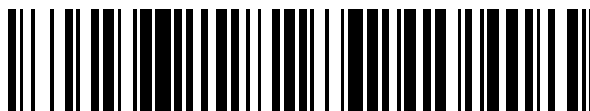


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 393**

51 Int. Cl.:

H02J 3/24 (2006.01)

G05B 13/04 (2006.01)

H02J 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2014 PCT/IB2014/001374**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.02.2015 WO15015267**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2014 E 14777761 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 3028361**

54 Título: **Método y dispositivo para equilibrar el consumo eléctrico**

30 Prioridad:

29.07.2013 IT RE20130056

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

24.02.2020

73 Titular/es:

**QUADRINI, ROBERTO (100.0%)
25 Via Don Galli
20852 Villasanta (Monza Brianza), IT**

72 Inventor/es:

QUADRINI, ROBERTO

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 744 393 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

Método y dispositivo para equilibrar el consumo eléctrico.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método y un dispositivo para equilibrar el consumo eléctrico.

Antecedentes de la técnica

10

Como es sabido, en el mercado liberalizado de la energía pueden estipularse contratos de suministro energético, por ejemplo, gestionados por operadores del mercado, que definen una cantidad de energía suministrada dentro de intervalos de tiempo determinados, por ejemplo, sobre una base horaria.

15

No obstante, puede ocurrir que, debido a diversos fenómenos, tales como una planificación particular de las cargas eléctricas o accionamientos manuales de los usuarios u otros, puede provocarse, como consecuencia, que el sistema total de cargas absorba una cantidad mayor o menor de energía con respecto a la previsión energética y asignada por el operador del mercado.

20

En ambos casos, podrían superarse los umbrales máximo o mínimo de la asignación de energía; cuando esto ocurre, se produce un desequilibrio positivo con un exceso de consumo, o un desequilibrio negativo con un consumo excesivamente bajo con respecto a la asignación ordenada, lo cual conduce a aumentos de precio de la energía y/o penalizaciones significativas.

25

El documento US 2010/0138363 divulga un tarificador inteligente de redes eléctricas que permite un equilibrado automatizado de la provisión y la demanda de suministro y consumo energéticos entre proveedores de electricidad y consumidores de electricidad.

30

El documento WO 2008/071995 divulga una disposición de equilibrado de carga para su utilización en un sistema de consumo eléctrico asociado a un generador eléctrico local y un suministro eléctrico externo.

El documento JP 2002369385 divulga un sistema de control de transmisión de energía.

35

El documento US nº 5.671.403 divulga un optimizador de consultas para optimizar consultas conjuntas en un sistema de base de datos relacional mediante aplicación iterativa de programación dinámica con el fin de seleccionar planes óptimos de ejecución conjunta de subgrafos.

40

El documento WO 2013/069717 divulga un sistema de planificación de funcionamiento y un método para crear un plan de funcionamiento.

Divulgación de la invención

45

Uno de los objetivos de la presente invención es sortear los inconvenientes antes mencionados, mediante la disposición previa de acciones sobre las cargas eléctricas que permitan el mantenimiento o el retorno del sistema internamente a los umbrales de consumo acordados antes mencionados aunque, al mismo tiempo, limitando el impacto de estas acciones en el confort percibido por las personas que hacen uso del sistema.

50

Un objetivo adicional de la invención es lograr el resultado anterior de una manera que resulte práctica y económica.

Los objetivos se alcanzan con un método para equilibrar el consumo eléctrico generado por una pluralidad de cargas eléctricas, comprendiendo el método las siguientes etapas:

55

estimar una energía absorbida en un intervalo de tiempo predeterminado, y

si un valor de la estimación de energía absorbida por las cargas no está dentro de un intervalo definido por un umbral de consumo mínimo y uno máximo,

60

calcular la cantidad de energía que debe ser variada en función de una diferencia entre el valor de la estimación de la energía absorbida y un valor de energía esperado,

65

determinar una estrategia que comprende por lo menos una acción que se debe llevar a cabo para variar la energía suministrada a las cargas individuales, con la finalidad de reducir la diferencia entre la energía absorbida estimada y su valor esperado,

poner en marcha una planificación de consumo eléctrico de acuerdo con una estrategia determinada.

Entre las ventajas de esta forma de realización de la invención se encuentra el hecho de que es posible retornar internamente, a un umbral predeterminado de consumo eléctrico, un sistema que, por algún motivo, había estado sujeto a un desequilibrio desde el punto de vista energético.

5

Esto puede permitir que se eviten penalizaciones si un sistema fuera a consumir demasiado o demasiado poco con respecto a lo que se establece en un contrato de suministro de electricidad.

10

El método de la invención también se puede adaptar a todos los casos reales en los cuales los umbrales mínimo y máximo para el consumo son variables a lo largo del tiempo, por ejemplo, en función de las bandas de tiempo.

15

El método de la invención presenta, además, una amplia aplicabilidad en la medida en la que se puede aplicar, no solamente a cargas aguas abajo de un punto de distribución de la energía, sino también para equilibrar subsistemas de un dominio que trabajan en las áreas individuales del mismo.

20

El método de equilibrado de energía de la invención también se puede aplicar aguas arriba de los puntos de distribución de la energía y, en particular, se puede aplicar al equilibrado no solamente de consumos, sino también al equilibrado del suministro de energía por parte de diferentes distribuidores de la electricidad dentro de una misma red de distribución.

25

Otra forma de realización de la invención comprende, también, un dispositivo para equilibrar el consumo eléctrico generado por una pluralidad de cargas eléctricas, comprendiendo el dispositivo:

unos medios para estimar una energía absorbida por las cargas en un intervalo de tiempo predeterminado,

unos medios para comparar la energía absorbida (E_k) por las cargas con un umbral mínimo y una carga de consumo máxima,

30

unos medios para calcular la cantidad de energía que debe ser variada en función de una diferencia entre el valor de la estimación de la energía absorbida y un valor de energía esperado,

35

unos medios para determinar una estrategia que comprende por lo menos una acción que se debe llevar a cabo para variar la energía suministrada a las cargas individuales, con la finalidad de reducir la diferencia entre la energía absorbida estimada y su valor esperado,

unos medios para poner en marcha una planificación de consumo eléctrico de acuerdo con una estrategia determinada.

40

Otras características de la invención se pueden deducir a partir de las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

45

Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto a partir de la lectura de la siguiente descripción, aportada a título de ejemplo no limitativo, con la ayuda de las figuras ilustradas en las tablas adjuntas, en las cuales:

la figura 1 ilustra un diagrama de los componentes principales del dispositivo según una forma de realización de la invención;

50

la figura 2 ilustra algunos casos, a título de ejemplo, de la aplicación de una forma de realización de la invención;

las figuras 3 a 6 son diagramas de bloques de diversas etapas del método de la invención; y

55

la figura 7 ilustra un ejemplo del funcionamiento del método de la invención.

Mejor modo de poner en práctica la invención

60

La figura 1 ilustra un diagrama de los componentes principales del dispositivo según una realización de la invención.

El dispositivo, indicado en su totalidad con la referencia numérica 10, puede monitorizar el consumo eléctrico, no solamente en términos acumulados, sino también, en especial por cada toma eléctrica individual.

65

En particular, según las aplicaciones a las cuales va destinado el dispositivo 10, el consumo eléctrico debido a cargas, tales como acondicionamiento, iluminación, activación de máquinas, se puede monitorizar, en contextos industriales y en general para cada carga eléctrica conectada a la red.

ES 2 744 393 T3

En general, para cada carga eléctrica se producirá una progresión de tiempo diferente del consumo eléctrico, tal como, por ejemplo, se representa en los bloques 20, 25 y 30.

5 Cada una de las cargas eléctricas se puede monitorizar por medio de una interfaz 40 provista de sensores que mide los parámetros eléctricos de la carga directamente en las tomas eléctricas individuales, por ejemplo, corriente, tensión, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, energía activa, energía reactiva, energía aparente. Estas mediciones se pueden llevar a cabo con unas clases de precisión de 0.2 y 0.5.

10 La totalidad de las interfaces 40 forma un subsistema de alimentación 45.

El subsistema de alimentación 45 no solamente lleva a cabo las mediciones de las cargas, sino que también proporciona suministro eléctrico a las cargas conectadas directamente al mismo.

15 De esta manera, en un caso de equilibrado de energía, el subsistema de alimentación 45 puede intervenir sobre cargas eléctricas selectivamente, como consecuencia de los cálculos del algoritmo de equilibrado ilustrado en la siguiente parte de la presente descripción. En particular, el subsistema de alimentación 45 tiene también la función de controlar la carga eléctrica por medio de, por ejemplo, el encendido y el apagado, la segmentación de las cargas, la gestión de alarmas, medidas de seguridad, eliminadores de funcionamiento en espera, la gestión de picos eléctricos, el control de cambios de tiempo y cada 15 minutos en relación con la potencia contractual utilizada, definida en el contrato con el proveedor de energía eléctrica, la memorización, en periodos de tiempo definidos, del consumo energético de cada toma eléctrica individual, la memorización de la emisión de dióxido de carbono y otros aparte.

25 El subsistema de alimentación 45 está conectado, por medio de un subsistema de interfaz en serie 50, u otro tipo de conexión para transmisión de datos, incluyendo inalámbrica, a un subsistema de monitorización 55 en el que se memorizan los datos del consumo eléctrico de cada carga, con la finalidad de construir una base de datos 57 de los datos.

30 Finalmente, en la medida en la que es posible monitorizar las cargas eléctricas individuales, gracias al sistema 10 antes descrito, también es posible clasificar el consumo eléctrico subdividiéndolo en áreas de consumo de acuerdo con criterios de homogeneidad.

35 Por ejemplo, un área puede estar constituida por una planta de una estructura pública, tal como un hospital, con su consumo en términos de iluminación, acondicionamiento, calefacción, o puede estar constituida por una máquina en una instalación de producción de una empresa o por un grupo de máquinas de un mismo tipo, o incluso utilizando otros criterios de similitud u homogeneidad.

40 La identificación de las áreas definidas de esta manera permite construir grupos de áreas que tienen en común un mismo destino de uso o que pertenecen a un mismo usuario del servicio eléctrico; estos se definen como dominios.

Ejemplos no limitativos de dominios, para los cuales se pueden aplicar las diversas formas de realización de la invención, pueden ser: un hospital, una planta siderúrgica o una bodega, teniendo cada uno de dichos dominios necesidades específicas en términos de consumo eléctrico.

45 Un dominio se puede subdividir en varios grupos o conglomerados, es decir, que recopilan en cada grupo un tipo específico de datos que representan el consumo eléctrico por ejemplo para crear subdivisiones significativas del consumo eléctrico.

50 A título de ejemplo, por medio de las operaciones antes mencionadas de creación de perfiles se pueden identificar dos tipos de consumo, asociado cada uno de ellos a un grupo (o conglomerado) específicos de datos, es decir, a un primer grupo de datos que representan consumo eléctrico debido a servicios esenciales y en un segundo grupo de datos que representan consumo eléctrico debido a actividades de una naturaleza discontinua, tal como, por ejemplo, actividades productivas.

55 La siguiente Tabla 1 resume los conceptos de áreas, conglomerados y dominios:

Tabla 1

Dominio	Servicios	Producción
Hospital	Iluminación, HVAC, UTA, etc.,	Máquinas hospitalarias, por ejemplo, escáneres de CT, PET, etc.
Planta siderúrgica	Iluminación, HVAC, UTA, etc.,	Hornos, máquinas de alta intensidad con consumo eléctrico elevado.
Bodega	Iluminación, HVAC, UTA, etc.,	Máquinas de producción vinícola.

5 Siguiendo estas operaciones, puede observarse que los servicios esenciales generan un consumo eléctrico sustancialmente constante y los grupos de cargas, debido a actividades productivas, generan consumos que varían con el tiempo.

10 Con los datos recogidos de esta manera se llevan a cabo controles sobre la progresión de la tendencia de consumo, verificando que la cantidad de energía eléctrica absorbida por todas las instalaciones y los dispositivos prevista para dentro de la hora, mientras se mantiene la potencia, está comprendida dentro de la disponibilidad de energía horaria definida por el operador del mercado como intervalo de perfil de carga sobre una base horaria. Tal como se ilustra mejor en lo sucesivo, el sistema de la invención puede realizar operaciones de equilibrado de las cargas eléctricas, operaciones gestionadas por un módulo respectivo 60, en un caso en el que no se alcancen las condiciones antes descritas.

15 El módulo de equilibrado 60 gestiona el desequilibrio de energía, es decir, su tarea es analizar el consumo y, en función de las diferencias entre el consumo efectivo y el consumo asignado, aplicar una optimización combinada para seleccionar los pasos que se deben realizar para modificar la planificación presente y compensar cualquier desequilibrio que pudiera aparecer.

20 En una forma de realización preferida de la presente invención, el algoritmo de equilibrado se puede hacer funcionar subdividiendo las horas del día en periodos de 15 minutos, entendiéndose que esta subdivisión se ilustra en la presente a título de ejemplo no limitativo de las posibles subdivisiones de tiempo del algoritmo de equilibrado.

25 Además, para simplificar, en la presente descripción del algoritmo de equilibrado se hace referencia al concepto de carga eléctrica, aunque se entiende que el equilibrado se puede llevar a cabo también en áreas individuales, es decir, es posible gestionar el equilibrado de un dominio por medio de una corrección en las áreas individuales, al mismo tiempo que es posible actuar para equilibrar un subconjunto de un dominio, es decir, uno o más conglomerados, actuando solamente sobre las áreas pertenecientes a ese subconjunto.

30 Por lo tanto, en una situación de una cantidad de energía que se debe recuperar o consumida provocada por el desequilibrio previsto, es necesario encontrar un conjunto de acciones que modifiquen el consumo en el tiempo restante al término de la hora de tal manera que el mismo se sitúe dentro del balance energético horario, limitando así el impacto en el confort.

35 Otra restricción opcional es la observación de umbrales de consumo para las cargas individuales en torno al consumo previsto de la planificación fijada. Esta restricción también ayuda a entender si el desequilibrio es debido a una mala definición de las cargas o a una intervención externa.

40 Las acciones aplicables sobre los dispositivos eléctricos se pueden ordenar en una lista en la cual se indica también una reducción de la energía obtenible y el impacto que tiene esto en el confort percibido por los usuarios, que se define en términos de prioridad.

45 En otras palabras, a prioridades altas les corresponden acciones que tienen un impacto fuerte en el confort percibido, mientras que a prioridades bajas les corresponden cargas sacrificables o modificables sin crear incomodidades a los usuarios que ocupan las estructuras o los edificios de interés.

A título de ejemplo, algunos de los factores que influyen sobre la prioridad de las acciones son:

una evaluación del usuario, es decir, impacto en el confort y la utilidad;

un tipo de carga o área;

un componente del perfil de consumo sobre el cual tendrá impacto la carga o área, es decir, perfil modulado o sustancialmente constante de los consumos;

desequilibrio de una carga individual;

otros identificadores asociados a áreas.

60 Por lo tanto, el problema que se discute se reduce a un problema de optimización con la finalidad de minimizar la suma de las prioridades de las acciones llevadas a cabo:

$$\min \sum_{i=0}^N X_i * Prioridad[Vr_i]$$

fijando la restricción de que la suma de las variaciones de energía de las acciones seleccionadas para intervenir

sobre el sistema a equilibrar pueda compensar el desequilibrio dentro de la hora h-ésima.

$$\left| \sum_{i=0}^N X_i * Vr_{i,j} \right| \leq |\Delta_h|$$

y

5

$$\Delta_h + \sum_{i=0}^N X_i * Vr_{i,j} \leq \text{margen}_h$$

donde:

10

- N identifica el número de acciones disponibles;
- X_i es el vector binario [1, N] que identifica la estrategia seleccionada, es decir, expresada en forma de una selección de las acciones i-ésimas que se van a utilizar,

15

Vr_i indica la variación de energía obtenible por la acción i-ésima,

la prioridad [Vr_i] indica la prioridad de la acción i-ésima,

20

j (con $j = 4 - k$) indica el número de cuartos de hora restantes en una hora determinada,

Δ_h es la cantidad de energía que se debe recuperar o consumir, de acuerdo con casos individuales, dentro del término de la hora h-ésima, para compensar el desequilibrio,

25

margen_h es un grado de tolerancia utilizado como condición de parada del algoritmo y es representativo de la diferencia máxima aceptable entre los efectos de la estrategia y la energía que se va a hacer variar o bien en exceso o bien por defecto.

La figura 2 representa algunos casos, a título de ejemplo, en aras de clarificar mejor la simbología utilizada.

30

En un primer caso, la estimación de la energía absorbida por el sistema E_1 está dentro de los umbrales fijados por el operador del mercado, es decir, es menor que un umbral máximo THR_{max} y mayor que un umbral mínimo THR_{min} . Por lo tanto, el sistema no requiere acciones de equilibrado.

35

En un segundo caso, la energía estimada absorbida E_2 es menor que el umbral mínimo THR_{min} . El término Δ_h indica la diferencia entre la energía absorbida estimada E_2 y un valor esperado THR_{esp} de la misma y, en este caso, se cumple lo siguiente: $\Delta_h < 0$. Por lo tanto, para equilibrar el sistema es necesario incrementar el consumo de energía. Esto se puede realizar determinando una estrategia a poner en marcha de manera que se varíe la energía suministrada a las cargas individuales, expresada por la fórmula $\sum_{i=0}^N X_i * Vr_{i,j}$. El término margen₂ indica la variación máxima aceptable entre los efectos de la estrategia y la energía efectiva que se debe recuperar o consumir.

40

En un tercer caso, la energía establecida absorbida es E_3 es mayor que el umbral mínimo THR_{min} . En este caso, la diferencia entre la energía absorbida estimada E_2 y un valor esperado THR_{esp} de la misma se expresa por medio de la condición $\Delta_h > 0$. Por lo tanto, para equilibrar el sistema es necesario reducir el consumo de energía.

45

En general los umbrales THR_{min} , THR_{max} y THR_{esp} pueden variar a lo largo del tiempo y su valor, en función del intervalo de tiempo de interés, se memoriza en la base de datos 57.

50

Naturalmente, la estrategia antes ilustrada se detallará a continuación en la presente descripción por medio de un ejemplo no limitativo de la estrategia de equilibrado de energía de la presente invención.

55

En la medida en la que la selección de una acción se define en términos binarios (1 acción seleccionada, 0 acción rechazada), la búsqueda de las acciones de equilibrado más apropiadas, que, por lo tanto, pueden dar origen a una planificación adecuada del equilibrado, se pueden interpretar como un problema de optimización combinatoria binaria.

60

Este problema es similar al problema combinatorio conocido como problema de la mochila, es decir, dada una mochila que puede soportar un peso determinado y, además, dados N objetos, cada uno de los cuales se caracteriza por un peso y un valor, el problema que se presenta es el de seleccionar cuáles de estos objetos se pueden colocar en la mochila para obtener el valor más alto sin superar el peso que puede ser soportado por la

mochila. Este tipo de problema pertenece al área de los problemas NP-completo, es decir, problemas cuya complejidad es tal que todavía no se ha encontrado ningún algoritmo para resolverlos en un tiempo polinómico.

5 Así, considerando la cantidad de variables y el tiempo de cálculo limitado para resolver (con fines prácticos) este problema, se prefiere llevar a cabo un filtrado progresivo de las posibilidades seleccionadas de entre las acciones disponibles para reducir la complejidad del cálculo, y a continuación calcular una estrategia posible, es decir, un conjunto de acciones a implementar, no necesariamente óptimas pero, en cualquier caso, aceptables por motivos prácticos, utilizando una heurística voraz.

10 En general, un algoritmo heurístico selecciona, en cada iteración, el elemento que, en ese paso, es el más ventajoso sin tener en cuenta la estructura global de la solución.

15 Otra restricción del problema, esta vez de tipo técnico, es la imposibilidad de utilizar una pluralidad de acciones en el mismo cuarto de hora las cuales influyan sobre las mismas variables de carga en la misma actuación.

Se lleva a cabo otro control opcional para comprobar que las acciones seleccionadas compensan cualquier ID de carga individual desequilibrada, por ejemplo, para modificar la planificación normal lo menos posible.

20 Es decir, es necesario evaluar si las selecciones realizadas resuelven también problemas de las cargas individuales, es decir:

$$\left| \sum_{i=0}^N X_{ID,i} * Vr_{ID,i,j} \right| \leq |\Delta_{ID,h}|$$

$$\Delta_{ID,h} + \sum_{i=0}^N X_{ID,i} * Vr_{ID,i,j} \leq MargenCarga_{ID,h}$$

25 donde las variaciones $Vr_{ID,i,j}$ son aquellas asociadas a las cargas desequilibradas para cada intervalo de tiempo j , y $\Delta_{ID,h}$ es la cantidad de energía que se debe recuperar o consumir para cada carga individual, en función de los casos, dentro del término de la hora h -ésima, de manera que se compense el desequilibrio, cantidad que se calcula por medio de la fórmula:

30
$$\Delta_{ID,h}[Wh] = (E_{ID,i} - THRCarga_{ID,k,esp}) * [(4 - k) + 1]$$

En las fórmulas indicadas anteriormente, el vector $X_{ID,i}$ es el vector binario X_i con solamente los elementos que actúan sobre las ID de cargas desequilibradas.

35 El valor $MargenCarga_{ID,h}$ es un margen de tolerancia que indica la variación máxima aceptable entre los efectos de la estrategia y la energía efectiva que se debe recuperar o consumir para la ID de carga y para la hora h , y representa un porcentaje del intervalo definido por el valor esperado del consumo y el umbral mínimo o máximo (en función del signo de la cantidad que se debe recuperar).

40 La variable $E_{ID,h}$ representa la estimación de la energía absorbida por cada carga individual, y la variable $THRCarga_{ID,k,esp}$ del consumo esperado para cada a carga individual.

45 Se efectúa también una comprobación sobre los consumos de las cargas individuales en caso de que no se obtenga ningún desequilibrio del consumo total con respecto a los que se han predicho.

La acción que se debe llevar a cabo en estos casos puede ser seleccionada por el usuario (control sobre el intervalo de consumo o limitación en el umbral superior o inferior), consistiendo dicha acción solamente en señalar la anomalía (por lo tanto, la imprecisión de la previsión de la carga particular, o la conexión fallida del sistema) o la puesta en marcha de acciones compensatorias para limitar el consumo de la carga al consumo previsto.

50 En cada implementación del algoritmo se realiza un análisis preliminar en el que se efectúa también una evaluación sobre si la planificación presente es original o ha sido ya modificada, por ejemplo, mediante una intervención anterior del algoritmo.

55 Si la planificación actual ya ha sido modificada por el algoritmo de equilibrado, el módulo de equilibrado 60 evalúa también si la progresión de la selección adoptada previamente está aportando los efectos programados. Si esto no se verifica, el módulo de equilibrado 60 genera una nueva estrategia para hacer frente al desequilibrado en el tiempo restante hasta el término de la hora.

60 Dado que en el algoritmo propuesto las mediciones se realizan cada cuarto de hora, definiéndose el número de

cuartos de hora como $k = 0, 1, 2, 3$, y las planificaciones se determinan en el inicio de la hora, la primera medición pertenecerá a la medición de la planificación anterior. Esto hace que el primer cuarto de una hora resulte inservible para el algoritmo de gestión del desequilibrado, pero útil para generar un informe de análisis.

5 Tal como se representa esquemáticamente en la figura 3, el algoritmo lee el tiempo actual, y si la lectura del tiempo indica que se encuentra en el primer cuarto de una hora ($k = 0$ en el bloque 205), en esta ocasión se realiza solamente un resultado analítico de la progresión de los consumos en la hora anterior, recuperando los datos de la base de datos 57 (bloque 200). En la medida en la que las mediciones se encuentran en términos de potencia, la estimación de la energía se efectúa en forma de un valor medio de las mediciones y se convierte automáticamente en vatios por hora [Wh].

El informe analítico del primer cuarto de una hora se construye de la manera siguiente (bloque 210).

15 En primer lugar, se realiza un cálculo de la energía consumida $E_{(h-1)}$ en la hora previa $h - 1$, donde h es el tiempo presente, de acuerdo con la fórmula:

$$E_{(h-1)}[Wh] = \frac{\sum_{i=1}^4 \text{mediciones}[W]_i}{4}$$

20 donde h representa el tiempo presente y las mediciones i -ésimas (en vatios) son las mediciones en los intervalos horarios (h-1):15, (h-1):30, (h-1):45 y h:00 extraídos de la base de datos 57.

Además, se recuperan los umbrales de la base de datos 57 en referencia a la hora anterior:

$$THR_{(h-1)\gamma} [Wh]$$

25 donde h es el tiempo presente y γ es el tipo de umbral [min,max,esp], es decir, mínimo, máximo y esperado. Esto es debido a que cada hora, o incluso cada cuarto de una hora, del día puede asociarse a diferentes umbrales de comparación, por ejemplo sobre la base de las diversas bandas de tiempo.

30 La cantidad de energía consumida por exceso (o por defecto) $Q_{(h-1)}$ con respecto al valor esperado de la misma $THR_{(h-1)esp}$ viene dada, por lo tanto, por la siguiente fórmula:

$$Q_{(h-1)}[Wh] = E_{(h-1)} - THR_{(h-1)esp}$$

35 Tal como se ha mencionado anteriormente, en el primer cuarto de una hora de cada hora, se elabora solamente un informe analítico de la progresión de los consumos durante la hora anterior, y, a continuación, el algoritmo finaliza.

40 Si, por otro lado, el algoritmo de gestión del desequilibrio se hace arrancar en un cuarto de una hora k -ésima diferente de la primera, el mismo recupera los datos de la base de datos 57 y efectúa una serie de estimaciones para preparar los datos para la evaluación (bloque 220).

En los periodos de quince minutos siguientes al primero, se calcula la estimación de la energía absorbida E_k desde el inicio de la hora de manera proporcional al cuarto de una hora, utilizando la siguiente fórmula:

$$45 \quad E_k [Wh] = \frac{k}{4} * \left(\frac{\sum_{i=1}^k \text{mediciones}[W]_i}{k} \right)$$

50 donde k es el número del cuarto presente de una hora y $\text{mediciones}[W]_i$ son los consumos medidos y extraídos de la base de datos 57. Además, se recuperan de la base de datos 57 los umbrales de comparación que se han hecho proporcionales al cuarto de una hora:

$$THR_{k\gamma} [Wh] = \frac{k}{4} * THR_{h,\gamma} [Wh]$$

55 Donde h es el tiempo presente y γ es el tipo de umbral [min,max,esp], es decir mínimo, máximo o esperado.

A continuación, se realiza una comparación (bloque 240) entre el consumo calculado y los umbrales esperados máximo $THR_{k,max}$ y mínimo $THR_{k,min}$ de consumo, y si

$$THR_{k,min} < E_k < THR_{k,max}$$

60 entonces el consumo está dentro de la norma y el programa finaliza, señalizando que no hay presencia de ningún

desequilibrio (bloque 230).

Si el control sobre las cargas individuales está también activo, el algoritmo evalúa igualmente si los consumos de las cargas individuales $E_{ID,k}$ están respetando los umbrales máximo $THRCarga_{ID,k,max}$ o mínimo $THRCarga_{ID,k,min}$, confirmando las previsiones:

$$THRCarga_{ID,k,min} < E_{ID,k} < THRCarga_{ID,k,max}$$

Si esto es así el programa finaliza, señalizando en su fichero registro de sistema que la pasarela (bloque 230) está funcionando correctamente.

En caso contrario, el programa señalará la eventual anomalía en los consumos (bloques 235) y, a discreción del usuario, la anomalía se puede corregir con la selección de acciones disponibles sobre la carga desequilibrada.

En particular, puede establecerse una estrategia que comprenda por lo menos una acción a poner en marcha de manera que se varíe la energía suministrada a la carga individual que no respeta la carga de consumo mínima $THRCarga_{ID,k,min}$ o máxima $THRCarga_{ID,k,max}$.

Si el sistema total ha consumido más de lo esperado, el paso sucesivo es el cálculo de la cantidad de energía que se debe recuperar o consumir para la hora h-ésima (bloque 250).

De esta manera puede controlarse el exceso horario entre la energía consumida y el valor esperado desde el inicio de la hora:

$$\Delta_h [Wh] = (E_k - THR_{k,esp}) * [(4 - k) + 1]$$

En este caso, si $\Delta_h < 0$ el sistema está por debajo del umbral y el consumo debe incrementarse; mientras que si $\Delta_h > 0$ el sistema está por encima del umbral y el consumo debe reducirse.

El término $(4 - k) + 1$ incluye la hipótesis de que el desequilibrio se origina en el último cuarto de una hora, es decir los cuartos anteriores de una hora no han producido consumos diferentes con respecto a aquellos predichos, ya que si esto fuera así se habrían evaluado antes.

En referencia a la figura 4, se verifica si la presente verificación es el efecto de una intervención anterior del algoritmo de equilibrado (bloque 300).

Si esto es así, el programa analiza la progresión de la planificación desarrollada previamente y la compara con la previsión lineal correspondiente a su progresión, evaluada dentro de un margen de tolerancia, mientras que, si no se cumple lo anterior, las estrategias no serían aceptadas nunca si las mismas no logran valores de compensación idénticos a la variación prevista.

De esta manera, el cálculo de la energía recuperable $\Delta_{h,hipotetizada}$ se puede realizar cada cuarto de una hora (bloque 310) gracias a la planificación de equilibrado, donde la fórmula:

$$\Delta_{h,hipotetizada} [Wh] = \frac{(\sum_{i=0}^N X_i * Vr_{i,j})}{4 - t}$$

representa la variación hipotetizada, comenzando el efecto ideal de la planificación de equilibrado en el cuarto de hora t.

El cálculo de la energía recuperada $\Delta_{h,medida}$ también se puede realizar desde el inicio de la planificación del equilibrado:

$$\Delta_{h,medida} [Wh] = (medición_{pre-puestamarcha} [Wh] - medición_k [Wh]) * \frac{k-t}{4-t}$$

Donde $medición_{pre-puestamarcha}$ indica la medición de la energía consumida antes de una planificación previa, por ejemplo una planificación de emergencia, y $medición_k$ indica la medición de la energía consumida después del cuarto n-ésimo de una hora desde el cuarto de hora t.

De esta manera, se realiza un control sobre la base de la previsión teórica de la variable $\Delta_{h,hipotetizada}$ si el efecto de la planificación es también positivo en términos de la variable $\Delta_{h,medida}$ que hace referencia a una condición antes del inicio de la planificación de emergencia, es decir, derivada del algoritmo de equilibrado.

La variable $medición_k$ depende, en cambio, de cada cuarto de hora individual de tal manera que la variable $\Delta_{h,medida}$

indica una medición de la energía recuperada a efectos del equilibrado energético para volver a una situación aceptable.

5 La energía recuperada Δh_{medida} se ajusta de manera proporcional sobre la base de la relación entre cuánto tiempo ha transcurrido desde el inicio de la puesta en marcha de la planificación de emergencia y para cuánto tiempo se ha predicho la misma. En este punto se realiza un cálculo sobre si la planificación de emergencia puede devolver el sistema a dentro de los umbrales en menos de una hora, con menos de un margen de tolerancia definido como $margen_tolerancia_recuperación$ (bloque 320) con la siguiente fórmula:

$$10 \quad \Delta h_{medida} - \Delta h_{hipotetizada} * (k - t) < margen_tolerancia_recuperación$$

Si se cumple esta condición, es decir, si la planificación producida previamente está proporcionando el resultado deseado, el programa señala esta condición y se detiene (bloque 330).

15 En caso contrario, se requiere una nueva planificación (bloque 340).

Por lo tanto, el programa se reinicia con la especificación de producir una planificación nueva del tiempo restante y una compensación del desequilibrio producido por el problema inicial añadido a la energía no compensada durante la planificación anterior.

20 En la referencia a la figura 5, la producción de la planificación nueva se realiza, en primer lugar, extrayendo de la base de datos 57 los datos recibidos del operador del mercado energético o tomados de otras fuentes en relación con las acciones que se pueden llevar a cabo en el caso de emergencia disponible para esa hora.

25 Esta operación se lleva a cabo extrayendo de la base de datos 57 las acciones de control utilizables y las variaciones de energía disponibles relativas en relación con el día y el tiempo presentes y las cargas asociadas:

$$Vr_{i,j}[Wh] = Vr_{i,j} * \frac{j}{4}$$

30 Cada variación i-ésima, perteneciendo i a N (número de variaciones válidas y disponibles), se ajusta de manera proporcional con $J = 4 - k$, es decir, con respecto al número de cuartos de hora restantes para la puesta en marcha (bloque 400).

35 Para limitar las posibilidades y el tiempo de cálculo del programa, estas acciones se filtran eliminando aquellas que, consideradas individualmente, producirían un efecto mayor que el desequilibrio que se va a compensar.

Opcionalmente, puede activarse el control del consumo de las cargas individuales (bloque 405). Si este control pone en evidencia que algunas cargas están teniendo un consumo diferente a las previsiones, las acciones disponibles asociadas a esta carga asumen una mayor importancia con respecto a las otras (si la carga individual está habilitada para el control de consumo), y, a continuación, se revelan entre las acciones para retorno del desequilibrio.

40 Con el objetivo de aplicar una heurística de tipo voraz, la lista de acciones se ordena de manera decreciente con respecto al valor absoluto de la variación obtenible, y en orden creciente de prioridad para seleccionar, en primer lugar, las estrategias que tienen un efecto mínimo en el confort, pero un mayor efecto sobre la compensación (bloque 410).

45 Al completarse este procedimiento, el programa calcula una condición de detención (bloque 420), expresada en términos de un margen de energía que indica si los efectos previstos por la estrategia seleccionada son aceptables de manera que puede concluirse la búsqueda de otras acciones.

50 La cantidad aceptable de fuera de equilibrio es un umbral porcentual del desplazamiento entre el valor esperado de los consumos THR_{esp} y los umbrales de desequilibrio aceptables máximo y mínimo THR_{max} , THR_{min} .

55 Para el cálculo de esta condición de detención con el fin de respetar los umbrales, se utiliza cada cuarto de hora la siguiente fórmula:

$$margen_h[Wh] = |THR_{min,max} - THR_{esp}| * margen_porcentual$$

60 donde h es el tiempo presente, $THR_{min,max}$ es min en el caso en el que $\Delta_k < 0$ ó max en el caso en el que $\Delta_k > 0$, y $margen_porcentual$ es un valor de porcentaje que identifica la aproximación del valor deseado al valor esperado dentro de los umbrales predefinidos.

Si la variable *margen_porcentual* se encuentra en el 0% el valor de *margenh* es 0, con lo que el valor deseado tenderá al valor esperado; si es 100%, el valor deseado estará dentro del umbral más próximo (max,min).

5 Si está presente el control de desequilibrio para cada carga individual, se calcula una condición de aceptabilidad interna en los umbrales individuales de consumo de las cargas individuales en el cuarto de hora (bloque 425), es decir:

$$MargenCarga [Wh] = THRCarga_{min,max} - THRCarga_{esp} * MargenPorcentualCarga$$

10 donde *h* es el tiempo presente y *THRCarga_{min,max}* es *min* en el caso en el que la *E_{ID,k}* de la misma carga sea menor que el umbral mínimo, y *max* en el caso en el que la *E_{ID,k}* de la misma carga sea mayor que el umbral máximo, y *MargenPorcentualCarga* es un valor de porcentaje que identifica la aproximación del valor deseado al valor esperado dentro de los umbrales predefinidos.

15 Si la variable *MargenPorcentualCarga* es 0%, el valor de *margenh* es 0 y el valor deseado tenderá al valor esperado; si es del 100%, el valor deseado estará dentro del umbral más próximo (max, min).

20 Cuando hayan finalizado estas preparaciones, el programa dispone de todos los datos con los cuales encontrar una estrategia aceptable realizando iteraciones del siguiente algoritmo hasta que se satisfaga la segunda restricción.

Tal como se ilustra en la figura 6, la elección de la estrategia (bloque 430) se realiza para que caiga dentro de los umbrales, en forma de una combinación de las variaciones disponibles, y para limitar el desequilibrio.

25 Por lo tanto, el objetivo es minimizar el impacto sobre el sistema de las acciones de control, es decir, minimizar la suma de las prioridades de las acciones que se efectúan:

$$\min \sum_{i=0}^N X_i * Prioridad[Vr_i]$$

30 imponiendo la restricción de que la suma de las variaciones de energía seleccionadas pueda compensar el desequilibrio dentro de la hora *h*-ésima:

$$\left| \sum_{i=0}^N X_i * Vr_{i,j} \right| \leq |\Delta_h|$$

y

$$35 \quad \Delta_h + \sum_{i=0}^N X_i * Vr_{i,j} \leq margen_h$$

40 El algoritmo se resume en un ciclo que se ejecuta a través de las acciones disponibles y si estas acciones tienen una modificación positiva sobre el problema, las mismas se aceptan señalizando la elección en el vector *X_i* (y prohibiendo la utilización de otras elecciones que usen la misma carga).

45 Si se activa el control de las cargas individuales (bloque 434), se fija una restricción adicional sobre los consumos de las cargas individuales.

Esto significa que, en este caso, es necesario evaluar si las selecciones realizadas también resuelven cualquier desequilibrio de las cargas individuales (bloque 437), es decir, aquel con:

$$\Delta_{ID,h}[Wh] = (E_{ID,i} - THRCarga_{ID,k,esp}) * [(4 - k) + 1]$$

50 donde las restricciones sobre la elección de acciones son:

$$\left| \sum_{i=0}^N X_{ID,i} * Vr_{ID,i,j} \right| \leq |\Delta_{ID,h}|$$

$$\Delta_{ID,h} + \sum_{i=0}^N X_{ID,i} * Vr_{ID,i,j} \leq MargenCarga_{ID,h}$$

Si la estrategia seleccionada no resuelve estos desequilibrios individuales, debe elaborarse una nueva estrategia; si no, el algoritmo prosigue.

5 El ciclo concluye en el momento en el que la suma del efecto seleccionado compensa el desequilibrio completo, con el margen de tolerancia margen_h .

Con el vector X_i cumpliendo las especificaciones conocidas, el programa busca las variables a fijar en las cargas definidas por las acciones seleccionadas en el vector (bloque 440).

10 Las variables recuperadas se fijan en la puesta en marcha de la planificación principal para el cuarto de hora actual, de manera que los resultados se pueden apreciar en el ciclo nuevo de medición y análisis del siguiente cuarto de hora (bloque 450).

15 En la figura 7, por ejemplo, se ilustra el funcionamiento de la aplicación de una estrategia seleccionada del algoritmo de equilibrado sobre el perfil de potencia total de los aparatos.

20 En la figura 5, la curva A indica la interpolación de los puntos de las mediciones de potencia de carga, mientras que la curva B indica el valor de potencia esperado, indicado por el operador del mercado. El área comprendida entre las curvas S', S'' representa los umbrales de desequilibrio aceptables en los cuales debería situarse el consumo del sistema.

Antes de las 11:00, el algoritmo de equilibrado no está activo, y, por lo tanto, el sistema funciona solamente en términos de monitorización y planificación.

25 Cuando se ha lanzado el programa de gestión de desequilibrio, el sistema es llevado automáticamente a la banda admitida y actúa sobre los dispositivos cuya planificación era modificable en ese momento.

De manera detallada:

- 30
- a las 11:00 horas, se lanza el algoritmo de gestión de equilibrado;
 - a las 11:15 horas, se evalúa una diferencia entre el consumo real y el consumo previsto; en este caso, los consumos deberían incrementarse en la medida en la que el operador del mercado ha asignado más energía de la que se solicitó;
 - 35 • el algoritmo decide modificar la planificación de los dispositivos para compensar las diferencias entre los consumos dentro de un margen aceptable;
 - unos pocos minutos después de las 11:15, la planificación se modifica y se pone en marcha, produciendo, en la medición de las 11:30, un incremento correcto del consumo, lo cual lleva la curva al área de tolerancia;
 - 40 • el sistema prosigue con estos niveles de consumo hasta las 12:00 momento en el que se lanza una nueva planificación primaria, y la planificación producida por el desequilibrio se sobrescribe para cambiar los valores de ajuste previos a la modificación y aplicar la planificación nueva.
- 45

Evidentemente, en la invención se pueden aportar modificaciones o mejoras según se describe, dictaminadas por motivaciones contingentes o particulares, sin apartarse del alcance de la invención según se reivindica en lo sucesivo.

REIVINDICACIONES

1. Método para equilibrar el consumo eléctrico generado por una pluralidad de cargas eléctricas, comprendiendo el método las siguientes etapas:

- 5 - poner en marcha una planificación de consumo eléctrico de acuerdo con una estrategia determinada,
- estimar una energía absorbida (E_k) por parte de las cargas en un intervalo de tiempo predeterminado, y
- 10 - si un valor de la estimación de energía absorbida (E_k) por las cargas no está dentro de un intervalo definido por un umbral de consumo mínimo ($THR_{k,min}$) y uno máximo ($THR_{k,max}$),
- calcular una cantidad de energía que debe ser variada en función de una diferencia (Δ_h) entre el valor de la estimación de la energía absorbida (E_k) y un valor de energía esperado ($THR_{k,esp}$),
- 15 - verificar los efectos de la planificación de consumo eléctrico por medio del cálculo de una diferencia entre los efectos de la planificación en funcionamiento y una previsión teórica de los efectos,
- si la diferencia calculada es mayor que un margen de tolerancia,
- 20 - determinar unas acciones disponibles y variaciones (Vr_i) de energía correspondientes que pueden ser suministradas a las cargas,
- determinar una nueva estrategia que comprende que por lo menos una de entre las acciones determinadas (Vr_i) que se debe llevar a cabo varíe la energía suministrada a las cargas individuales, con la finalidad de reducir la diferencia (Δ_h) entre la energía absorbida estimada (E_k) y el valor esperado ($THR_{k,esp}$) de la misma,
- 25 - poner en marcha una planificación de consumo eléctrico de acuerdo con la nueva estrategia determinada.

2. Método según la reivindicación 1, en el que las variaciones (Vr_i) de energía disponibles que pueden ser suministradas a las cargas se ordenan en un orden decreciente con respecto al valor absoluto de variación y en un orden creciente de acuerdo con un impacto que tienen las variaciones (Vr_i) en el confort percibido.

3. Método según las reivindicaciones anteriores, en el que las variaciones (Vr_i) de la energía suministrada a las cargas se realizan seleccionando las cargas que van a ser variadas de manera que se minimice un impacto en el confort percibido basándose en el siguiente criterio:

$$\min \sum_{i=0}^N X_i * Prioridad[Vr_i]$$

40 donde X_i es un vector lineal binario [1,N] que identifica si se utiliza una variación, Prioridad [Vr_i] es un índice proporcional al impacto que tiene la variación i-ésima Vr_i en el confort percibido y N indica el número de acciones disponibles.

4. Método según la reivindicación 3, en el que las variaciones ($Vr_{i,j}$) seleccionadas dentro de cada intervalo temporal j, cumplen las siguientes restricciones:

$$\left| \sum_{i=0}^N X_i * Vr_{i,j} \right| \leq |\Delta_h|$$

y

$$\Delta_h + \sum_{i=0}^N X_i * Vr_{i,j} \leq margen_h$$

50 donde Δ_h indica la diferencia entre la energía absorbida estimada (E_k) y su valor esperado ($THR_{k,esp}$) y $margen_h$ indica la discrepancia máxima aceptable entre los efectos de la estrategia y la energía que se debe recuperar o consumir.

5. Método según las reivindicaciones anteriores, en el que se incluye una etapa de estimación de la energía absorbida ($E_{ID,k}$) por cada carga individual, y si el valor de la estimación de la energía absorbida ($E_{ID,k}$) de cada carga individual no está dentro de un intervalo definido por un umbral mínimo ($THRCarga_{ID,k,min}$) y un umbral máximo ($THRCarga_{ID,k,max}$) de consumo para cada carga, se incluye una etapa de determinación de una estrategia que comprende por lo menos una acción que debe ser realizada de manera que se varíe la energía suministrada

a la carga única que no respeta el umbral mínimo ($THRCarga_{ID,k,min}$) o el umbral máximo ($THRCarga_{ID,k,max}$) de consumo.

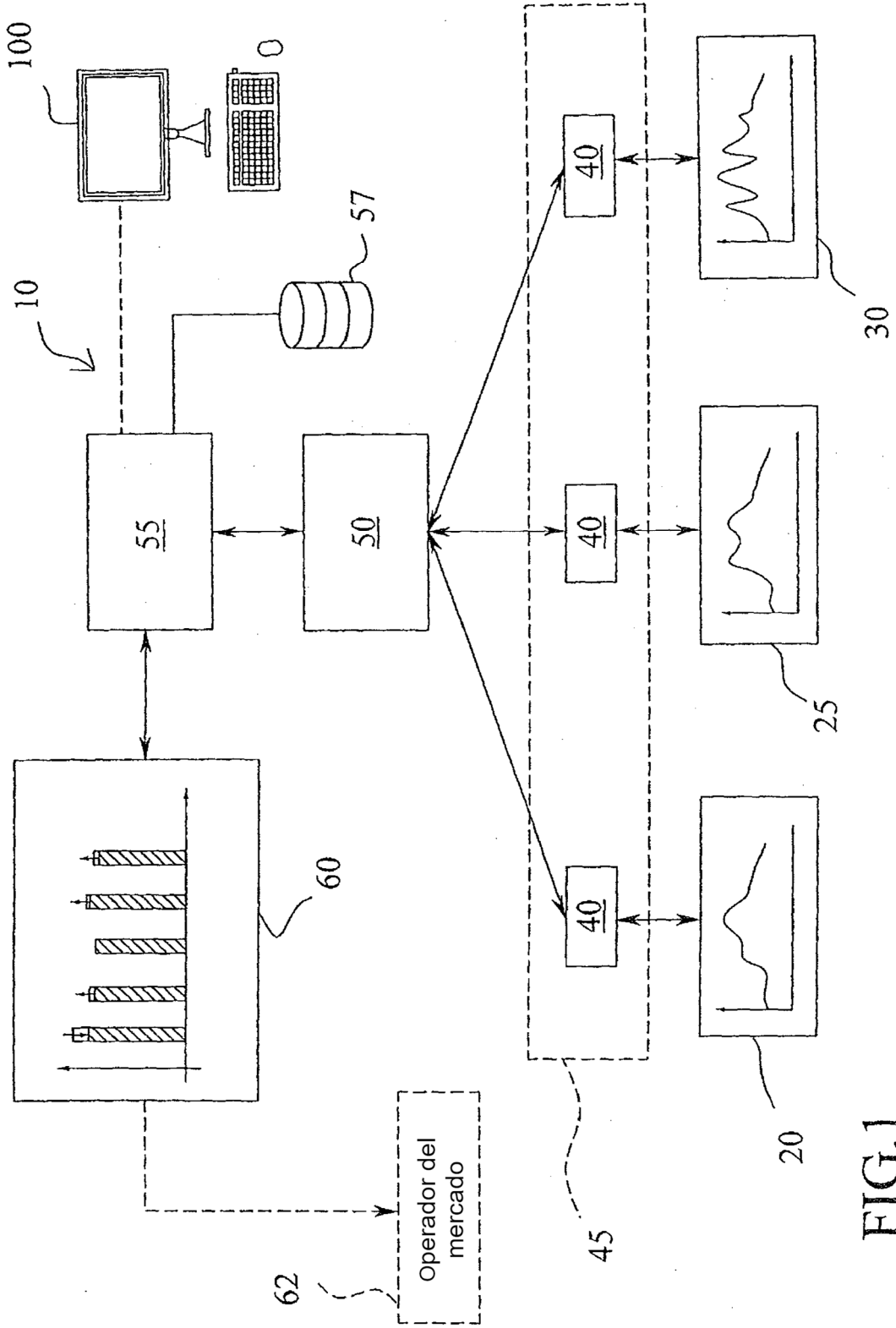


FIG. 1

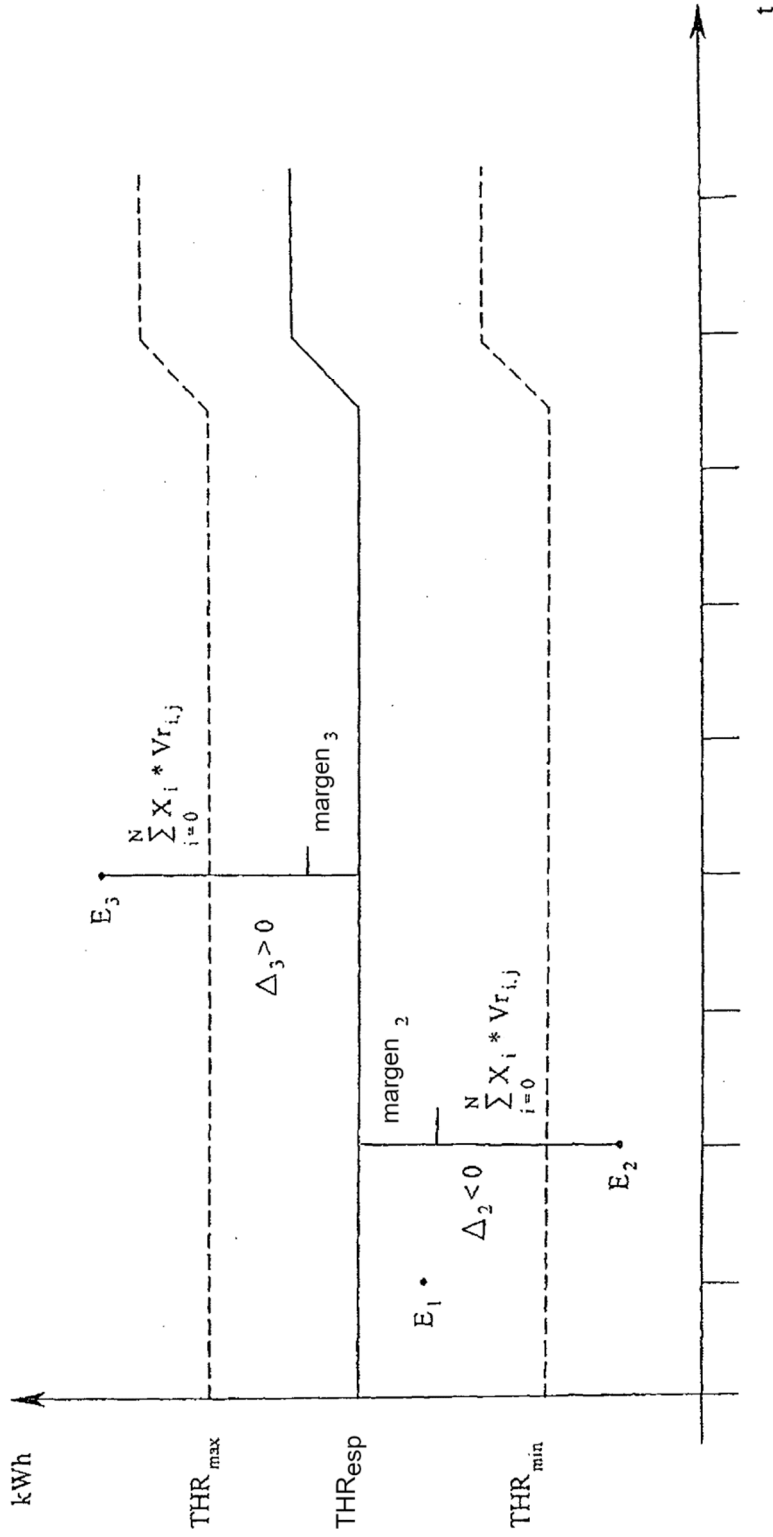


FIG.2

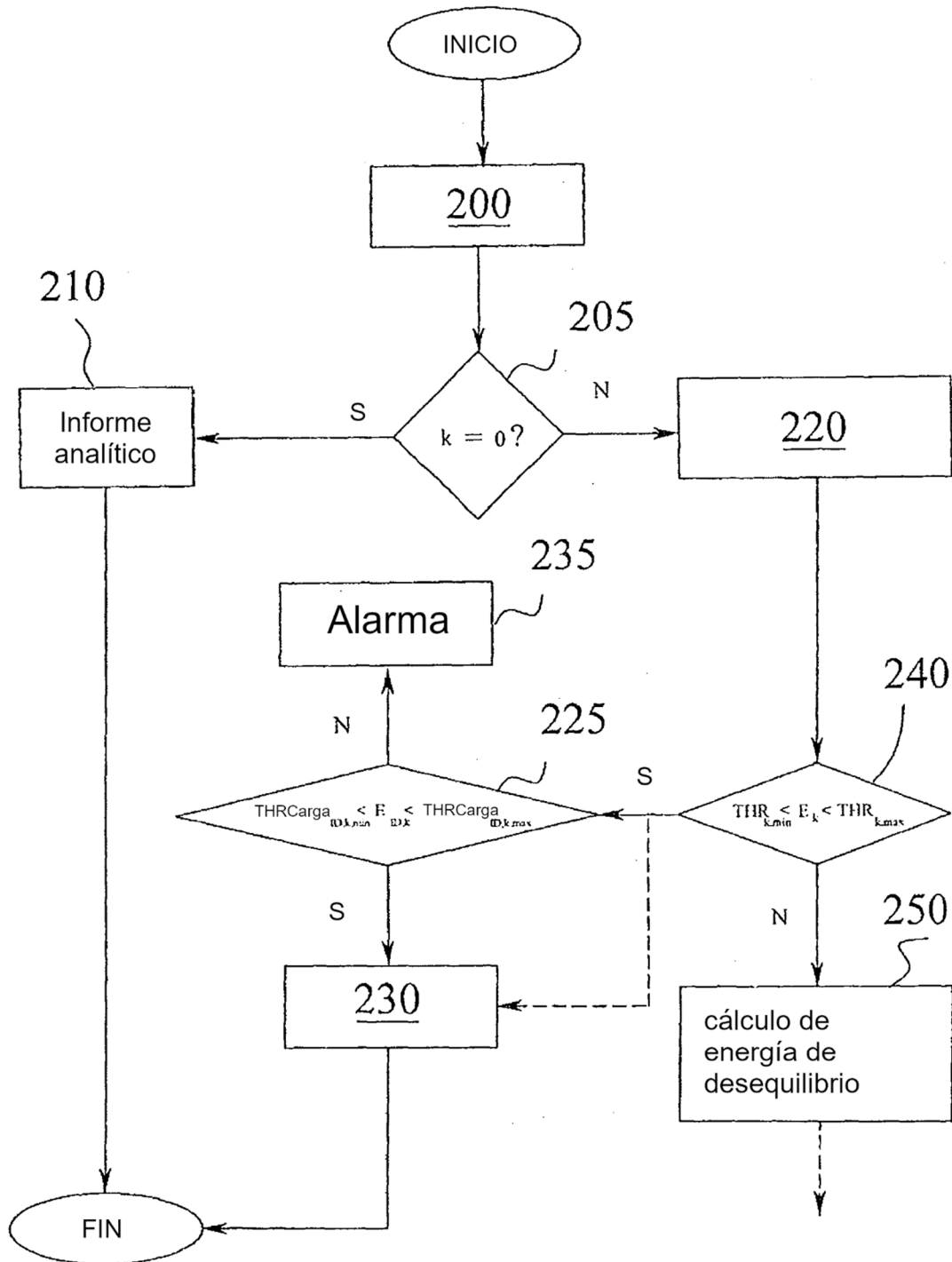


FIG.3

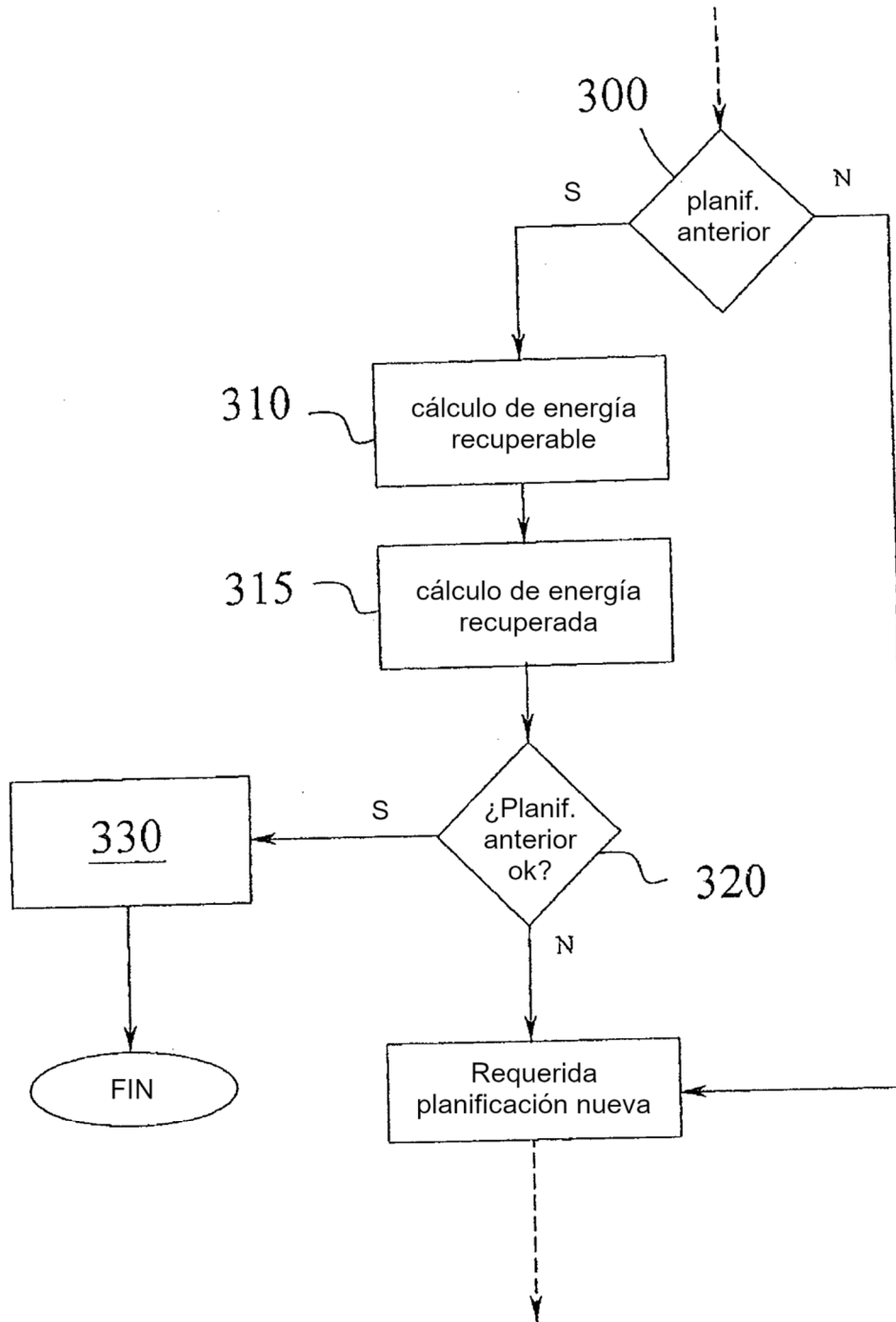


FIG.4

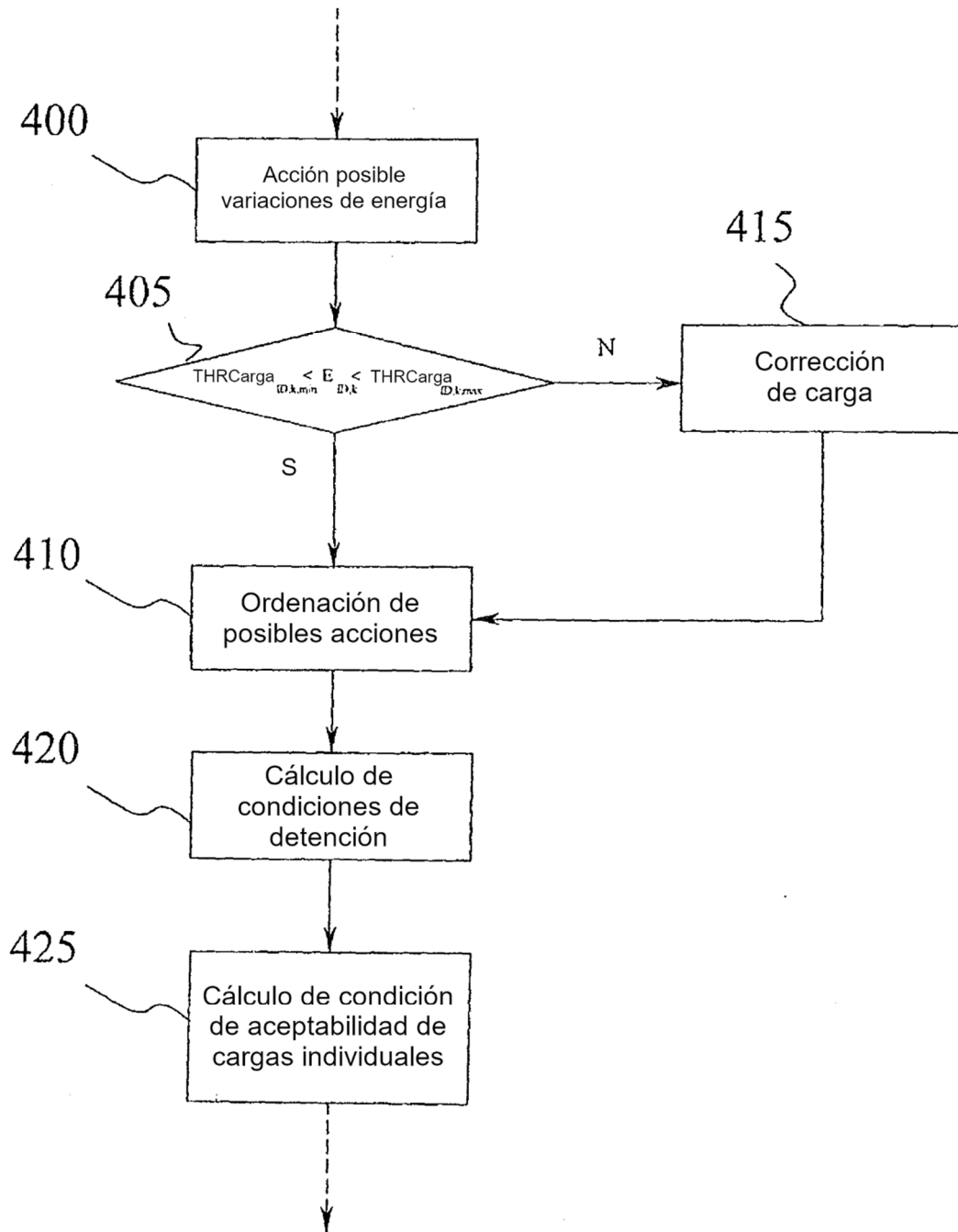


FIG.5

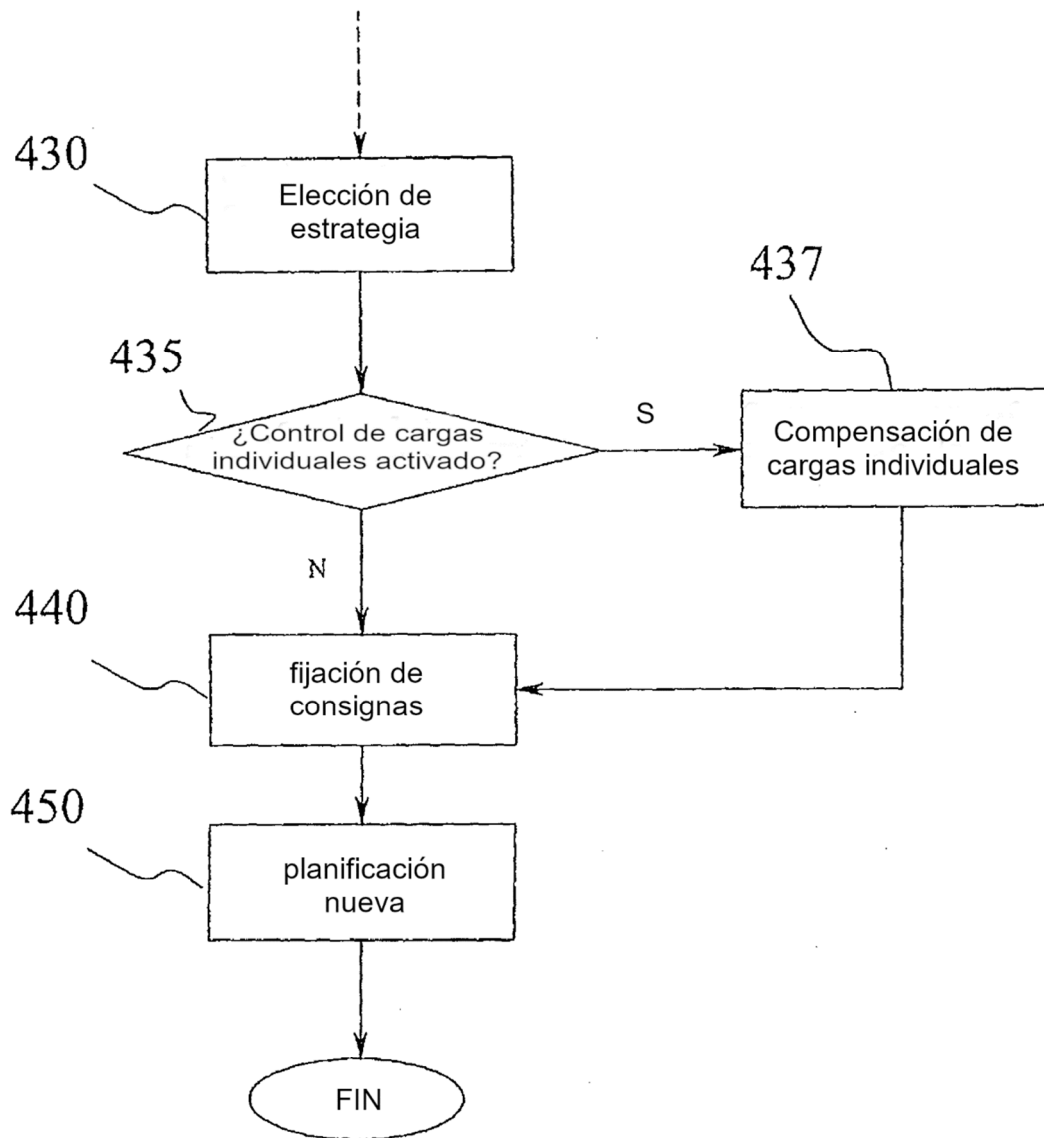


FIG.6

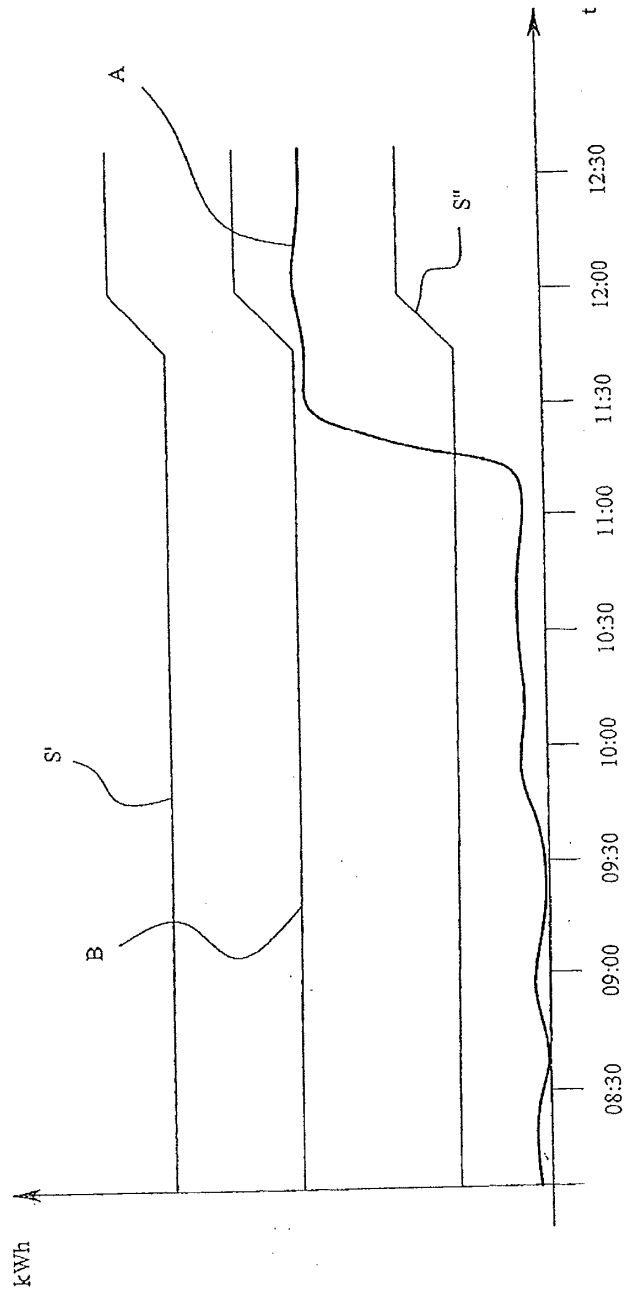


FIG.7