

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 988 198**

51 Int. Cl.:

**H02J 1/10** (2006.01)

**H02J 1/14** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

**H02J 7/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.02.2022** **E 22156176 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2024** **EP 4228114**

54 Título: **Sistema de suministro de electricidad**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.11.2024**

73 Titular/es:

**BENDIEN, JOHAN (50.0%)**

**Im Bettenklingen 6**

**69488 Birkenau, DE y**

**PÖLÖSKEY, MARTIN (50.0%)**

72 Inventor/es:

**BENDIEN, JOHAN y**

**PÖLÖSKEY, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

ES 2 988 198 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

Sistema de suministro de electricidad

## 5 CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente divulgación se refiere a un sistema de suministro de electricidad y su control, más particularmente al control de una red de corriente continua (CC) que suministra a un grupo de unidades consumidoras con electricidad generada localmente por fuentes renovables.

10

## ANTECEDENTES

Un sistema de suministro de electricidad nacional tradicional se basa en la denominada red nacional, que es una red de corriente alterna (CA) que sirve para abastecer esencialmente a todas las unidades consumidoras de un país o región, incluyendo los hogares, los edificios comerciales y las plantas industriales, con electricidad que ha sido generada en grandes centrales eléctricas, que forman parte de la infraestructura nacional de un país. Típicamente, se trata de centrales eléctricas de carbón, centrales eléctricas de gas, centrales nucleares y centrales hidroeléctricas. Cada central grande puede generar suficiente corriente alterna para abastecer a decenas de miles, cientos de miles o incluso varios millones de hogares. En Alemania, Francia y otros países de Europa continental, por ejemplo, la red nacional consiste en un primer y un segundo suministro de baja tensión a 230 V y 400 V respectivamente, es decir, monofásico y trifásico. En el Reino Unido, estos voltajes son de 230 V y 415 V; China: 220 V y 380 V; Japón 100 V y 200 V; y Estados Unidos de América 120 V y varios valores locales para el suministro trifásico.

En el futuro, el sistema de suministro de electricidad puede depender cada vez más de redes locales de distribución de CC, denominadas microrredes, que sirven para abastecer a un pequeño número de unidades consumidoras. El número de unidades consumidoras puede ser muy pequeño, por ejemplo menos de diez, o puede llegar a varios cientos o miles, cubriendo una pequeña comunidad o un parque industrial. En una microrred, la electricidad se genera predominantemente a nivel local por las propias unidades de fuentes de energía renovables (FER) de la microrred. El concepto de microrred se asocia implícitamente con la idea de que las unidades FER de la microrred son "limpias", por ejemplo, generadores de cero o bajas emisiones de carbono, mientras que se supone que por lo menos algunos de los generadores de CA asociados a la red nacional son "sucios", por ejemplo, de carbón, etc. En algunos países, otro factor que impulsa las microrredes puede ser proteger a los consumidores de la falta de fiabilidad de la red nacional. Las unidades FER de la microrred pueden ser una o varias de las siguientes: turbinas eólicas, paneles solares, centrales hidroeléctricas (denominadas minicentrales o microcentrales hidroeléctricas) o fermentadores de biogás (a veces denominados digestores de biogás) basados respectivamente en el viento, el sol, el flujo de agua y el biogás procedente de residuos orgánicos. El carácter intermitente de los generadores de electricidad, por lo menos eólicos y solares, también requiere que la microrred cuente con unidades de almacenamiento de energía (ES), es decir, baterías, para almacenar carga suficiente para abastecer a las unidades consumidoras durante los periodos en que no haya sol, en particular por la noche, o viento insuficiente.

40

Una microrred se conecta a la red nacional a través de una interfaz. Una conexión de interfaz a la red nacional no sólo puede ser técnicamente deseable, sino que también puede ser obligatoria por ley. El suministro de energía de la red nacional a la microrred a través de la interfaz garantiza la seguridad del suministro a las unidades consumidoras de la microrred, por ejemplo, para compensar cualquier déficit en el suministro local a través de sus unidades FER. En la mayoría de los casos, la interfaz es bidireccional, de tal manera que la microrred puede suministrar a la red nacional cualquier exceso de energía eléctrica generada por sus unidades FER, por ejemplo, el exceso de energía eólica o solar en días especialmente ventosos o soleados.

45

Una microrred está controlada por un controlador adecuado que controla no sólo sus unidades FER y unidades ES, sino también el suministro de electricidad entre la microrred y la red nacional. El proveedor de la microrred tendrá algún tipo de acuerdo contractual con una empresa de suministro de electricidad de la red nacional para especificar cuánta energía garantiza la red nacional que se pondrá a disposición de la microrred. El acuerdo contractual puede especificar la cantidad media de energía que la red nacional de CA pondrá a disposición de la microrred de CC, por ejemplo, de media durante un día, una semana, un mes u otro período, así como los límites de potencia pico, por ejemplo, la corriente máxima que la microrred puede extraer de la red nacional en un momento dado. El acuerdo contractual también especificará las condiciones relativas al suministro de electricidad de la microrred a la red nacional, por ejemplo, cuándo y en qué condiciones se aceptará el suministro de energía de la microrred. Por lo tanto, el acuerdo contractual entre el proveedor de la microrred y la compañía de suministro eléctrico impone por lo tanto condiciones técnicas límite al control de la microrred al definir las cantidades pico y medias de energía que la microrred de CC puede tomar de la red nacional de CA. Por lo tanto, el controlador de la microrred debe ser sensible a estas condiciones técnicas.

60

Un controlador de microrred debe proporcionar un control adecuado de la red de distribución de CC, incluyendo la gestión de la conexión a la red nacional de CA, para que la microrred funcione de manera estable y eficiente, a la vez que garantiza la seguridad del suministro a las unidades consumidoras y cumple sus objetivos

65

medioambientales.

La US 2022/029424 A1 divulga una central eléctrica para suministrar energía de CA a la red de CA, en la que la energía se genera mediante fuentes de energía renovables, como turbinas eólicas y paneles solares. La central eléctrica cuenta con baterías que se cargan en momentos en los que hay un exceso de generación de energía renovable en comparación con la demanda de los consumidores y se descargan en momentos en que la demanda de los consumidores excede la generación de energía renovable.

La US 10.673.241 B2 divulga un sistema de suministro de electricidad en el que una unidad consumidora tiene baterías detrás del contador (BTM) y fuentes de energía renovables, como turbinas eólicas y paneles solares. Las baterías y las fuentes de energía renovables se gestionan de tal manera que se reduce la cantidad máxima de energía de CA que el consumidor toma de la red de CA y, por lo tanto, se reducen los llamados cargos por demanda, que son costos que las compañías eléctricas cobran a los consumidores sobre la base de la cantidad más alta de corriente que se extrae de la red en cualquier momento durante el período de facturación.

La US2018358839A1 divulga un sistema de suministro de electricidad para cargar vehículos eléctricos u otras cargas de CC según demanda desde puntos de carga. Un bus de CC conecta los puntos de carga con múltiples fuentes de energía, incluyendo unidades FER, como paneles solares y turbinas eólicas, y unidades ES, es decir, baterías. La red también incluye un sistema de conversión de energía de CC a CA acoplado al bus de CC y una interfaz de red de CA. Un controlador controla cuál de las unidades FER y ES y la red de CA suministra energía a las cargas en respuesta a la demanda de carga y la energía disponible de las unidades FER, las unidades ES y la red de CA.

#### BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

De acuerdo con un aspecto de la divulgación, se proporciona un sistema de suministro de electricidad que comprende: una red de distribución de CC; una pluralidad de unidades de almacenamiento de energía, ES, conectadas a la red de distribución CC a través de interfaces CC/CC y que pueden manejarse para ser cargadas con corriente continua de la red de distribución de CC y descargar corriente continua a la red de distribución de CC a través de sus interfaces CC/CC; una interfaz de red CA que conecta la red de distribución de CC a un red de CA externa, la interfaz de red CA estando configurada para permitir que la red de distribución de CC tome energía eléctrica de la red de CA; una pluralidad de unidades consumidoras conectadas a la red de distribución de CC a través de una o más interfaces de CC/CC o CC/CA dependiendo de si son dispositivos de CC o de CA, las unidades consumidoras comprendiendo unidades consumidoras de baja potencia, LPC, y unidades consumidoras de alta potencia, HPC.

Se proporciona un controlador para controlar la red de distribución de CC, el controlador teniendo un nivel de control de marco temporal a corto plazo, STF, para controlar las operaciones diarias, un nivel de control de marco temporal a medio plazo, MTF, para realizar ajustes en el nivel de control STF teniendo en cuenta las fluctuaciones previstas de suministro y demanda de las unidades FER y las unidades consumidoras, respectivamente, y un nivel de análisis de marco temporal a largo plazo, LTF, para modelar los cambios en el suministro de por lo menos una de las unidades FER, las unidades ES y las unidades consumidoras.

El nivel de control STF está configurado para controlar las operaciones diarias de acuerdo con: la generación de energía prevista de las unidades FER en función del tiempo a lo largo del día; y la demanda prevista de energía de las unidades LPC y las unidades HPC a lo largo del día; para satisfacer la demanda de las unidades consumidoras en la medida de lo posible a partir de las unidades FER y las unidades ES en lugar de a partir de la red de CA, a la vez que se mantiene una cantidad mínima especificada de carga en las unidades ES, si es necesario tomando energía eléctrica de la red de CA a través de la interfaz de red de CA; satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades LPC en todo momento; y satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades HPC a lo largo del día basándose condicionalmente en la generación de energía prevista de las unidades FER prevista y en el estado de carga de las unidades ES; a la vez que se minimiza la potencia eléctrica media diaria tomada de la red de CA.

El nivel de control MTF está configurado para realizar ajustes en el nivel de control STF: proporcionando al nivel de control STF la generación de energía de las unidades FER prevista diariamente en función del tiempo a lo largo del día; y proporcionando al nivel de control STF la demanda prevista de energía de las unidades LPC y de las unidades HPC, en donde la demanda prevista de energía de las unidades LPC se ajusta basándose en un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades LPC en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias dentro de una semana, y en donde la demanda prevista de energía de las unidades HPC se ajusta día a día basándose en un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades HPC en días anteriores (y opcionalmente de la demanda no satisfecha de las unidades HPC) y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana.

El nivel de análisis LTF está configurado para modelar posibles cambios en la red de distribución de CC con el fin de analizar la adecuación del suministro por parte de las unidades ES y las unidades FER para satisfacer la demanda de las unidades LPC y las unidades HPC. Esto se hace modelando el efecto de variar el número de unidades ES y unidades FER sobre la cantidad de energía eléctrica tomada de la red de CA teniendo en cuenta los valores de:

demanda satisfecha de las unidades LPC; y demanda satisfecha de las unidades HPC (opcionalmente incluyendo la demanda insatisfecha); teniendo en cuenta las variaciones diarias, semanales y mensuales de las mismas. El modelado puede incluir opcionalmente un número de unidades LPC y HPC diferente del que constituye la red de distribución de CC. La salida del modelo es uno o más escenarios con cambios en el número de unidades ES y el número de unidades FER que muestran para cada escenario las cantidades de energía eléctrica tomada de la red de CA durante un período de por lo menos dos meses, preferiblemente por lo menos un año. Las cantidades pueden mostrarse diaria, semanal y/o mensualmente.

La divulgación en un aspecto relacionado también proporciona un controlador correspondiente para controlar una red de distribución de CC del tipo anterior, el controlador comprendiendo un nivel de control STF, un nivel de control MTF y un nivel de análisis LTF que son cada uno según se ha especificado anteriormente para el sistema de suministro de electricidad.

De acuerdo con otro aspecto de la divulgación, se proporciona un sistema de suministro de electricidad que comprende: una red de distribución de CC; una pluralidad de unidades de almacenamiento de energía, ES, conectadas a la red de distribución CC a través de interfaces CC/CC y que son operativas para ser cargadas con corriente continua de la red de distribución de CC y descargar corriente continua a la red de distribución de CC a través de sus interfaces CC/CC; una interfaz de red de CA que conecta la red de distribución de CC a una red de CA externa, la interfaz de red CA estando configurada para permitir que la red de distribución de CC tome energía eléctrica de la red de CA; una pluralidad de unidades consumidoras conectadas a la red de distribución de CC a través en una o más interfaces de CC/CC o CC/CA dependiendo de si son dispositivos de CC o de CA, las unidades consumidoras comprendiendo unidades consumidoras de baja potencia, LPC, y unidades consumidoras de alta potencia, HPC; y una pluralidad de unidades de fuentes de energía renovable, FER. Se proporciona un controlador para controlar la red de distribución de CC, el controlador teniendo un nivel de control de marco temporal a corto plazo, STF, para controlar las operaciones diarias y un nivel de control de marco temporal a medio plazo, MTF, para realizar ajustes en el nivel de control STF teniendo en cuenta las fluctuaciones previstas de la oferta y la demanda de las unidades FER y las unidades consumidoras, respectivamente.

En este aspecto de la divulgación, el nivel de control STF está configurado para controlar las operaciones diarias de acuerdo con: la generación de energía prevista de las unidades FER en función del tiempo a lo largo del día; la demanda prevista de energía de las unidades LPC y de las unidades HPC a lo largo del día; y un valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las unidades ES, que varía a lo largo del día; para satisfacer la demanda de las unidades consumidoras en la medida de lo posible a partir de las unidades FER y de las unidades ES en lugar de a partir de la red de CA a la vez que se mantiene una cantidad mínima especificada de carga en las unidades ES, si es necesario tomando energía eléctrica de la red de CA a través de la interfaz de red de CA; satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades LPC en todo momento; y satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades HPC a lo largo del día basándose condicionalmente en la generación de energía prevista de las unidades FER y en el estado de carga de las unidades ES; a la vez que se minimiza la potencia eléctrica media diaria tomada de la red de CA.

En este aspecto de la divulgación, el nivel de control MTF está configurado para realizar ajustes en el nivel de control STF: proporcionando al nivel de control STF la generación de energía prevista de las unidades FER diariamente en función del tiempo a lo largo del día; proporcionando al nivel de control STF la demanda prevista de energía de las unidades LPC y de las unidades HPC, en donde la demanda prevista de energía de las unidades LPC se ajusta sobre la base de un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades LPC en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana, y en donde la demanda prevista de energía de las unidades HPC se ajusta día a día sobre la base de un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades HPC en días anteriores (y opcionalmente la demanda insatisfecha de las unidades HPC) y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana; y proporcionando al nivel de control STF el valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las unidades ES que minimiza la potencia eléctrica diaria media tomada de la red de CA teniendo en cuenta la demanda prevista de potencia de las unidades LPC y de las unidades HPC.

La divulgación en un aspecto relacionado también proporciona un controlador correspondiente para controlar una red de distribución de CC del tipo anterior, el controlador comprendiendo un nivel de control STF, un nivel de control MTF y un nivel de análisis LTF que son cada uno como se ha especificado anteriormente para el sistema de suministro de electricidad.

En ciertas realizaciones, el nivel de control STF está configurado para controlar diariamente las operaciones para satisfacer la demanda de las unidades consumidoras, en la medida de lo posible, directamente a partir de la energía generada por las unidades FER en lugar de extraer energía de las unidades ES.

En ciertas realizaciones, el nivel de control MTF está configurado para determinar la generación de energía prevista de las unidades FER teniendo en cuenta una previsión meteorológica para el día.

En ciertas realizaciones, las unidades HPC se subdividen en puntos de carga de vehículos eléctricos y otras unidades HPC, subdividiéndose correspondientemente la demanda de energía en cada uno de los niveles de control y análisis STF, MTF y LTF.

5 En ciertas realizaciones, la interfaz que conecta la red de distribución de CC a una red de CA externa está configurada adicionalmente para permitir que la red de distribución de CC suministre corriente continua como energía eléctrica a la red de CA.

10 En el nivel de análisis LTF, la cantidad de energía eléctrica tomada de la red de CA puede ser calculada por el nivel de análisis LTF es una cantidad neta que tiene en cuenta también la energía eléctrica suministrada a la red de CA desde las unidades FER.

15 El nivel de control MTF puede estar configurado adicionalmente para calcular una demanda prevista de energía de la red de CA a lo largo del día. Además, en el nivel de control MTF, la demanda prevista de potencia de la red de CA a lo largo del día puede ajustarse basándose en un análisis computacional de la demanda real de potencia de la red de CA en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana.

20 En algunas implementaciones del sistema, las unidades FER están conectadas para suministrar corriente continua a la red de distribución de CC, es decir, son componentes de la red de distribución de CC. En otras realizaciones, algunas o todas las unidades FER están geográficamente separadas de la red de distribución de CC y están conectadas a la red de CA independientemente de la red de distribución de CC, para suministrar su energía generada directamente a la red de CA.

#### 25 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación, la presente invención se describirá a modo de ejemplo únicamente con referencia a las realizaciones ejemplares ilustradas en las figuras.

30 La FIG. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de suministro de electricidad de microrred de acuerdo con una realización de la invención.

La FIG. 2 es un diagrama esquemático que muestra detalles adicionales del controlador.

La FIG. 3 es un diagrama esquemático que muestra un ejemplo simplificado de las posibles fluctuaciones del suministro y la demanda a lo largo de un día para la microrred.

35 La FIG. 4 es un diagrama de bloques esquemático que muestra un flujo de proceso de control de ejemplo para atender solicitudes de suministro de HPC dentro del controlador de la FIG. 2.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

40 En la siguiente descripción detallada, con propósitos de explicación y no de limitación, se exponen detalles específicos para proporcionar una mejor comprensión de la presente divulgación. Será evidente para un experto en la técnica que la presente divulgación puede ser puesta en práctica en otras realizaciones que se apartan de estos detalles específicos.

45 La FIG. 1 es un diagrama esquemático de un sistema de suministro eléctrico de microrred 1 de acuerdo con una realización de la invención. El sistema de suministro eléctrico de microrred 1 comprende una red de distribución de CC 10 que interconecta y distribuye corriente CC entre los componentes de la microrred con interfaces CC/CC y CC/CA 15 respectivas. Los componentes de la red de distribución de CC 10 incluyen una pluralidad de unidades de fuente de energía renovable (FER) 60 y una pluralidad de unidades de almacenamiento de energía (ES) 20, típicamente baterías, así como una pluralidad de unidades consumidoras 40, 50. La red de distribución de CC 10 está conectada adicionalmente a una red de CA externa 2, es decir, típicamente la red nacional, a través de una interfaz CC/CA 30, de tal manera que la corriente pueda fluir desde la red de CA 2 a la red de distribución de CC 10 y, en la mayoría de los casos, también en la dirección opuesta desde la red de distribución de CC 10 a la red de CA 2. La interfaz de red de CC/CA 30 es, por tanto, reconfigurable para permitir que la red de distribución de CC 10 tome energía eléctrica de la red de CA 2 o suministre energía eléctrica a la red de CA 2, es decir, la interfaz de red 30 será, en la mayoría de los casos, bidireccional. Las unidades FER 60 pueden incluir las basadas en por lo menos una de: eólica, energía solar, hidráulica y biogás, como se ilustra esquemáticamente. Las unidades ES 20 son operativas para cargarse con corriente continua de la red de distribución de CC 10 y descargar corriente continua en la red de distribución de CC 10. Las unidades consumidoras 40, 50 pueden subclasificarse en unidades consumidoras de baja potencia (LPC) y unidades consumidoras de alta potencia (HPC). Las unidades LPC 40 incluyen hogares o edificios de oficinas con los electrodomésticos y equipos de oficina habituales en los hogares y edificios de oficinas respectivamente. Los electrodomésticos y los equipos de oficina generalmente funcionan con CA, por lo que la interfaz 15 desde la red de distribución de CC 10 hasta las unidades LPC 40 será una interfaz de CC/CA. También puede darse el caso de que una unidad LPC tenga una mezcla de aparatos o equipos de CA y CC, en cuyo caso la interfaz 15 incluirá tanto una interfaz CC/CC como una interfaz CC/CA (como se ilustra esquemáticamente). Las unidades HPC 50 incluyen dispositivos que usan grandes cantidades de energía eléctrica esporádicamente (ya sea CA o CC),

como estaciones de carga de vehículos eléctricos y bombas de calor para edificios, así como cualquier equipo industrial especializado usado en plantas industriales que formen parte de la microrred. Cada unidad HPC 50 puede estar clasificada con un consumo de potencia pico y un consumo de potencia medio, donde la media puede ser la media mientras está en uso. Por ejemplo, el consumo de corriente de una estación de carga de un vehículo eléctrico durante un evento de carga de un coche puede alcanzar un pico inicialmente y luego reducirse con el tiempo a medida que las baterías del coche se acercan a la carga completa de una manera predecible.

El sistema 1 incluye adicionalmente un controlador 70 para controlar la distribución de corriente en la red de distribución de CC 10 entre las varias interfaces CC/CC y CC/CA 15 y la interfaz de red bidireccional CC/CA 30. Para controlar el flujo de corriente de CC dentro de la red de distribución de CC 10, la red de distribución de CC 10 comprende una red de interruptores 12 con una pluralidad de interruptores 14 que se ajustan en una posición abierta o cerrada en respuesta a una señal de control recibida del controlador 70. Cada componente de la microrred (y/o la interfaz asociada al mismo) y la interfaz de red de CC/CA 30 están asociados a un interruptor 14 de la red de interruptores 12 y también a un módulo de detección 16. Cada módulo de detección 16 de elementos de medición adecuados para medir parámetros eléctricos, como la corriente y el voltaje, y suministrar los valores de medición al controlador 70. El controlador 70 puede, por lo tanto, manejarse para controlar los estados de conmutación de los interruptores 14 (cerrado/abierto) en la red de interruptores 12 en respuesta a los valores de medición que recibe de los módulos de detección 16, permitiendo de este modo que la corriente CC fluya en la red de distribución de CC 10 en las direcciones adecuadas (y evitando también de este modo que la corriente CC fluya en direcciones inadecuadas).

La FIG. 1 ilustra todas las unidades FER 60 como parte de la microrred, es decir, conectadas para suministrar corriente continua a la red de distribución de CC 10. En una variante del sistema, puede haber una o más unidades FER 60 que estén geográficamente deslocalizadas de la red de distribución de CC 10. Estas están conectadas para suministrar su energía generada directamente a la red de CA 2, pero están bajo el ámbito del controlador 70 para por lo menos algunas de las funciones de control y/o análisis descritas anteriormente y adicionalmente a continuación. Aunque para ciertos propósitos de control y análisis las unidades FER 60 geográficamente deslocalizadas se tratan como parte de la microrred, a efectos de hardware están separadas de la microrred, es decir, no están conectadas directamente a la red de distribución de CC 10.

La FIG. 2 es un diagrama esquemático que muestra detalles adicionales del controlador 70. Como ya se ha mencionado, el controlador 70 tiene la función de controlar la distribución de corriente en la red de distribución de CC 10 entre las unidades FER 60, las unidades ES 20, las unidades de consumo 40, 50 y la interfaz de red de CA 30. El controlador 70 también tiene algunas funciones de análisis. El controlador 70 tiene una configuración de tres niveles. El primer nivel es un nivel de control 72 de marco temporal a corto plazo (STF) para controlar las operaciones diarias. El segundo nivel es un nivel de control a medio plazo (MTF) 74 para realizar ajustes en el nivel de control STF 72 teniendo en cuenta las fluctuaciones de la oferta y la demanda de las unidades FER 60 y las unidades de consumo 40, 50, respectivamente, para permitir realizar correcciones medioambientales. El tercer nivel es un nivel de análisis del marco temporal a largo plazo (LTF) 76 para modelar los cambios en el suministro de por lo menos una de las unidades FER 60, las unidades ES 20 y las unidades de consumo 40, 50. El período de modelado puede ser, por ejemplo, trimestral o anual. Como se describe con mayor detalle a continuación, los resultados del nivel de análisis de LTF 76 pueden usarse para tomar decisiones sobre el aumento gradual del suministro de unidades FER 60 y/o unidades ES 20 según sea necesario para cumplir el objetivo de reducir la dependencia de la red de distribución de CC de la red de CA 2, ya sea en términos de cantidad absoluta de energía extraída de la red de CA 2 o de cantidad neta de energía, teniendo en cuenta la energía suministrada a la red de CA 2 por la red de distribución de CC 10 (y también a la red de CA 2 por cualquier unidad de FER 60 geográficamente deslocalizada).

El nivel de control STF 72 está configurado para controlar las operaciones diarias de acuerdo con la generación de energía prevista de la unidad FER en función del tiempo a lo largo del día y la demanda prevista de energía de las unidades LPC 40 y de las unidades HPC 50 a lo largo del día, que el nivel de control MTF 74 puede proporcionar al nivel de control STF 72 para su uso durante el día en curso, por ejemplo, durante la noche. En ausencia de la comunicación desde el nivel de control de MTF 74, el nivel de control STF 72 puede proporcionar internamente estos parámetros previstos, por ejemplo, basándose en los parámetros reales del día inmediatamente anterior, es decir, ayer, o del mismo día de la semana inmediatamente anterior, es decir, siete días antes. Como el control operativo efectuado por el nivel de control STF 72 debe ser resistente a la pérdida de comunicación, el STF dispondrá por defecto de un ajuste de estos parámetros que no dependa del nivel de control de MTF 74 ni de ninguna otra entrada externa, por ejemplo, usando datos históricos recopilados por o para el nivel de control STF 72 relativos a la oferta y la demanda en días anteriores relevantes (por ejemplo, uno o más días inmediatamente anteriores o uno o más días de la semana inmediatamente anteriores). El nivel de control STF 72 está configurado para satisfacer la demanda de las unidades consumidoras 40, 50 en la medida de lo posible a partir de las unidades FER 60 y las unidades ES 20 en lugar de a partir de la red de CA 2, a la vez que se mantiene una cantidad mínima especificada de carga en las unidades ES 20. Por consiguiente, la cantidad mínima de carga se mantiene incluso si para ello es necesario tomar energía eléctrica de la red de CA 2 (a través de la interfaz). El nivel de control STF 72 está configurado además para satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades LPC 40 en todo momento, es decir, incondicionalmente, y satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades HPC 50 condicionalmente sobre la base de la generación de energía de la unidad FER prevista durante el día y el estado de carga (SoC) de las unidades ES 20, a

la vez que se intenta minimizar la potencia eléctrica media diaria tomada de la red de CA 2. (Otra opción es configurar el nivel de control STF 72 para satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades HPC 50 incondicionalmente en el sentido de que se asume que hay suficiente potencia de la red de CA disponible para hacerlo, mientras que en algunos casos debe denegarse una solicitud de servicio de una unidad HPC cuando no hay suficiente potencia disponible ni dentro de la microrred ni desde la red de CA 2).

En el caso habitual de que la interfaz de red de CA 30 sea bidireccional, el nivel de control STF 72 está configurado de forma beneficiosa para controlar las operaciones diarias para usar preferentemente la corriente continua generada por las unidades FER 60 para cargar completamente las unidades ES 20 antes de suministrarla como energía eléctrica a la red de CA 2. La cantidad mínima especificada de carga almacenada en las unidades ES 20 puede ser una cantidad suficiente para satisfacer la demanda de las unidades LPC 40, y opcionalmente una proporción de las unidades HPC 50, durante un período de tiempo establecido. La cantidad mínima de carga especificada puede suponer que las unidades FER 60 no generan energía. Alternativamente, la cantidad mínima de carga especificada puede tener en cuenta la generación de energía prevista por las unidades FER 60 a lo largo del día, incluidos sus horarios, de tal manera que, por ejemplo, si las unidades FER 60 son únicamente solares, entonces la cantidad mínima de carga especificada sería la mayor al anochecer y la menor justo después del amanecer.

El nivel de control MTF 74 está configurado para realizar ajustes en el nivel de control STF 72 proporcionando al nivel de control STF 72 la generación de energía de las unidades FER prevista diariamente en función del tiempo a lo largo del día teniendo en cuenta factores como: una previsión para el día, el conocimiento de la época del año y las horas del amanecer y del anochecer. El nivel de control de MTF 74 está configurado además para realizar ajustes en el nivel de control STF 72 proporcionando al nivel de control STF 72 la demanda de energía prevista de las unidades LPC 40 y de las unidades HPC 50. La demanda de potencia prevista de las unidades LPC 40 se ajusta sobre la base de un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades LPC 40 en días anteriores, por ejemplo, durante un período STF anterior relevante, y teniendo en cuenta las variaciones diarias, por ejemplo, durante una semana. La demanda prevista de energía de las unidades HPC 50 se ajusta de un día a otro sobre la base de un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades HPC 50 en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana. La previsión puede incluir un pronóstico meteorológico para el día que proporcione parámetros útiles como: el viento previsto para las turbinas eólicas; la luz solar prevista para los paneles solares; el efecto previsto de las precipitaciones en los cursos de agua para las minicentrales hidroeléctricas; y el rendimiento previsto del digestor para los generadores de biogás, que puede depender de la temperatura. En una implementación alternativa más sencilla, en lugar de tener un valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga almacenada en las unidades ES 20, es decir, que varía con la hora del día a lo largo del día, el nivel de control MTF 74 puede proporcionar al nivel de control STF 72 un valor diario fijo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las unidades ES 20 durante todo el día de acuerdo con lo que se determine que es suficiente para satisfacer la demanda prevista de las unidades LPC 40 durante un período de por lo menos 24 horas. El nivel de control MTF 74 también puede incorporar inteligencia para predecir las necesidades de las unidades HPC 50 tipo por tipo. Por ejemplo, si la demanda de la unidad HPC 50 es para cargar una batería, como en el caso de un vehículo eléctrico, el nivel de control MTF 74 puede autoaprender que una unidad HPC 50 particular tendrá hasta primera hora de la mañana para cargar la batería, por ejemplo las 06:00, cuando la carga se inicia por la tarde, por ejemplo después de las 20:00. En el ejemplo de la carga de la batería del vehículo, el usuario puede especificar a través de una aplicación cómo debe cargarse la batería, por ejemplo, el coche no se necesita hasta mañana por la mañana a las 08:00, o cargar inmediatamente sin demora. Esta información puede comunicarse al nivel de control STF 72, en cuyo caso el nivel de control STF 72 puede gestionar el proceso de carga sobre esa base en lugar de a través de una predicción del nivel de control MTF 74.

El nivel de análisis LTF 76 está configurado para modelar posibles cambios en la red de distribución de CC a partir de su estado actual para analizar la adecuación del suministro por parte de las unidades ES 20 y las unidades FER 60 para satisfacer la demanda de las unidades consumidoras 40, 50. Esto puede tratarse de una demanda que tenga en cuenta únicamente las unidades de consumo 40, 50 que forman parte actualmente de la microrred o puede tratarse de una demanda que tenga en cuenta los cambios previstos en el número de unidades consumidoras a través de nuevas construcciones o una mayor provisión de puntos de recarga de vehículos eléctricos, por ejemplo. El nivel de análisis LTF 76 está configurado para modelar el efecto de variar el número de unidades ES 20 y unidades FER 60 (lejos de los números reales que actualmente forman parte de la microrred). El modelado puede, por tanto, predecir cómo la variación del número de unidades ES 20 y unidades FER 60 afecta a la cantidad de energía eléctrica tomada de la red de CA 2. Las variaciones serán, en la mayoría de los casos, incrementos del suministro actual, pero en principio las variaciones podrían ser disminuciones, por ejemplo, si una unidad consumidora industrial de alto consumo de energía cerrara en un futuro próximo. Las cantidades calculadas por el modelo pueden incluir cantidades netas (por ejemplo, la cantidad neta media de energía de la red de CA tomada durante periodos de tiempo como un día, una semana o un mes) y cantidades pico tomadas de la red de CA 2 (por ejemplo, la cantidad pico de energía tomada de la red de CA 2 en cualquier momento durante un periodo de tiempo relevante como un día, una semana o un mes). Las cantidades modeladas pueden compararse con las cantidades reales de los parámetros correspondientes basándose en datos históricos de la microrred. Además, los datos históricos sobre la demanda insatisfecha de las unidades HPC 50 pueden ser útiles en ocasiones en caso de que el sistema de control esté configurado para denegar el servicio a la demanda de las unidades HPC 50 cuando la microrred no disponga de

potencia suficiente. Específicamente, el modelado puede tener en cuenta los valores de la demanda satisfecha de las unidades LPC 40 y la demanda satisfecha de las unidades HPC 50 (así como, opcionalmente, los valores de cualquier demanda insatisfecha de las unidades HPC). Estos valores pueden tener en cuenta variaciones diarias, semanales y mensuales de los mismos (incluyendo opcionalmente un número diferente de unidades LPC 40 y unidades HPC 50 a las que constituyen la red de distribución de CC 10). Por lo tanto, el modelo puede proporcionar como salida diferentes escenarios que muestren el efecto previsto de cambiar el número de unidades ES 20 y/o el número de unidades FER 60 a partir de los números de estas unidades que posee actualmente la microrred. El modelo también puede incorporar desviaciones del número actual real de unidades LPC y HPC 50. Por ejemplo, en el caso de que la microrred cubra una ciudad pequeña, el modelo puede incorporar el efecto de construir una nueva urbanización, ampliar un parque empresarial o añadir más unidades HPC 50, como más bombas de calor o puntos de carga de vehículos eléctricos, y proporcionar de este modo datos sobre cuántas unidades ES y FER 60 adicionales deben añadirse a la microrred para que la demanda de electricidad de la red de CA 2 permanezca inalterada. Cada escenario modelado puede abarcar cualquier período de tiempo relevante, que típicamente será de por lo menos un año, pero puede ser un período más corto, como uno o más trimestres. El modelado puede tomar valores reales registrados del uso histórico o valores previstos proporcionados por el nivel de control MTF 74. Tomar valores previstos del nivel de control MTF 74 tiene la ventaja de que, siempre que la red de distribución de CC 10 haya estado funcionando durante algún tiempo, por ejemplo varios meses, las predicciones MTF ya incorporarán indirectamente el comportamiento histórico de la microrred. En el caso habitual, en el que la red de distribución de CC 10 tiene una interfaz bidireccional con la red de CA 2, el nivel de análisis LTF 76 puede funcionar de tal manera que la cantidad de energía eléctrica tomada de la red de CA 2 sea una cantidad neta que tenga en cuenta la energía eléctrica suministrada a la red de CA 2 por la red de distribución de CC 10, así como la energía eléctrica suministrada a la red de CA 2 por la red de distribución de CC 10 y, si está presente, la energía eléctrica suministrada a la red de CA 2 por unidades FER 60 geográficamente deslocalizadas operadas por el proveedor de la microrred. La cantidad neta puede ser positiva o negativa, donde una cantidad neta negativa indica que la red de distribución de CC 10 suministra más energía a la red de CA 2 de la que toma.

Los niveles de control STF y MTF pueden configurarse conjuntamente de tal manera que el nivel de control STF 72 controle las operaciones diarias de acuerdo con un valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las unidades ES 20, que varía a lo largo del día. El nivel de control MTF 74 realiza ajustes regulares del nivel de control STF 72, por ejemplo a intervalos diarios o semanales, proporcionando al nivel de control STF 72 el valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las unidades ES 20 que minimiza la potencia eléctrica diaria media tomada de la red de CA 2 teniendo en cuenta la demanda prevista de potencia de las unidades LPC 40 y de las unidades HPC 50.

El controlador 70 puede subdividir las unidades HPC 50 en una o más subclases específicas de dispositivos más una subclase miscelánea que contenga todas las unidades LPC 40 que no tengan una subclase específica propia. Específicamente, los puntos de recarga de vehículos eléctricos pueden clasificarse como un tipo de unidad HPC 50. Las bombas de calor para viviendas, edificios de oficinas u otras instalaciones pueden clasificarse como otro tipo de unidad HPC 50. Esta subdivisión permite al controlador 70 gestionar la demanda de energía de cada subclase de unidad HPC 50 independientemente en cada uno del nivel de control STF 72, el nivel de control MTF 74 y el nivel de análisis LTF 76.

Puede ser útil configurar el nivel de control MTF 74 para calcular una demanda prevista de potencia de la red de CA 2 a lo largo del día. El nivel de control MTF 74 puede ajustar esta demanda de potencia prevista basándose en un análisis computacional de la demanda real de potencia de la red de CA 2 en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana. La demanda prevista de la microrred para el día siguiente puede ser comunicada por el controlador de microrred 70 a un controlador 70 de la red de CA 2 (no mostrado). La demanda prevista puede ser entonces usada por el controlador 70 de la red de CA 2 para garantizar la seguridad del suministro a la microrred desde la red de CA 2, es decir, para garantizar que para el día siguiente la red de CA 2 pone a disposición de la microrred por lo menos la cantidad de energía que la microrred ha comunicado al controlador 70 de la red de CA 2 que necesitará (o puede necesitar). La comunicación entre la microrred y la red de CA 2 puede efectuarse mediante el controlador 70, que incorpora o tiene acceso a un transmisor o transceptor adecuado, como se ilustra esquemáticamente en la FIG. 1.

Se apreciará que los diferentes niveles del controlador 70 pueden estar físicamente distribuidos. Las funciones del nivel de control STF 72 deben estar integradas en la microrred, preferiblemente mediante cableado eléctrico directo, de tal manera que el funcionamiento del nivel de control STF 72 para controlar las operaciones diarias de la red de distribución de CC 10 no requiera más comunicaciones que, opcionalmente, a través de las líneas de alimentación de la propia red de distribución de CC 10. El funcionamiento del nivel de control STF 72 en por lo menos un modo de funcionamiento no tiene, por tanto, dependencia de Internet, de la red de comunicaciones móviles (por ejemplo, 4G o 5G) ni de ninguna red inalámbrica local. El nivel de control STF 72 puede tener adicionalmente uno o más modos de funcionamiento de emergencia que adopta en respuesta a un evento externo, como la pérdida de comunicación con el nivel de control MTF 74, la pérdida de conexión a Internet, la pérdida de conexión a una red de comunicaciones móviles, o en respuesta a la recepción de un mensaje del nivel de control MTF 74 que puede enviarse si el nivel de control MTF 74 tiene conocimiento de la pérdida de elementos críticos de infraestructura externa. El nivel

de control MTF 74 también puede estar integrado con el nivel de control STF 72, por ejemplo, puede implementarse como hardware programado integrado físicamente con el nivel de control STF 72 en una placa base común. Alternativamente, el nivel de control MTF 74 puede implementarse como un dispositivo informático separado que está conectado, por cable o de manera inalámbrica, por ejemplo como parte de una red de área local (LAN), con la realización de hardware del nivel de análisis LTF 76. En algunos casos, el nivel de control MTF 74 puede ser totalmente remoto de la microrred y estar solo conectado a través de Internet o de una red de comunicaciones móviles. El nivel de análisis LTF 76 se realizará normalmente de manera remota, por ejemplo, de acuerdo con un modelo de servicio conocido como software como servicio (SaaS), plataforma como servicio (PaaS) o infraestructura como servicio (IaaS). El nivel de análisis LTF 76 puede implementarse íntegramente como un programa informático, es decir, en software, que se comunica con el nivel de control MTF 74 y, opcionalmente, también con el nivel de control STF 72 a través de conexiones de red LAN, Internet o redes de comunicaciones móviles adecuadas. El nivel de control MTF 74 y el nivel de control STF 72 pueden incorporar circuitos electrónicos que incluyen, por ejemplo, circuitos lógicos programables, matrices de puertas programables en campo (FPGA) o matrices lógicas programables (PLA) para ejecutar instrucciones de programa legibles por ordenador utilizando la información de estado de las instrucciones de programa legibles por ordenador para personalizar los circuitos electrónicos, para realizar sus funciones respectivas.

El control de tres niveles descrito anteriormente se basa en el supuesto de que las unidades FER 60 son generadoras de energía "verde", es decir, energía que se produce sin quemar combustibles fósiles, mientras que la red de CA 2 toma electricidad generada a partir de fuentes contaminantes o potencialmente contaminantes, como la quema de combustibles fósiles. El objetivo de la microrred es ser independiente de la red de CA 2 o, por lo menos, depender de la electricidad de la red de CA 2 en cantidades predecibles, tanto medias como máximas, y con un horario predecible. Durante un periodo de tiempo prolongado o semanas o meses, el nivel de control MTF 74 pretende configurar el nivel de control STF 72 para que el uso de la microrred de la energía de la red de CA siga una función dependiente del tiempo y deseable desde el punto de vista medioambiental. Por lo tanto, la configuración del nivel de control STF 72 debe establecerse por lo tanto después de algún tiempo en una configuración que garantice que las cantidades medias y máximas de electricidad tomada de la red de CA 2 sean predecibles en el transcurso de cada día y también en el transcurso de las fluctuaciones semanales normales, por ejemplo, teniendo en cuenta las diferencias en el comportamiento de los consumidores en los días laborables y en el fin de semana. La configuración del nivel de control STF 72 también puede tener en cuenta el suministro de electricidad excedente de la microrred a la red de CA 2 con el objetivo de compensar parcial o totalmente cualquier electricidad tomada de la red de CA 2. La función del nivel de análisis LTF 76 es proponer cambios de configuración incrementales (o decrementales), por ejemplo adquirir unidades ES y/o FER 60 adicionales para alcanzar el objetivo de cero emisiones de dióxido de carbono para la electricidad usada por las unidades consumidoras 40, 50 de la microrred, lo que puede equipararse a que la cantidad media de electricidad que la microrred toma de la red de CA 2 sea cero, bien cero absoluto o cero neto teniendo en cuenta la electricidad suministrada desde la microrred a la red de CA 2. El modelado puede usar cualquier método matemático y/o estadístico conocido, incluyendo la inteligencia artificial.

La FIG. 3 es un diagrama esquemático simplificado que muestra un ejemplo de posibles fluctuaciones de la oferta y la demanda a lo largo de un día. A modo de ejemplo, sólo se consideran las unidades de FER 60 solares. Los paneles solares no generan energía por la noche y generan cantidades variables de energía durante el día. Pueden verse fluctuaciones de suministro similares de las turbinas eólicas. Las unidades LPC 40 representan colectivamente una carga variable que tiene un nivel reducido por la noche, o por lo menos durante los periodos normales de sueño. Durante el día, las unidades LPC 40 tienen colectivamente una carga variable que varía entre un valor mínimo y un valor máximo; la banda de carga LPC se muestra con punteado. La red de CA 2 garantiza la disponibilidad de por lo menos una cantidad mínima de potencia de red en todo momento, además de permitir el consumo de mayores cantidades de potencia, hasta una cantidad máxima de potencia de red, cuando esté disponible. El intervalo de potencia de red disponible entre el mínimo garantizado y el máximo posible se muestra punteado. Para garantizar la seguridad de suministro de las unidades LPC 40, es necesario que la cantidad mínima garantizada de potencia de red supere la cantidad máxima de carga LPC. También se muestra una única carga HPC a corto plazo de ejemplo en torno a las 10 de la mañana, por ejemplo, de una bomba de calor. También se muestra una carga de un vehículo eléctrico, en el que normalmente se carga un vehículo eléctrico a partir de un estado de carga de batería baja, consumiendo inicialmente una cantidad máxima de energía. A continuación, la cantidad de energía consumida por la unidad de batería de carga del vehículo se reducirá con el tiempo a medida que la unidad de batería se acerque a la carga completa, como se muestra esquemáticamente entre las 02:00 y las 05:00 horas.

La FIG. 4 es un diagrama esquemático de bloques que muestra un flujo de proceso de control de ejemplo para atender solicitudes de suministro de HPC dentro del controlador 70 de la FIG. 2 con sus tres niveles; nivel de control STF 72, nivel de control MTF 74 y nivel de análisis LTF 76. Al recibir una solicitud de servicio de una unidad HPC 50, por ejemplo cuando se enchufa un vehículo eléctrico en una estación de carga, se comprueba si hay suficiente exceso de potencia disponible en (o hacia) la red de distribución de CC 10 teniendo en cuenta factores que incluyen uno o más de los siguientes: carga agregada en las unidades ES 20 por encima de la cantidad mínima reservada de carga que debe retenerse en las unidades ES 20; generación instantánea de energía FER por las unidades FER 60; corriente máxima que puede extraer la microrred de la red de CA 2 menos la corriente que ya está comprometida por solicitudes de servicio HPC en curso y una reserva para atender solicitudes de unidades LPC. Si se decide que no se puede atender la solicitud de la unidad HPC (rama "No"), entonces se entra en un bucle de reintento, de tal manera

que la solicitud de la unidad HPC vuelve a enviarse periódicamente. Si se decide que la solicitud de unidad HPC puede atenderse (rama "SI"), entonces se llevan a cabo las siguientes acciones.

5 Se lleva a cabo cualquier reconfiguración necesaria de la red de interruptores 12 para garantizar un flujo de corriente adecuado a través de la red de distribución de CC 10 en general y específicamente a la unidad HPC 50 a la que se va a dar servicio.

10 A continuación, la unidad HPC 50 recibe corriente CC. Ésta puede proceder de una unidad ES 20. Sin embargo, la corriente CC también puede obtenerse de una unidad FER 60, si hay un exceso de generación de energía, ya que es más eficiente, es decir, tiene menos pérdidas, usar la energía generada por la FER directamente en lugar de usarla para cargar una unidad de ES 20 mientras se toma simultáneamente corriente continua de esa (u otra) unidad de ES 20. Si es necesario, y dependiendo de los parámetros de control, también puede obtenerse corriente de la red de CA 2. Este puede ser el caso, por ejemplo, si hay un déficit de generación de energía FER en el momento actual y las unidades ES 20 están en o cerca de su cantidad mínima de carga reservada y también se decide mediante la lógica de control que la solicitud de la unidad HPC debe ser atendida (en lugar de no ser atendida) a pesar del hecho de que requerirá energía de la red de CA.

20 De vez en cuando, mientras se atiende cada solicitud de unidad HPC, se realiza un nuevo cálculo para reevaluar si se debe extraer energía de la red de CA y cuánta, teniendo en cuenta el mantenimiento de la cantidad mínima estipulada de carga en las unidades ES 20 (que a su vez será generalmente una cantidad variable en el tiempo). A este respecto, cabe señalar que una solicitud de unidad HPC, como la carga de un vehículo eléctrico, puede tener una duración de varias horas, tal vez hasta 8-12 horas, dependiendo de la velocidad de carga.

25 Mientras se da servicio a cada solicitud de unidad HPC, se lleva a cabo un trazado de potencia de vez en cuando (o continuamente). El trazado de potencia puede usarse para ajustar la forma en que se satisface la demanda de las unidades HPC 50. En particular, para suministrar preferiblemente a las unidades HPC 50 directamente energía generada por las unidades FER 60 en lugar de extraer energía de las unidades ES 20.

30 El trazado de potencia se usa como entrada por un algoritmo de control para registrar el uso de potencia actual y predecir el futuro de las solicitudes de unidades HPC en curso, incluyendo la nueva solicitud de unidad HPC. Sobre la base del uso de energía previsto de las solicitudes de unidades HPC en curso, este algoritmo de control envía valores de consumo de energía previsto de la red de CA 2 (tanto máximo, es decir, pico, como medio) al nivel de control de MTF 74.

35 Pasando ahora al nivel de análisis LTF 76, recibe un trazado inicial de la red de distribución de CC 10 para iniciar su funcionamiento. A lo largo del tiempo, el nivel de análisis LTF 76 propondrá actualizaciones de la red de distribución de CC 10 sobre la base del trazado de red existente o de un trazado de red modificado que incluya información externa adicional sobre los cambios previstos en el trazado de la red, por ejemplo, la entrada en servicio de nueva capacidad de FER o la construcción de nuevas unidades de consumo 40, 50 adicionales. Estos factores pueden, por supuesto, interactuar entre sí en el sentido de que las propuestas de mejora que son el resultado del modelado por el nivel de análisis LTF 76 pueden realizarse a través de la nueva provisión de unidades FER 60, unidades ES 20, unidades LPC 40 o unidades HPC 50, así como la redefinición a través de acuerdos contractuales de la corriente máxima y media que se garantiza que se pone a disposición de la microrred desde la red de CA 2.

45 Pasando al nivel de control MTF 74, recibe del nivel de control STF 72 la información mencionada anteriormente sobre el consumo previsto de CA de la red. También recibe datos sobre la potencia generada actualmente por cada una de las unidades de FER 60. Además, recibe una previsión meteorológica para el día siguiente y, opcionalmente, para periodos más largos, por ejemplo 7 o 10 días, proporcionando predicciones de las condiciones meteorológicas (sol, viento, temperatura) que son relevantes para la generación de energía de las unidades FER y, en menor medida, para el rendimiento de las unidades ES, dado que las baterías tendrán mayores pérdidas internas cuando la temperatura ambiente sea más baja, especialmente por debajo del punto de congelación.

50 Por último, las líneas discontinuas del nivel de análisis LTF 76 hasta el nivel de control STF 72 muestran conexiones opcionales que pueden ser útiles en caso de que el nivel de análisis LTF 76 tenga información sobre la reconfiguración de la red que sea relevante para el control STF inmediato, por ejemplo, que en un día particular una nueva unidad FER 60 o unidad ES 20 entrará en funcionamiento o una unidad FER 60 o ES 20 existente se desconectará para su mantenimiento. De este modo, el nivel de control STF 72 puede realizar un control más eficaz que si se esperara a que esta información se filtrara al nivel de control STF 72 a través del nivel de control MTF 74. Aquí, cabe señalar que, con esta opción, el nivel de análisis LTF 76 también actúa como nivel de control.

60 En resumen de lo anterior, hemos descrito un controlador para una microrred de CC y unidades FER asociadas, así como una microrred de CC correspondiente. La microrred de CC comprende unidades FER y unidades consumidoras interconectadas por una red de distribución de CC. La microrred de CC está conectada a una red de CA, típicamente la red nacional, para permitir el flujo de energía entre la microrred de CC y la red de CA. El controlador tiene tres niveles: un primer nivel para controlar las operaciones diarias, un segundo nivel para realizar ajustes de

65

optimización en el primer nivel de control basándose en datos históricos y en la previsión meteorológica, y un tercero que es un nivel de análisis para modelar cómo los cambios en el suministro del número de unidades FER y unidades de SE afectarían a la dependencia de la microrred de CC de la energía de la red de CA. El resultado del tercer nivel permite realizar por tanto cambios graduales en el suministro para reducir, e idealmente eliminar, la demanda neta de energía de la red de CA.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de suministro de electricidad (1) que comprende:

- 5 una red de distribución de CC (10);  
una pluralidad de unidades de almacenamiento de energía, ES (20), conectadas a la red de distribución de CC a través de interfaces CC/CC (15) y que son operativas para cargarse con corriente continua de la red de distribución de CC (10) y descargar corriente continua a la red de distribución de CC (10) a través de sus interfaces CC/CC (15);
- 10 una interfaz de red de CA (30) que conecta la red de distribución de CC (10) a una red de CA externa (2), la interfaz de red de CA (30) estando configurada para permitir que la red de distribución de CC (10) consuma energía eléctrica de la red de CA (2);  
una pluralidad de unidades consumidoras (40, 50) conectadas a la red de distribución de CC (10) a través de una o más interfaces CC/CC o CC/CA (15) dependiendo de si son dispositivos de CC o de CA; las unidades consumidoras (40, 50) comprendiendo unidades consumidoras de baja potencia, LPC, (40) y unidades consumidoras de alta potencia, HPC, (50);
- 15 una pluralidad de unidades de fuentes de energía renovables, FER, (60); y  
un controlador (70) para controlar la red de distribución de CC, **caracterizado por que** el controlador tiene un nivel de control de marco temporal a corto plazo, STF (72) para controlar las operaciones diarias, un nivel de marco control a medio plazo, MTF (74) para realizar ajustes en el nivel de control STF teniendo en cuenta las fluctuaciones previstas de la oferta y la demanda de las unidades FER y las unidades consumidoras, respectivamente, y un nivel de análisis de marco temporal a largo plazo, LTF (76) para modelar los cambios en el suministro de por lo menos una de las unidades FER, las unidades ES y las unidades consumidoras,  
en donde el nivel de control STF está configurado para controlar las operaciones diarias de acuerdo con:
- 25 la generación de energía prevista de la unidad de FER en función del tiempo a lo largo del día; y  
la demanda de energía prevista de las unidades LPC y las unidades HPC a lo largo del día;  
para  
satisfacer la demanda de las unidades consumidoras en la medida de lo posible a partir de las unidades FER  
30 y las unidades ES en lugar de a partir de la red de CA, mientras se mantiene una cantidad mínima especificada de carga en las unidades ES, si es necesario consumiendo energía eléctrica de la red de CA a través de la interfaz de red de CA;  
satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades LPC en todo momento; y satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades HPC a lo largo del día basándose condicionalmente en la generación de  
35 energía prevista de las unidades FER y en el estado de carga de las unidades ES;
- a la vez que se minimiza la potencia eléctrica media diaria consumida de la red de CA,  
en donde el nivel de control MTF está configurado para realizar ajustes en el nivel de control STF:
- 40 proporcionando al nivel de control STF la generación de energía de las unidades FER prevista diariamente en función del tiempo a lo largo del día; y  
proporcionando al nivel de control STF la demanda prevista de potencia de las unidades LPC y de las unidades HPC, en donde la demanda prevista de energía de las unidades LPC se ajusta sobre la base de un análisis  
45 computacional de la demanda real satisfecha de las unidades LPC en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana, y en donde la demanda prevista de energía de las unidades HPC se ajusta de un día a otro basándose en un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades HPC en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana, y
- 50 en donde el nivel de análisis LTF está configurado para modelar posibles cambios en la red de distribución de CC:  
para analizar la adecuación del suministro por parte de las unidades ES y las unidades FER para satisfacer la demanda de las unidades LPC y las unidades HPC modelando el efecto de la variación del número de unidades ES y unidades FER sobre la cantidad de energía eléctrica consumida de la red de CA teniendo en cuenta los  
55 valores de: la demanda satisfecha de las unidades LPC; y la demanda satisfecha de las unidades HPC; teniendo en cuenta las variaciones diarias, semanales y mensuales de las mismas para generar uno o más escenarios con cambios en el número de unidades ES y el número de unidades FER que muestren para cada escenario las cantidades de energía eléctrica consumida de la red de CA durante un período de por lo menos dos meses.
- 60
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el nivel de control STF está configurado además para controlar las operaciones diarias de acuerdo con un valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las unidades ES, que varía a lo largo del día, en donde el nivel de control MTF está configurado además para realizar ajustes en el nivel de control STF: proporcionando al nivel de control STF el valor  
65 objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las unidades

ES que minimiza la potencia eléctrica media diaria consumida de la red de CA, a la vez que se tiene en cuenta la demanda prevista de energía de las unidades LPC y de las unidades HPC.

- 5 3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en el que el nivel de control STF está configurado para controlar las operaciones diarias para satisfacer la demanda de las unidades consumidoras directamente, en la medida de lo posible, de la energía generada por las unidades FER, en lugar de extraer energía de las unidades ES.
- 10 4. El sistema de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en el que el nivel de control MTF está configurado para determinar la generación de energía prevista de las unidades FER teniendo en cuenta una previsión meteorológica para el día.
- 15 5. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que las unidades HPC se subdividen en puntos de recarga de vehículos eléctricos y otras unidades HPC, con la demanda de energía subdividida correspondientemente en cada uno de los niveles de control y análisis STF, MTF y LTF.
- 20 6. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que la interfaz de red de CA que conecta la red de distribución de CC a una red de CA externa está configurada adicionalmente para permitir que la red de distribución de CC suministre corriente continua como energía eléctrica a la red de CA.
- 25 7. El sistema de la reivindicación 6, en el que, en el nivel de análisis LTF, la cantidad de energía eléctrica consumida de la red de CA calculada por el nivel de análisis LTF es una cantidad neta que tiene en cuenta también la energía eléctrica suministrada a la red de CA desde las unidades FER.
- 30 8. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que el nivel de control MTF está configurado adicionalmente para calcular una demanda prevista de energía de la red de CA a lo largo del día.
- 35 9. El sistema de la reivindicación 8, en el que en el nivel de control MTF, la demanda prevista de energía de la red de CA a lo largo del día se ajusta basándose en un análisis computacional de la demanda real de energía de la red de CA en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana.
- 40 10. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde las unidades FER están conectadas para suministrar corriente continua a la red de distribución de CC.
- 45 11. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que por lo menos algunas de las unidades FER están geográficamente deslocalizadas de la red de distribución de CC y están conectadas para suministrar su energía generada a la red de CA independientemente de la red de distribución de CC.
- 50 12. El sistema de cualquier reivindicación anterior, en el que las unidades HPC (50) incluyen dispositivos de CC que están conectados a la red de distribución de CC (10) a través de interfaces de CC/CC (15).
- 55 13. Un controlador (70) para controlar una red de distribución de CC (10) y una pluralidad de unidades de fuentes de energía renovables, RES, (60), la red de distribución de CC comprendiendo;
- 60 una pluralidad de unidades de almacenamiento de energía, ES, (20) conectadas a la red de distribución de CC a través de interfaces de CC/CC (15) y que son operativas para cargarse con corriente continua de la red de distribución de CC (10) y descargar corriente continua a la red de distribución de CC (10) a través de sus interfaces de CC/CC (15);
- una interfaz de red de CA (30) que conecta la red de distribución de CC (10) a una red de CA externa (2), la interfaz de red de CA (30) estando configurada para permitir que la red de distribución de CC (10) consuma energía eléctrica de la red de CA (2);
- una pluralidad de unidades consumidoras (40, 50) conectadas a la red de distribución de CC (10) a través de una o varias interfaces CC/CC o CC/CA (15) dependiendo de si son dispositivos de CC o de CA; las unidades consumidoras (40, 50) comprendiendo unidades consumidoras de baja potencia, LPC, (40) y unidades consumidoras de alta potencia, HPC, (50);
- caracterizado por que** el controlador comprende un nivel de control de marco temporal a corto plazo, STF, (72) para controlar las operaciones diarias, un nivel de control de marco temporal a medio plazo, MTF, (74) para realizar ajustes en el nivel de control STF teniendo en cuenta las fluctuaciones previstas de la oferta y la demanda de las unidades FER y las unidades consumidoras, respectivamente, y un nivel de análisis de marco temporal a largo plazo, LTF, (76) para modelar los cambios en el suministro de por lo menos una de las unidades FER, las unidades ES y las unidades consumidoras,
- en donde el nivel de control STF está configurado para controlar las operaciones diarias de acuerdo con:
- la generación de energía prevista de las unidades de FER en función del tiempo a lo largo del día; y  
la demanda prevista de energía de las unidades LPC y las unidades HPC a lo largo del día;

para

satisfacer la demanda de las unidades consumidoras en la medida de lo posible a partir de las unidades FER y las unidades ES en lugar de a partir de la red de CA, mientras se mantiene una cantidad mínima especificada de carga en las unidades ES, si es necesario consumiendo energía eléctrica de la red de CA a través de la interfaz; satisfacer en todo momento la demanda instantánea solicitada de las unidades LPC; y satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades HPC a lo largo del día basándose condicionalmente en la generación de energía prevista de las unidades FER y en el estado de carga de las unidades ES;

a la vez que se minimiza la energía eléctrica media diaria consumida de la red de CA,

en donde el nivel de control MTF está configurado para realizar ajustes en el nivel de control STF:

proporcionando al nivel de control STF la generación de energía de las unidades FER prevista diariamente en función del tiempo a lo largo del día; y proporcionando al nivel de control STF la demanda de energía prevista de las unidades LPC y de las unidades HPC, en donde la demanda de energía prevista de las unidades LPC se ajusta basándose en un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades LPC en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana, y en donde la demanda de energía prevista de las unidades HPC se ajusta de un día para otro basándose en un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades HPC en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana, y

en donde el nivel de análisis LTF está configurado para modelar posibles cambios en la red de distribución de CC:

para analizar la adecuación del suministro por parte de las unidades ES y las unidades FER para satisfacer la demanda de las unidades LPC y las unidades HPC modelando el efecto de la variación del número de unidades ES y unidades FER sobre la cantidad de energía eléctrica consumida de la red de CA teniendo en cuenta los valores de: la demanda satisfecha de las unidades LPC; y la demanda satisfecha de las unidades HPC; teniendo en cuenta las variaciones diarias, semanales y mensuales de las mismas para generar uno o más escenarios con cambios en el número de unidades ES y el número de unidades FER que muestren para cada escenario las cantidades de energía eléctrica consumida de la red de CA durante un período de por lo menos dos meses.

14. Un sistema de suministro de electricidad (1) que comprende:

una red de distribución de CC (10); una pluralidad de unidades de almacenamiento de energía, ES, (20), conectadas a la red de distribución de CC a través de interfaces CC/CC (15) y que son operativas para cargarse con corriente continua de la red de distribución de CC (10) y descargar corriente continua a la red de distribución de CC (10) a través de sus interfaces CC/CC (15); una interfaz de red de CA (30) que conecta la red de distribución de CC (10) a una red de CA externa (2), la interfaz de red de CA (30) estando configurada para permitir que la red de distribución de CC (10) consuma energía eléctrica de la red de CA (2); una pluralidad de unidades consumidoras (40, 50) conectadas a la red de distribución de CC (10) a través de una o varias interfaces CC/CC o CC/CA (15) dependiendo de si son dispositivos de CC o de CA; las unidades consumidoras (40, 50) comprendiendo unidades consumidoras de baja potencia, LPC, (40) y unidades consumidoras de alta potencia, HPC, (50); una pluralidad de unidades de fuentes de energía renovables, FER), (60); y un controlador (70) para controlar la red de distribución de CC, **caracterizado por que** el controlador tiene un nivel de control de marco temporal a corto plazo, STF, (72) para controlar las operaciones diarias y un nivel de control de marco temporal a medio plazo, MTF, (74) para realizar ajustes en el nivel de control STF teniendo en cuenta las fluctuaciones previstas de la oferta y la demanda de las unidades FER y las unidades consumidoras, respectivamente, en donde el nivel de control STF está configurado para controlar las operaciones diarias de acuerdo con:

la generación de energía de las unidades FER prevista en función del tiempo a lo largo del día; la demanda prevista de energía de las unidades LPC y de las unidades HPC a lo largo del día; y un valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las unidades ES, que varía a lo largo del día;

para

satisfacer la demanda de las unidades consumidoras en la medida de lo posible desde las unidades FER y las unidades ES en lugar de desde la red de CA, a la vez que se mantiene una cantidad mínima especificada de carga en las unidades ES, si es necesario consumiendo energía eléctrica de la red de CA a través de la interfaz de red de CA;

satisfacer en todo momento la demanda instantánea solicitada de las unidades LPC; y  
 satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades HPC a lo largo del día basándose  
 condicionalmente en la generación de energía prevista de las unidades FER y en el estado de carga de las  
 unidades ES;

5 a la vez que se minimiza la energía eléctrica media diaria consumida de la red de CA, y en donde el nivel de control  
 MTF está configurado para realizar ajustes en el nivel de control STF:

10 proporcionando al nivel de control STF la generación de energía prevista de las unidades FER diariamente en  
 función del tiempo a lo largo del día;  
 proporcionando al nivel de control STF la demanda prevista de energía de las unidades LPC y de las unidades  
 HPC, en donde la demanda prevista de energía de las unidades LPC se ajusta basándose en un análisis  
 15 computacional de la demanda real satisfecha de las unidades LPC en días anteriores y teniendo en cuenta las  
 variaciones diarias en el plazo de una semana, y en donde la demanda prevista de energía de las unidades  
 HPC se ajusta de un día a otro basándose en un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las  
 unidades HPC en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana; y  
 proporcionando al nivel de control STF el valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima  
 especificada de carga que debe mantenerse en las unidades ES que minimiza la energía eléctrica media diaria  
 consumida de la red de CA teniendo en cuenta la demanda prevista de potencia de las unidades LPC y de las  
 20 unidades HPC.

15. Un controlador (70) para controlar una red de distribución de CC (10) y una pluralidad de unidades de fuentes de  
 energía renovables, FER, (60) la red de distribución de CC comprendiendo;

25 una pluralidad de unidades de almacenamiento de energía, ES (20), conectadas a la red de distribución de CC a  
 través de interfaces CC/CC (15) y que son operativas para cargarse con corriente continua de la red de distribución  
 de CC (10) y descargar corriente continua a la red de distribución de CC (10) a través de sus interfaces CC/CC  
 (15);  
 una interfaz de red de CA (30) que conecta la red de distribución de CC (10) a una red de CA externa (2), la interfaz  
 30 de red de CA (30) estando configurada para permitir que la red de distribución de CC (10) consuma energía  
 eléctrica de la red de CA (2);  
 una pluralidad de unidades consumidoras (40, 50) conectadas a la red de distribución de CC (10) a través de una  
 o más interfaces CC/CC o CC/CA (15) dependiendo de si son dispositivos de CC o de CA; las unidades  
 consumidoras (40, 50) comprendiendo unidades consumidoras de baja potencia, LPC, (40) y unidades  
 35 consumidoras de alta potencia, HPC, (50);

**caracterizado por que** el controlador comprende un nivel de control de marco temporal a corto plazo, STF, (72) para  
 controlar las operaciones diarias y un nivel de control de marco temporal a medio plazo, MTF, (74) para realizar ajustes  
 40 en el nivel de control STF teniendo en cuenta las fluctuaciones previstas de la oferta y la demanda de las unidades  
 FER y las unidades consumidoras, respectivamente,  
 en donde el nivel de control STF está configurado para controlar las operaciones diarias de acuerdo con:

45 la generación de energía de las unidades FER prevista en función del tiempo a lo largo del día;  
 la demanda prevista de energía de las unidades LPC y de las unidades HPC a lo largo del día;  
 un valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las  
 unidades ES, que varía a lo largo del día; y

para

50 satisfacer la demanda de las unidades consumidoras en la medida de lo posible desde las unidades FER y las  
 unidades ES en lugar de desde la red de CA, a la vez que se mantiene una cantidad mínima especificada de carga  
 en las unidades ES, si es necesario consumiendo energía eléctrica de la red de CA a través de la interfaz de red  
 de CA;  
 55 satisfacer en todo momento la demanda instantánea solicitada de las unidades LPC; y  
 satisfacer la demanda instantánea solicitada de las unidades HPC a lo largo del día basándose condicionalmente  
 en la generación de energía prevista de las unidades FER y en el estado de carga de las unidades ES;

a la vez que se minimiza la energía eléctrica media diaria consumida de la red de CA, y en donde el nivel de control  
 MTF está configurado para realizar ajustes en el nivel de control STF:

60 proporcionando al nivel de control STF la generación de energía prevista de las unidades FER diariamente en  
 función del tiempo a lo largo del día;  
 proporcionando al nivel de control STF la demanda prevista de energía de las unidades LPC y de las unidades  
 HPC, en donde la demanda prevista de energía de las unidades LPC se ajusta basándose en un análisis  
 65 computacional de la demanda real satisfecha de las unidades LPC en días anteriores y teniendo en cuenta las

## ES 2 988 198 T3

variaciones diarias en el plazo de una semana, y en donde la demanda prevista de energía de las unidades HPC se ajusta de un día a otro basándose en un análisis computacional de la demanda real satisfecha de las unidades HPC en días anteriores y teniendo en cuenta las variaciones diarias en el plazo de una semana; y proporcionando al nivel de control STF el valor objetivo variable en el tiempo para la cantidad mínima especificada de carga que debe mantenerse en las unidades ES que minimiza la energía eléctrica media diaria consumida de la red de CA teniendo en cuenta la demanda prevista de potencia de las unidades LPC y de las unidades HPC.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



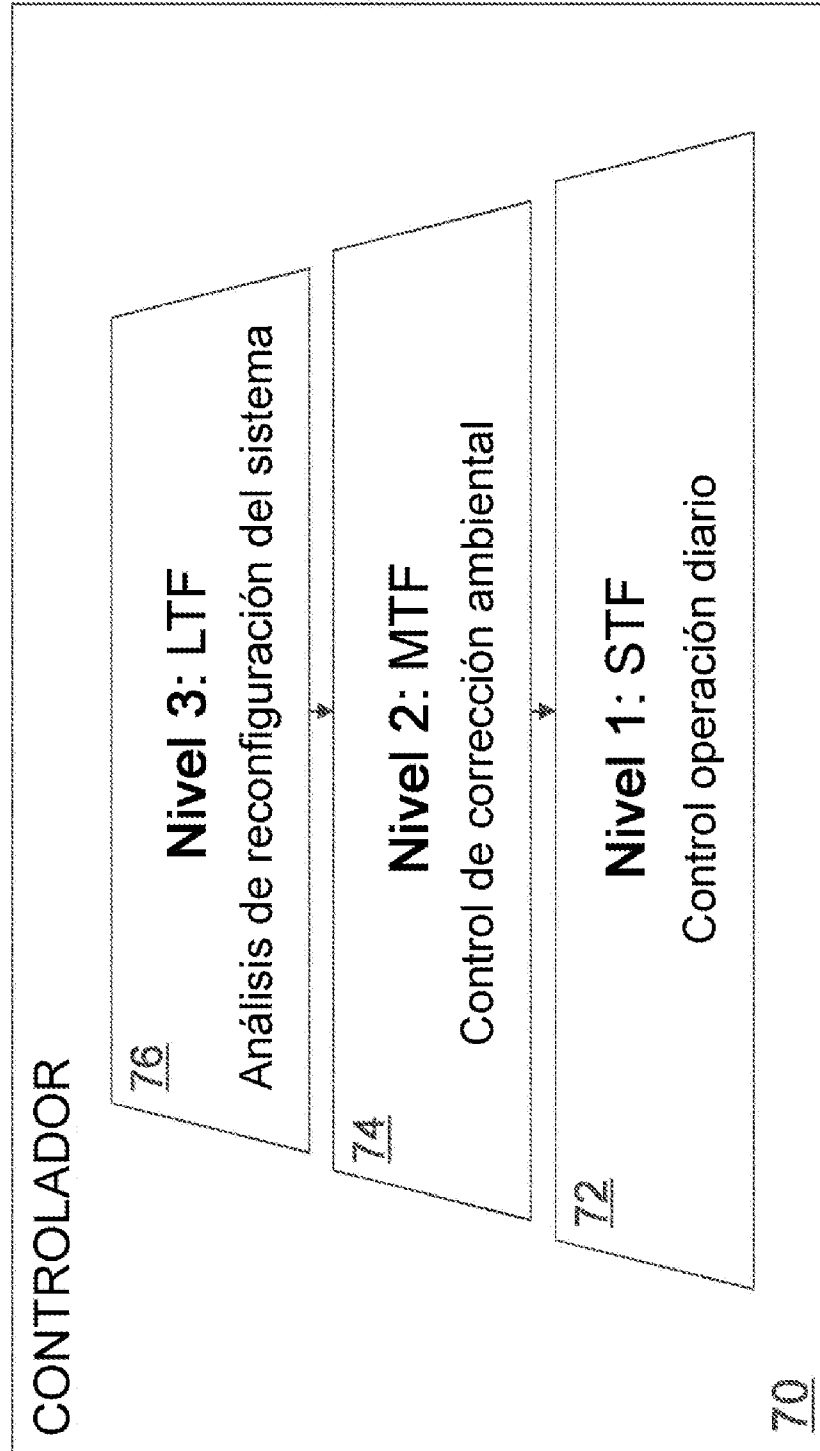


FIG. 2



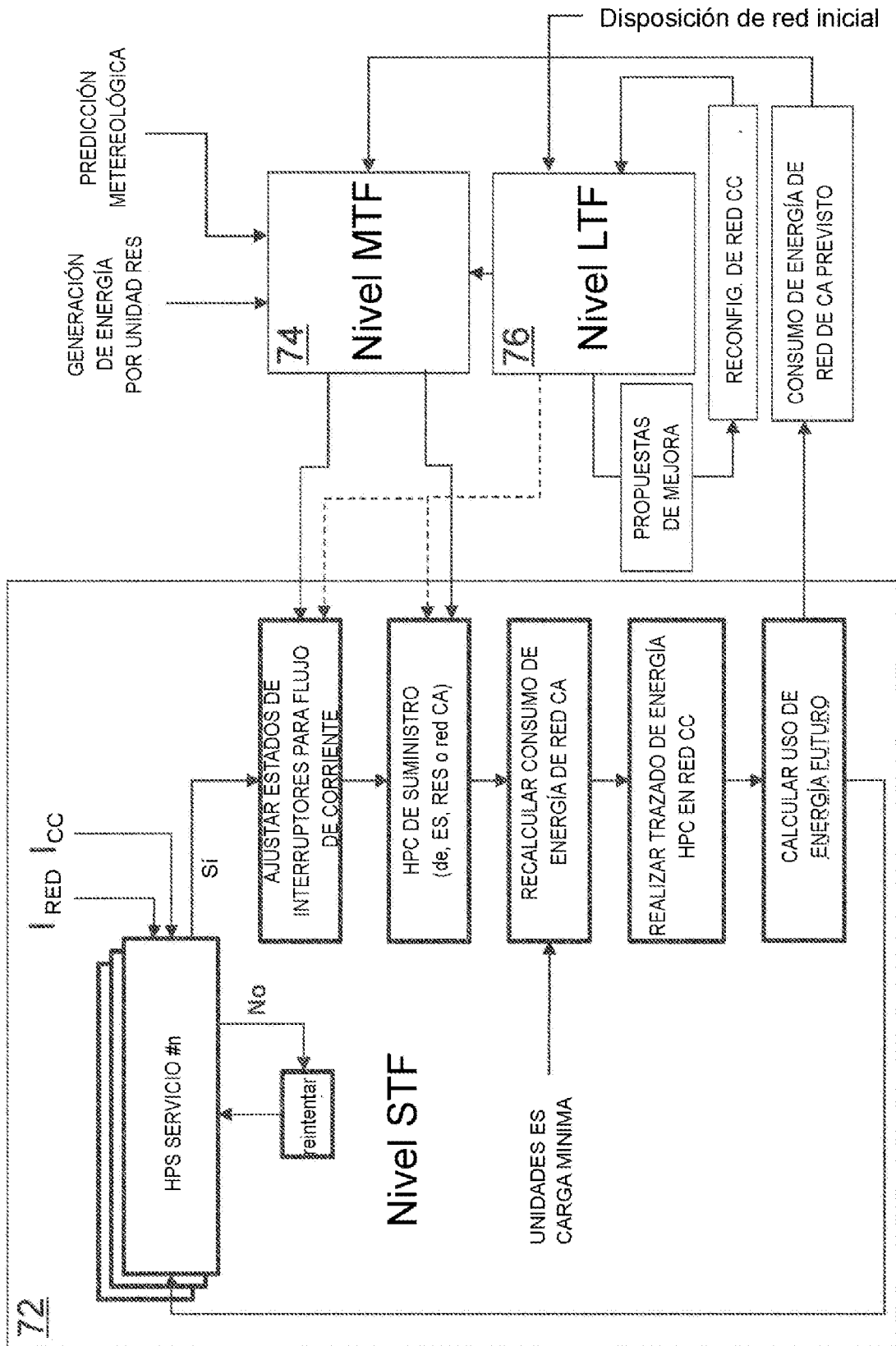


FIG. 4