sutiles pero medibles en la frecuencia y amplitud de los datos se analizan desde todas las fuentes de datos. Estos cambios se utilizan para establecer el punto común de alineación de datos para todas las fuentes de datos y la

40 posición de una fuente de datos en el sistema eléctrico con respecto a otras fuentes de datos. Debido a que el proceso de integración de los datos del sistema se realiza automáticamente en algoritmos en el software del sistema de monitorización, se elimina gran parte del esfuerzo y los gastos requeridos por el usuario. Las variaciones más arbitrarias y sustanciales de los parámetros que se analizan ofrecen una integración más rápida de los datos del sistema.

45 Hay varios beneficios asociados con la IM que están más allá de los disponibles actualmente, incluyendo:

El enfoque automatizado IM reduce en gran medida los requisitos existentes para el usuario para proporcionar manualmente la información detallada sobre la disposición del sistema de alimentación con el fin de poner los datos

50 del sistema en su contexto. Los algoritmos de IM analizan los datos de cada punto de monitorización en el sistema eléctrico para determinar automáticamente el diseño del sistema con poca o ninguna participación del usuario, ahorrando tiempo y recursos al usuario.

El enfoque de IM automatizado elimina la necesidad de un hardware especial, las líneas de datos adicionales, y, en algunos casos, los accesorios del monitor. Los algoritmos de IM analizan los datos de cada punto de monitorización

55 en el sistema eléctrico para determinar automáticamente la alineación temporal de los datos del sistema, ahorrando el equipo del usuario y los costes de mano de obra.

El enfoque de IM automatizada permite una configuración más fácil de hardware y software de vigilancia. Esto se debe a que los algoritmos de IM colocan automáticamente la información de monitorización en contexto en todo el sistema. Una vez que los dispositivos de monitorización están en contexto, los algoritmos de mensajería instantánea pueden tomar decisiones adicionales con respecto a la configuración de hardware y software. Un ejemplo sería establecer el umbral de subtensión de un dispositivo de monitorización dependiendo de la ubicación del dispositivo

60 de monitorización dentro del sistema eléctrico. Nuevamente, el enfoque automatizado de IM ahorra tiempo y recursos al usuario.

65

Un algoritmo IM automatizado 600 de acuerdo con una realización de la presente invención se ilustra en la figura 12. El algoritmo 600 comienza enviando un comando a los dispositivos de monitorización para recopilar datos de frecuencia (602). Los datos de los dispositivos de monitorización se cargan en el ordenador central (604) y los datos de todos los dispositivos de monitorización se alinean (606) de acuerdo con la presente invención. Cuando todos los

datos están alineados, el algoritmo 600 determina si el diseño del sistema eléctrico está completo (610). Si es así, el algoritmo 600 finaliza y los datos contextuales se pueden utilizar en otras aplicaciones de software.

Si la disposición del sistema de alimentación no se ha completado, el algoritmo 600 envía una orden a los dispositivos de monitorización para recoger datos de potencia (612). El ordenador central que ejecuta el algoritmo 600 carga los datos de potencia de los dispositivos de monitorización (614) y determina el diseño del sistema de potencia (616) de acuerdo con la presente invención. Este procedimiento se repite hasta que se completa el diseño del sistema de potencia (618), momento donde finaliza el algoritmo.

Desafíos de alinear múltiples dispositivos

Los datos empíricos han demostrado que mientras que la alineación entre muchos pares de dispositivos es obtenible, la alineación entre otros pares de dispositivo puede ser más desafiante. Se dice que dos dispositivos (un par de dispositivos) que son difíciles de alinear entre sí tienen una relación "ruidosa". Un enfoque para resolver estas relaciones ruidosas de medidores fue tomar múltiples muestras de datos del par de dispositivos en cuestión y pasar estas muestras a través del algoritmo de alineación de datos descrito anteriormente. Una vez que se toma un número dado de muestras del par de dispositivos ruidosos, se analizan las conclusiones de cada paso para determinar la respuesta más consistente (es decir, el modo estadístico). Cabe señalar que las conclusiones de esta técnica incluyen la compensación probable del recuento de ciclos entre un par de dispositivos y la relación entre la correlación más alta y la segunda correlación más alta de un par de dispositivos. Hay varias deficiencias en este enfoque: (1) todavía puede proporcionar una respuesta incorrecta; (2) los datos deben recopilarse varias veces desde el par de dispositivos cuestionable, lo que hace que el proceso completo de alineación de datos tarde más tiempo; (3) la red de comunicaciones experimenta un tráfico mucho más pesado debido a la gran cantidad de datos que se deben pasar repetidamente entre los dispositivos y el software; y (4) es difícil determinar cuántas muestras de datos son suficientes para proporcionar una solución precisa.

Se hizo evidente que una solución es necesario encontrar para aumentar la robustez del algoritmo de alineación de datos se discutió anteriormente cuando se trataba de relaciones de par de dispositivos ruidoso. Solo por conveniencia, los aspectos, técnicas, métodos, algoritmos e implementaciones que se analizan a continuación en relación con la alineación de dispositivos "ruidosos" se denominarán algoritmos de "alineación de datos ruidosos". Esta frase también se puede referir de diversas maneras en el presente documento como una implementación, un método, un proceso, una técnica, una solución o un aspecto. Se entiende expresamente que esta frase es meramente solo por conveniencia y que los términos seleccionados en la frase no pretenden limitar los aspectos descritos aquí de ninguna manera. Un ejemplo de un algoritmo 1400 de alineación de datos ruidosos se muestra en la figura 14A, que puede ser parte del sistema de alineación de datos 104.

Las técnicas de alineación de datos ruidosos descritos a continuación se dirigen a satisfacer estas y otras necesidades y resolver estos y otros problemas. Las ventajas de estas técnicas incluyen: (1) reduce (o incluso elimina) operaciones adicionales del algoritmo de alineación de datos; (2) proporciona una solución para relaciones de medidor "ruidoso"; (3) aumenta la robustez del algoritmo de alineación de datos; y (4) aumenta la velocidad general y la eficiencia del proceso de alineación de datos. Ventajas y resultados adicionales se exponen en otra parte en este documento.

Relaciones directas e indirectas en la matriz de compensación de recuento de ciclos

Como se ha indicado anteriormente, cada dispositivo que evalúa las señales en una red eléctrica interconectada experimenta desviaciones de frecuencia sincronizada con cualquier otro dispositivo en la red ya que los cambios de frecuencia se reflejan a través de toda la red. Por lo tanto, el recuento de ciclos de cada dispositivo es un número entero de ciclos aparte del recuento de ciclos de cualquier otro dispositivo en un momento dado. La compensación del recuento de ciclos (o la diferencia) entre cada par de dispositivos varía dependiendo de cuándo se inició el recuento de ciclos de cada dispositivo con respecto a los otros dispositivos. El algoritmo de alineación de datos 180 descrito anteriormente determina la compensación del recuento de ciclos entre dos dispositivos cualquiera.

La solución de alineación de datos ruidoso proporciona una mejora inesperada sobre el algoritmo de alineación de datos 180 porque se descubrió empíricamente que el concepto de relaciones de recuento de ciclo entre dispositivos discretos se puede ampliar para incluir relaciones de recuento de ciclo indirecto sobre la totalidad del sistema de vigilancia. Cada sistema tiene su propia solución única que puede resolverse de manera muy similar a resolver un rompecabezas. Al explotar las relaciones de recuento de ciclos indirectos, las técnicas de alineación de datos ruidosos encuentran automáticamente una solución única entre pares de dispositivos "ruidosos" que proporcionan un grado muy alto de confianza si no una confianza total en la relación.

Tal como se utiliza de aquí en adelante, un dispositivo de monitorización se designa por la letra D, y el subíndice se

refiere a un dispositivo de control único dentro de un sistema de monitorización. La letra M se refiere a un recuento de ciclos y su subíndice se refiere al dispositivo de monitorización con el que está asociado el recuento de ciclos. D_{ij} se refiere a un par de dispositivos, donde i y j se refieren a distintos dispositivos de monitorización en el sistema de monitorización y $1 \leq i \leq n$ y $1 \leq j \leq n$ y $i \neq j$. El sistema de monitorización tiene un número, n , de dispositivos de monitorización que son capaces de comunicar datos de señal indicativos de variaciones de frecuencia al sistema de alineación de datos 104. M_{ij} se refiere a una compensación (o diferencia) de recuento de ciclos asociado con un par de dispositivos, D_{ij} . M_k se refiere a un recuento de ciclos asociado con un dispositivo distinto de D_i y distinto de D_j .

la compensación recuento de ciclo directo (M_i , M_j) entre un par dispositivo (D_i , D_j) se puede determinar directamente mediante las siguientes ecuaciones:

$$M_{ij} = M_i - M_j \text{ (Ecuación 4)}$$

$$M_{ji} = M_j - M_i \text{ (Ecuación 5)}$$

$$M_{ij} = -M_{ji} \text{ (Ecuación 6)}$$

donde M_i es el recuento de ciclos de un dispositivo D_i y M_j es el recuento de ciclos de otro dispositivo D_j (ambos tomados sincrónicamente). Por ejemplo, si M_1 tiene un recuento de ciclos de 20 y M_2 tiene un recuento de ciclos de 25, entonces la compensación directa del recuento de ciclos entre los dos dispositivos (es decir, el par de dispositivos), M_{12} , es igual a -5 (tenga en cuenta que M_{21} será igual a +5). Cuando $i = j$, la compensación del recuento del ciclo directo siempre es cero porque la ecuación está calculando la compensación de un dispositivo consigo mismo. Por lo tanto, la diagonal de las matrices de desplazamiento de recuento de ciclo directo es siempre igual a cero.

Tabla 6 Construcción de matriz de compensación de recuento de ciclo directo

	M_1	M_2	M_3	M_4	.....	M_j
M_1	0	M_{12}	M_{13}	M_{14}	(-)	M_{1j}
M_2	M_{21}	0	M_{23}	M_{24}	(-)	M_{2j}
M_3	M_{31}	M_{32}	0	M_{34}	(-)	M_{3j}
M_4	M_{41}	M_{42}	M_{43}	0	(-)	M_{4j}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	0	$\vdots$
M_i	M_{i1}	M_{i2}	M_{i3}	M_{i4}	.....	0

Una Matriz de compensación de recuento de ciclo se construye mediante la introducción de la compensación de recuento de ciclos de cada dispositivo con respecto a cualquier otro dispositivo en el sistema de monitorización utilizando las ecuaciones 4-6 (1402). La tabla 6 ilustra la construcción de una matriz de compensación de recuento de ciclo directo. Todas las filas y columnas corresponden a cada dispositivo capaz en el sistema de monitorización de energía. Nuevamente, los elementos en la diagonal de la matriz son iguales a cero porque el recuento de ciclos se compensa entre cualquier dispositivo y es igual a cero.

Todas las matrices de compensación de recuento de ciclo están en la forma de una matriz antisimétrica. En el álgebra lineal, una matriz asimétrica simétrica (o anti-simétrica) es una matriz cuadrada A cuya transposición es también su negativa; es decir, satisface la ecuación:

$$A^T = -A \text{ (Ecuación 7)}$$

En la forma de componentes, $A = (a_{ij})$ donde $a_{ij} = -a_{ji}$ para todo i y j . Todas las entradas diagonales principales de una matriz sesgada simétrica tienen que ser cero, por lo que la traza es cero. Por lo tanto, la matriz de desplazamiento del recuento de ciclos puede ser del tipo de matriz simétrica sesgada.

Debido a que el recuento de ciclos para todos los dispositivos en un sistema de monitorización de potencia 120 se incrementa como se explicó anteriormente, las compensaciones de recuento de ciclos entre cualquier par de dispositivos serán constantes. Por lo tanto, la matriz de compensación de recuento de ciclos es fija o constante y única para cualquier sistema de monitorización de energía dado (siempre que no se produzcan reinicios del dispositivo mientras el algoritmo de alineación de datos ruidosos está funcionando). Si un dispositivo o dispositivos se restablecen mientras el algoritmo 1400 de alineación de datos ruidosos está funcionando, el algoritmo 1400 anotará los restablecimientos y se reiniciará para crear una nueva matriz de compensación de recuento de ciclo directo (1402), que es fija/constante y única.

Al explotar los conceptos relacionados con el algoritmo de alineación de datos 180 y el descubrimiento revolucionario de que la matriz de desplazamiento del recuento de ciclos es fija/constante (los recuentos de ciclos de todos los dispositivos aumentan juntos) y únicos (solo hay una solución correcta), la solución de M_{ij} se puede derivar

en función de las relaciones de compensación de recuento cíclico de múltiples dispositivos. En resumen, es posible deducir la compensación del recuento de ciclos entre M_{ij} analizando las relaciones de desplazamiento del recuento de ciclos entre M_{ik} y M_{jk} (y M_{ki} y M_{kj}). Además, la naturaleza intrínseca de la matriz de compensación de recuento de ciclos requiere que M_{ij} pueda determinarse con precisión mediante una multitud de combinaciones únicas de las relaciones de compensación de recuento de ciclos, estando limitado solo por el tamaño de la matriz ($n \times n$). Por lo tanto, se puede llegar al desplazamiento del recuento de ciclos entre un par de dispositivos directamente al determinar la relación entre cualquiera de los dos dispositivos dados (M_{ij}) o indirectamente al incorporar las relaciones entre otros dispositivos ($M_{ik} - M_{jk}$, etc.).

La Tabla 7 ilustra una matriz de compensación de recuento de ciclo directo ejemplar en forma de inclinación simétrica con datos de ejemplo tomados de 6 dispositivos, lo que resulta en una matriz de 6×6 . Los datos en cada celda de la matriz son la compensación directo del recuento de ciclos entre cada combinación de pares de dispositivos. Por ejemplo, células M_{12} es igual a 2, por lo que el contador de ciclos de M_1 es de dos ciclos por delante del contador de ciclos M_2 . Simétricamente, célula M_{21} es igual a -2 porque el contador de ciclos M_2 está de dos ciclos detrás del contador de ciclos M_1 (véase la ecuación 6).

Tabla 7 Matriz de recuento de ciclos directos (Ejemplo 1)

	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
M_1	0	2	-4	-7	-7	-7
M_2	-2	0	-6	-9	-9	-9
M_3	4	6	0	-3	-3	-3
M_4	7	9	3	0	0	0
M_5	7	9	3	0	0	0
M_6	7	9	3	0	0	0

En este ejemplo, la determinación de M_{12} (y M_{21}) se derivó a través de la relación directa de M_1 y M_2 . Sin embargo, también es posible determinar la relación de compensación de recuento de ciclos entre M_1 y M_2 indirectamente usando otras celdas en la matriz de recuento de ciclos con la siguiente ecuación:

$$M_{ij} = M_{ik} - M_{jk} \text{ donde } k \neq i \neq j \text{ (Ecuación 8)}$$

Las relaciones indirectas adicionales se pueden derivar basan en 2 a $n - 1$ pares de dispositivos para una matriz de compensación de recuento de ciclo de $n \times n$. Si bien el número de relaciones directas siempre es 1 para cualquier par de dispositivos dado, el número de relaciones indirectas que se pueden derivar se basa en el tamaño de la matriz $n \times n$.

Para ilustrar, célula M_{12} de la Tabla 7 se puede determinar indirectamente mediante la búsqueda de la diferencia entre dos compensaciones de recuento de ciclo directo, M_{13} y M_{23} :

$$M_{12} = M_{13} - M_{23} = (-4) - (-6) = 2$$

La celda M_{12} de la Tabla 7 también se puede determinar indirectamente al encontrar la diferencia entre tres compensaciones de recuento de ciclo directo, M_{13} , M_{43} y M_{42} :

$$M_{12} = M_{13} - M_{43} - M_{24} = (-4) - (3) - (-9) = 2$$

En este ejemplo, hasta 5 relaciones de par dispositivo ($n - 1$ donde $n = 6$) se pueden utilizar para derivar la compensación de recuento de ciclo para M_{12} . Un ejemplo de derivar M_{12} de 5 relaciones de par de dispositivos es:

$$M_{12} = M_{13} - M_{43} - M_{54} - M_{65} - M_{26} = (-4) - (3) - (0) - (0) - (-9) = 2$$

Se debe tener en cuenta que existen numerosas combinaciones únicas de relaciones de par de dispositivos que se pueden usar para derivar indirectamente la compensación del recuento de ciclos para un par de dispositivos dado.

La tabla 8 ilustra docenas de combinaciones únicas de ecuaciones que pueden derivarse de las relaciones en una matriz de desplazamiento de recuento de ciclos de un tamaño dado (en este caso, 6×6). Debería ser evidente que los sistemas con más dispositivos de monitorización tienen un número proporcionalmente mayor de combinaciones únicas que pueden derivarse en comparación con los sistemas con menos dispositivos de monitorización.

Tabla 8 Ejemplo de ecuaciones de compensación de recuento de ciclo directo e indirecto para la Tabla 7

Par de dispositivos	Ecuación	Resultado	Tipo de relación
$M_{12} =$	$M_1 - M_2$	2	Directo

Par de dispositivos	Ecuación	Resultado	Tipo de relación
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₂₃	2	Relaciones indirectas únicas derivadas de dos conjuntos de pares de dispositivos
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₂₅	2	Relaciones indirectas únicas derivadas de tres conjuntos de pares de dispositivos
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₄₃ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₅₃ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₆₃ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₃₄ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₅₄ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₆₄ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₃₅ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₄₅ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₆₅ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₃₆ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₄₆ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₅₆ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₄₃ - M ₅₄ - M ₂₅	2	Relaciones indirectas únicas derivadas de cuatro conjuntos de pares de dispositivos
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₄₃ - M ₆₄ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₅₃ - M ₅₄ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₅₃ - M ₅₆ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₆₃ - M ₆₄ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₆₃ - M ₆₅ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₃₄ - M ₅₃ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₃₄ - M ₆₃ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₅₄ - M ₃₅ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₅₄ - M ₅₆ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₆₄ - M ₃₆ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₆₄ - M ₆₅ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₃₅ - M ₄₃ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₃₅ - M ₆₃ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₄₅ - M ₃₄ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₄₅ - M ₆₄ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₆₅ - M ₃₆ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₆₅ - M ₄₆ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₃₆ - M ₅₃ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₃₆ - M ₄₃ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₄₆ - M ₃₄ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₄₆ - M ₅₄ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₅₆ - M ₃₅ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₅₆ - M ₄₅ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₄₃ - M ₅₄ - M ₆₅ - M ₂₆	2	Relaciones indirectas únicas derivadas de cinco conjuntos de pares de dispositivos
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₄₃ - M ₆₄ - M ₅₆ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₅₃ - M ₆₅ - M ₄₆ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₅₃ - M ₄₅ - M ₆₄ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₆₃ - M ₄₆ - M ₅₄ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₃ - M ₆₃ - M ₅₆ - M ₄₅ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₃₄ - M ₅₃ - M ₆₅ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₃₄ - M ₆₃ - M ₅₆ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₅₄ - M ₆₅ - M ₃₆ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₅₄ - M ₃₅ - M ₆₃ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₆₄ - M ₅₆ - M ₃₅ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₄ - M ₆₄ - M ₃₆ - M ₅₃ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₃₅ - M ₄₃ - M ₆₄ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₃₅ - M ₆₃ - M ₄₆ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₄₅ - M ₃₄ - M ₆₃ - M ₂₆	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₄₅ - M ₆₄ - M ₃₆ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₆₅ - M ₄₆ - M ₃₄ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₅ - M ₆₅ - M ₅₆ - M ₄₅ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₃₆ - M ₄₃ - M ₅₄ - M ₂₅	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₃₆ - M ₅₃ - M ₄₅ - M ₂₄	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₄₆ - M ₅₄ - M ₃₅ - M ₂₃	2	
M ₁₂ =	M ₁₆ - M ₄₆ - M ₃₄ - M ₅₃ - M ₂₅	2	

Par de dispositivos	Ecuación	Resultado	Tipo de relación
$M_{12} =$	$M_{16} - M_{56} - M_{45} - M_{34} - M_{23}$	2	
$M_{12} =$	$M_{16} - M_{56} - M_{35} - M_{43} - M_{24}$	2	

Enfoque innovador para resolver la relación de par de dispositivos ruidosos

- 5 El hecho de que hay tantas relaciones (directas e indirectas) para cada par de dispositivo y que solo existe una solución única para la matriz de recuento de ciclo directo de desplazamiento proporciona la base para las técnicas de alineación de datos de ruido en el presente documento para determinar qué dispositivos son ruidosos y para encontrar una solución a pesar de las relaciones ruidosas. Es importante destacar que, cuando anteriormente los datos debían recopilarse varias veces en un intento de determinar estadísticamente las compensaciones de recuento de ciclos de pares de dispositivos discretos, la solución de alineación de datos ruidosa de este documento
- 10 puede determinar con confianza la matriz de desplazamiento de recuento de ciclos directos en muchos casos utilizando solo un único paso de recolección de datos e itere a la solución donde están presentes los medidores ruidosos.

Tabla 9 Lista de dispositivos ejemplares para pruebas

15

Número del dispositivo	Tipo de dispositivo	IP*	Dirección serie
M_1	CM4000T	158.197.126.27	1
M_2	CM4250	158.197.126.17	1
M_3	CM4000	158.197.126.17	2
M_4	CM4250	158.197.148.21	1
M_5	CM4000T	158.197.148.21	2
M_6	CM3350	158.197.148.21	3

- Para ilustrar esta técnica de alineación de datos ruidoso, la Tabla 9 enumera seis dispositivos ejemplares disponibles comercialmente de Square D Company que se ensayaron. Estos dispositivos se dividieron en tres grupos y se interconectaron al software a través de Ethernet y las redes de comunicaciones RS-485 conectadas en
- 20 cadena. Hay un total de quince combinaciones únicas de pares de dispositivos basadas en la siguiente ecuación:

$$\text{Número de pares de dispositivos único} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (\text{Ecuación 9})$$

- 25 donde n es el número de dispositivos.

- La Tabla 10 muestra cada par de dispositivos únicos para el sistema ejemplar de seis dispositivos. El algoritmo de alineación de datos 180 se inició para los seis dispositivos y las compensaciones de recuento de ciclos directo basadas en las relaciones directas (es decir, la diferencia entre los recuentos de ciclos correspondientes de cada dispositivo se determinó en el punto del coeficiente de correlación más alto producido por la correlación cruzada de los datos de señal de los pares de dispositivos) se determinó para cada combinación única de pares de dispositivos. Debe ser evidente que no se pueden extraer conclusiones firmes de la Tabla 10 con respecto a su corrección. El algoritmo de alineación de datos 180 solo puede reiniciar y generar múltiples instancias de los datos en la Tabla 10. El análisis estadístico se llevaría a cabo para determinar la compensación de recuento de ciclos más probable para
- 35 cada par de dispositivos.

Tabla 10 Tabla de compensación de recuento de ciclo directo producida por el algoritmo de alineación de datos

Todas las combinaciones de compensaciones de recuento de ciclos de pares de dispositivos														
M_{12}	M_{13}	M_{14}	M_{15}	M_{16}	M_{23}	M_{24}	M_{25}	M_{26}	M_{34}	M_{35}	M_{36}	M_{45}	M_{46}	M_{56}
2	-4	-7	-7	-247	-6	-9	-9	-249	-3	-3	-3	0	0	0

- 40 El algoritmo de alineación de datos ruidoso recoge los resultados de cada ciclo de par dispositivo de recuento de terminación de la Tabla 10 y construye la matriz de desplazamiento de recuento de ciclos mostrada en la Tabla 11, que es una compilación del ciclo directo contar relaciones de desplazamiento de cada par de dispositivos en forma de matriz.

45 Tabla 11 Matriz de compensación de recuento de ciclo directo (datos iniciales)

Dispositivo	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
M_1	0	2	-4	-7	-7	-247
M_2	-2	0	-6	-9	-9	-249

Dispositivo	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
M ₃	4	6	0	-3	-3	-3
M ₄	7	9	3	0	0	0
M ₅	7	9	3	0	0	0
M ₆	247	249	3	0	0	0

Usando los conceptos descritos anteriormente, se construye una nueva tabla de compensación de recuento de ciclo indirecto para las relaciones de compensación de recuento de ciclo indirecto (consulte la Tabla 12) (1404). Para simplificar, la Tabla 12 solo incluye cada una de las relaciones indirectas que utilizan dos conjuntos de pares de dispositivos únicos; sin embargo, en este ejemplo se pueden usar todas las relaciones indirectas de hasta 5 conjuntos de pares de dispositivos únicos (consulte la Tabla 8 para conocer otros pares de dispositivos únicos para un sistema de seis dispositivos). No es necesario determinar las relaciones indirectas para cada combinación de pares de dispositivos. Basta con determinar las relaciones indirectas para los pares de dispositivos sospechosos, como los pares de dispositivos cuya desviación estándar de la media excede un umbral cuando los contadores de ciclo para todos los dispositivos se han restablecido al mismo valor inicial (generalmente 0) pseudo-sincrónico. En la Tabla 11, los pares sospechosos incluyen M₆₁ y M₆₂ (y sus correspondientes pares de dispositivos, M₁₆ y M₂₆), ya que estos pares de dispositivos tienen compensaciones de recuento de ciclos que se desvían fuertemente de las compensaciones de recuento de ciclos promedio de otros pares de dispositivos.

la compensación matriz de recuento de ciclos es una matriz de 6 x 6 porque hay seis dispositivos. Solo hay cuatro ecuaciones indirectas únicas que usan dos conjuntos de pares de dispositivos para resolver para cada par de dispositivos, y cada uno se muestra en la Tabla 12. Nuevamente, las celdas en la diagonal de la matriz son iguales a cero porque un dispositivo no puede desplazarse de sí mismo. El algoritmo 1400 compara los datos de relación directa de la matriz de compensación de recuento de ciclo directo y los resultados de la relación indirecta de la matriz de compensación de recuento de ciclo indirecto para cada par de dispositivos únicos entre sí (1406). En varios aspectos, el algoritmo 1400 puede hacer esta comparación para cada par de dispositivos o para un subconjunto de pares de dispositivos, como aquellos pares de dispositivos cuyas relaciones indirectas son sospechosas. Los ejemplos se proporcionan a continuación.

Como puede verse en la celda M₂₁ de la Tabla 12, cada uno de los cuatro resultados de la ecuación indirectos de acuerdo con el valor de la ecuación directo dado en la celda M₂₁ de la Tabla 11. Por lo tanto, existe una gran probabilidad de que las conclusiones dadas por ambas tablas para la celda M₁₂ sean correctas. Tenga en cuenta que la celda M₁₂ es el negativo de la celda M₂₁ como se mostró anteriormente en la Ecuación 6.

Tabla 12 Matriz de compensación de recuento de ciclos indirectos (datos iniciales)

M₁₁ = 0	$M_{12} = M_{13} - M_{23} = 2$ $M_{12} = M_{14} - M_{24} = 2$ $M_{12} = M_{15} - M_{25} = 2$ $M_{12} = M_{16} - M_{26} = 2$	$M_{13} = M_{12} - M_{32} = -4$ $M_{13} = M_{14} - M_{34} = -4$ $M_{13} = M_{15} - M_{35} = -4$ $M_{13} = M_{16} - M_{36} = -244$	$M_{14} = M_{12} - M_{42} = -7$ $M_{14} = M_{13} - M_{43} = -7$ $M_{14} = M_{15} - M_{45} = -7$ $M_{14} = M_{16} - M_{46} = -247$	$M_{15} = M_{12} - M_{52} = -7$ $M_{15} = M_{13} - M_{53} = -7$ $M_{15} = M_{14} - M_{54} = -7$ $M_{15} = M_{16} - M_{56} = -247$	$M_{16} = M_{12} - M_{62} = -247$ $M_{16} = M_{13} - M_{63} = -7$ $M_{16} = M_{14} - M_{64} = -7$ $M_{16} = M_{15} - M_{65} = -7$
$M_{21} = M_{23} - M_{13} = -2$ $M_{21} = M_{24} - M_{14} = -2$ $M_{21} = M_{25} - M_{15} = -2$ $M_{21} = M_{26} - M_{16} = -2$	M₂₂ = 0	$M_{23} = M_{21} - M_{31} = -6$ $M_{23} = M_{24} - M_{34} = -6$ $M_{23} = M_{25} - M_{35} = -6$ $M_{23} = M_{26} - M_{36} = -246$	$M_{24} = M_{21} - M_{41} = -9$ $M_{24} = M_{23} - M_{43} = -9$ $M_{24} = M_{25} - M_{45} = -9$ $M_{24} = M_{26} - M_{46} = -249$	$M_{25} = M_{21} - M_{51} = -9$ $M_{25} = M_{23} - M_{53} = -9$ $M_{25} = M_{24} - M_{54} = -9$ $M_{25} = M_{26} - M_{56} = -249$	$M_{26} = M_{21} - M_{61} = -249$ $M_{26} = M_{23} - M_{63} = -9$ $M_{26} = M_{24} - M_{64} = -9$ $M_{26} = M_{25} - M_{65} = -9$
$M_{31} = M_{32} - M_{12} = 4$ $M_{31} = M_{34} - M_{14} = 4$ $M_{31} = M_{35} - M_{15} = 4$ $M_{31} = M_{36} - M_{16} = 244$	$M_{32} = M_{31} - M_{21} = 6$ $M_{32} = M_{34} - M_{24} = 6$ $M_{32} = M_{35} - M_{25} = 6$ $M_{32} = M_{36} - M_{26} = 246$	M₃₃ = 0	$M_{34} = M_{31} - M_{41} = -3$ $M_{34} = M_{32} - M_{42} = -3$ $M_{34} = M_{35} - M_{45} = -3$ $M_{34} = M_{36} - M_{46} = -3$	$M_{35} = M_{31} - M_{51} = -3$ $M_{35} = M_{32} - M_{52} = -3$ $M_{35} = M_{34} - M_{54} = -3$ $M_{35} = M_{36} - M_{56} = -3$	$M_{36} = M_{31} - M_{61} = -243$ $M_{36} = M_{32} - M_{62} = -243$ $M_{36} = M_{34} - M_{64} = -3$ $M_{36} = M_{35} - M_{65} = -3$

$M_{41} = M_{42} - M_{12} = 7$ $M_{41} = M_{43} - M_{13} = 7$ $M_{41} = M_{45} - M_{15} = 7$ $M_{41} = M_{46} - M_{16} = 247$	$M_{42} = M_{41} - M_{21} = 9$ $M_{42} = M_{43} - M_{23} = 9$ $M_{42} = M_{45} - M_{25} = 9$ $M_{42} = M_{46} - M_{26} = 249$	$M_{43} = M_{41} - M_{31} = 3$ $M_{43} = M_{42} - M_{32} = 3$ $M_{43} = M_{45} - M_{35} = 3$ $M_{43} = M_{46} - M_{36} = 3$	$M_{44} = 0$	$M_{45} = M_{41} - M_{51} = 0$ $M_{45} = M_{42} - M_{52} = 0$ $M_{45} = M_{43} - M_{53} = 0$ $M_{45} = M_{46} - M_{56} = 0$	$M_{46} = M_{41} - M_{61} = -240$ $M_{46} = M_{42} - M_{62} = -240$ $M_{46} = M_{43} - M_{63} = 0$ $M_{46} = M_{45} - M_{65} = 0$
$M_{51} = M_{52} - M_{12} = 7$ $M_{51} = M_{53} - M_{13} = 7$ $M_{51} = M_{54} - M_{14} = 7$ $M_{51} = M_{56} - M_{16} = 247$	$M_{52} = M_{51} - M_{21} = 9$ $M_{52} = M_{53} - M_{23} = 9$ $M_{52} = M_{54} - M_{24} = 9$ $M_{52} = M_{56} - M_{26} = 249$	$M_{53} = M_{51} - M_{31} = 3$ $M_{53} = M_{52} - M_{32} = 3$ $M_{53} = M_{54} - M_{34} = 3$ $M_{53} = M_{56} - M_{36} = 3$	$M_{54} = M_{51} - M_{41} = 0$ $M_{54} = M_{52} - M_{42} = 0$ $M_{54} = M_{53} - M_{43} = 0$ $M_{54} = M_{56} - M_{46} = 0$	$M_{55} = 0$	$M_{56} = M_{51} - M_{61} = -240$ $M_{56} = M_{52} - M_{62} = -240$ $M_{56} = M_{53} - M_{63} = 0$ $M_{56} = M_{54} - M_{64} = 0$
$M_{61} = M_{62} - M_{12} = 247$ $M_{61} = M_{63} - M_{13} = 7$ $M_{61} = M_{64} - M_{14} = 7$ $M_{61} = M_{65} - M_{15} = 7$	$M_{62} = M_{61} - M_{21} = 249$ $M_{62} = M_{63} - M_{23} = 9$ $M_{62} = M_{64} - M_{24} = 9$ $M_{62} = M_{65} - M_{25} = 9$	$M_{63} = M_{61} - M_{31} = 243$ $M_{63} = M_{62} - M_{32} = 243$ $M_{63} = M_{64} - M_{34} = 3$ $M_{63} = M_{65} - M_{35} = 3$	$M_{64} = M_{61} - M_{41} = 240$ $M_{64} = M_{62} - M_{42} = 240$ $M_{64} = M_{63} - M_{43} = 0$ $M_{64} = M_{65} - M_{45} = 0$	$M_{65} = M_{61} - M_{51} = 240$ $M_{65} = M_{62} - M_{52} = 240$ $M_{65} = M_{63} - M_{53} = 0$ $M_{65} = M_{64} - M_{54} = 0$	$M_{66} = 0$

La revisión de la celda M_{31} en las Tablas 11 y 12 muestra que todos menos uno resultado calculado ($M_{31} = M_{36} - M_{16} = 244$) están de acuerdo (que $M_{31} = 4$). Por lo tanto, el modo estadístico en esta muestra es 4, con $M_{36} - M_{16}$ que se desvía mucho del modo (1408). Dos cosas se pueden aprender de esta célula. Primero, debido a la casi unanimidad de los valores medidos y calculados, la compensación directa del recuento de ciclos entre el dispositivo M_3 y M_1 es casi seguramente igual a 4 ciclos. En segundo lugar, las compensaciones de recuento de ciclo directo de la celda M_{36} y/o M_{16} son incorrectas en la Tabla 11. El algoritmo 1400 de alineación de datos ruidosos señala estos dos hechos para referencia futura en el análisis final. No se pueden sacar más conclusiones de esta celda por si sola.

10 La revisión de la celda M_{41} en las Tablas 11 y 12 muestra de nuevo todos menos un resultado calculado ($M_{41} = M_{46} - M_{16} = 247$) para estar de acuerdo (que $M_{41} = 7$). Por lo tanto, el modo estadístico para esta muestra es 7 con $M_{46} - M_{16}$ que se desvía mucho del modo (1408). Se pueden aprender tres cosas de esta celda en base a la discusión anterior en relación con la celda M_{31} . Primero, debido a la casi unanimidad de los valores medidos y calculados, la compensación directa del recuento de ciclos entre el dispositivo D_4 y D_1 es casi seguramente igual a 7 ciclos. En segundo lugar, las compensaciones de recuento de ciclo directo de la celda M_{46} y/o M_{16} son incorrectas en la Tabla 11. En tercer lugar, según las conclusiones de la celda M_{31} y las conclusiones de la oración anterior, la celda M_{16} ahora comienza a parecer sospechosa. De nuevo, el algoritmo 1400 de alineación de datos ruidosos señala estos hechos para futuras referencias en el análisis final. No se pueden sacar más conclusiones de esta celda por si sola.

20 La revisión de la celda M_{51} en las Tablas 11 y 12 muestra de nuevo todos menos un resultado calculado ($M_{51} = M_{56} - M_{16} = 247$) para estar de acuerdo (que $M_{51} = 7$). Por lo tanto, el modo estadístico para esta muestra es 7 con $M_{56} - M_{16}$ que se desvía mucho del modo (1408). Debido a la casi unanimidad de los valores medidos y calculados, la compensación directa del recuento de ciclos entre el dispositivo M_5 y M_1 es casi seguramente igual a 7 ciclos. De nuevo, las compensaciones de recuento de ciclo directo de la celda M_{56} y/o M_{16} son incorrectas en la Tabla 11.

25 Finalmente, basándose en las conclusiones de las celdas M_{31} y M_{41} anteriores, la celda M_{16} ahora parece extremadamente sospechosa. Una vez más, el algoritmo 1400 de alineación de datos ruidosos toma nota de estos hechos para futuras referencias en el análisis final.

30 La revisión de la celda M_{61} en las Tablas 11 y 12 muestra dos de las cinco relaciones que proporcionan una respuesta ($M_{61} = M_{62} - M_{12} = 247$) y tres restantes que proporcionan otra respuesta ($M_{61} = 7$). Por lo tanto, el modo estadístico para esta muestra también es 7, con $M_{62} - M_{12}$ muy diferente al modo (1408). De las dos relaciones que proporcionan la respuesta $M_{61} = 247$, una fue la relación directa ($M_6 - M_1$) (vea la celda M_{61} en la Tabla 11). En los dos párrafos anteriores, se generó sospecha sobre la validez de la relación directa para M_{61} (y por lo tanto M_{16}) porque estos valores de desviación se desviaron del modo estadístico. Ahora se hace evidente que $M_{61} \neq 247$ ($M_{16} \neq -247$). Esta conclusión se establece aún más después de analizar M_{62} , M_{13} , M_{63} , M_{14} , M_{64} , M_{15} , M_{65} , M_{26} , M_{36} , M_{46} y M_{56} en las Tablas 11 y 12. En todos los casos, la elección lógica para las compensaciones de recuento de ciclo directo de M_{61} y M_{16} en la Tabla 11 es (7) y (-7) respectivamente.

40 Puede que no siempre sea el caso que los datos de la matriz de compensación de recuento de ciclos indirectos sean útiles como se muestra arriba. Por ejemplo, puede que no sea posible determinar un modo estadístico para un conjunto dado de compensaciones de recuento de ciclos indirectos porque todos pueden ser valores únicos (que indican muchas relaciones de dispositivos ruidosos). Alternativamente, puede haber múltiples modos estadísticos,

como cuando aparecen múltiples compensaciones de recuento de ciclos indirectos en números iguales. Cuando los datos de la matriz de compensación de recuento de ciclos indirectos son improductivos (1410), el algoritmo 1400 puede devolver el control al algoritmo de alineación de datos 108, con lo cual se instruye a los dispositivos de monitorización para que envíen otro lote de datos indicativos de las variaciones de frecuencia para su análisis mediante la alineación de datos. algoritmo.

5

Tabla 13 Matriz de compensación de recuento de ciclo directo (Iteración 1)

Dispositivo	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
M ₁	0	2	-4	-7	-7	-7
M ₂	-2	0	-6	-9	-9	-249
M ₃	4	6	0	-3	-3	-3
M ₄	7	9	3	0	0	0
M ₅	7	9	3	0	0	0
M ₆	7	249	3	0	0	0

- 10 El algoritmo de alineación de datos ruidosos 1400 determina la célula de datos en el ciclo directo contar matriz compensación (Tabla 11) para ajustar y ajusta la Tabla 11 mediante el cambio de células M₆₁ a (7) y de células M₁₆ a (-7) (1412), resultando en la Tabla 13. Además, cambiar cualquier valor o valores de relación directa también requiere revisar los resultados de la relación indirecta (1414). El algoritmo 1400 de alineación de datos ruidosos construye la Tabla 14 con los resultados actualizados de cada relación indirecta para reflejar los cambios realizados en los datos de relación directa (1414).
- 15

Tabla 14 Matriz de compensación de recuento de ciclos indirectos (iteración 1)

M₁₁ = 0	$M_{12} = M_{13} - M_{23} = 2$ $M_{12} = M_{14} - M_{24} = 2$ $M_{12} = M_{15} - M_{25} = 2$ $M_{12} = M_{16} - M_{26} = 242$	$M_{13} = M_{12} - M_{32} = -4$ $M_{13} = M_{14} - M_{34} = -4$ $M_{13} = M_{15} - M_{35} = -4$ $M_{13} = M_{16} - M_{36} = -4$	$M_{14} = M_{12} - M_{42} = -7$ $M_{14} = M_{13} - M_{43} = -7$ $M_{14} = M_{15} - M_{45} = -7$ $M_{14} = M_{16} - M_{46} = -7$	$M_{15} = M_{12} - M_{52} = -7$ $M_{15} = M_{13} - M_{53} = -7$ $M_{15} = M_{14} - M_{54} = -7$ $M_{15} = M_{16} - M_{56} = -7$	$M_{16} = M_{12} - M_{62} = -247$ $M_{16} = M_{13} - M_{63} = -7$ $M_{16} = M_{14} - M_{64} = -7$ $M_{16} = M_{15} - M_{65} = -7$
$M_{21} = M_{23} - M_{13} = -2$ $M_{21} = M_{24} - M_{14} = -2$ $M_{21} = M_{25} - M_{15} = -2$ $M_{21} = M_{26} - M_{16} = -242$	M₂₂ = 0	$M_{23} = M_{21} - M_{31} = -6$ $M_{23} = M_{24} - M_{34} = -6$ $M_{23} = M_{25} - M_{35} = -6$ $M_{23} = M_{26} - M_{36} = -246$	$M_{24} = M_{21} - M_{41} = -9$ $M_{24} = M_{23} - M_{43} = -9$ $M_{24} = M_{25} - M_{45} = -9$ $M_{24} = M_{26} - M_{46} = -249$	$M_{25} = M_{21} - M_{51} = -9$ $M_{25} = M_{23} - M_{53} = -9$ $M_{25} = M_{24} - M_{54} = -9$ $M_{25} = M_{26} - M_{56} = -249$	$M_{26} = M_{21} - M_{61} = -9$ $M_{26} = M_{23} - M_{63} = -9$ $M_{26} = M_{24} - M_{64} = -9$ $M_{26} = M_{25} - M_{65} = -9$
$M_{31} = M_{32} - M_{12} = 4$ $M_{31} = M_{34} - M_{14} = 4$ $M_{31} = M_{35} - M_{15} = 4$ $M_{31} = M_{36} - M_{16} = 4$	$M_{32} = M_{31} - M_{21} = 6$ $M_{32} = M_{34} - M_{24} = 6$ $M_{32} = M_{35} - M_{25} = 6$ $M_{32} = M_{36} - M_{26} = 246$	M₃₃ = 0	$M_{34} = M_{31} - M_{41} = -3$ $M_{34} = M_{32} - M_{42} = -3$ $M_{34} = M_{35} - M_{45} = -3$ $M_{34} = M_{36} - M_{46} = -3$	$M_{35} = M_{31} - M_{51} = -3$ $M_{35} = M_{32} - M_{52} = -3$ $M_{35} = M_{34} - M_{54} = -3$ $M_{35} = M_{36} - M_{56} = -3$	$M_{36} = M_{31} - M_{61} = -3$ $M_{36} = M_{32} - M_{62} = -243$ $M_{36} = M_{34} - M_{64} = -3$ $M_{36} = M_{35} - M_{65} = -3$
$M_{41} = M_{42} - M_{12} = 7$ $M_{41} = M_{43} - M_{13} = 7$ $M_{41} = M_{45} - M_{15} = 7$ $M_{41} = M_{46} - M_{16} = 7$	$M_{42} = M_{41} - M_{21} = 9$ $M_{42} = M_{43} - M_{23} = 9$ $M_{42} = M_{45} - M_{25} = 9$ $M_{42} = M_{46} - M_{26} = 249$	$M_{43} = M_{41} - M_{31} = 3$ $M_{43} = M_{42} - M_{32} = 3$ $M_{43} = M_{45} - M_{35} = 3$ $M_{43} = M_{46} - M_{36} = 3$	M₄₄ = 0	$M_{45} = M_{41} - M_{51} = 0$ $M_{45} = M_{42} - M_{52} = 0$ $M_{45} = M_{43} - M_{53} = 0$ $M_{45} = M_{46} - M_{56} = 0$	$M_{46} = M_{41} - M_{61} = 0$ $M_{46} = M_{42} - M_{62} = -240$ $M_{46} = M_{43} - M_{63} = 0$ $M_{46} = M_{45} - M_{65} = 0$
$M_{51} = M_{52} - M_{12} = 7$ $M_{51} = M_{53} - M_{13} = 7$ $M_{51} = M_{54} - M_{14} = 7$ $M_{51} = M_{56} - M_{16} = 7$	$M_{52} = M_{51} - M_{21} = 9$ $M_{52} = M_{53} - M_{23} = 9$ $M_{52} = M_{54} - M_{24} = 9$ $M_{52} = M_{56} - M_{26} = 249$	$M_{53} = M_{51} - M_{31} = 3$ $M_{53} = M_{52} - M_{32} = 3$ $M_{53} = M_{54} - M_{34} = 3$ $M_{53} = M_{56} - M_{36} = 3$	$M_{54} = M_{51} - M_{41} = 0$ $M_{54} = M_{52} - M_{42} = 0$ $M_{54} = M_{53} - M_{43} = 0$ $M_{54} = M_{56} - M_{46} = 0$	M₅₅ = 0	$M_{56} = M_{51} - M_{61} = 0$ $M_{56} = M_{52} - M_{62} = -240$ $M_{56} = M_{53} - M_{63} = 0$ $M_{56} = M_{54} - M_{64} = 0$

$M_{61} = M_{62} - M_{12} = 247$ $M_{61} = M_{63} - M_{13} = 7$ $M_{61} = M_{64} - M_{14} = 7$ $M_{61} = M_{65} - M_{15} = 7$	$M_{62} = M_{61} - M_{21} = 9$ $M_{62} = M_{63} - M_{23} = 9$ $M_{62} = M_{64} - M_{24} = 9$ $M_{62} = M_{65} - M_{25} = 9$	$M_{63} = M_{61} - M_{31} = 3$ $M_{63} = M_{62} - M_{32} = 243$ $M_{63} = M_{64} - M_{34} = 3$ $M_{63} = M_{65} - M_{35} = 3$	$M_{64} = M_{61} - M_{41} = 0$ $M_{64} = M_{62} - M_{42} = 240$ $M_{64} = M_{63} - M_{43} = 0$ $M_{64} = M_{65} - M_{45} = 0$	$M_{65} = M_{61} - M_{51} = 0$ $M_{65} = M_{62} - M_{52} = 240$ $M_{65} = M_{63} - M_{53} = 0$ $M_{65} = M_{64} - M_{54} = 0$	$M_{66} = 0$
--	--	--	--	--	--------------------------------

La revisión de la celda M_{21} en las Tablas 13 y 14 muestra que todos menos uno resultado calculado ($M_{21} = M_{26} - M_{16} = -242$) están de acuerdo (que $M_{21} = -2$). Esto es curioso porque la celda M_{21} de la Tabla 12 mostró acuerdo entre todas las relaciones (tanto directas como indirectas). Sin embargo, como más tarde se demostró que las celdas M_{61} y M_{16} no eran precisas, esto solo puede significar que las celdas M_{26} y M_{62} también son incorrectas. Analizando aún más las relaciones en las celdas M_{61} , M_{12} , M_{32} , M_{42} , M_{52} , M_{23} , M_{63} , M_{24} , M_{64} , M_{25} , M_{65} , M_{16} , M_{36} , M_{46} y M_{56} de la Tabla 14 y las celdas M_{62} y M_{26} de la Tabla 13 validan la conclusión de que las compensaciones de recuento de ciclos directo en las celdas M_{26} y M_{62} de la Tabla 13 son ciertamente incorrectas. La celda M_{62} de la Tabla 14 concluye por unanimidad que la celda M_{62} de la Tabla 13 debe ser igual a (9). La celda M_{26} de la Tabla 14 también concluye unánimemente que la celda M_{26} de la Tabla 13 debería ser igual a (-9). Una ventaja significativa de este ruidoso algoritmo de alineación de datos 1400 es que solo puede haber una solución; no habrá ambigüedad en cuanto al valor de desplazamiento correcto al modificado en la matriz de desplazamiento de recuento de ciclo directo.

Tabla 15 Matriz de compensación de recuento de ciclo directo (Iteración 2)

Dispositivo	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
M_1	0	2	-4	-7	-7	-7
M_2	-2	0	-6	-9	-9	-9
M_3	4	6	0	-3	-3	-3
M_4	7	9	3	0	0	0
M_5	7	9	3	0	0	0
M_6	7	9	3	0	0	0

El algoritmo de alineación de datos ruidoso ajusta la Tabla 13 mediante el cambio de células M_{62} a (9) y la célula M_{26} a (-9) (1412) para producir véase la Tabla 15. Nuevamente, cambiar cualquier valor de relación directa también requiere revisar los resultados de la relación indirecta (1414). El algoritmo 1440 de alineación de datos ruidosos construye la Tabla 16 con los resultados actualizados de cada relación indirecta para reflejar los cambios realizados en los datos de relación directa (1414). El análisis de ambas Tablas 15 y 16 revela que todas las relaciones directas e indirectas están en consenso y los resultados dados en estas tablas son la solución (1416).

Tabla 16 Matriz de compensación de recuento de ciclos indirectos (iteración 2)

$M_{11} = 0$	$M_{12} = M_{13} - M_{23} = 2$ $M_{12} = M_{14} - M_{24} = 2$ $M_{12} = M_{15} - M_{25} = 2$ $M_{12} = M_{16} - M_{26} = 2$	$M_{13} = M_{12} - M_{32} = -4$ $M_{13} = M_{14} - M_{34} = -4$ $M_{13} = M_{15} - M_{35} = -4$ $M_{13} = M_{16} - M_{36} = -4$	$M_{14} = M_{12} - M_{42} = -7$ $M_{14} = M_{13} - M_{43} = -7$ $M_{14} = M_{15} - M_{45} = -7$ $M_{14} = M_{16} - M_{46} = -7$	$M_{15} = M_{12} - M_{52} = -7$ $M_{15} = M_{13} - M_{53} = -7$ $M_{15} = M_{14} - M_{54} = -7$ $M_{15} = M_{16} - M_{56} = -7$	$M_{16} = M_{12} - M_{62} = -7$ $M_{16} = M_{13} - M_{63} = -7$ $M_{16} = M_{14} - M_{64} = -7$ $M_{16} = M_{15} - M_{65} = -7$
$M_{21} = M_{23} - M_{13} = -2$ $M_{21} = M_{24} - M_{14} = -2$ $M_{21} = M_{25} - M_{15} = -2$ $M_{21} = M_{26} - M_{16} = -2$	$M_{22} = 0$	$M_{23} = M_{21} - M_{31} = -6$ $M_{23} = M_{24} - M_{34} = -6$ $M_{23} = M_{25} - M_{35} = -6$ $M_{23} = M_{26} - M_{36} = -6$	$M_{24} = M_{21} - M_{41} = -9$ $M_{24} = M_{23} - M_{43} = -9$ $M_{24} = M_{25} - M_{45} = -9$ $M_{24} = M_{26} - M_{46} = -9$	$M_{25} = M_{21} - M_{51} = -9$ $M_{25} = M_{23} - M_{53} = -9$ $M_{25} = M_{24} - M_{54} = -9$ $M_{25} = M_{26} - M_{56} = -9$	$M_{26} = M_{21} - M_{61} = -9$ $M_{26} = M_{23} - M_{63} = -9$ $M_{26} = M_{24} - M_{64} = -9$ $M_{26} = M_{25} - M_{65} = -9$
$M_{31} = M_{32} - M_{12} = 4$ $M_{31} = M_{34} - M_{14} = 4$ $M_{31} = M_{35} - M_{15} = 4$ $M_{31} = M_{36} - M_{16} = 4$	$M_{32} = M_{31} - M_{21} = 6$ $M_{32} = M_{34} - M_{24} = 6$ $M_{32} = M_{35} - M_{25} = 6$ $M_{32} = M_{36} - M_{26} = 6$	$M_{33} = 0$	$M_{34} = M_{31} - M_{41} = -3$ $M_{34} = M_{32} - M_{42} = -3$ $M_{34} = M_{35} - M_{45} = -3$ $M_{34} = M_{36} - M_{46} = -3$	$M_{35} = M_{31} - M_{51} = -3$ $M_{35} = M_{32} - M_{52} = -3$ $M_{35} = M_{34} - M_{54} = -3$ $M_{35} = M_{36} - M_{56} = -3$	$M_{36} = M_{31} - M_{61} = -3$ $M_{36} = M_{32} - M_{62} = -3$ $M_{36} = M_{34} - M_{64} = -3$ $M_{36} = M_{35} - M_{65} = -3$

$M_{41} = M_{42} - M_{12} = 7$ $M_{41} = M_{43} - M_{13} = 7$ $M_{41} = M_{45} - M_{15} = 7$ $M_{41} = M_{46} - M_{16} = 7$	$M_{42} = M_{41} - M_{21} = 9$ $M_{42} = M_{43} - M_{23} = 9$ $M_{42} = M_{45} - M_{25} = 9$ $M_{42} = M_{46} - M_{26} = 9$	$M_{43} = M_{41} - M_{31} = 3$ $M_{43} = M_{42} - M_{32} = 3$ $M_{43} = M_{45} - M_{35} = 3$ $M_{43} = M_{46} - M_{36} = 3$	$M_{44} = 0$	$M_{45} = M_{41} - M_{51} = 0$ $M_{45} = M_{42} - M_{52} = 0$ $M_{45} = M_{43} - M_{53} = 0$ $M_{45} = M_{46} - M_{56} = 0$	$M_{46} = M_{41} - M_{61} = 0$ $M_{46} = M_{42} - M_{62} = 0$ $M_{46} = M_{43} - M_{63} = 0$ $M_{46} = M_{45} - M_{65} = 0$
$M_{51} = M_{52} - M_{12} = 7$ $M_{51} = M_{53} - M_{13} = 7$ $M_{51} = M_{54} - M_{14} = 7$ $M_{51} = M_{56} - M_{16} = 7$	$M_{52} = M_{51} - M_{21} = 9$ $M_{52} = M_{53} - M_{23} = 9$ $M_{52} = M_{54} - M_{24} = 9$ $M_{52} = M_{56} - M_{26} = 9$	$M_{53} = M_{51} - M_{31} = 3$ $M_{53} = M_{52} - M_{32} = 3$ $M_{53} = M_{54} - M_{34} = 3$ $M_{53} = M_{56} - M_{36} = 3$	$M_{54} = M_{51} - M_{41} = 0$ $M_{54} = M_{52} - M_{42} = 0$ $M_{54} = M_{53} - M_{43} = 0$ $M_{54} = M_{56} - M_{46} = 0$	$M_{55} = 0$	$M_{56} = M_{51} - M_{61} = 0$ $M_{56} = M_{52} - M_{62} = 0$ $M_{56} = M_{53} - M_{63} = 0$ $M_{56} = M_{54} - M_{64} = 0$
$M_{61} = M_{62} - M_{12} = 7$ $M_{61} = M_{63} - M_{13} = 7$ $M_{61} = M_{64} - M_{14} = 7$ $M_{61} = M_{65} - M_{15} = 7$	$M_{62} = M_{61} - M_{21} = 9$ $M_{62} = M_{63} - M_{23} = 9$ $M_{62} = M_{64} - M_{24} = 9$ $M_{62} = M_{65} - M_{25} = 9$	$M_{63} = M_{61} - M_{31} = 3$ $M_{63} = M_{62} - M_{32} = 3$ $M_{63} = M_{64} - M_{34} = 3$ $M_{63} = M_{65} - M_{35} = 3$	$M_{64} = M_{61} - M_{41} = 0$ $M_{64} = M_{62} - M_{42} = 0$ $M_{64} = M_{63} - M_{43} = 0$ $M_{64} = M_{65} - M_{45} = 0$	$M_{65} = M_{61} - M_{51} = 0$ $M_{65} = M_{62} - M_{52} = 0$ $M_{65} = M_{63} - M_{53} = 0$ $M_{65} = M_{64} - M_{54} = 0$	$M_{66} = 0$

Examen de resultados

- Hubo un total de 15 relaciones únicas como se muestra en la Tabla 10. Fue necesario ajustar dos de estas relaciones directas para determinar la solución real y concordar con las relaciones de compensación de recuento de ciclos entrelazadas entre todos los dispositivos. El dispositivo D_6 aparentemente tuvo una relación ruidosa con ambos dispositivos D_1 y D_2 como se reveló en el análisis anterior. Afortunadamente, el dispositivo D_6 no tenía una relación ruidosa con todos los dispositivos, y el algoritmo de alineación de datos ruidosos usó ese hecho para su ventaja.
- Una vez que la solución en la Tabla 15 ha sido determinada por el ruidoso algoritmo de alineación de datos 1400, los recuentos de ciclos en todos los dispositivos de monitorización pueden ajustarse al mismo recuento de ciclos en base a las soluciones reportadas en la Tabla 15 (1418) o las compensaciones de recuento de ciclos para cada par de dispositivos pueden ser almacenadas y rastreadas por el sistema de alineación de datos 104 para ser utilizadas en consecuencia. Por ejemplo, cuando se produce un fenómeno de estado estacionario o un fenómeno de estado no estacionario (también conocido generalmente como un evento) (según se definen esos términos en los estándares IEEE e IEC) en el sistema de potencia que se está monitoreando, el sistema de alineación de datos 104 accede a la matriz de compensación de recuento de ciclo directo, modificada por el algoritmo de alineación de datos ruidosos 1400, para determinar si los dispositivos de monitorización percibieron el mismo evento o fenómeno de estado estacionario o diferentes. Para hacerlo, las compensaciones de recuento cíclico de cada dispositivo capaz que informa el evento de un fenómeno de estado estacionario se contabilizan haciendo referencia a la tabla de desplazamiento de recuento cíclico directo, que puede incluir valores de desplazamiento modificados según lo determinado por el algoritmo de alineación de datos ruidosos 1400. Por ejemplo, sin alineación, D_6 y D_1 parecen reportar diferentes eventos que ocurren en diferentes ciclos que están separados por 247 recuentos. Pero después del ajuste por el ruidoso algoritmo de alineación de datos 1400, el sistema de alineación de datos 104 descubre que estos dispositivos en realidad son solo 7 ciclos separados y que ambos están monitoreando el mismo evento o fenómeno. Esta alineación de los datos es una herramienta invaluable para análisis, informes y alarmas posteriores basados en los datos de señal recibidos de los dispositivos de monitorización.
- La aplicación de software 110 puede comunicar instrucciones a cada uno de los dispositivos de monitorización cuyos contadores de ciclos necesitan ajustarse, señales indicativas de una cantidad de recuentos de ciclos por los cuales el dispositivo de monitorización debe ajustar su contador de ciclos. Alternativamente, la aplicación de software 110 puede indicar a los dispositivos de monitorización que reinicien sus contadores de ciclos en un orden consistente con la Tabla 15. Por ejemplo, se le indicará al dispositivo de monitorización D_2 que ajuste su contador de ciclos en 2 recuentos en relación con el dispositivo de monitorización D_1 .
- Como se muestra en el ejemplo anterior, los datos de señal que representan las variaciones de frecuencia de los dispositivos de monitorización se recogieron solo una vez desde la que se logró la disolución (Tabla 15), sin influencia superfluo de probabilidades estadísticas. Se puede confirmar que la solución es empíricamente correcta con el uso de un sistema de hora GPS. El algoritmo de alineación de datos 180 se invoca con moderación, lo que reduce el ancho de banda en los dispositivos de monitorización, el software 110 y la red de comunicaciones. Debido a que los datos no tienen que recopilarse repetidamente de los dispositivos, la velocidad y la eficiencia generales del

proceso automatizado de alineación de datos aumentan sustancialmente. Finalmente, y lo más importante, se ofrece una técnica única y convincente para los pares de dispositivos ruidosos que proporcionan el algoritmo de alineación de datos con una robustez mejorada para los sistemas más difíciles.

- 5 Se debe tener en cuenta que puede haber sistemas de monitorización que muestren una gran cantidad de relaciones de par de dispositivos ruidosos, o puede haber dispositivos específicos que demuestren relaciones ruidosas con todos los demás dispositivos. Esta solución ruidosa de alineación de datos tiene el beneficio adicional de poder medir la validez y utilidad de la muestra de datos tomada por el algoritmo de alineación de datos 180. Una sola pasada de los datos de muestra a través del algoritmo 1400 de alineación de datos ruidosos es adecuada para
10 determinar si la muestra de datos será útil en función del nivel de acuerdo entre los dispositivos. En los casos en que la muestra de datos no es útil, puede ser necesario reinicializar y ejecutar el algoritmo de alineación de datos 180 para obtener una muestra de datos útil que se repetirá en la solución.

- 15 La interconexión inesperada de las relaciones entre los recuentos de ciclos de dispositivos de control en un sistema de monitorización de potencia como se describe en el presente documento proporciona una manera de resolver un dilema en el mundo real. La ruidosa solución de alineación de datos representa un componente vital para reducir el costo general de los sistemas de monitorización de energía mientras se mejoran los análisis de datos y las soluciones para el usuario final.

20 **Comprobación opcional de resultados**

- Como una comprobación opcional de la alineación basada en la correlación cruzada de la frecuencia entre pares de dispositivos, puede ser útil evaluar soluciones alternativas dadas por el algoritmo de alineación de datos 180. En la mayoría de los casos, la compensación correcta del recuento de ciclos correspondiente a la correlación más alta. Sin
25 embargo, como se muestra arriba, es posible que el coeficiente de correlación más alto sea incorrecto (como es el caso de cualquier par de dispositivos ruidosos).

- Los datos han demostrado que incluso cuando la solución incorrecta viene dada por el algoritmo de alineación de datos, todavía se determina que la solución correcta es un candidato líder entre las correlaciones más probables.
30 Por ejemplo, la figura 13 ilustra ejemplos de datos de correlación cruzada de un par de dispositivos ejemplar. La figura 13 toma nota de las cinco mejores soluciones potenciales que ofrece el algoritmo de alineación de datos correspondiente a los cinco coeficientes de correlación más altos: 1302, 1304, 1306, 1308, 1310 de ese par de dispositivos. Incluso si el coeficiente de correlación cruzada más alto 1302 es incorrecto, los datos han demostrado que la solución correcta aún puede ser uno de los coeficientes de correlación cruzada más altos (como uno de estos
35 cinco).

- El algoritmo de comprobación opcional 1420 permite una comparación de los resultados dados por el algoritmo de alineación de datos ruidoso 1400 con múltiples soluciones potenciales dadas por los datos de correlación cruzada desarrollados en el algoritmo de alineación de datos 180. La figura 14B ilustra el algoritmo de comprobación opcional
40 1420.

- El algoritmo de comprobación 1420 desarrolla una lista de los desplazamientos de recuento de ciclo más probables para un par dispositivo dado a ser verificado (1422). Cada coeficiente de correlación producido durante la correlación cruzada se asocia con un recuento de ciclos para cada dispositivo. Respondiendo a una configuración
45 predeterminada o de usuario, el algoritmo 1420 accede al número de compensaciones de recuento de ciclos 1424 a considerar en el algoritmo de comprobación 1420. Por ejemplo, una configuración puede probar los cinco coeficientes de correlación principales para determinar si la compensación del recuento del ciclo ajustado corresponde a uno de los cinco coeficientes de correlación principales. El algoritmo 1420 accede a los resultados del algoritmo 1400 de alineación de datos ruidosos (como la Tabla 15) 1428. El algoritmo 1420 compara los valores de desplazamiento determinados por el algoritmo de alineación de datos ruidosos 1400 (por ejemplo, los valores en la
50 matriz de desplazamiento del recuento del ciclo directo Tabla 15) con la lista de las compensaciones de ciclo más probables (también denominadas compensaciones del recuento del ciclo de comprobación) para el mismo par de dispositivos dado (1426). Por ejemplo, para la compensación $M_{61} = 7$, el algoritmo de comprobación 1420 compara esa compensación con la compensación calculada a partir de los recuentos de ciclos correspondientes a los cinco
55 coeficientes de correlación más altos 1302, 1304, 1306, 1308, 1310. Si la compensación de recuento de ciclos M_{61} coincide con cualquier compensación de recuento de ciclos calculado en base a cualquiera de los cinco coeficientes de correlación más altos 1302, 1304, 1306, 1308, 1310 (1430), entonces el algoritmo 1420 informa un alto grado de confianza en la solución (1434). Cuando la confianza en la compensación del recuento de ciclos indirectos ajustado es alta (1434), el algoritmo 1420 determina si se han verificado todos los pares de dispositivos únicos que deben
60 verificarse (1438) o al menos los pares de dispositivos cuyas compensaciones de recuento de ciclos fueron ajustadas por los datos ruidosos el algoritmo de alineación 1400, y si no, repite la comprobación para el siguiente par de dispositivos hasta que no haya más pares de dispositivos por verificar. De lo contrario, cuando la compensación del recuento de ciclos ajustado no se corresponde con ninguna de las compensaciones de recuento de ciclos calculadas a partir de la lista de compensaciones de recuento de ciclos probables, el algoritmo 1420 asigna la
65 confianza en la solución como baja (1432) y, dependiendo de una configuración por defecto o del usuario, la relación indirecta determinada por el algoritmo 1420 puede aceptarse o el algoritmo de alineación de datos 180 puede

reiniciarse para generar nuevos datos (1436). Si la configuración predeterminada o de usuario requiere reinicializar el algoritmo de alineación de datos 180 para generar una nueva matriz de compensación de recuento de ciclo directo (1440), el control del algoritmo 1420 se devuelve al algoritmo de alineación de datos 180 (figura 5A).

- 5 Si bien se han ilustrado y descrito realizaciones y aplicaciones particulares de la presente invención, debe entenderse que la invención no está limitada a la construcción y composiciones precisas descritas en el presente documento y que varias modificaciones, cambios y variaciones pueden ser evidentes a partir de las descripciones anteriores sin apartarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para alinear automáticamente los datos medidos por un número, n , de dispositivos de monitorización (128, 130) en un sistema de monitorización de energía (102; 120), los dispositivos de monitorización (128, 130) están conectados a una red eléctrica, el método comprende:

recibir desde cada uno de dichos dispositivos de monitorización los datos de señal respectivos que representan al menos las variaciones de frecuencia asociadas con una señal de tensión medida por los respectivos dispositivos de monitorización, dichos dispositivos de monitorización incluyen un dispositivo de monitorización de referencia y un segundo dispositivo de monitorización, cada uno de los dispositivos de monitorización incluye un contador de ciclos que almacena un recuento de ciclos de la señal de tensión medida por el dispositivo de monitorización respectivo, en donde el recuento de ciclos se itera secuencialmente con cada positivo o negativo, respectivamente, señal de tensión cruzada por cero;

correlacionar dichos datos de señal de dicho dispositivo de monitorización de referencia con dichos datos de señal de dicho segundo dispositivo de monitorización para determinar un recuento del ciclo de referencia, M_i , asociado con dicho dispositivo de monitorización de referencia correspondiente a un coeficiente de correlación máximo y un segundo recuento de ciclo, M_j , asociado con dicho segundo dispositivo de monitorización correspondiente a dicho coeficiente de correlación máximo;

calcular automáticamente un desfase de recuento de ciclo directo, M_{ij} , como una diferencia entre dicho recuento de ciclo de referencia, M_i , y dicho recuento de segundo ciclo, M_j , M_{ij} se calcula como $M_i - M_j$, y almacenando dicha compensación de recuento de ciclo directo en una matriz de compensación de recuento de ciclo directo;

calculando automáticamente al menos una compensación de recuento de ciclo indirecto, correspondiente al desplazamiento de recuento de ciclo directo M_{ij} , en función de al menos M_k y al menos una de 2 a $n-1$ compensaciones de recuento de ciclo directo mediante el cálculo de la diferencia entre los 2 respectivos a $n-1$ compensaciones de recuento de ciclo directo para derivar indirectamente una compensación de recuento de ciclo para el dispositivo de monitorización de referencia y el segundo dispositivo de monitorización, siendo M_k un recuento de ciclo asociado con un dispositivo de monitorización de dichos n dispositivos de monitorización que no sea dicho dispositivo de monitorización de referencia y distinto de dicho segundo dispositivo de monitorización, donde se calcula un desplazamiento indirecto del recuento de ciclos M_{ij} a partir de 2 compensaciones de recuentos de ciclos directos como una función de M_k de acuerdo con $M_{ij} = M_{ik} - M_{jk}$, donde $k \neq i \neq j$ y $1 \leq k \leq n$;

responde a dicha compensación de recuento de ciclo directo que difiere de dicho al menos una compensación de recuento de ciclo indirecto, producir una compensación de recuento de ciclo directo modificado igual a dicha al menos una compensación de recuento de ciclo indirecto; y

comunicar dicha compensación de recuento de ciclo directo modificado a dicho dispositivo de monitorización de referencia o a dicho segundo dispositivo de monitorización para hacer que dicho dispositivo de monitorización de referencia o dicho segundo dispositivo de monitorización ajusten el contador de ciclos en dicho dispositivo de monitorización de referencia o en dicho segundo dispositivo de monitorización por un valor correspondiente a dicha compensación del recuento del ciclo directo modificado.

2. El método de la reivindicación 1, donde dicho cálculo automático de dicha compensación de recuento de ciclo indirecto se lleva a cabo con respecto a al menos otros dos de dichos n dispositivos de monitorización, excepto dicho dispositivo de monitorización de referencia y excepto dicho segundo dispositivo de monitorización para producir al menos dos compensaciones de recuento de ciclo indirecto incluyendo dicha compensación de recuento de ciclo indirecto.

3. El método de la reivindicación 2, que comprende además determinar cuál de dichos al menos 2 desplazamientos de recuento de ciclos diferentes difiere de dicha compensación de recuento de ciclos directo.

4. El procedimiento de la reivindicación 2, que además comprende:

determinar un modo estadístico a partir de un conjunto que comprende al menos 2 compensaciones de recuento de ciclos indirectos para producir un valor de modo; y

determinar si el valor de modo difiere de dicha compensación de recuento de ciclo directo.

5. El método de la reivindicación 1, que comprende además almacenar una indicación de que dichos datos de señal asociados con dicho dispositivo de monitorización de referencia y dichos datos de señal asociados con dicho segundo dispositivo de monitorización están alineados.

6. El método de la reivindicación 1, donde al menos uno de dicho al menos una compensación de recuento de ciclos indirecto es una función de al menos $M_{ik} - M_{jk}$.

7. El método de la reivindicación 1, donde al menos uno de dichos al menos una compensación de recuento de ciclos indirecto es además una función de al menos M_m , donde $M \neq i \neq j$ y $1 \leq M \leq n$, siendo M_m asociado a un recuento de ciclos con un dispositivo de monitorización de dichos n dispositivos de monitorización distintos de dicho dispositivo de monitorización de referencia y distinto de dicho segundo dispositivo de monitorización y distinto de

dicho dispositivo de monitorización asociado con M_k .

8. El método de la reivindicación 1, que además comprende:

determinar un primer recuento del ciclo de comprobación, M_i' , asociado con dicho dispositivo de monitorización de referencia correspondiente a un primer coeficiente de correlación que es menor que dicho coeficiente de correlación máximo;

determinar un segundo recuento del ciclo de comprobación, M_j' , asociado con dicho segundo dispositivo de monitorización correspondiente a dicho primer coeficiente de correlación;

calculando automáticamente una compensación de recuento del ciclo de comprobación, M_{ij}' , basado en la diferencia entre dicho primer recuento del ciclo de comprobación, M_i' , y dicho segundo recuento del ciclo de comprobación, M_j' , y almacenando dicha compensación de recuento del ciclo de comprobación; y

en respuesta a dicha compensación de recuento del ciclo de comprobación que iguala dicha compensación de recuento del ciclo indirecto, almacenando una indicación de un nivel de confianza en dicha compensación de recuento del ciclo indirecto basado en dicho primer coeficiente de correlación.

9. El método de la reivindicación 8, donde dicho primer coeficiente de correlación está por encima de un umbral predeterminado por debajo de dicho coeficiente de correlación máximo.

10. El método de la reivindicación 1, donde dicha matriz de compensación de recuento de ciclo directo es una matriz asimétrica ($n \times n$) simétrica.

11. El método de la reivindicación 1, donde dichas variaciones de frecuencia representadas por dichos primeros datos de señal son variaciones en la frecuencia fundamental o variaciones en la frecuencia armónica, donde dichas variaciones están asociadas con la señal de tensión.

12. El método de la reivindicación 1, que comprende además comunicar simultáneamente una señal a dichos n dispositivos de monitorización para restablecer sus respectivos contadores de ciclo.

13. Un medio legible por ordenador que contiene instrucciones ejecutables por ordenador que cuando se ejecutan en un PC (132) realizan el método de una de las reivindicaciones 1 a 12.

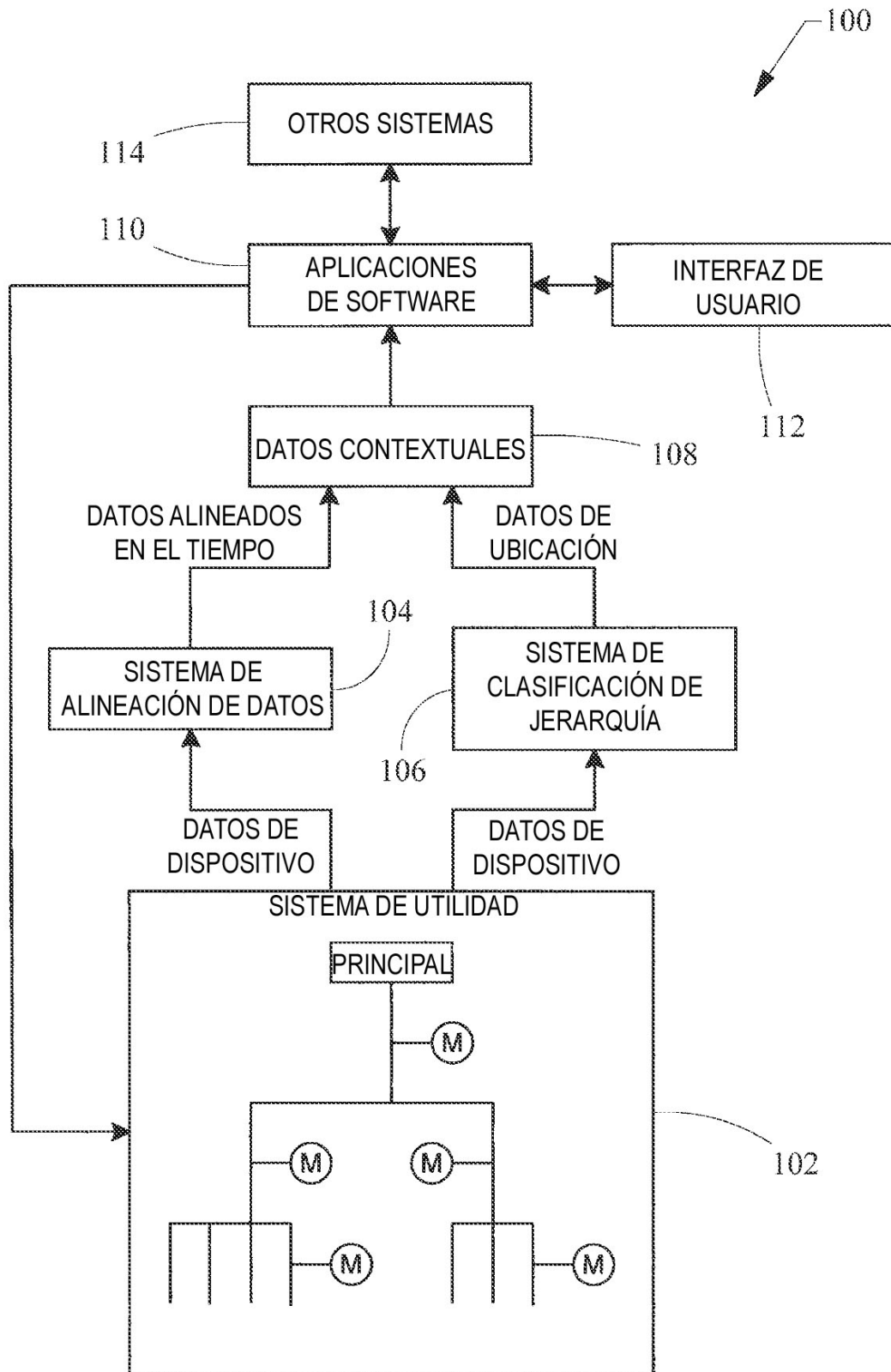


Fig. 1

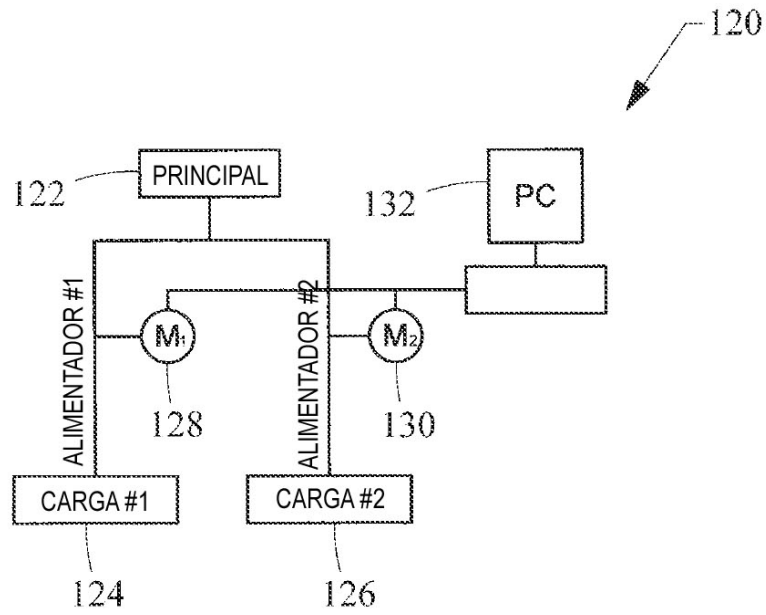


Fig. 2

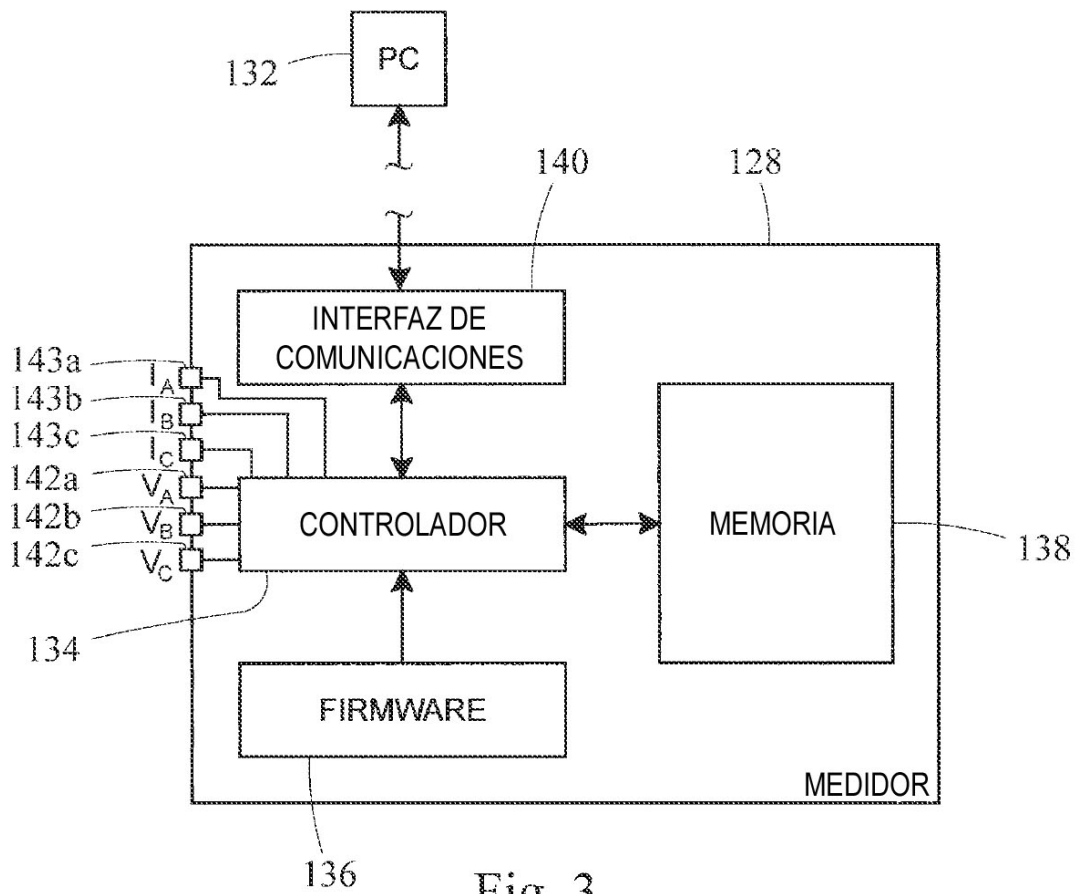
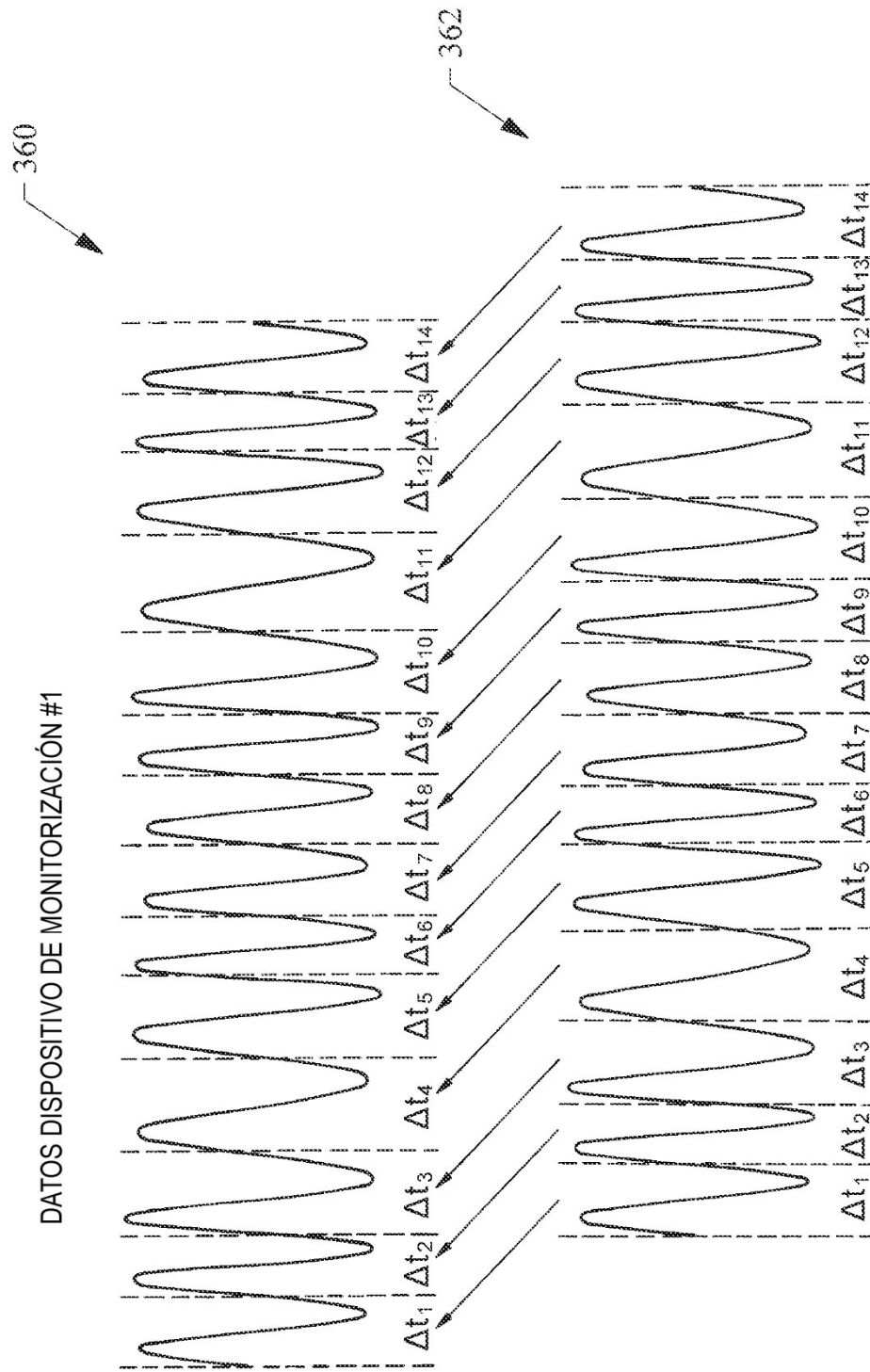
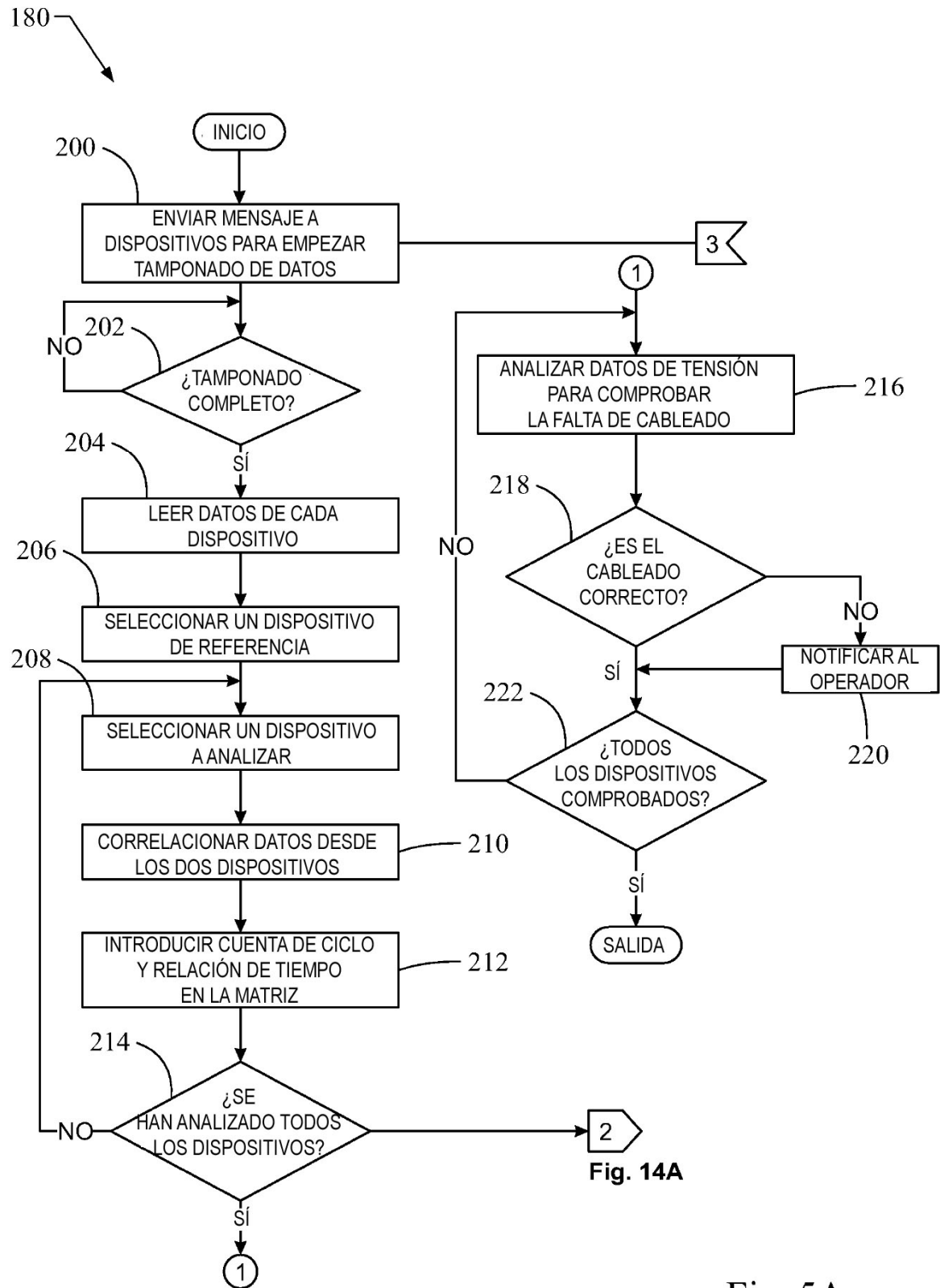


Fig. 3



DATOS DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN #2

Fig. 4



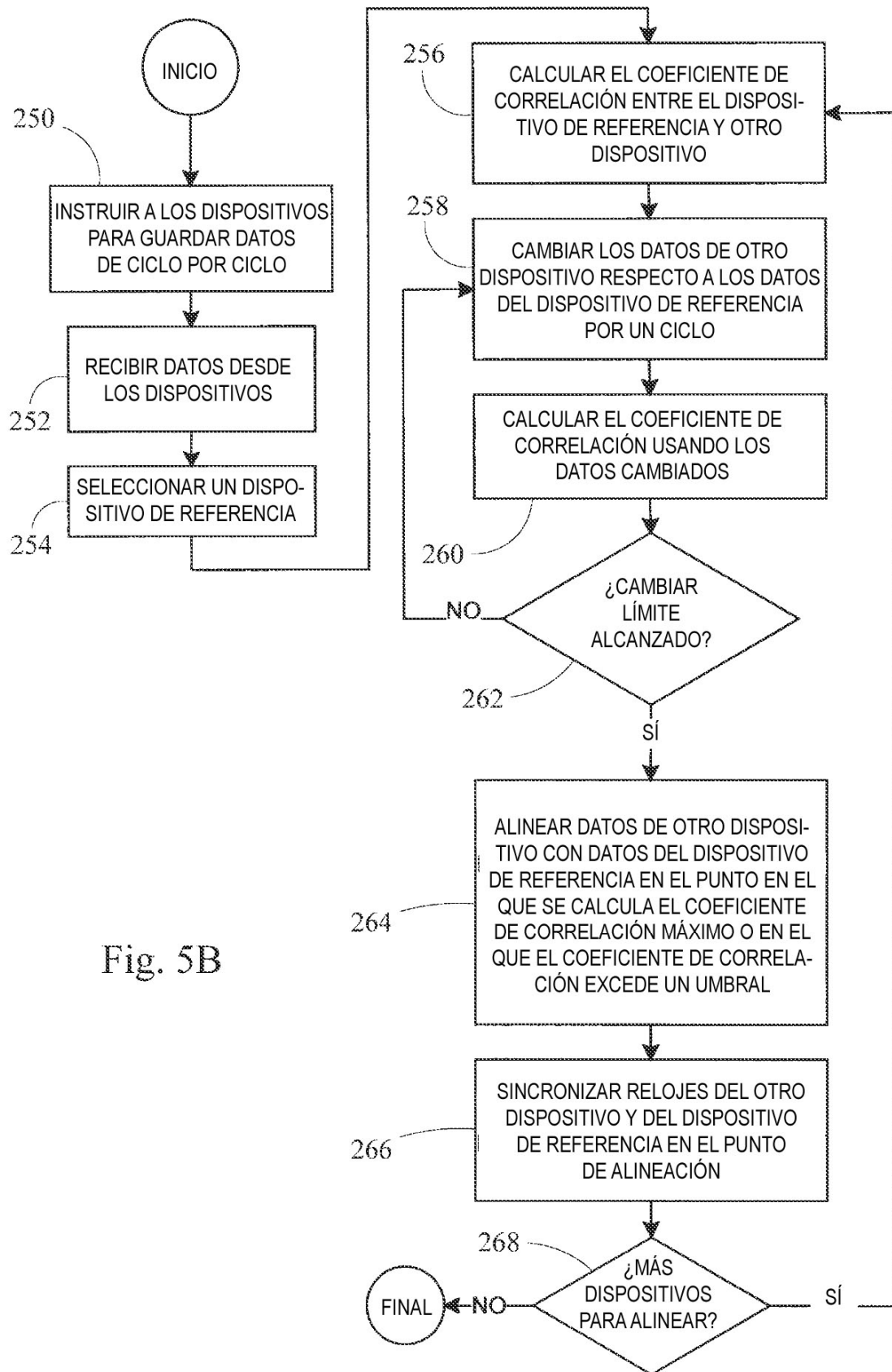


Fig. 5B

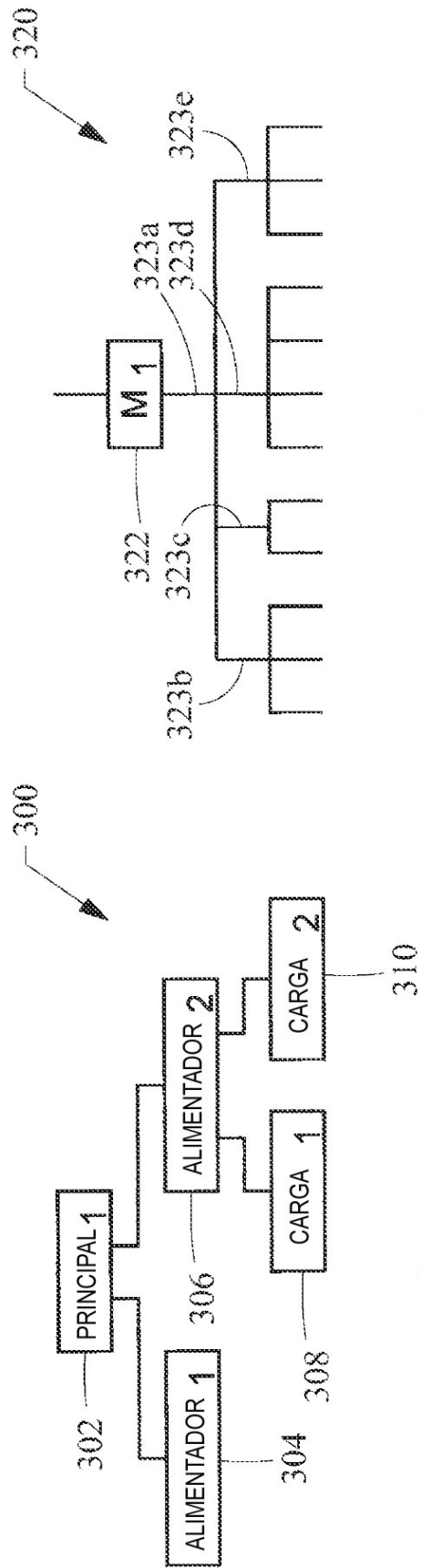


Fig. 6

Fig. 7

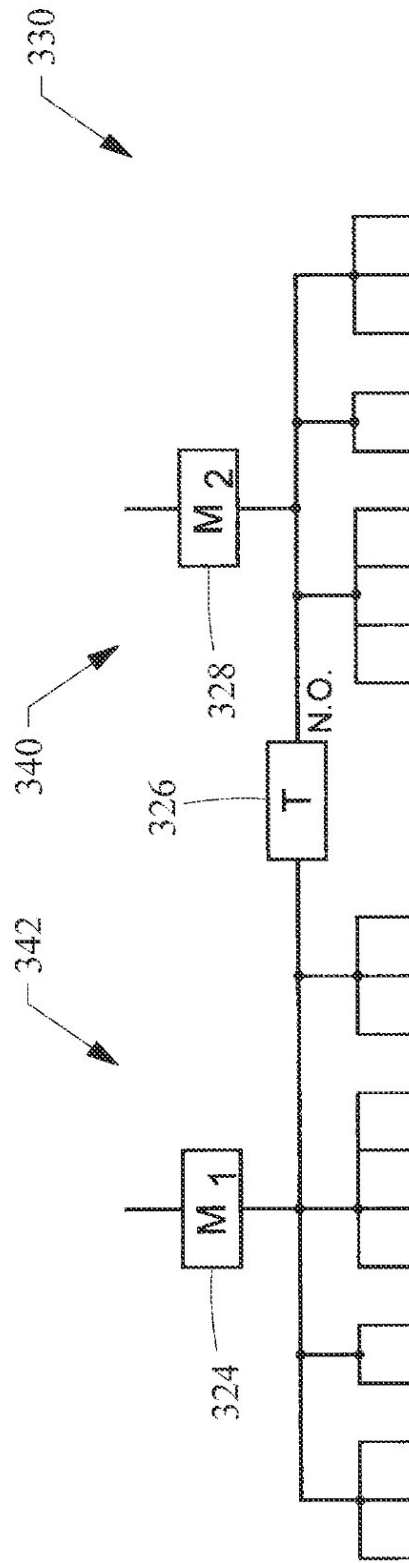
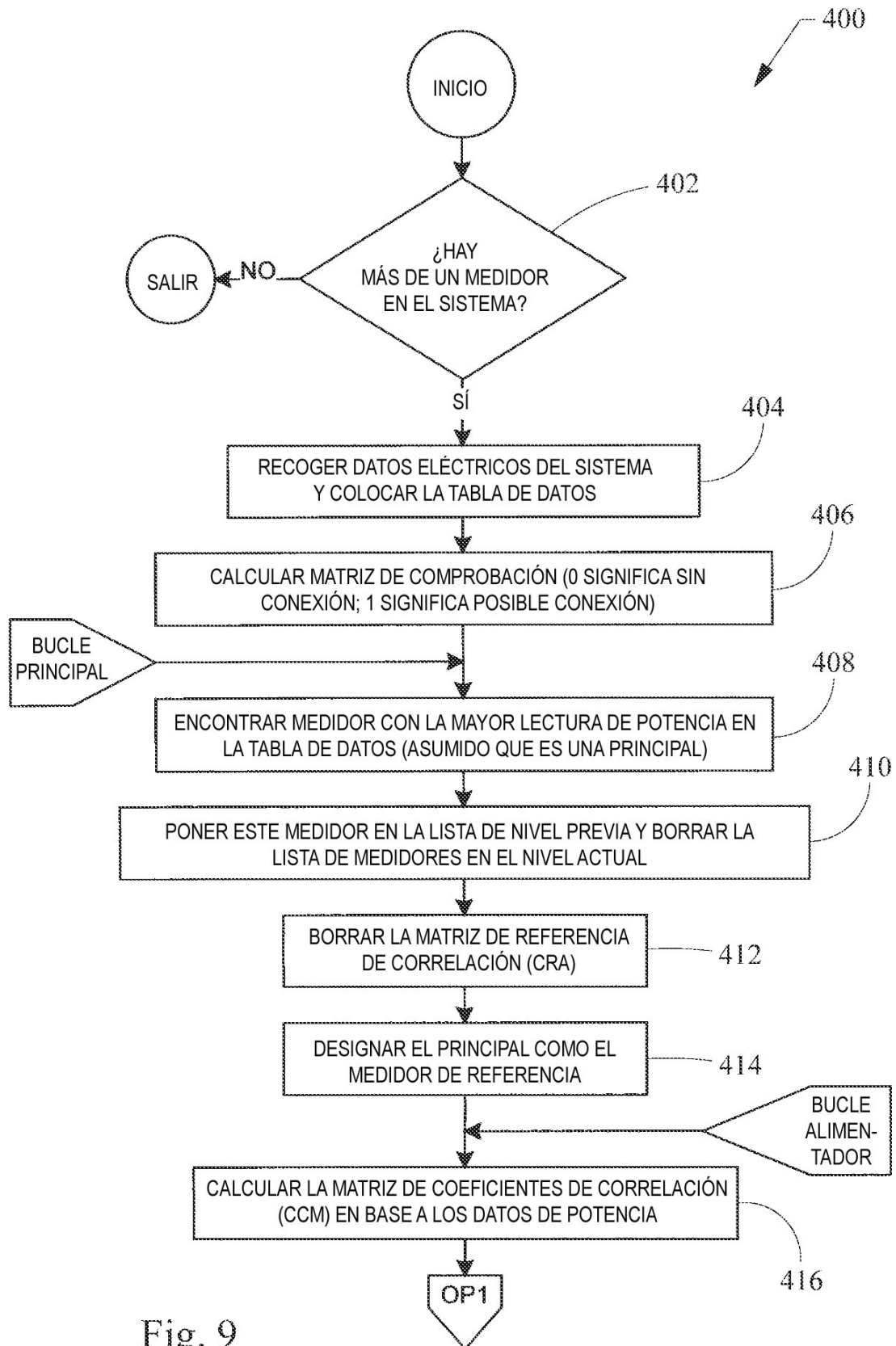
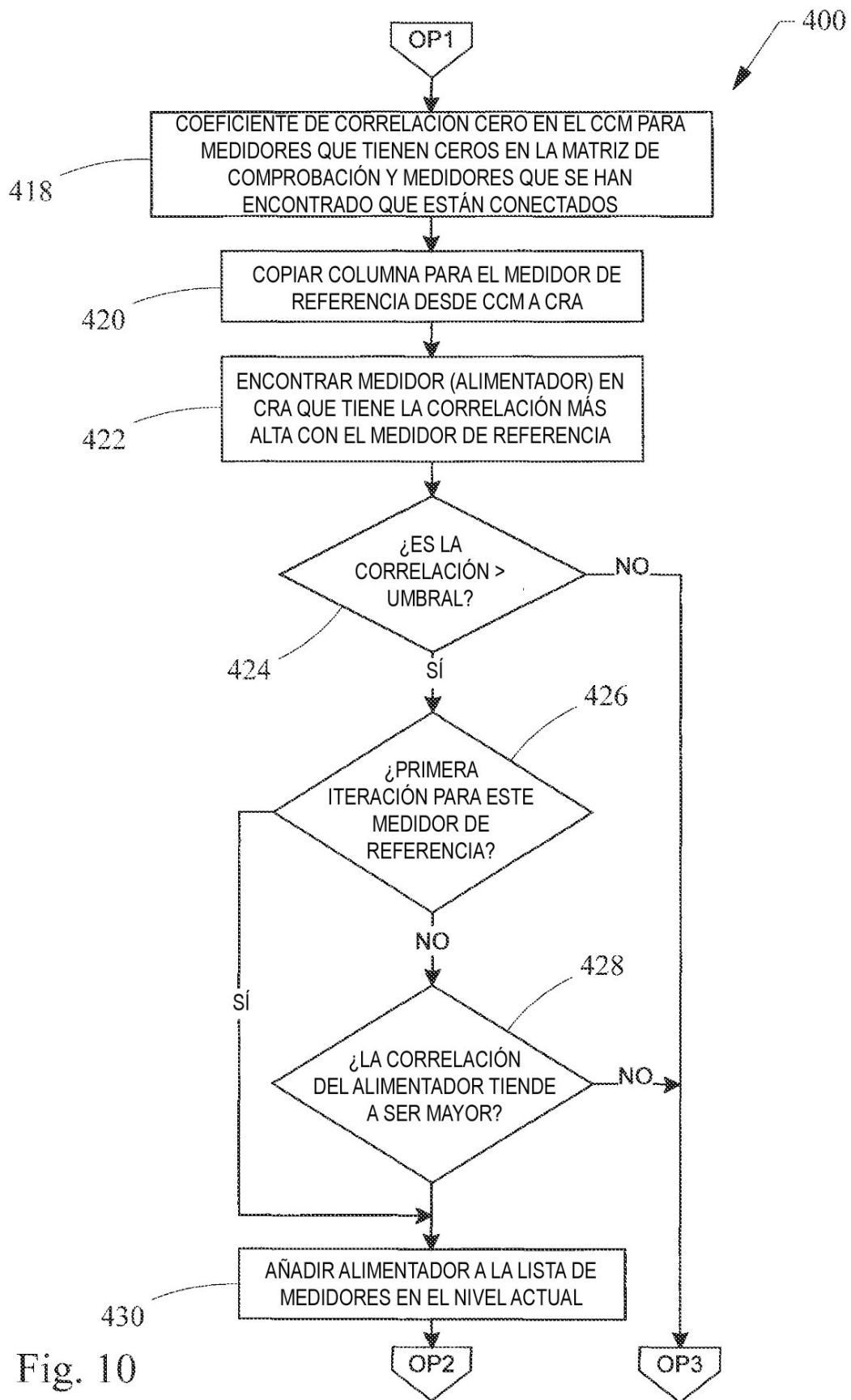
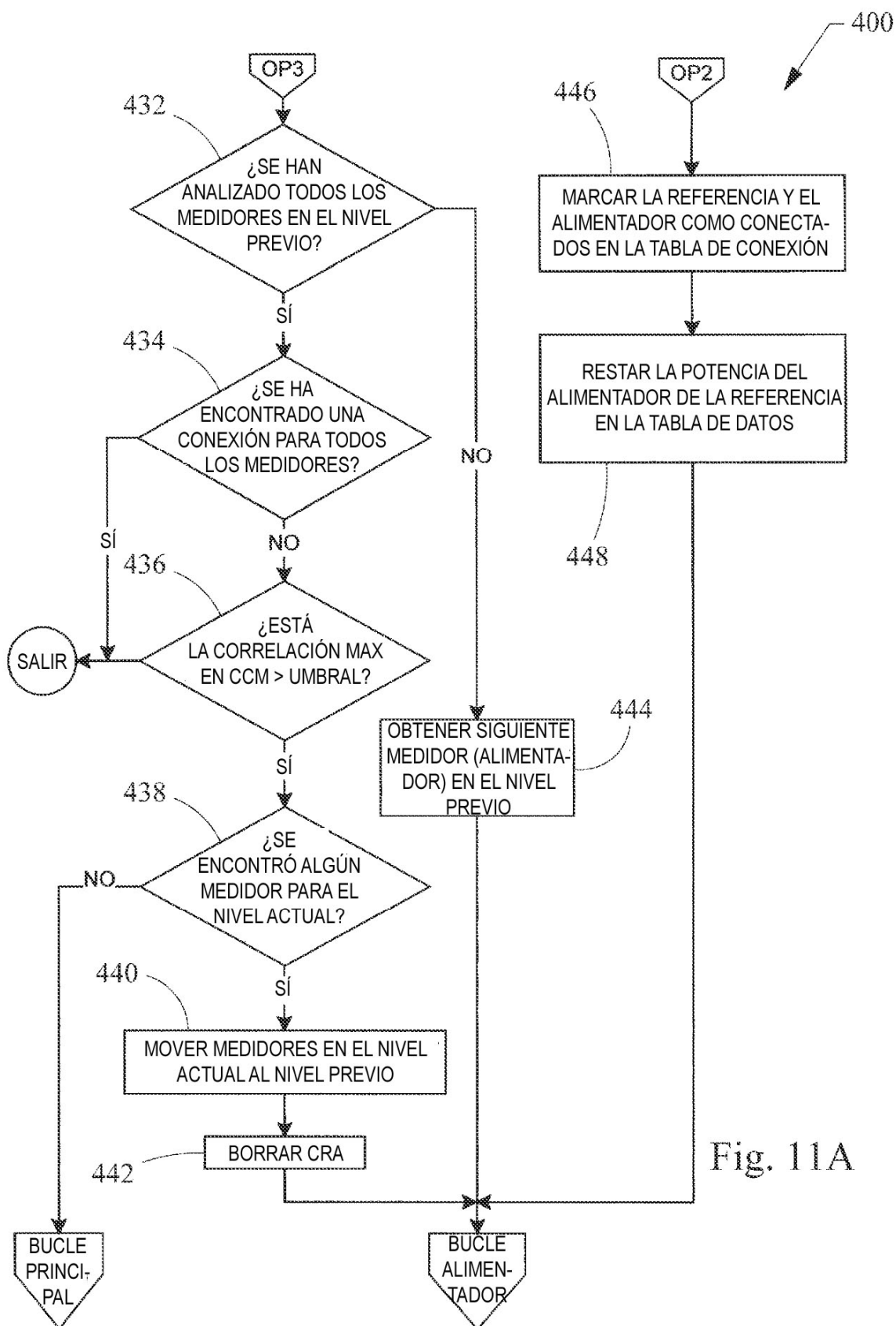
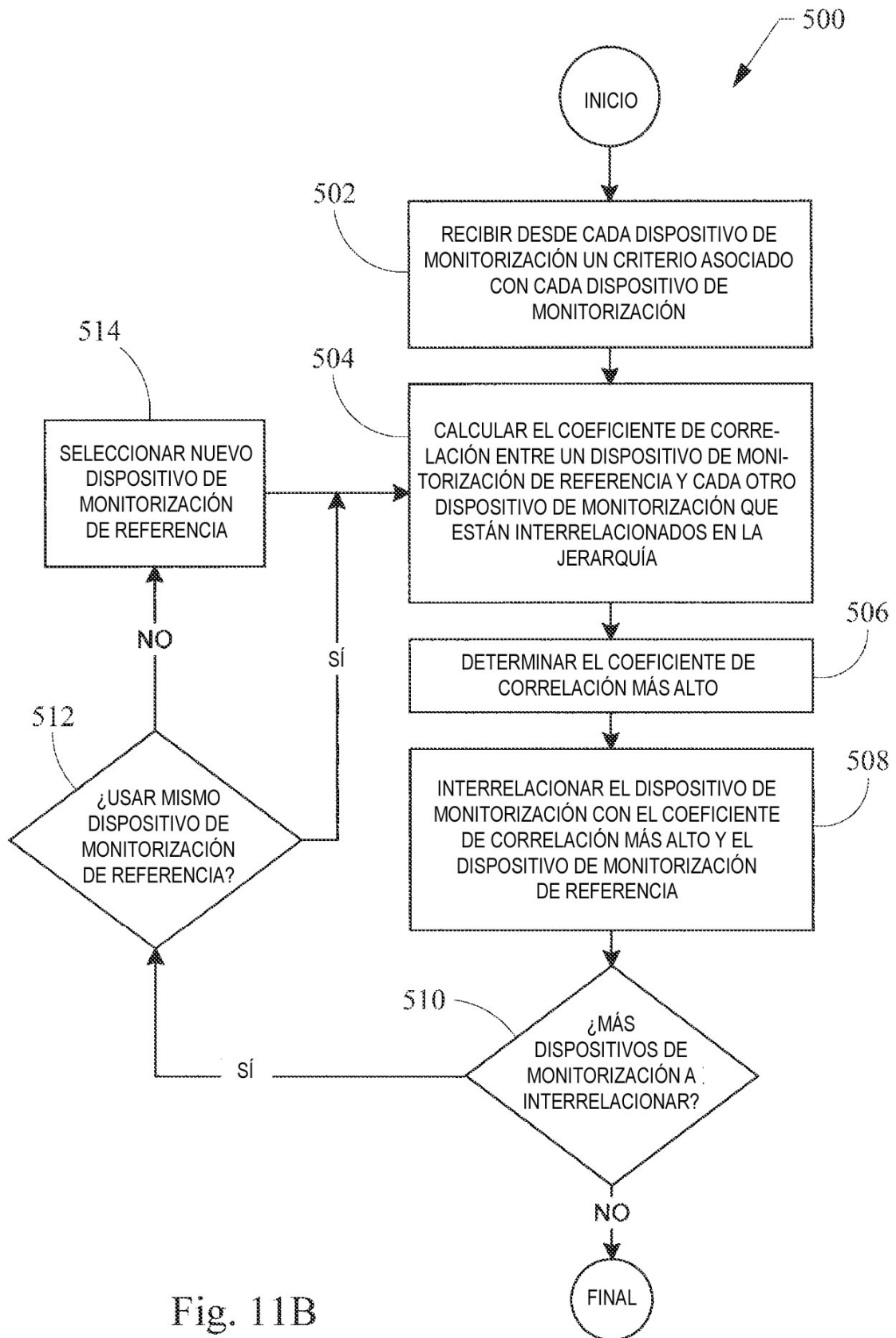


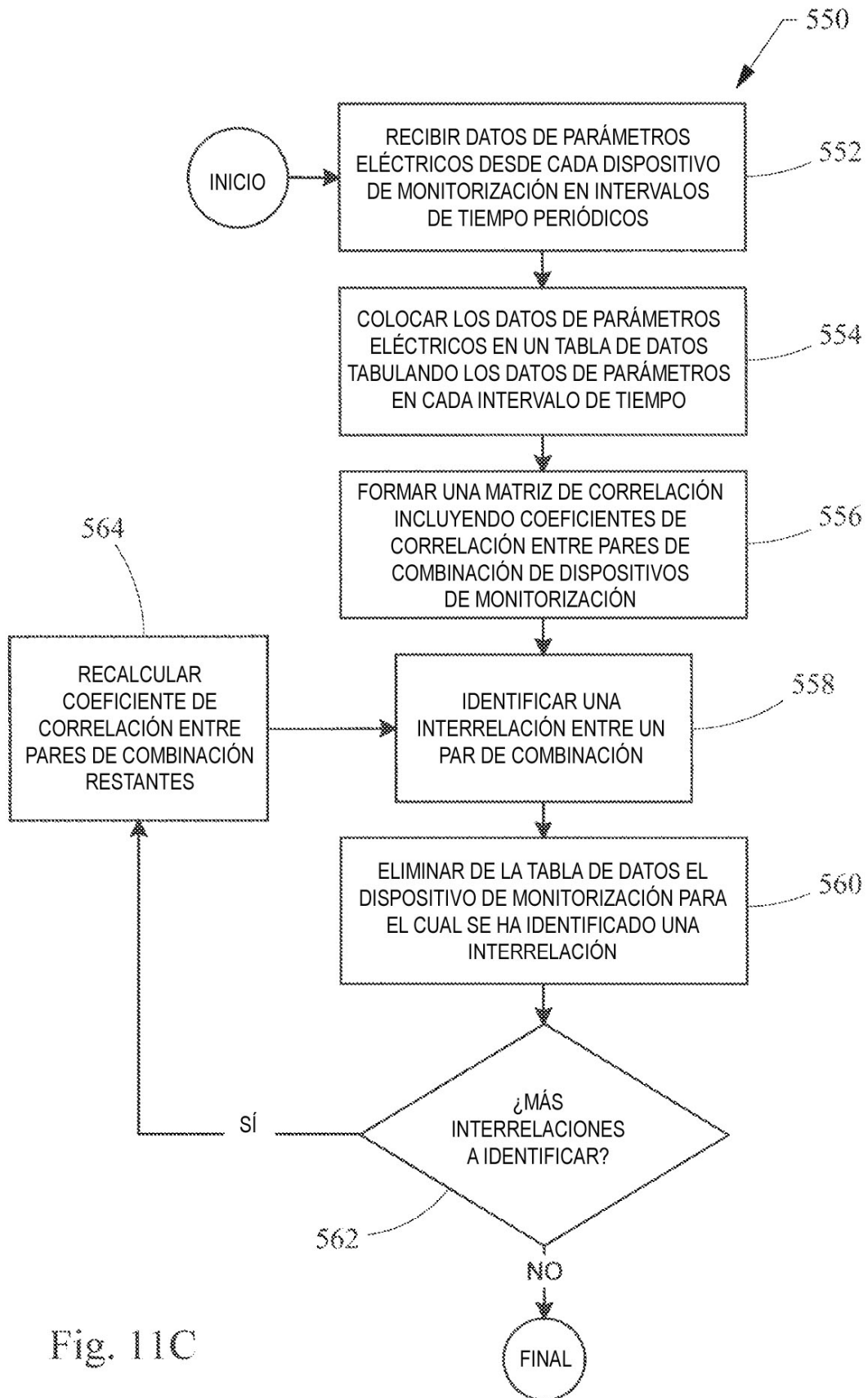
Fig. 8











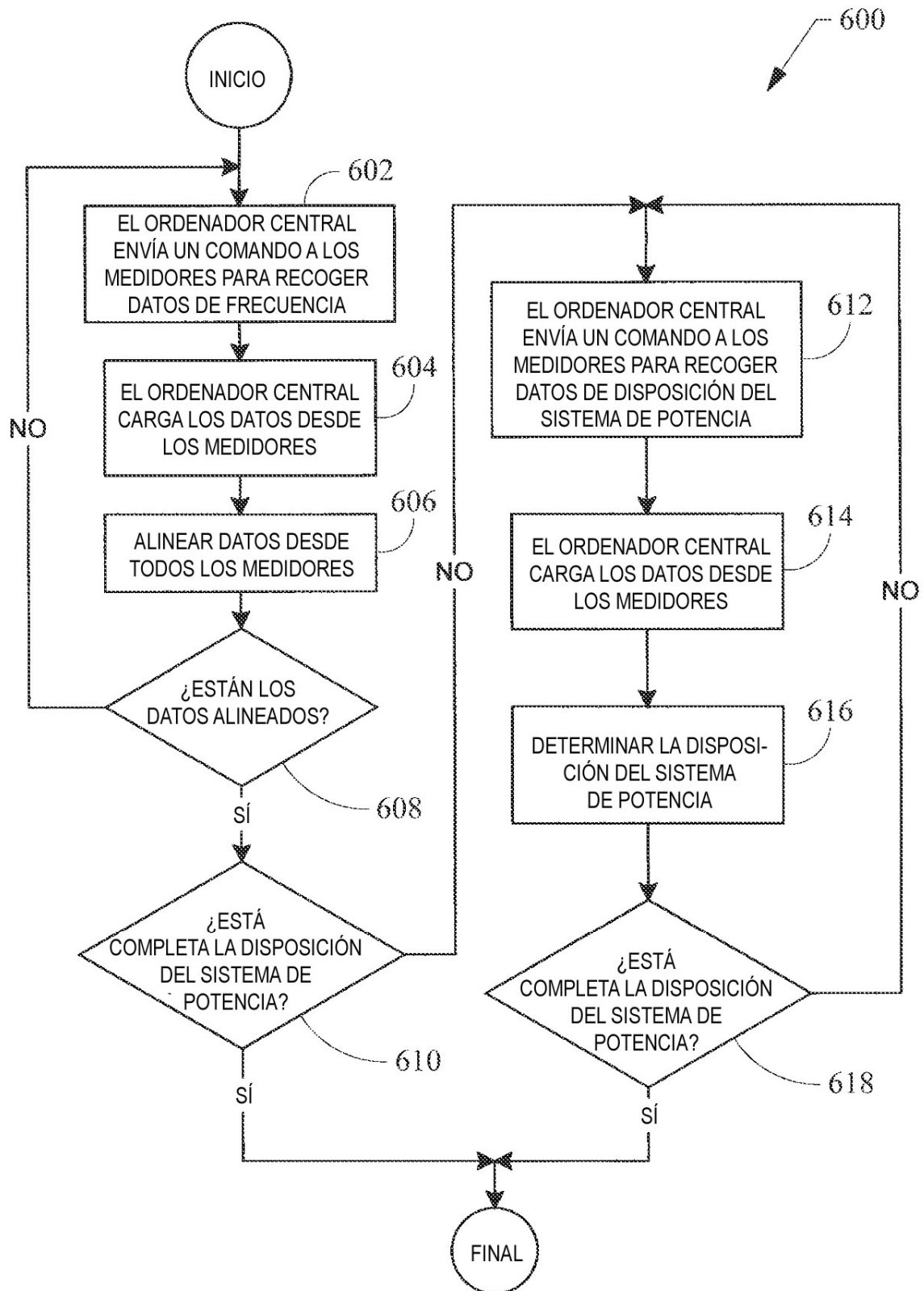
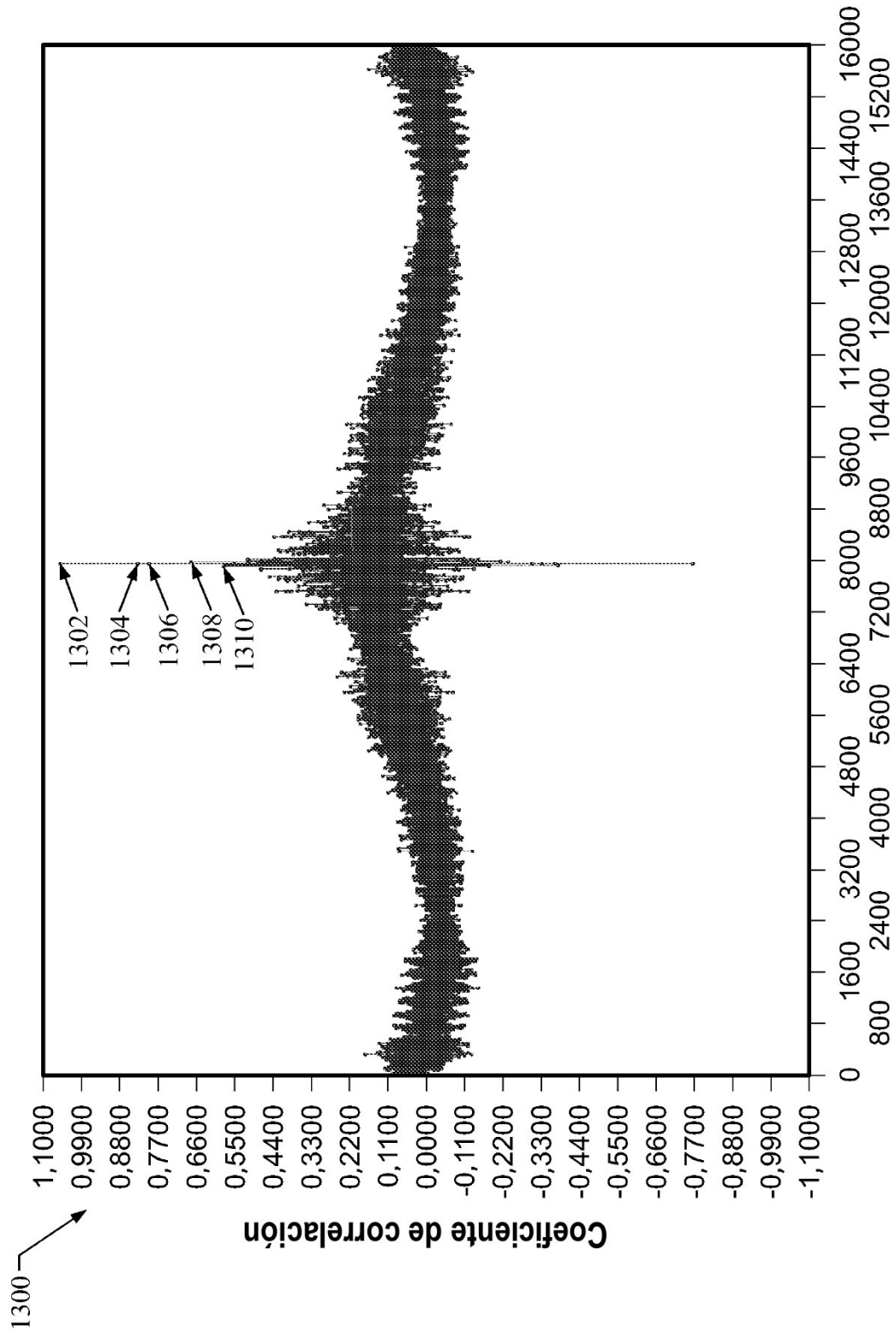


Fig. 12



Intervalo de correlación

Fig. 13

