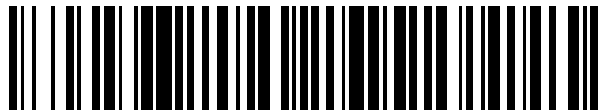


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 659 000**

51 Int. Cl.:

**G01D 4/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2011 E 11354060 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.12.2017 EP 2458340**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad**

30 Prioridad:

**25.11.2010 FR 1004580**

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

**13.03.2018**

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS  
(100.0%)  
35 rue Joseph Monier  
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**DESCHAMPS, PHILIPPE y  
ALVAREZ-HERAULT, MARIE-CÉCILE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 659 000 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

Procedimiento y dispositivo de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere al campo de distribución eléctrica por una red, en concreto, una red pública. La invención se refiere a un procedimiento de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad. La invención se refiere, asimismo, a un dispositivo de determinación que implementa tal procedimiento. La invención se refiere también a un soporte de datos y a un programa informático adaptado para la implementación de tal procedimiento.

**Estado de la técnica**

10 Como se ha representado en la figura 1, en una red eléctrica 1, la distribución terminal de electricidad se realiza en baja tensión (BT) desde unas subestaciones 2 de distribución MT/BT (Media Tensión / Baja Tensión) hacia unos consumidores 5 de baja tensión, en concreto viviendas residenciales. Una subestación MT/BT 2 presenta varias acometidas 3. Cada acometida se despliega en una estructura radial 4 que presenta varias conexiones monofásicas o trifásicas 6. Esta estructura de red abastece a cierto número de consumidores 5, en modo monofásico o trifásico.

15 En la subestación MT/BT 2, se sitúa un panel BT que distribuye la potencia por las diferentes acometidas 3 anteriormente mencionadas. Típicamente hay entre 1 y 8 acometidas, eventualmente protegidas por fusibles o disyuntores.

20 Las redes de baja tensión son densas, a veces aéreas, a veces subterráneas, en las que se mezclan diversos materiales y cables de diversas edades. Están explotadas por empresas eléctricas, de las cuales algunas tienen un historial, del orden de un siglo, durante el cual esta red ha sido objeto de modificaciones, ampliaciones y reparaciones. Estas redes son técnicamente simples, poco sujetas a averías y, de hecho, con frecuencia no están documentadas o lo están poco y mal.

25 Dos factores vienen a añadirse a este panorama. Por una parte, la desregulación del sector eléctrico impone la separación de los actores. Por otra parte, las redes de distribución pertenecen a los distribuidores de electricidad que conservan un carácter monopolístico, pero se encuentran bajo las limitaciones de los reguladores nacionales. Estos imponen a sus distribuidores objetivos de calidad de servicio que deben medirse, entre otros, en tiempo y en número de cortes, vistos por cada uno de los consumidores conectados. Estos objetivos son limitantes y pueden dar lugar a penalizaciones si no se respetan. En consecuencia, los distribuidores necesitan ahora una gran precisión en los datos sobre cortes e información precisa para localizar mejor los eventuales fallos o averías.

30 Por otra parte, siempre en el marco de la desregulación, cierto número de países ha decidido desplegar contadores comunicantes que eviten el desplazamiento del personal para garantizar la toma de datos. Según los contextos reglamentarios y según los distribuidores, se han retenido diferentes arquitecturas para garantizar las operaciones de toma de datos de los contadores a distancia. En algunas de estas arquitecturas, ciertos distribuidores han decidido implementar un concentrador de datos en cada subestación de distribución MT/BT. Este asegura la recogida de datos de cada uno de los contadores con los que está conectado. Los datos de recuento se reciben por medio de corrientes portadoras en línea o mediante unos medios radioeléctricos a una frecuencia regular (del orden de cada media hora hasta cada día). El concentrador retransmite, a continuación, el conjunto de estas mediciones a un nivel superior por otro medio de comunicación. Por lo tanto, en cada subestación MT/BT hay datos de recuento disponibles de cada uno de los contadores prácticamente en tiempo real.

40 Antes del despliegue de los contadores comunicantes, era económicamente imposible tener acceso a los valores de recuento de cada uno de los contadores prácticamente en tiempo real. Por otra parte, las tecnologías actuales de sensores no permiten medir económicamente la corriente en cada una de las fases de cada una de las acometidas BT de una subestación MT/BT.

45 Como se ha visto anteriormente, la estructura de las redes a veces está mal documentada. Sin embargo, es importante conocer estas estructuras. Parece, por tanto, muy interesante poder determinar estas estructuras de manera simple, económica y eficaz. Tal conocimiento de la red permite, en concreto, determinar y localizar finamente y de manera simple y económica pérdidas no técnicas o disfunciones de la red. Por otra parte, permite, asimismo, diagnosticar desequilibrios de la red al nivel de cada acometida.

50 Se conoce por el documento US 2010/0007219 un procedimiento que usa numerosos aparatos de medición en distintos lugares de una red con el fin de determinar la arquitectura de esta red. Tal procedimiento es muy caro, ya que necesita numerosos dispositivos de medición en diferentes niveles de la red. Permite, asimismo, determinar si se está robando energía de la red. Se conocen otros procedimientos por los documentos DE 102008044915 y US 2007/005277.

55 Se conoce por el documento US 2007/14313 un procedimiento de optimización de datos procedentes de un sistema de medición o de vigilancia de una red eléctrica.

**Descripción de la invención**

- El objetivo de la invención consiste en proporcionar un procedimiento de determinación de la estructura de una red eléctrica que permita remediar los problemas evocados anteriormente y que mejore los procedimientos conocidos de la técnica anterior. En particular, la invención propone un procedimiento de determinación de estructura simple, económica y eficaz. La invención está definida en las reivindicaciones independientes. El procedimiento de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad que comprende una subestación que alimenta un conjunto de consumidores mediante una o varias acometidas que presentan una o varias fases, comprende las siguientes etapas:
- 5 recepción de una primera información de consumo eléctrico relativa a cada consumidor del conjunto,
- 10 recepción de una segunda información de consumo eléctrico relativa a las acometidas o a las fases de cada acometida de la subestación,
- utilización de la primera y segunda información que comprende una fase de cálculo, para determinar en el interior del conjunto, unos subconjuntos de consumidores, estando los consumidores de un mismo subconjunto alimentados por una misma acometida dada y/o por una misma fase dada de una acometida dada.
- 15 Ventajosamente, la fase de cálculo está basada en una hipótesis de conservación de la energía aplicada a la primera y segunda información.
- Preferentemente, la fase de cálculo comprende el cálculo de coeficientes que se traducen en que un consumidor está conectado o no a una acometida o a una fase.
- 20 Ventajosamente, un coeficiente igual o sustancialmente igual a 1 se traduce en que el consumidor está conectado a la acometida o a la fase y/o un coeficiente igual o sustancialmente igual a 0 se traduce en que el consumidor no está conectado a la acometida o a la fase.
- Ventajosamente, la fase de cálculo, en concreto, una fase de cálculo de coeficientes, usa un método de optimización de tipo de mínimos cuadrados. La fase de cálculo comprende el cálculo de un coeficiente de confianza. La etapa de utilización comprende una fase de comparación de los resultados de diferentes iteraciones de la fase de cálculo. Se concluye que existen pérdidas no técnicas en la red si los diferentes resultados de las iteraciones de la fase de cálculo son sustancialmente diferentes.
- 25 Según la invención, un soporte de grabación de datos legible para un calculador en el que está grabado un programa de ordenador que comprende unos medios lógicos de implementación de las etapas del procedimiento tal y como se ha definido anteriormente.
- 30 Según la invención, un dispositivo de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad que comprende una subestación que alimenta a un conjunto de consumidores mediante una o varias acometidas que presentan una o varias fases, comprende unos medios materiales y/o de soporte lógico de implementación de las etapas del procedimiento tal y como se ha definido anteriormente. Los medios materiales comprenden un medio de recepción de información de consumo de energía, en concreto, de recepción de una primera información de consumo eléctrico relativa a cada consumidor del conjunto y de recepción de una segunda información de consumo eléctrico relativa a las acometidas o a las fases de cada acometida de la subestación, un medio de análisis o de tratamiento que comprende un medio de cálculo y un medio de restitución de información, en concreto, de información referente a subconjuntos de consumidores alimentados por una misma acometida dada y/o por una misma fase dada de una acometida dada.
- 35 Según la invención, un programa informático comprende un medio de código de programa informático adaptado para la ejecución de las etapas del procedimiento tal y como se ha definido anteriormente, cuando el programa se ejecuta en un ordenador.

**Breve descripción de los dibujos**

- 45 Los dibujos adjuntos representan, a modo de ejemplo, un modo de realización de una red eléctrica que comprende un dispositivo de implementación de un procedimiento de determinación según la invención y un modo de ejecución de un procedimiento de determinación según la invención.
- La figura 1 muestra un esquema de arquitectura general de una red de distribución de electricidad BT.
- La figura 2 muestra un esquema detallado de un ejemplo de red de distribución de electricidad BT.
- La figura 3 muestra un esquema de un ejemplo de red de distribución de electricidad simplificado.
- 50 La figura 4 es un ordinograma de un modo de ejecución de un procedimiento de determinación según la invención.

**Descripción detallada de modos de realización preferidos**

El reciente despliegue de contadores de consumo eléctrico comunicantes a nivel de los consumidores finales implica la implementación de medios de tratamiento y de comunicaciones en las subestaciones 1 de distribución MT/BT. Esto da la oportunidad de implantar en las subestaciones 1 de distribución MT/BT de las funciones de tratamiento avanzadas, lo que no era posible antes. El procedimiento según la invención permite, de manera económica y automática, determinar o reconstituir la estructura o el esquema de una red de distribución BT (es decir, determinar qué consumidor 5 está conectado a qué acometida o conexión 3, incluso a qué fase), concretamente a partir de datos y de mediciones disponibles en la subestación de distribución MT/BT. Esto permite entre otras cosas:

- cuantificar y localizar las pérdidas no técnicas (concretamente el robo de energía y los errores de bases de datos comerciales).
- conocer con precisión el estado de las pérdidas de la red BT y localizar las acometidas que contribuyen en mayor medida,
- identificar los desequilibrios de consumo por fase a escala en cada acometida, y/o
- conocer exactamente el número de clientes afectados por un defecto en una acometida BT 3 dada para calcular unos índices precisos de rendimiento SAIDI (índice de duración promedio de interrupción de corte por año y por cliente) y SAIFI (índice de frecuencia promedio de interrupción por año y por cliente).

Cada consumidor o usuario final 5 está equipado con un contador comunicante que permite transmitir regularmente la información de consumo a la subestación 2 a la que está conectado. Una base de datos situada en la subestación contiene los registros de consumo sucesivos de cada uno de los contadores conectados.

De este modo, es posible definir unos índices representativos de los consumos de cada uno de los consumidores (energía activa y/o reactiva y/o aparente, potencia instantánea activa y/o reactiva y/o aparente, corriente instantánea activa y/o reactiva y/o aparente...).

Un sistema de medición o de recuento de consumo se coloca en la subestación 2 al nivel de cada acometida 3 o al nivel de cada fase de cada acometida 3 lo que permite medir información homogénea a la información medida por cada uno de los contadores, es decir, unos índices representativos de los consumos (energía activa y/o reactiva y/o aparente, potencia instantánea activa y/o reactiva y/o aparente, corriente instantánea activa y/o reactiva y/o aparente...).

En un modo de realización preferente, los datos de consumo recopilados al nivel de cada consumidor y en la subestación 2 al nivel de las acometidas o de las fases están sincronizados, es decir, que son relativos a un mismo periodo en el caso de una energía o a un mismo instante si se trata de una potencia o de una intensidad de corriente.

Sea cual sea el tipo de consumidor (trifásico o monofásico), a este se le asigna una acometida a la que está conectado gracias al procedimiento según la invención.

La asignación a la fase correspondiente es posible en función del tipo de información disponible.

Si los contadores de los consumidores trifásicos dan tres índices representativos de los consumos correspondientes a cada fase, entonces es posible asignar a cada consumidor la fase o las fases a las que está conectado.

Si los contadores de los consumidores trifásicos solo dan un índice global representativo del consumo global del consumidor, entonces la asignación de cada consumidor a la fase o a las fases a las que está conectado podría no ser posible. Sin embargo, se puede posibilitar esta asignación gracias a otro dispositivo que permite identificar las fases conectadas a los contadores presentes a nivel de los consumidores.

Como se ha representado en la figura 2, en una red eléctrica 1, la distribución terminal de electricidad se realiza en baja tensión (BT) desde unas subestaciones 2 de distribución MT/BT 2 hacia unos consumidores 5 de baja tensión, en concreto viviendas residenciales. Una subestación de distribución MT/BT 2 es la acometida de una estructura de red que presenta varias líneas trifásicas 4, cada una, conectada mediante una conexión o acometida 3 a la subestación. Esta estructura de red abastece a cierto número de consumidores, en modo monofásico o trifásico (del orden del centenar). En la subestación MT/BT, se sitúa un panel BT que distribuye la potencia por las diferentes acometidas 3. Típicamente hay entre 1 y 8 acometidas eventualmente protegidas por unos fusibles o disyuntores. En la figura 2, cada acometida comprende cuatro conductores eléctricos: estando las tres fases identificadas cada una por las cifras 1, 2, 3 y el neutro identificado por la letra N. Los consumidores trifásicos están conectados a cada uno de los conductores eléctricos y los consumidores monofásicos están conectados a una de las fases y al neutro. En el ejemplo de la figura 2, la subestación 2 comprende 4 acometidas de baja tensión 3. Cada acometida alimenta cierto número de consumidores monofásicos y/o trifásicos. A cada consumidor se le asigna un contador comunicante 7 identificado por una referencia propia del distribuidor (número de cuatro cifras que se da como ejemplo en la figura 2). Cada contador transmite una información de consumo (por ejemplo, de energía activa) si es monofásico y tres informaciones de consumo (por ejemplo, de energía activa) relativas a cada una de las fases si es trifásico. Esta información se transmite a un dispositivo 8 de determinación de una estructura de red, por ejemplo, situada en la subestación 2, a través de un medio de comunicación apropiado (por ejemplo, por ondas radioeléctricas o por

corrientes portadoras en línea). Por otra parte, un sistema de medición 9 mide en cada acometida o en cada fase de cada acometida una información de consumo (por ejemplo, energía activa) y transmite asimismo esta información al dispositivo 8. Este sistema de medición eventualmente puede usar una tecnología inalámbrica para simplificar su implementación en las subestaciones existentes.

5 El dispositivo de determinación 8 comprende un medio 81 de recepción de información de consumo transmitida por los contadores comunicantes 7 y por el sistema de medición 9, un medio 82 de análisis o de tratamiento de esta información y, eventualmente, un medio 83 para proporcionar un informe de análisis, como un medio de emisión de información o una interfaz de comunicación, concretamente, visual y/o sonora. Este medio 83 le permite, en concreto, a una persona encargada de la gestión de la red recibir una información sobre la supuesta estructura de la red mediante la implementación del procedimiento de determinación según la invención.

10 El dispositivo de determinación 8 comprende unos medios materiales y/o informáticos que permiten gestionar su funcionamiento de conformidad con el procedimiento objeto de la invención. Los medios lógicos pueden comprender, concretamente, un medio de código de programa informático adaptado para la realización de las etapas del procedimiento según la invención, cuando el programa se ejecuta en un ordenador. Los soportes lógicos pueden estar comprendidos en el medio 82 de análisis o de tratamiento.

15 Partiendo de los datos descritos anteriormente, el procedimiento de determinación, según la invención, afecta a cada uno de los contadores en una de las acometidas o a una de las fases de una de las acometidas encontrando la combinación de asignación correcta. En otras palabras, el procedimiento de determinación determina, de entre el conjunto de consumidores, unos subconjuntos, correspondiendo cada subconjunto al conjunto de consumidores conectados a una misma acometida o al conjunto de consumidores conectados a una misma fase de una misma acometida. El resultado puede presentarse en forma de una tabla de datos, como se ha representado anteriormente para el ejemplo de la red de la figura 2, en la que se enumeran las acometidas, las fases y los contadores conectados.

20

Acometida 1			Acometida 2			Acometida 3			Acometida 4		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Cont. 3652			Cont. 3652					Cont. 5543		Cont. 5786	
	Cont. 4843		Cont. 5156					Cont. 7670		Cont. 8829	
	Cont. 9357			Cont. 7589	Cont. 8649			Cont. 0098	Cont. 2431	Cont. 2213	Cont. 8219
	Cont. 0627			Cont. 6805				Cont. 3321	Cont. 8709		
Cont. 8216		Cont. 9519		Cont. 8808	Cont. 1963					Cont. 6547	
		Cont. 8123			Cont. 1221					Cont. 9872	
		Cont. 9384			Cont. 6529					Cont. 7569	
		Cont. 9887			Cont. 7245						
Cont. 7589		Cont. 6642			Cont. 9080						
	Cont. 6654			Cont. 4975							
	Cont. 7890		Cont. 3652								
Cont. 9656				Cont. 6754	Cont. 6539						

5 A continuación, se describe un modo de ejecución del procedimiento de determinación según la invención con referencia a la figura 4, aplicándose el procedimiento de determinación a un ejemplo de red 21 representado en la figura 3. Esta red 21 comprende una subestación 22 que tiene dos acometidas con las líneas 24a y 24b. La primera acometida 24a comprende dos consumidores  $C_1$  y  $C_2$  en su línea 24a y la segunda acometida comprende un consumidor  $C_3$  en su línea 24b.

A continuación, en la descripción del modo de ejecución, se razona con energías activas. Es igualmente posible un razonamiento similar con otras mediciones homogéneas y que sigue el mismo enfoque (en concreto, energía reactiva, energía aparente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, corrientes).

10 Para simplificar la descripción, se supone que todos los consumidores son trifásicos. De este modo, se razona, por un lado, por acometida considerando la energía total activa (en las 3 fases) consumida medida en la acometida y por otro lado, la energía activa medida por los contadores instalados a nivel de los consumidores. El razonamiento es similar con unos consumidores monofásicos salvo que en lugar de razonar por acometida, se debe razonar por fase.

En una primera etapa 10, se definen los datos principales de la red y los datos y el principio del procedimiento de determinación. En concreto, se determinan los datos de la siguiente tabla:

Número total de consumidores	n (3 en el ejemplo de la figura 3)
Número total de acometidas o de fases	m (2 en el ejemplo de la figura 3)
Datos recopilados a nivel de cada consumidor	índice de energía $E(t)$ : se trata del cúmulo de energía consumida por cada consumidor en un instante t.
Datos recopilados a nivel de cada acometida o fase	mediciones de energía en unos intervalos de tiempo predefinidos

15 Por ejemplo, se considera que la energía suministrada al nivel de una acometida (o de una fase de una acometida) es igual, habida cuenta de las pérdidas, a la suma de las energías consumidas por los consumidores conectados a esta acometida (o a la fase de esta acometida). De este modo, en una segunda etapa 20, se define una lista de coeficientes  $a_{ij}$  donde  $i \in [1; n]$  correspondiente al número de contadores y  $j \in [a; m]$  correspondiente al número de acometidas (en el ejemplo de la figura 3,  $i \in [1, 2, 3]$  y  $j \in [a, b]$ ) que permiten modelizar esta hipótesis. Estos coeficientes permiten traducir a qué acometida (o qué fase) está conectado un consumidor dado. Si el consumidor i está conectado a la acometida j entonces  $a_{ij} = 1$  y si el consumidor i no está conectado a la acometida j entonces  $a_{ij} = 0$ .

25 En el caso de la red de la figura 3, se define la siguiente lista de coeficientes ( $a_{1a}, a_{1b}, a_{2a}, a_{2b}, a_{3a}, a_{3b}$ ). En este ejemplo, la implementación del procedimiento de determinación debería llevar a la siguiente solución  $a_{1a} = 1, a_{1b} = 0, a_{2a} = 1, a_{2b} = 0, a_{3a} = 0, a_{3b} = 1$ .

Se define:

$$E_{Dj}(t \rightarrow t + \Delta t) = \text{Energía consumida en toda la acometida } j \text{ en el intervalo de tiempo } [t; t + \Delta t],$$

$$E_{Ci}(t \rightarrow t + \Delta t) = \text{Energía consumida por el consumidor } i \text{ en el intervalo de tiempo } [t; t + \Delta t],$$

$$\text{Pérdidas}_{Dj}(t \rightarrow t + \Delta t) = \text{Energía perdida en la acometida } j \text{ en el intervalo de tiempo } [t; t + \Delta t].$$

30 La conservación de la energía se traduce, por tanto, para las diferentes acometidas j mediante las siguientes fórmulas:

$$E_{Dj}(t \rightarrow \Delta t) = \sum_{i=1}^n a_{ij} \times E_{Ci}(t \rightarrow \Delta t) + \text{Pérdidas}_{Dj}(t \rightarrow \Delta t)$$

donde  $j \in [a; m]$

35 En el ejemplo de la figura 3, la conservación de la energía se traduce, por tanto, para las acometidas a y b mediante las siguientes fórmulas:

$$E_{Da}(t \rightarrow \Delta t) = a_{1a} \times E_{C1}(t \rightarrow \Delta t) + a_{2a} \times E_{C2}(t \rightarrow \Delta t) + a_{3a} \times E_{C3}(t \rightarrow \Delta t) + \text{Pérdidas}_{Da}(t \rightarrow \Delta t)$$

$$E_{Db}(t \rightarrow \Delta t) = a_{1b} \times E_{C1}(t \rightarrow \Delta t) + a_{2b} \times E_{C2}(t \rightarrow \Delta t) + a_{3b} \times E_{C3}(t \rightarrow \Delta t) + \text{Pérdidas}_{Db}(t \rightarrow \Delta t)$$

En una tercera etapa 30, se efectúa una serie de mediciones al nivel de los contadores de cada consumidor y al nivel de las acometidas o de las fases en la subestación 22 durante unos periodos definidos o en unos instante definidos.

## ES 2 659 000 T3

Con el ejemplo de la figura 3, supongamos que se efectúa una medición de energía de 7h a 7h30 al nivel de cada consumidor y en la cabecera de cada acometida. Los resultados están representados en la siguiente tabla.

$E_{C1}(7h \rightarrow 7h30)$	$E_{C2}(7h \rightarrow 7h30)$	$E_{C3}(7h \rightarrow 7h30)$	$E_{Da}(7h \rightarrow 7h30)$	$E_{Db}(7h \rightarrow 7h30)$
20 Wh	30 Wh	100 Wh	52 Wh	103 Wh

Un ejemplo de aplicación digital permite verificar la ecuación propuesta. Al multiplicar las energías de los consumidores por el coeficiente correspondiente (0 o 1), se obtiene:

$$a_{1a} \times E_{C1} + a_{2a} \times E_{C2} + a_{3a} \times E_{C3} = 1 \times 20 + 1 \times 30 + 0 \times 100 = 50$$

5

$$a_{1b} \times E_{C1} + a_{2b} \times E_{C2} + a_{3b} \times E_{C3} = 0 \times 20 + 0 \times 30 + 1 \times 100 = 100$$

de donde

$$E_{Da} = 52 = 50 + 2$$

$$E_{Db} = 103 = 100 + 3$$

Nos encontramos de nuevo con la modelización anterior con las pérdidas de la acometida a iguales a 2 Wh y las pérdidas de la acometida b iguales a 3 Wh.

10 En una cuarta etapa 40, se prueba si se tienen suficientes mediciones para resolver las ecuaciones mencionadas anteriormente. Si este no es el caso, se hace un bucle a la etapa 30. Si este es el caso, se pasa a una etapa 50.

En esta etapa, en efecto, hay que encontrar el valor de los coeficientes  $a_{ij}$  para poder escribir las fórmulas de conservación de la energía.

15 En el ejemplo de la figura 3, si solo se hace una única medición al nivel de cada acometida y al nivel de los consumidores y no se presta atención a las pérdidas, entonces se tienen 2 ecuaciones para 6 incógnitas:

$$52 \cong a_{1a} \times 20 + a_{2a} \times 30 + a_{3a} \times 100$$

$$100 \cong a_{1b} \times 20 + a_{2b} \times 30 + a_{3b} \times 100$$

de donde

$$a_{1a} \cong \frac{52 - (a_{2a} \times 30 + a_{3a} \times 100)}{20}$$

$$a_{1b} \cong \frac{100 - (a_{2b} \times 30 + a_{3b} \times 100)}{20}$$

20 No se puede determinar el valor de  $a_{1a}$  y de  $a_{1b}$  ya que se desconoce el valor de los coeficientes ( $a_{2a}$ ,  $a_{2b}$ ) y ( $a_{3a}$ ,  $a_{3b}$ ). Hace falta, por lo tanto, otros dos juegos de mediciones de energía al nivel de cada contador y al nivel de cada acometida. Por ejemplo, en las franjas horarias de 7h30 a 8h y de 8h a 8h30.

En la siguiente tabla se ofrecen unos ejemplos de juegos de mediciones.

Intervalo	$E_{C1}$	$E_{C2}$	$E_{C3}$	$E_{Da}$	$E_{Db}$
7h→7h30	20 Wh	30 Wh	100 Wh	52 Wh	103 Wh
7h30→8h	10 Wh	50 Wh	50 Wh	63 Wh	51 Wh
8h→8h30	30 Wh	75 Wh	130 Wh	107 Wh	135 Wh

Al ser el número de medidas suficiente, es posible determinar el valor de los coeficientes ( $a_{1a}$ ,  $a_{1b}$ ,  $a_{2a}$ ,  $a_{2b}$ ,  $a_{3a}$ ,  $a_{3b}$ ), por ejemplo, gracias a un cálculo descrito más adelante.

25 Si se generaliza a un caso de n contadores y m acometidas, con un solo juego de mediciones, se tienen m



ecuaciones de  $n \times m$  incógnitas. Se necesita, por tanto,  $n$  juegos de mediciones para poder resolver las ecuaciones.

En una quinta etapa 50, se resuelven las ecuaciones mencionadas anteriormente y se determinan los coeficientes  $a_{ij}$ .

5 Al ser escasas las pérdidas en la red (inferiores al 4 %), la suma de energías activas de los consumidores de una acometida dada es prácticamente igual a la suma de la energía consumida por la acometida, como se ha visto anteriormente. Ventajosamente, uno de los métodos aplicados es, por ejemplo, la minimización de los mínimos cuadrados de la diferencia entre la energía consumida medida al nivel de una acometida dada y la suma de las energías consumidas medidas al nivel de todos los contadores de los consumidores conectados a la subestación, estando las energías consumidas medidas al nivel de todos los contadores de los consumidores ponderadas por los  
10 coeficientes definidos anteriormente.

De este modo, hay que encontrar los coeficientes  $a_{ij}$  tales que la suma  $S$  sea mínima, siendo  $S$  igual a:

$$\sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \times E_{Ci} \text{ medida}(t \rightarrow \Delta t) \right) - E_{Dj} \text{ medida}(t \rightarrow \Delta t) \right]^2}$$

Es decir, en el caso del ejemplo de la red de la figura 3, hay que encontrar los coeficientes  $a_{1a}$ ,  $a_{1b}$ ,  $a_{2a}$ ,  $a_{2b}$ ,  $a_{3a}$ ,  $a_{3b}$  tales que la suma  $S$  sea mínima. Siendo  $S$  igual a  $S = \sqrt{S_{1a}^2 + S_{1b}^2 + S_{2a}^2 + S_{2b}^2 + S_{3a}^2 + S_{3b}^2}$  donde

$$\begin{cases} S_{1a} = a_{1a} \times 20 + a_{2a} \times 30 + a_{3a} \times 100 - 52 \\ S_{1b} = a_{1b} \times 20 + a_{2b} \times 30 + a_{3b} \times 100 - 103 \\ S_{2a} = a_{1a} \times 10 + a_{2a} \times 50 + a_{3a} \times 50 - 63 \\ S_{2b} = a_{1b} \times 10 + a_{2b} \times 50 + a_{3b} \times 50 - 51 \\ S_{3a} = a_{1a} \times 30 + a_{2a} \times 75 + a_{3a} \times 130 - 107 \\ S_{3b} = a_{1b} \times 30 + a_{2b} \times 75 + a_{3b} \times 130 - 135 \end{cases}$$

15 La convergencia del algoritmo está garantizada gracias a varios medios. Para facilitar su convergencia, se pueden añadir varias limitaciones, como por ejemplo:

→ en teoría el valor de los coeficientes es 0 o 1, pero en el caso de que se utilice una técnica de resolución en números reales, el procedimiento calcula unos valores reales, en concreto, para encontrar una solución a pesar de los errores de medición y de las pérdidas de energía. De este modo, es necesario limitar la solución buscada. Esto se traduce mediante el siguiente sistema:  
20

$$-\varepsilon\% \leq a_{ij} \leq (1 + \varepsilon\%) \text{ con } j \in [1; m] \text{ e } i \in [1; n]$$

25  $\varepsilon\%$  representa un valor que permite tener en cuenta eventuales errores de medición y de cálculo que hay que definir en función de los aparatos utilizados, así como unas pérdidas. 15 % es una un orden de magnitud utilizable,

→ si un consumidor  $i$ ,  $C_i$ , está conectado a la acometida  $j$ ,  $D_j$ , entonces no puede estar conectado a otra acometida. Esta limitación se traduce mediante el siguiente sistema:

$$\forall i \in [1; n], \sum_{j=1}^m a_{ij} = 1$$

Se definen unos índices de confianza:

30 → tras el cálculo anterior, se obtienen unos coeficientes  $a_{ij}$  con un valor comprendido entre  $-\varepsilon\%$  y  $(1 + \varepsilon\%)$ .

En el caso del ejemplo tratado, se obtiene:

35  $(a_{1a}, a_{1b}, a_{2a}, a_{2b}, a_{3a}, a_{3b}) = (0,625, 0,375, 1, 0, 0,075, 0,925)$ . Se constata que el valor de los coeficientes  $(a_{1a}, a_{1b})$  no está próximo a 0 o 1 como los otros coeficientes. Los resultados podrían no ser, por tanto, fiables, por lo que es necesario verificar estos resultados aplicando otra vez el algoritmo, pero sobre otro juego de datos. esta fiabilidad puede verificarse reproduciendo varias veces las etapas 30 a 50 en otros juegos de datos medidos en

otros momentos, concretamente, otros momentos del día o durante otro día o mes.

En esta etapa 50, se calculan unos índices de confianza.

Para hacer que los  $a_{ij}$  sean números enteros, se efectúa un redondeo al entero más próximo.

5 Un  $a_{ij}$  muy próximo de 0 (por ejemplo, 0,05) puede identificarse claramente como un 0. Incluso un  $a_{ij}$  muy próximo a 1 (por ejemplo, 1,02) puede identificarse como 1.

Cuanto más próximo esté  $a_{ij}$  de 0,5, más ambigua será la afectación. De ahí la necesidad de definir un índice de confianza que traduzca la distancia de los coeficientes  $a_{ij}$  con respecto a 0,5.

Una posible definición de los índices de confianza es:

$$Ind_{ij} = \frac{|0,5 - a_{ij}|}{0,5} \times 100,$$

10 expresado en %

En una sexta etapa 60, se prueban estos índices de confianza. La obtención de un mal índice de confianza (inferior a Ref1) se traduce, bien en errores de medición, bien en una dependencia de las ecuaciones retenidas, bien en la presencia de un consumo adicional en la red (robo, pérdidas anormales...). Si el peor de los índices de confianza es superior a un valor predefinido Ref1, entonces se registran, en una etapa 70, los resultados de los diferentes coeficientes  $a_{ij}$  que determinan la estructura de la red, es decir, las conexiones entre las acometidas y los consumidores. Si el peor de los índices de confianza no es superior al valor predefinido Ref1, entonces se pasa a una etapa 80 en la que se almacenan los coeficientes  $a_{ij}$  encontrados y se reiteran las etapas 10 a 80 anteriores hasta que el número de iteraciones sea igual a un valor predefinido Ref2.

20 Esto se prueba en una etapa 90. En el caso de que el número de iteraciones sea igual al valor Ref2, se pasa a una etapa 100 en la que se prueba si los diferentes coeficientes encontrados y almacenados en las etapas 80 sucesivas son los mismos o son similares. Si este es el caso, se hace un bucle a la etapa 60. Si este no es el caso, se pasa a una etapa 110 en la que se concluye que existen errores de medición o que existen pérdidas no técnicas en la red.

25 Al ejecutar varias veces el algoritmo (habiendo fijado el usuario el número de iteraciones), se pueden comparar las configuraciones de red obtenidas a la salida. Si son todas idénticas, se puede admitir que la solución encontrada corresponde a la realidad. En caso contrario, el diagnóstico es incierto. La presencia de pérdidas no técnicas es entonces altamente probable. En tanto que el número de iteraciones es inferior a un valor predefinido Ref2, se reiteran las etapas 10 a 80.

Retomando el ejemplo de la red de la figura 3, se habían obtenido como valores de los coeficientes:  $(a_{1a}, a_{1b}, a_{2a}, a_{2b}, a_{3a}, a_{3b}) = (0,625, 0,375, 1, 0, 0,075, 0,925)$ . Los coeficientes  $a_{11}$  y  $a_{12}$  eran pues poco fiables.

30 Ahora se considera el juego de datos de la tabla anterior y se reinicia la etapa de cálculo 50.

Intervalo	$E_{C1}$	$E_{C2}$	$E_{C3}$	$E_{Da}$	$E_{Db}$
7h→7h30	20 Wh	30 Wh	100 Wh	52 Wh	103 Wh
16h→16h30	10 Wh	10 Wh	40 Wh	21 Wh	41 Wh
20h→20h30	50 Wh	10 Wh	5 Wh	62 Wh	5.5 Wh

Se encuentra:  $(a_{1a}, a_{1b}, a_{2a}, a_{2b}, a_{3a}, a_{3b}) = (1, 0,9932, 0, 0, 0,0068, 1)$ . El resultado es muy fiable. Tomando otro juego de mediciones, se puede aumentar la fiabilidad del resultado.

El valor Ref1 vale por ejemplo 80 %.

35 El valor Ref 2 es el número de iteraciones que se dan antes de considerar que el sistema no puede converger debido a un problema exterior. El número de iteraciones Ref2 aumenta la posibilidad de convergencia pero como contrapartida aumenta el tiempo de resolución y la capacidad de registrar datos en el historial requerida.

40 En otros modos de realización, si los consumidores son también productores de electricidad, la asignación de cada consumidor a la fase o a las fases a las que está conectado solo es posible si se conoce la información de producción, es decir, que el contador debe no solamente transmitir la información relativa al consumo, sino también a la producción. En efecto, se debe saber qué información es relativa a la producción y qué información es relativa al consumo.

La descripción anterior hace referencia a unas subestaciones MT/BT, no obstante, la invención también se aplica únicamente a subestaciones de baja tensión (BT).

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de determinación de la estructura de una red (1) de distribución de electricidad que comprende una subestación (2) que alimenta a un conjunto de consumidores (5,  $C_i$ ) a través de una o varias acometidas (3,  $D_j$ ) que presentan una o varias fases, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:
- 5       - recepción de una primera información de consumo eléctrico relativa a cada consumidor del conjunto,  
        - recepción de una segunda información de consumo eléctrico relativa a las acometidas o a las fases de cada acometida de la subestación,  
        - utilización de la primera y segunda información que comprende una fase de cálculo, para determinar en el interior del conjunto, unos subconjuntos de consumidores, estando los consumidores de un mismo subconjunto alimentados por una misma acometida dada y/o por una misma fase dada de una acometida dada,
- 10       **caracterizado porque:**
- la fase de cálculo comprende el cálculo de un coeficiente de confianza,  
        - la etapa de utilización comprende una fase de comparación de los resultados de diferentes iteraciones de la fase de cálculo, y
- 15       - se concluye que existen pérdidas no técnicas en la red si los diferentes resultados de las iteraciones de la fase de cálculo son sustancialmente diferentes.
2. Procedimiento de determinación según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** la fase de cálculo está basada en una hipótesis de conservación de la energía aplicada a la primera y segunda información.
3. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la fase de cálculo comprende el cálculo de coeficientes ( $a_{ij}$ ) que se traducen en que un consumidor ( $C_i$ ) está conectado o no a una acometida ( $D_j$ ) o a una fase.
- 20       4. Procedimiento de determinación según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** un coeficiente ( $a_{ij}$ ) igual o sustancialmente igual a 1 se traduce en que el consumidor ( $C_i$ ) está conectado a la acometida o a la fase ( $D_j$ ) y/o que un coeficiente ( $a_{ij}$ ) igual o sustancialmente igual a 0 se traduce en que el consumidor ( $C_i$ ) no está conectado a la acometida o a la fase ( $D_j$ ).
- 25       5. Procedimiento de determinación según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la fase de cálculo, en concreto, una fase de cálculo de coeficientes ( $a_{ij}$ ), usa un método de optimización de tipo mínimos cuadrados.
- 30       6. Procedimiento de determinación según la reivindicación anterior, **caracterizado porque**, si los diferentes resultados de las iteraciones de la fase de cálculo son sustancialmente diferentes, se concluye que hay una disfunción en la red.
7. Soporte de grabación de datos legible para un calculador en el que está grabado un programa de ordenador que comprende unos medios lógicos de implementación de las etapas del procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.
- 35       8. Dispositivo (8) de determinación de la estructura de una red (1) de distribución de electricidad que comprende una subestación (2) que alimenta a un conjunto de consumidores (5,  $C_i$ ) a través de una o varias acometidas (3,  $D_j$ ) que presentan una o varias fases, **caracterizado porque** comprende unos medios (81, 82, 83) adaptados para la implementación de las etapas del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6.
- 40       9. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** dichos medios comprenden unos medios materiales que comprenden un medio (81) de recepción de información de consumo de energía, en concreto, de recepción de una primera información de consumo eléctrico relativa a cada consumidor del conjunto y de recepción de una segunda información de consumo eléctrico relativa a las acometidas o a las fases de cada acometida de la subestación, un medio (82) de análisis o de tratamiento que comprende un medio de cálculo y un medio (83) de restitución de información, en concreto, de información referente a subconjuntos de consumidores alimentados por una misma acometida dada y/o por una misma fase dada de una acometida dada.
- 45       10. Programa informático que comprende un medio de código de programa informático adaptado para la ejecución de las etapas del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, cuando el programa se ejecuta en un ordenador.

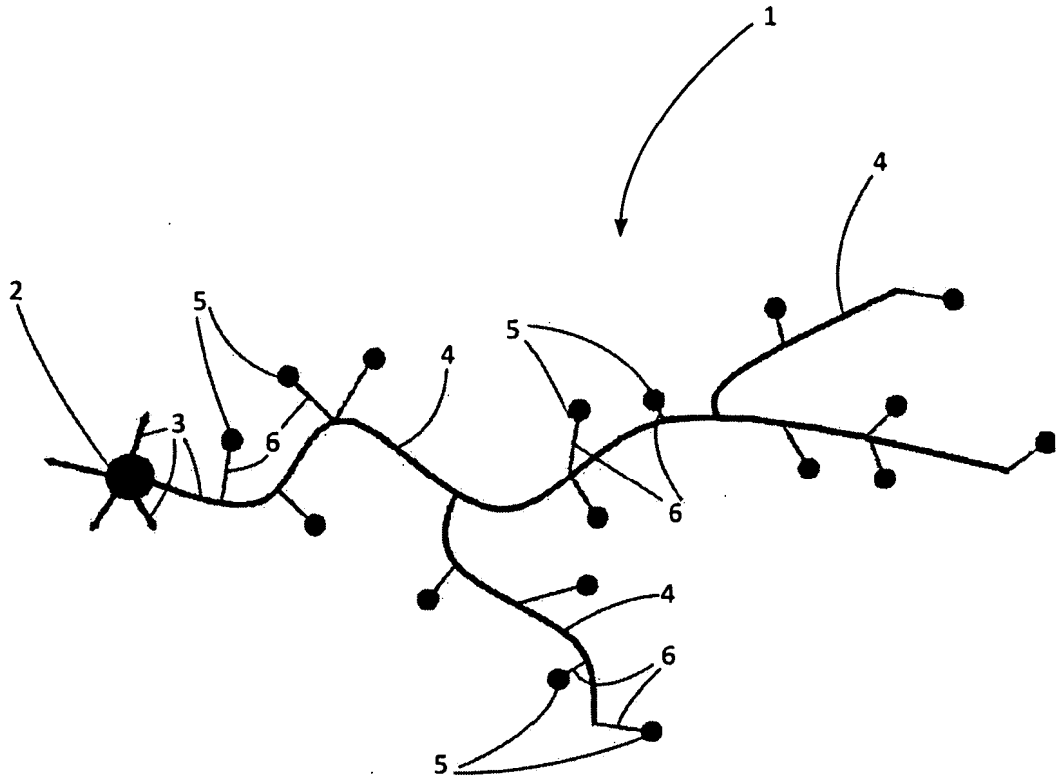


FIG.1

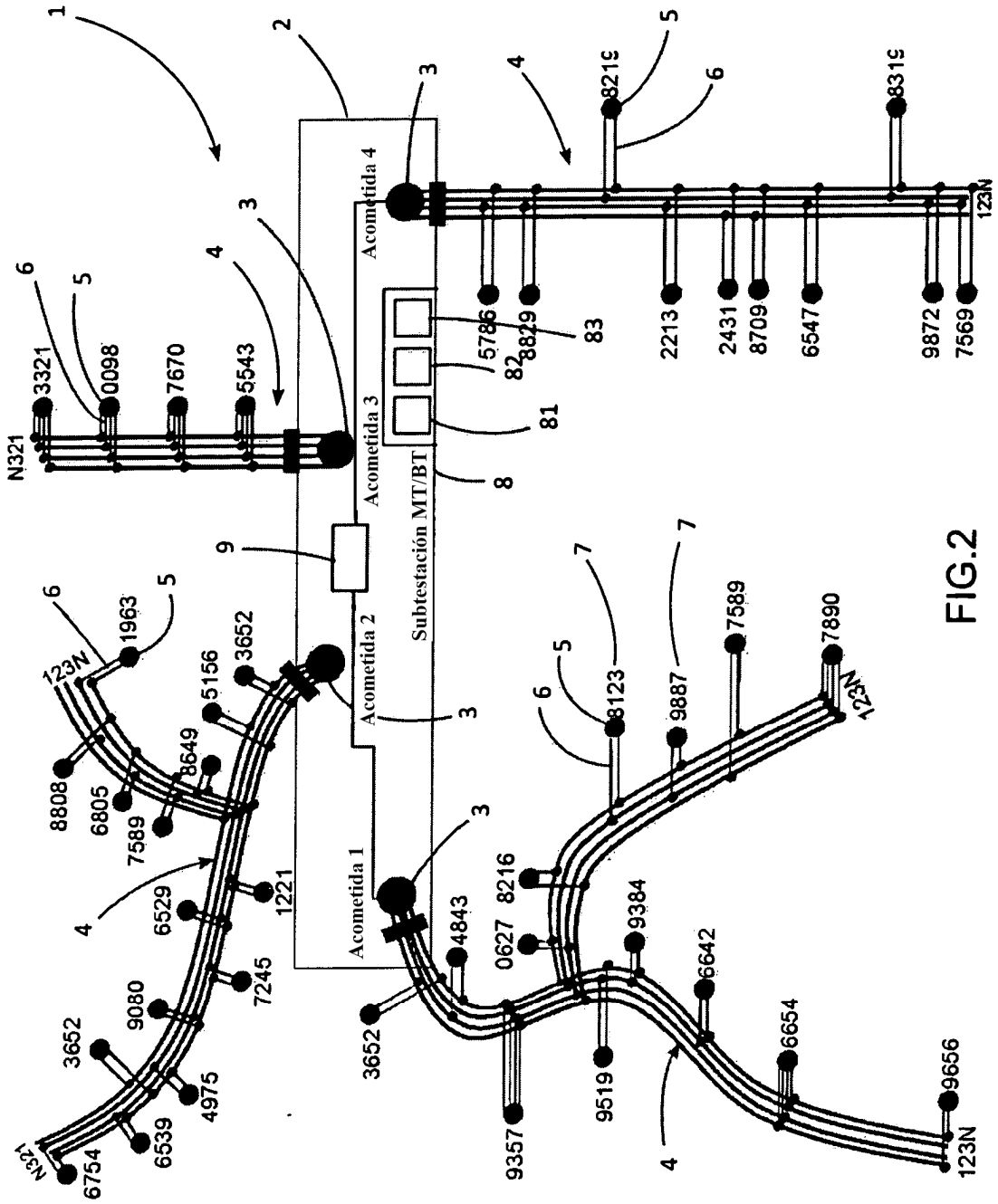


FIG.2

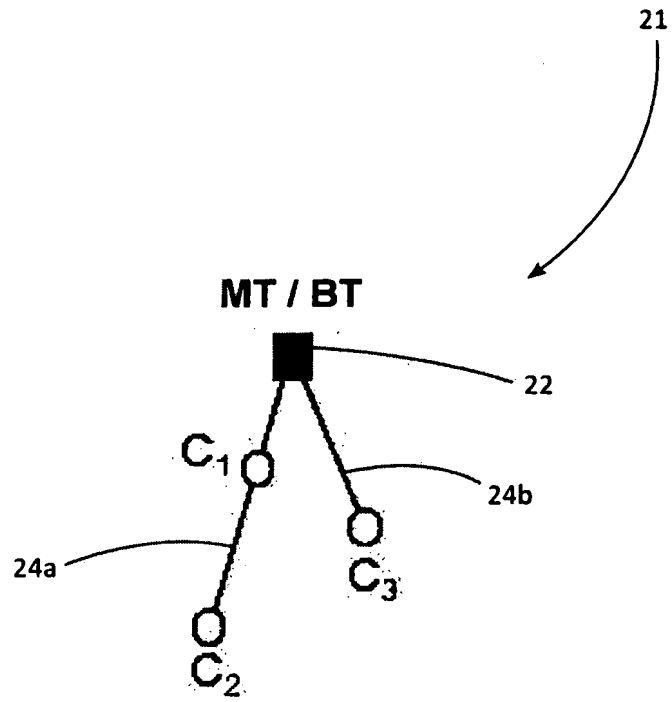


FIG.3

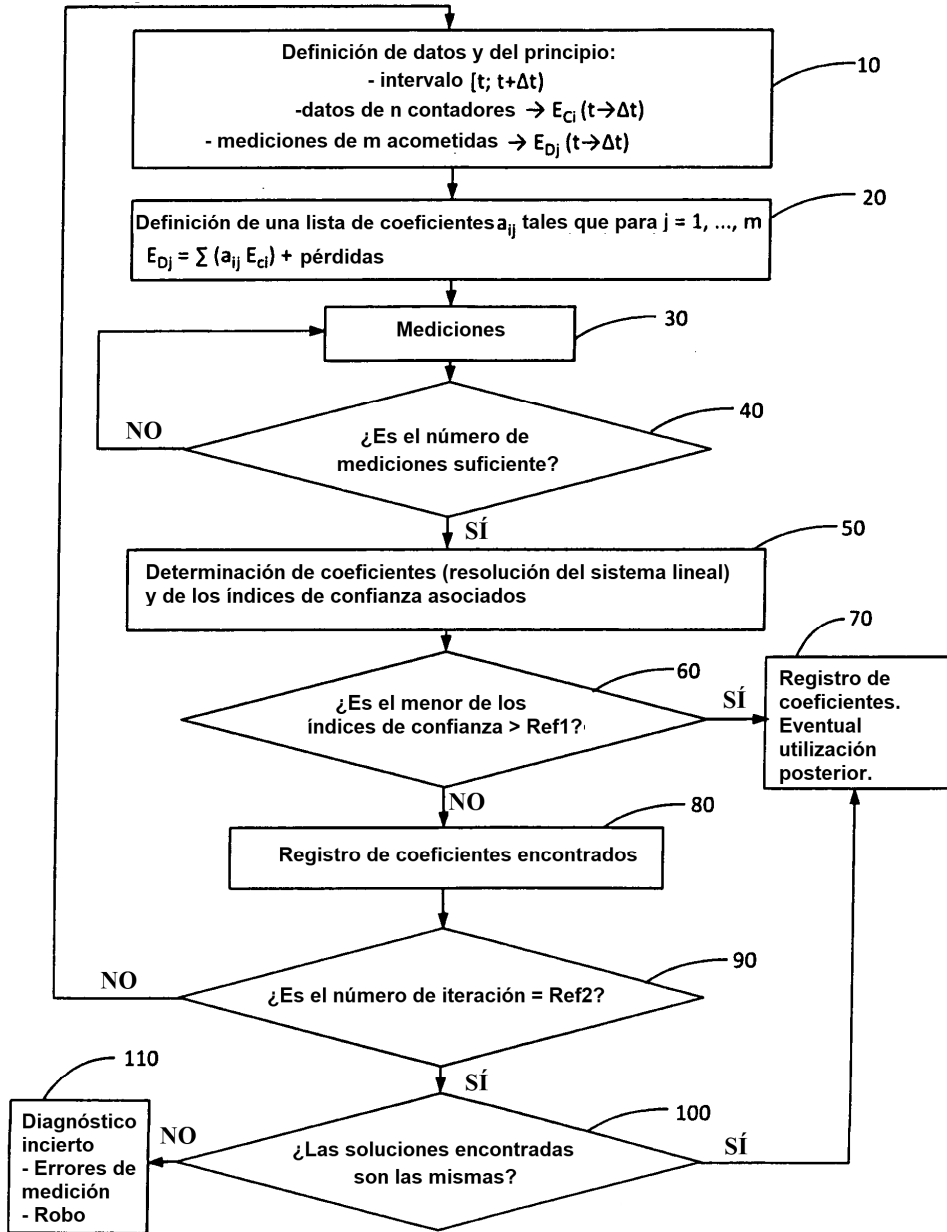


FIG. 4