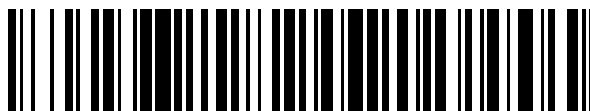


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 192**

51 Int. Cl.:

H02J 3/00 (2006.01)

H02J 13/00 (2006.01)

G05B 13/02 (2006.01)

G05F 1/66 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.11.2010 PCT/US2010/054950**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2012 WO12008979**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.11.2010 E 10854542 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 2497177**

54 Título: **Sistema de control de red eléctrica distribuida dinámica**

30 Prioridad:

03.11.2009 US 257834 P
29.07.2010 US 846520

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.02.2020

73 Titular/es:

SPIRAE, INC. (100.0%)
255 Linden Street, Suite 201
Ft. Collins, CO, US

72 Inventor/es:

CHERIAN, SUNIL;
KEOGH, BRENDAN y
PACIFIC, OLIVER

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 744 192 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 control de red eléctrica distribuida dinámica.

5 Antecedentes de la invención

Campo de la invención.

10 Las formas de realización de la presente invención se refieren, en general, a redes de distribución eléctrica y más particularmente a sistemas y procedimientos para controlar la ubicación, producción, y consumo de energía en una red de distribución eléctrica.

Técnica anterior relevante.

15 Una red de distribución eléctrica no es una única entidad, sino un conjunto de múltiples redes y múltiples compañías de generación de energía con múltiples operadores que emplean diversos niveles de comunicación y coordinación, la mayoría de los cuales se controlan manualmente. Una red de distribución inteligente aumenta la conectividad, la automatización y la coordinación entre proveedores de energía y consumidores de energía y las redes que portan esa energía para realizar o bien transmisiones a larga distancia o bien una distribución local.

20 La red de distribución eléctrica de corriente alterna de hoy en día se diseñó en los últimos años del siglo XIX. Muchas de las decisiones e hipótesis de implementación que se realizaron por entonces siguen utilizándose hoy en día. Por ejemplo, la red de distribución eléctrica actual incluye un sistema de transmisión de energía eléctrica unidireccional centralizado que funciona según demanda. Durante los últimos 50 años, la red de distribución eléctrica no se ha mantenido al día con los retos actuales. Los retos tales como amenazas de seguridad, objetivos nacionales para emplear una generación de energía alternativa, objetivos de conservación, una necesidad de controlar oleadas en picos de demanda, una demanda ininterrumpida de energía, y nuevos dispositivos de control digital cuestionan la capacidad de las redes de distribución eléctrica de hoy en día. Para comprender mejor la naturaleza de estos retos, es necesario coger las riendas de la generación y distribución de energía actual.

30 La red de distribución eléctrica existente comienza en una central de generación de energía y, a continuación, se distribuye la electricidad a través de una variedad de energía líneas de transmisión al consumidor de energía. El productor o proveedor de energía, en casi todos los casos, consiste en un generador eléctrico giratorio. En ocasiones, los generadores giratorios se accionan mediante una presa hidroeléctrica, grandes motores diésel o turbinas de gas, pero en la mayor parte de los casos, el generador se alimenta mediante vapor. El vapor puede crearse mediante combustión de carbón, combustible, gas natural o en algunos casos un reactor nuclear. La energía eléctrica también puede producirse mediante reacciones químicas, conversión directa a partir de luz solar y mediante muchos otros medios.

40 La energía producida por estos generadores es corriente alterna. A diferencia de la corriente continua, la corriente alterna oscila de manera muy parecida a una onda senoidal durante un periodo de tiempo. La corriente alterna (CA) que funciona como una única onda senoidal se denomina energía monofásica. Las plantas de energía existentes y las líneas de transmisión transportan tres fases diferentes de energía de CA simultáneamente. Cada una de estas fases se desvía 120° una con respecto a otra y cada fase se distribuye de manera independiente. A medida que se añade energía a la red de distribución, debe sincronizarse con la fase existente de la línea de transmisión particular que está utilizando.

50 A medida que esta energía trifásica abandona el generador desde una estación de energía, entra en una subestación de transmisión en donde se eleva la frecuencia de la tensión generada a un número extremadamente elevado para la transmisión a larga distancia. Entonces, tras alcanzar una zona de distribución regional, la tensión de alta transmisión se rebaja para adaptarse a una red de distribución local o regional. Este procedimiento de rebajado puede producirse en diversas fases y, habitualmente, se produce en una subestación de energía.

55 La figura 1 muestra una red de distribución eléctrica típica tal como se conoce por un experto en la materia. Tal como se conoce, tres plantas de generación de energía 110 que prestan servicio a tres regiones diferentes e independientes de consumidores de energía 150. Cada planta de energía 110 está acoplada a su consumidor de energía 150 por medio de líneas de distribución 140. Interpuestas entre el productor de energía 110 y el consumidor de energía 150 se encuentran una o más subestaciones de transmisión 125 y subestaciones de energía 130. La figura 1 también muestra que las plantas de producción de energía están unidas por medio de líneas de transmisión de alta tensión 120.

60 A partir de cada planta de producción de energía 110, la energía se distribuye a la subestación de transmisión 125 y a continuación, se rebaja a las subestaciones de energía 130 que comunican con un bus de distribución, colocando la electricidad en una tensión de línea habitual de aproximadamente 7200 voltios. Estas líneas de energía se observan, habitualmente, en la totalidad de los vecindarios a nivel internacional, y transportan energía al usuario final 150. Los entornos domésticos y la mayor parte de los negocios solo requieren una de las tres fases

de energía que normalmente se transportan por las líneas de energía. Antes de alcanzar cada hogar, un transformador de distribución reduce los 7200 voltios hasta aproximadamente 240 voltios y lo convierte en servicio eléctrico doméstico normal.

El sistema de distribución de energía actual implica múltiples entidades. Por ejemplo, la producción de energía puede representar una entidad, mientras que la transmisión de energía a larga distancia representa otra. Cada una de estas empresas interactúa con una o más redes de distribución que, en última instancia, suministran energía al consumidor de energía. Aunque las divisiones de control descritas en la presente memoria no son absolutas, representan, no obstante, un obstáculo para el control dinámico de energía a lo largo de una red eléctrica distribuida.

Bajo la red de distribución eléctrica actual, en caso de que la demanda de energía por un grupo de consumidores de energía supere la capacidad de producción de su instalación de producción de energía asociada, esa instalación puede comprar la energía en exceso a otros productores de energía en red. Existe un límite en cuanto a la distancia a la que la energía puede transportarse de manera fiable y eficaz, por tanto, a medida que aumenta la demanda del consumidor, más productores de energía regionales se requieren. El consumidor posee poco control sobre quién produce la energía que consume.

Un ejemplo adicional de un sistema de distribución de energía existente se ha descrito por Per Lund *et al.* en un documento titulado "Cell architecture for distributed generation management for the Danish electric power system" que se publicó por IEEC el 1 de enero de 2005.

Las redes de distribución eléctricas de este tipo llevan existiendo y usándose durante más de 100 años. Y aunque el concepto global no ha cambiado significativamente, ha resultado ser extremadamente fiable. Sin embargo, cada vez resulta más evidente que las redes de distribución de energía existentes están anticuadas, y que son necesarios nuevos e innovadores sistemas de control para modificar los medios mediante los que la energía se distribuye de manera eficaz desde el productor hasta el consumidor. Por ejemplo, cuando la demanda de energía del consumidor supera de manera rutinaria la capacidad de producción de una instalación de producción de energía local, el propietario y operador de la red de energía local tiene en consideración añadir capacidad de producción de energía adicional, o alternatively, a una parte de los consumidores se les niega el servicio, es decir, se producen caídas de tensión. Para añadir energía adicional a la red de distribución, se lleva a cabo un procedimiento lento y complicado para comprender y controlar las nuevas opciones de distribución de energía eléctrica. La capacidad de la red de distribución de gestionar los picos de demanda debe conocerse y monitorizarse para garantizar un funcionamiento seguro de la red de distribución, y, si fuera necesario, deberá colocarse infraestructura adicional. Este procedimiento puede tardar años y comete fallos al tener en consideración la naturaleza dinámica de la producción y demanda eléctricas.

Un aspecto que pone de manifiesto la necesidad de modificar los sistemas de control de distribución de energía existentes es la emergencia de fuentes de producción de energía renovable y alternativa, sistemas de almacenamiento distribuidos, sistemas de gestión de demanda, electrodomésticos inteligentes, y dispositivos inteligentes para gestión de redes. Cada una de estas opciones requiere la gestión activa de energía de la red de distribución, aumentando sustancialmente las estrategias de control que se utilizan hoy en día para la gestión de redes de distribución de energía.

Las soluciones de gestión de redes existentes carecen de la inteligencia distribuida para gestionar flujo de energía a través de la red en una multitud de escalas de tiempo. Este vacío es especialmente evidente, dado que los nuevos recursos de generación de energía que están conectados a la red de distribución son, normalmente, propiedad de diferentes organizaciones y pueden utilizarse para suministrar diferentes beneficios a diferentes partes en momentos diferentes. Las herramientas de gestión de sistema de energía eléctrica convencionales se diseñan para hacer funcionar equipos de red y sistemas propiedad de los propios operadores de red. No están diseñados para permitir transacciones dinámicas entre usuarios finales (consumidores de energía), proveedores de servicios, operadores de red, productores de energía, y otros actores del mercado.

Las redes de distribución eléctrica existentes se diseñaron para el flujo unidireccional de electricidad y si una subred local o una región genera más energía de la que consume, el flujo inverso de electricidad puede aumentar los problemas de seguridad y fiabilidad. Por tanto, existe el reto de gestionar de manera dinámica los recursos de producción de energía en tiempo real, y de permitir transacciones dinámicas entre diversos consumidores de energía, propietarios de recursos, proveedores de servicios, actores del mercado, y operadores de red. Estos y otros retos presentes en la red de distribución eléctrica actual se resuelven mediante una o más formas de realización de la presente invención.

Sumario de la invención

Un sistema para el control y distribución dinámicos de energía en una red eléctrica distribuida se describe a continuación a modo de ejemplo. Según una forma de realización de la presente invención, una arquitectura de control de múltiples capas se integra en la red de distribución y transmisión de energía existente, para permitir la

gestión dinámica de producción, distribución, almacenamiento, y consumo de energía (recursos energéticos distribuidos de manera colectiva). El control dinámico se ve complementado por la capacidad para modelar soluciones de distribución de energía propuestas antes de la implementación, validando de ese modo que la solución de distribución de energía propuesta funcionará dentro de las limitaciones físicas y normativas de las infraestructuras existentes.

Según una forma de realización de la presente invención, un sistema de control distribuido se pone en contacto con una red de distribución eléctrica existente para controlar de manera eficaz la producción y distribución de energía. El sistema de control distribuido presenta tres capas principales: i) módulo de control de compañía, ii) módulos de control regionales, y iii) módulos de control locales. Un módulo de control de compañía se acopla de manera comunicativa con unos sistemas de adquisición de datos y de control de supervisión existentes, y con una pluralidad de módulos de control regionales. Los módulos de control regionales están integrados en subestaciones de transmisión y subestaciones de distribución existentes para monitorizar y emitir señales de control a otros dispositivos o módulos de control para gestionar de manera dinámica los flujos de energía en la red de distribución. Cada módulo de control regional está asociado, además, con una pluralidad de módulos de control locales que están en contacto con productores de energía, incluyendo generadores eléctricos accionados por vapor, parques eólicos, instalaciones hidroeléctricas y conjuntos fotoeléctricos (solares), recursos de almacenamiento tales como dispositivos de almacenamiento eléctricos o térmicos y baterías en vehículos eléctricos, y sistemas de gestión de demanda o electrodomésticos inteligentes.

Cada módulo de control local se encuentra bajo la dirección de un módulo de control regional para la gestión y el control de su productor de energía, consumidor, o dispositivo asociados. Al estandarizar las respuestas de control, el módulo de control regional puede hacerse funcionar para gestionar la producción, distribución, almacenamiento y consumo de energía en su región asociada. En otra forma de realización de la presente invención, los módulos de control regionales, por medio del módulo de control de compañía, pueden identificar una solicitud para una producción de energía adicional. Al conocer la capacidad de producción de otras zonas regionales e independientemente de que posean un exceso de capacidad, el módulo de control de compañía puede dirigir un módulo de control regional diferente para aumentar la producción de energía para producir energía en exceso o aprovechar la energía almacenada. La energía en exceso puede entonces transmitirse a la región que necesita energía para su distribución.

Según otra forma de realización de la presente invención, las modificaciones a los sistemas de producción y de distribución de energía puede simularse en tiempo real para determinar si una solución propuesta para cumplir con las demandas de consumo energético en aumento se encuentra dentro de las capacidades normativas, pautas de seguridad y/o capacidades del sistema. Tras validar que puede lograrse una solución propuesta, puede implementarse utilizando controles en tiempo real.

Otro aspecto de la presente invención incluye gestionar demandas de carga energética a nivel de compañía, producción y distribución de energía a través de una red de distribución eléctrica. A medida que se accionan los cambios de demanda por una pluralidad de consumidores de energía, el módulo de control de compañía puede detectar la necesidad de energía adicional mediante uno o más módulos de control regionales. Además, el módulo de control de compañía puede recibir datos relacionados con la capacidad de cada módulo de control regional de producir exceso de energía en relación con su demanda de consumidor local. El módulo de control de compañía puede emitir órdenes a uno o más módulos de control regionales para aumentar la producción de energía o disminuir el consumo, así como redirigir el exceso de energía. Al recibir una orden de este tipo, los módulos de control regionales se comunican con los productores de energía dentro de su región para aumentar la producción de energía. La orden transmitida a cada productor de energía se homologa para garantizar la respuesta de producción continua mediante la variedad de opciones de producción de energía asociadas con una red eléctrica distribuida. Los módulos de control locales y los módulos de control regionales también pueden actuar independientemente para mantener el suministro y la demanda en equilibrio si se requiere una acción muy rápida para mantener el sistema en una condición de funcionamiento estable.

La presente invención presenta, además, la capacidad de responder automáticamente a cambios en una estructura de red, disponibilidad de recursos, niveles de generación de energía, o condiciones de carga sin requerir ninguna reprogramación. Según una forma de realización de la presente invención, el módulo de control de compañía, así como los módulos de control local y regional poseen conocimiento de componentes conocidos de la red eléctrica distribuida. Dado que los nuevos componentes de un tipo conocido están conectados a la red de distribución, por ejemplo, una turbina eólica adicional, las diversas capas de la presente invención la reconocen de manera inmediata como una turbina eólica que presenta características y capacidades particulares. Al conocer estas características y capacidades, la presente invención puede emitir órdenes de manera continua con respecto a la producción o la energía y su distribución. Tras emitir una orden los módulos de control local y regional pueden proporcionar a cada componente la información correcta de manera que se comprenderá por ese dispositivo y funcionará según lo previsto. La presente invención también presenta la capacidad de reconocer componentes que son extraños a la red distribuida. Tras acoplar un dispositivo no reconocido a la red de distribución, el módulo de control local inicia una encuesta para identificar las características, propiedades y capacidades de esos dispositivos. Esa información se añade al repositorio de información y, a continuación, se utiliza para facilitar la

comunicación con el dispositivo y el control del mismo. Este procedimiento puede ser manual o automático.

La presente invención permite, además, que el módulo de control de compañía exponga capacidades funcionales con respecto a otras aplicaciones para implementar diferentes tipos de servicios. Ejemplos incluyen una aplicación de gestión de carga de pico de alimentación que utiliza una función de importación/exportación proporcionada por el controlador para limitar la carga máxima experimentada por ese alimentador en la subestación, y una aplicación de fiabilidad que puede emitir una orden "isla" a un módulo de control regional para separarse de la red de distribución y funcionar de manera independiente utilizando recursos de generación local y control de carga. Al utilizar las capacidades funcionales expuestas por el módulo de control de compañía, muchas aplicaciones pueden utilizar capacidades de generación, consumo, y almacenamiento de recursos energéticos de la red sin comprometer su estabilidad ni sobrepasar límites de funcionamiento.

La presente invención proporciona un procedimiento y sistemas para permitir transacciones generales entre diferentes proveedores de servicios y abonados de servicios automáticamente (transacciones dinámicas entre consumidores de energía, proveedores de servicios, operadores de red, productores de energía, y otros actores del mercado), al tiempo que mantiene la estabilidad y fiabilidad de las operaciones de la red de distribución. El enfoque de múltiples capas de la presente invención proporciona una interfaz estable entre aplicaciones que funcionan en el extremo frontal del sistema y dispositivos que interactúan con el extremo trasero. Al hacerlo, tanto las aplicaciones como los dispositivos experimentan una experiencia "conecta y utiliza" que se activa para gestionar la red eléctrica distribuida. Un ejemplo sería la manera en que una aplicación de gestión de carga de pico encuentra y utiliza automáticamente generadores disponibles para garantizar que un límite de demanda no se ve excedido en un alimentador de distribución. Esto es análogo a una aplicación de procesamiento de palabras que encuentra automáticamente una impresora de red disponible cuando la necesita.

Las características y ventajas descritas en esta exposición y en la siguiente descripción detallada no son exhaustivas. Muchas características y ventajas adicionales serán evidentes para un experto habitual en la materia en vista de los dibujos, memoria descriptiva, y reivindicaciones en la presente memoria. Además, deberá observarse que el lenguaje utilizado en la memoria descriptiva se ha seleccionado principalmente con fines de lectura fácil e informativos y puede no haberse seleccionado para delinear o circunscribir el contenido inventivo; la referencia a las reivindicaciones es necesaria para determinar tal contenido inventivo.

Breve descripción de los dibujos

Las características y objetos mencionados anteriormente y otros de la presente invención y la manera de conseguirlos resultará más evidente, y la propia invención se comprenderá mejor, haciendo referencia a la siguiente descripción de una o más formas de realización tomadas en conjunto con los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra una red de distribución eléctrica tradicional tal como se conoce en la técnica anterior;

la figura 2 muestra un solapado de procedimiento de alto nivel de un sistema para controlar una red eléctrica distribuida según una forma de realización de la presente invención;

la figura 3A es un diagrama de bloques de alto nivel que muestra un flujo de procedimiento para implementar metodología de control distribuido en un sistema de energía simulado según una forma de realización de la presente invención;

la figura 3B es un diagrama de bloques de alto nivel que muestra un flujo de procedimiento para implementar la metodología de control distribuido sometida a prueba en la figura 3A utilizando un sistema de energía simulado en un sistema de energía real sin realizar ningún cambio en la metodología de control según una forma de realización de la presente invención;

la figura 4 es un diagrama de bloques funcional de alto nivel de un sistema de funcionamiento de red de recursos energéticos distribuidos (una forma de realización alternativa de los controles de redes de distribución inteligente presentada en la figura 3A y 3B) para la producción de energía, topología y gestión de recursos según una forma de realización de la presente invención, en la que nuevas aplicaciones utilizan las capacidades funcionales expuestas por un sistema de funcionamiento de red de recursos energéticos distribuidos para implementar unas capacidades de sistema más complejas tal como se describe en la presente memoria;

la figura 5 es un diagrama de bloques de alto nivel de una arquitectura de múltiples capas para controlar una red eléctrica distribuida según una forma de realización de la presente invención;

la figura 6 es un diagrama de flujo para las operaciones de módulo de control local según una forma de realización de la presente invención;

la figura 7 es un diagrama de flujo para las operaciones de módulo de control regional según una forma de realización de la presente invención;

la figura 8 es un diagrama de flujo para las operaciones de módulo de control de compañía según una forma de realización de la presente invención;

5 la figura 9 es un diagrama de flujo de una forma de realización del procedimiento para controlar la distribución y producción de energía en una red eléctrica distribuida según la presente invención. En esta forma de realización la reducción de demanda se capta como una generación negativa.

10 Las figuras representan formas de realización de la presente invención solo con fines de ilustración. Un experto en la materia reconocerá fácilmente a partir de la siguiente discusión que las formas de realización alternativas de las estructuras y procedimientos ilustrados en la presente memoria pueden emplearse sin alejarse de los principios de la invención descritos en la presente memoria.

Glosario de términos

15 Por motivos de conveniencia en la descripción de la invención en la presente memoria, se proporciona el siguiente glosario de términos. Debido a la naturaleza introductoria y de síntesis de este glosario, estos términos también deben interpretarse de manera más precisa por el contexto de la descripción detallada en la que también se comentan.

20 La computación en la nube es un paradigma de computación en el que se proporcionan recursos dinámicamente escalables y, a menudo, virtuales como servicio en Internet. Los usuarios no necesitan presentar conocimiento de, ser expertos en, o controlar la infraestructura de tecnología en la "nube" que los soporta. El término nube se utiliza como una metáfora de Internet, basándose en la manera en que se representa Internet en diagramas de red informáticos, y es una abstracción para la compleja infraestructura que esconde.

25 HTTP (protocolo de transferencia de hipertexto) es un protocolo de comunicaciones para la transferencia de información en Internet o una red de área extendida similar. HTTP es un estándar de solicitud/respuesta entre un cliente y un servidor. Un cliente es el usuario final, el servidor es el sitio web. El cliente que realiza una solicitud HTTP, utilizando un explorador de web, araña, u otra herramienta de usuario final, se denomina agente de usuario. El servidor de respuesta, que almacena o crea recursos tales como archivos e imágenes HTML, se denomina servidor de origen. Entre el agente de usuario y el servidor de origen pueden existir diversos intermediarios, tales como *proxies*, pasarelas, y túneles. HTTP no se limita a utilizar TCP/IP (definido a continuación) y sus capas de soporte, aunque es su aplicación más popular en Internet.

35 Un servidor web es un ordenador que aloja un programa informático que es el responsable de aceptar las solicitudes de HTTP a partir de clientes de web, que se conocen como exploradores de web, y para ofrecerles respuestas de HTTP junto con contenido de datos opcionales, que habitualmente son páginas web tales como documentos HTML y objetos enlazados (imágenes, etc.).

40 El protocolo de Internet (IP) es un protocolo utilizado para comunicar datos a través de una interred de conmutación de paquetes utilizando una serie de protocolos de Internet, también denominada TCP/IP. La serie de protocolos de Internet es el conjunto de protocolos de comunicación utilizados para Internet y otras redes similares. Recibe su nombre a partir de dos de los protocolos más importantes del mismo, el protocolo de control de transmisión (TCP) y el protocolo de Internet (IP), que fueron los dos primeros protocolos de diseño de redes definidos en este estándar. El diseño de redes de IP de hoy en día representa una síntesis de diversos desarrollos que comenzaron a evolucionar en los años 60 y 70, concretamente Internet y LAN (redes de área local), que surgieron entre mediados y finales de los 80, junto con la llegada de la *World Wide Web* al principio de los 90. La serie de protocolos de Internet, como muchas series de protocolos, puede considerarse un conjunto de capas. Cada capa resuelve un conjunto de problemas que implican la transmisión de datos, y proporciona un servicio bien definido a los protocolos de capa superior basándose en la utilización de servicios procedentes de algunas capas inferiores. Las capas superiores son más próximas lógicamente al usuario y se enfrentan a datos más abstractos, basándose en protocolos de capa inferior para trasladar datos para dar formas que, en última instancia, se transmitirán físicamente. El modelo de TCP/IP consiste en cuatro capas (RFC 1122). De la más baja a la más alta, estas son la capa de enlace, la capa de Internet, la capa de transporte, y la capa de aplicación.

55 Una red de área extendida (WAN) es una red informática que cubre un área amplia (es decir, cualquier red cuyos enlaces de comunicaciones atraviesen límites metropolitano, regional, o nacional). Esto contrasta con redes de área personal (PAN), redes de área local, redes de área de campus (CAN), o redes de área metropolitana (MAN) que se limitan, habitualmente, a una sala, edificio, campus o área metropolitana específica (por ejemplo, una ciudad) respectivamente. Las WAN se utilizan para conectar redes de área local y otros tipos de redes en conjunto, de modo que los usuarios y los ordenadores en una ubicación puedan comunicarse con usuarios y ordenadores en otras ubicaciones. Muchas WAN se construyen para una organización particular y son privadas. Otras, construidas por proveedores de servicios de Internet, proporcionan conexiones de redes de área local de una organización a Internet.

Una red de área local (LAN) es una red informática que cubre un área física pequeña, como una casa, oficina, o un pequeño grupo de edificios, tales como un colegio o un aeropuerto. Las características que definen las LAN, al contrario que las WAN, incluyen unas velocidades de transferencia de datos habitualmente más elevadas, un área geográfica más pequeña, y ausencia de necesidad de líneas de telecomunicaciones contratadas.

Internet es un sistema global de redes informáticas interconectadas que utilizan las series de protocolos de Internet estandarizados, funcionando para miles de millones de usuarios a nivel internacional. Es una red de redes que consiste en millones de redes privadas, públicas, académicas, de negocios, y gubernamentales de alcance de local a global que están unidas mediante cables de cobre, cables de fibra óptica, conexiones inalámbricas, y otras tecnologías. Internet transporta un vasto conjunto de recursos y servicios de información, más concretamente, los documentos de hipertexto interenlazados de la *World Wide Web* y la infraestructura para soportar correo electrónico. Además, soporta servicios populares tales como *chats* en línea, transferencia de archivos y utilización compartida de archivos, juegos, comercio, diseño de redes sociales, publicidad, video bajo demanda, teleconferencias y telecomunicaciones.

SCADA, o control de supervisión y de adquisición de datos se refiere a un sistema de control industrial, sistema de control de red de distribución eléctrica o sistema informático utilizado junto con la monitorización y control de un procedimiento. En términos generales, un sistema SCADA se refiere, habitualmente, a un sistema que coordina la monitorización de sitios o complejos de sistemas que se dispersan en grandes zonas. La mayor parte de las acciones de control se realizan automáticamente mediante unidades de terminal remoto (RTU) o mediante Controladores Lógicos Programables (PLC). Con fines de la presente invención, SCADA es uno de los muchos medios mediante los que la presente invención obtiene información de demanda de consumidor de energía así como datos relacionados con respecto a la red eléctrica distribuida.

Recursos energéticos distribuidos (DER) son activos, equipos, o sistemas que pueden producir energía, almacenar/liberar energía, gestionar el consumo, y proporcionar medidas y control distribuidos en la totalidad de la red de distribución eléctrica. Cada uno de los recursos varía según tipo y capacidad.

OPC ((vinculación e incrustación de objetos) para control de procedimiento) es un estándar de interfaz de software que permite que los programas de Windows se comuniquen con dispositivos de hardware industriales. La OPC se implementa en pares servidor/cliente. El servidor de OPC es un programa de software que convierte el protocolo de comunicación de hardware utilizado por un controlador lógico programable (PLC) (un ordenador industrial pequeño que controla uno o más dispositivos de hardware) para dar un protocolo de OPC. El software de cliente de OPC es cualquier programa que necesita conectarse al hardware. El cliente de OPC utiliza el servidor de OPC para obtener datos del hardware o para enviar órdenes a este. Muchos estándares de interfaz y protocolos están disponibles para intercambiar información entre aplicaciones o sistemas que la presente invención utiliza para comunicarse con diversos DER, aplicaciones, y sistemas.

Una red de distribución inteligente suministra electricidad de proveedores a consumidores utilizando tecnología digital para controlar la producción, consumo, almacenamiento y liberación de energía, la demanda de gestión de electrodomésticos en los hogares de los consumidores y/o ahorrar energía, reducir costes y aumentar la fiabilidad y transparencia. La diferencia entre una red de distribución inteligente y una red de distribución convencional es que se utilizan las comunicaciones profundas y el control inteligente para optimizar las operaciones de la red de distribución, aumentar las elecciones de servicio, y permitir la participación activa de múltiples proveedores de servicios (incluyendo consumidores de energía) en una web compleja de transacciones de servicios y de energía dinámica.

Descripción de la invención

A continuación, se describen formas de realización de la presente invención en detalle con referencia a las figuras adjuntas. Aunque se ha descrito e ilustrado la invención con un determinado grado de particularidad, se comprende que la presente exposición se ha realizado solo a modo de ejemplo y que numerosos cambios en la combinación y la disposición de partes resulta evidente para los expertos en la materia sin alejarse del espíritu y el alcance de la invención.

Las formas de realización de la presente invención permiten la gestión y control de una pluralidad de DER y elementos de red conectados a una red eléctrica distribuida. A diferencia de las redes de distribución eléctrica tradicionales, una red de distribución eléctrica inteligente permite la generación, almacenamiento, y gestión de carga de energía dentro de redes de distribución a nivel local o regional. Para facilitar la generación, almacenamiento, gestión de carga y distribución de energía, la presente invención integra un sistema de control de múltiples capas que actúa para comunicarse con una pluralidad de aplicaciones diversas ofreciendo una variedad de servicios a una pluralidad de diversos elementos de control y producción de energía. Incluidos en la siguiente descripción se encuentran diagramas de flujo que representan ejemplos de la metodología que pueden utilizarse para controlar y gestionar una red de distribución y de transmisión de energía utilizando las capacidades de DER y los sistemas instalados dentro de la misma. En la siguiente descripción, se comprenderá que cada bloque de las ilustraciones del diagrama de flujo, y las combinaciones de bloques en las ilustraciones del diagrama

de flujo, pueden implementarse mediante instrucciones de programa informático. Estas instrucciones de programa informático pueden cargarse en un ordenador u otro aparato programable para reducir una máquina de manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable crean medios para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques de diagrama de flujo. Estas instrucciones de programa informático también pueden almacenarse en una memoria legible por ordenador que puede gestionar un ordenador u otro aparato programable para funcionar de una forma particular de manera que las instrucciones almacenadas en la memoria legible por ordenador producen un artículo de fabricación, incluyendo medios de instrucción que implementan la función especificada en el bloque o bloques de diagrama de flujo. Las instrucciones de programa informático también pueden cargarse en un ordenador u otro aparato programable para provocar una serie de etapas de funcionamiento que van a realizarse en el ordenador o en el otro aparato programable para producir un procedimiento implementado por ordenador de manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable proporcionan etapas para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques de diagrama de flujo.

Por consiguiente, los bloques de las ilustraciones de diagrama de flujo soportan combinaciones de medios para realizar las funciones y combinaciones específicas de etapas para realizar las funciones específicas. También se comprenderá que cada bloque de las ilustraciones de diagrama de flujo, y las combinaciones de bloques en las ilustraciones de diagrama de flujo, pueden implementarse mediante sistemas informáticos basados en hardware con fines específicos que realizan las funciones o etapas específicas, o combinaciones de hardware con fin específico e instrucciones informáticas.

Actualmente, los sistemas de red de distribución eléctrica presentan diferentes grados de comunicación dentro de sistemas de control para sus recursos de gran valor, tal como en plantas de generación, líneas de transmisión, subestaciones y usuarios de energía principales. En general, la información fluye en una dirección, desde los usuarios y las cargas controlan de vuelta a las compañías de electricidad. Las compañías de electricidad intentan satisfacer la demanda con generadores que siguen automáticamente la carga y a continuación distribuyendo la generación de reserva. Tienen éxito o fallan en diferentes grados (operaciones normales, caída de tensión, apagón programado, apagón incontrolado). La cantidad total de demanda de energía por los usuarios puede presentar una distribución de probabilidad muy elevada, lo que requiere que las plantas de generación dispersas funcionen en modo de espera, preparadas para responder a la utilización de energía que cambia rápidamente. Este enfoque de gestión de red de distribución es costoso; según una estimación el último 10% de la capacidad de generación puede requerir tan solo el 1% del tiempo, y las caídas de tensión y los fallos de suministro pueden ser costosos para los consumidores.

Las líneas de energía existentes en la red de distribución se construyeron originariamente utilizando un modelo radial, y se garantizó la conectividad posterior por medio de múltiples rutas, denominadas estructura de red integrada. Si el flujo de corriente o efectos relacionados a través de la red superan los límites de cualquier elemento de red particular, podría fallar, y la corriente se desviaría a otros elementos de red, que, en última instancia, también podrían fallar, provocando un efecto dominó. Una técnica para impedir esto es la desconexión de carga mediante un apagón programado o una reducción de tensión (caída de tensión).

La generación distribuida permite que los consumidores individuales generen energía en el sitio, utilizando cualquier procedimiento de generación que consideren apropiado. Esto permite que los individuos adapten su generación directamente a su carga, haciendo que sean independientes de los fallos de energía de red de distribución. Sin embargo, si una subred local genera más energía de la que consume, el flujo inverso puede aumentar los problemas de seguridad y fiabilidad que dan como resultado un fallo en serie de la red de distribución eléctrica. La generación distribuida puede añadirse en cualquier lugar en la red de distribución eléctrica, pero tales recursos energéticos adicionales deben coordinarse de manera apropiada para mitigar impactos negativos al sistema de energía. Formas de realización de la presente invención solventan esta necesidad de controlar de manera segura y fiable la producción, distribución, almacenamiento, y consumo de energía en una red eléctrica distribuida.

Según una forma de realización de la presente invención un sistema de control de múltiples capas se superpone e integra en la red de distribución eléctrica existente. Al utilizar datos recogidos junto con unos sistemas SCADA existentes, un módulo de control de compañía controla la demanda, control, gestión y distribución de energía global. Este módulo de control de compañía interacciona con módulos de control regionales, que sirven para gestionar la producción y distribución de energía a nivel local o regional. Cada módulo de control regional está en contacto con múltiples DER dentro de su área de responsabilidad para gestionar de manera dinámica la producción y consumo de energía manteniendo el sistema dentro de sus límites de fiabilidad y seguridad predefinidos. Estas tres capas, el módulo de control de compañía, el módulo de control regional y el módulo de control local, forman un sistema de funcionamiento de red de recursos energéticos distribuidos que actúa como un entorno estable al que cualquiera de una pluralidad de productores de energía proporciona energía y desde el que cualquiera de una pluralidad de consumidores de energía puede obtener energía. El sistema de la presente invención permite que los componentes individuales de la red de distribución eléctrica, consumidores y productores de energía, cambien dinámicamente sin afectar de manera perjudicial la estabilidad y fiabilidad de la red eléctrica distribuida.

La figura 2 muestra una superposición de alto nivel de un sistema de comunicación para controlar una red eléctrica distribuida según una forma de realización de la presente invención. Las instalaciones de generación de energía 110 tradicionales se acoplan a subestaciones 125 tales como parques eólicos 220 y conjuntos solares 210. Aunque la figura 2 muestra tres formas de generación de energía, un experto en la materia reconocerá que la presente invención puede aplicarse a cualquier forma de generación de energía o fuente de energía. De hecho, la presente invención también puede gestionar energía añadida a la red eléctrica distribuida desde baterías tal como puede encontrarse en vehículos eléctricos siempre y cuando la energía sea compatible con el formato de la red de distribución.

Asociado con cada subestación 125 se encuentra un módulo de control regional 225. El módulo de control regional gestiona la producción, distribución, y consumo de energía utilizando DER disponible dentro de su región. También asociadas con cada región se encuentran cargas industriales 260 que representarían grandes compañías y cargas residenciales 250. Según la presente invención, cada módulo de control regional que utiliza una o más aplicaciones puede hacerse funcionar para gestionar de manera autónoma la distribución y producción de energía dentro de su región. El funcionamiento autónomo también puede producirse en modo isla en el que la frecuencia y tensión de la gestión de red de distribución se realizan a una velocidad lo suficientemente elevada como para lograr unas operaciones seguras de la red de distribución. La presente invención gestiona dinámicamente diversos modos de funcionamiento de los DER y la red de distribución para llevar a cabo estas funciones además de para gestionar los flujos de energía.

Cada entidad de producción de energía 210, tal como las plantas de generación de energía 110 tradicionales y las fuentes de energía alternativas o renovables 220, interactúa con la red de distribución regional por medio de un módulo de control local 215. El módulo de control local 215 tipifica respuestas de orden de control con cada uno de la pluralidad de productores de energía. Al ofrecer al módulo de control regional 225 una respuesta tipo desde cada una de la pluralidad de entidades de producción de energía, el módulo de control regional puede gestionar de manera activa la red de distribución eléctrica de manera escalable. Esto significa que el controlador puede alterar dinámicamente sus acciones dependiendo de los DER que se encuentran disponibles en cualquier momento. El controlador distribuido compensa dinámica y automáticamente los recursos que pueden añadirse, ponerse fuera de servicio, fallar, o perder conectividad. Esta capacidad proporciona a la invención actual una naturaleza altamente escalable que minimiza la necesidad de cambiar manualmente el sistema cada vez que se produce un cambio en la estructura de red o disponibilidad de DER. Esta es una característica única y distintiva de esta invención.

Para comprender mejor la versatilidad y escalabilidad de la presente invención, debe tenerse en consideración el siguiente ejemplo. La figura 2 muestra una red de distribución eléctrica principal 205 (mostrada en líneas discontinuas) superpuesta con una red de gestión de distribución de energía 200. Tal como se representa en la figura 2, se considera un módulo de control regional 225 que gestiona de manera activa la producción, consumo y distribución de energía dentro de su área de responsabilidad. Para ello, el módulo de control regional 225 interactúa con el módulo de control de compañía 275 que, a su vez, proporciona al módulo de control regional 225 acceso a los controles de red de distribución inteligente 285, datos 280 y otras aplicaciones de gestión que están asociadas con el módulo de control de compañía 275. En este ejemplo, se considera que el área de responsabilidad incluye una central de generación de energía distribuida 110 y una instalación de energía eléctrica de parque eólico 220. Más allá de interactuar con estas instalaciones de producción de energía, el módulo de control regional 225 también está al tanto del consumo y demanda de energía mediante cargas residenciales 250 y cargas comerciales 260. Se asume que no existe viento y, por tanto, la instalación de producción eólica 220 está inactiva. Por consiguiente, el módulo de control regional gestiona la distribución de energía generada mediante la planta de energía 110 y la energía extraída de la red de distribución principal 205 a los diversos consumidores de energía 250, 260.

Se asume adicionalmente que una brisa comienza a soplar de manera suficiente para alimentar las turbinas eólicas. Una a una la pluralidad de turbinas eólicas se activan y producen energía. A medida que cada turbina eólica comienza a producir energía se identifica en el módulo de control regional 225 y, de hecho, todo el sistema de funcionamiento de red de recursos energéticos distribuidos tal como una turbina eólica que presenta características y propiedades particulares. Al conocer estas características y propiedades, el módulo de control regional puede establecer la comunicación y el control de la turbina. Dado que la(s) turbinas(s) eólicas(s) puede(n) proporcionar energía adicional, el módulo de control regional puede disminuir las solicitudes de producción a la planta de energía 110 basándose en su análisis de ambas cargas residencial 250 y comercial 260 y ajustar la energía extraída de la red de distribución principal 205 para mantener el sistema dentro de límites de funcionamiento o límites contractuales basados en el mercado.

Al hacerlo, el módulo de control regional 225 puede modificar el esquema de distribución (topología de red) dentro de su región para optimizar la producción y distribución de energía. Por último, se asume que una de las turbinas eólicas en el parque eólico 220 es de un tipo que se desconoce por el módulo de control regional. Cuando se produce energía, sus características, propiedades, y otros datos pertinentes con respecto a la producción de energía, no se conocen por el módulo de control regional. Según una forma de realización de la presente invención, los módulos de control regional 225 y local 215 envían una pluralidad de solicitudes a las nuevas turbinas eólicas

para verificar datos pertinentes a la integración de las turbinas eólicas en la red eléctrica distribuida. Estos datos también pueden obtenerse a través de entrada manual mediante operarios. Una vez obtenida, esta información se comparte con el módulo de control de compañía 275, que almacena los datos en un repositorio accesible por todos los módulos de control regionales.

La generación de energía en una planta de energía tradicional se produce generando vapor que hace girar una o más turbinas accionadas por vapor, lo que a continuación acciona un generador eléctrico. A medida que la demanda aumenta en la región, existe una cantidad de tiempo finito desde la que se realiza la demanda y puede producirse la nueva cantidad de energía. Esta clase de respuesta es diferente para cada tipo de generación de energía. Por ejemplo, desde el momento en que se realiza una demanda de aumento hasta el que está disponible la energía generada por una turbina de gas, pueden transcurrir dos minutos. Esto significa que el tiempo entre el momento en que la interfaz de control emite una orden a la turbina de gas para comenzar a producir energía y el momento en que la energía se realiza, en realidad, en la subestación puede ser tanto como cinco minutos o algún otro periodo de tiempo. Alternativamente, una turbina alimentada con vapor debe poder aumentar su emisión en 30 segundos, un motor alternativo de gas natural giratorio debe poder aumentar su emisión en segundos y un volante debe poder aportar energía instantáneamente. La capacidad de respuesta a entradas de control de cada sistema de producción de energía es diferente. Algoritmos de control en las diferentes capas de la presente invención gestionan estas diferencias de modo que la producción de energía cumple dinámicamente con la demanda de energía en todo momento. Otra forma de realización de la presente invención tipifica respuestas a entradas de control con respecto a la generación de energía. El conocimiento de las características de respuesta de DER permite que el controlador emita de manera fiable señales adecuadas para producir los resultados deseados. Al hacerlo, cada DER resulta el equivalente de un dispositivo de producción de energía "conecta y utiliza". Aunque cada DER es único, su interfaz se tipifica en el sistema de gestión de control de la presente invención realizando el control y gestión de una pluralidad de varios posibles DER. La información relacionada con las características de rendimiento, límites de funcionamiento, y otras limitaciones de los DER y la red de distribución se utilizan por las diversas capas de control para llevar a cabo acciones locales o regionales sin necesidad de una decisión central que haga las veces de autoridad tal como en redes de sistemas de distribución de control basados en SCADA convencionales. Este enfoque único permite que la presente invención sea altamente escalable, respondiendo de manera rápida a condiciones cambiantes e incorporando una diversidad de recursos de generación, almacenamiento, y gestión de carga dispersos geográficamente dentro del sistema de energía eléctrica.

Como sucede con la comunicación entre el módulo de control regional 225 y el módulo de control de compañía 275, cada módulo de control local 215 proporciona datos al módulo de control regional 225 relacionados con características de DER. Estas características pueden incluir salida máxima, salida mínima, tiempo de respuesta, y otras características tal como resulta evidente para un experto en la materia. Al comprender estas características, el módulo de control regional 225 y el módulo de control de compañía 275 pueden gestionar la producción y distribución de energía sin correr riesgos en cuanto a la fiabilidad y seguridad de la red de distribución.

Se tiene en consideración otro ejemplo en el que un módulo de control regional 225 reconoce un aumento en demanda de energía. A través de los módulos de control locales 215 asociados en la región, el módulo de control regional 225 puede dirigir uno o más productores de energía adicionales para que cumplan con esta cantidad aumentada. Al comprender la respuesta de control de cada uno de los productores de energía, el módulo de control regional puede emitir órdenes en el momento adecuado y en la secuencia adecuada para satisfacer las necesidades dinámicas de la región.

El módulo de control regional 225 está al tanto, adicionalmente, de la capacidad de producción de electricidad en la región y las limitaciones de la red de distribución. El módulo de control regional 225 comprende la topología con respecto a los productores de energía y consumidores de energía y su propia capacidad para distribuir la energía. Cada módulo de control regional 225 se acopla de manera comunicativa con un módulo de control de compañía 275 por medio de, en una forma de realización de la presente invención, una red de área extendida 230. Tal como apreciará un experto en la materia, una red de área extendida puede ser Internet u otros medios para comunicar datos entre ubicaciones remotas. En otras formas de realización de la presente invención, los datos pueden intercambiarse entre el módulo de control de compañía 275 y los módulos de control regionales 225 por medio de una red de área local o Intranet.

Según una forma de realización de la presente invención, el módulo de control de compañía 275 incluye la pluralidad de aplicaciones para ayudar a la gestión de una red eléctrica distribuida. Estas aplicaciones pueden incluir, entre otras, visualización de datos 280, controles de red de distribución inteligente 285 y simulación de entorno 290. Los controles de red de distribución inteligente 285 incluyen capacidades tales como control de flujo de energía activo y reactivo, control de tensión y control de voltamperios reactivos (VAR) en alimentadores o puntos de interconexión de red de distribución, gestión intermitente utilizando diversos recursos para contrarrestar la variabilidad de generación de energía a partir de fuentes de generación renovables tales como turbinas eólicas y paneles solares, y envío óptimo de generación, almacenamiento, o cargas controlables para satisfacer criterios de funcionamiento, coste, o emisiones.

El módulo de control de compañía 275 puede hacerse funcionar para gestionar la interacción de varios módulos de control regionales 225 y los productores de energía bajo su control. Tal como se describió anteriormente, cada módulo de control regional 225 que utiliza aplicaciones aplicables puede gestionar dinámicamente los consumidores de energía y productores de energía bajo su control. A medida que la demanda (energía activa o energía reactiva) en una determinada región gestionada por un módulo de control regional 225 aumenta o disminuye, una o más aplicaciones de gestión DER pueden actuar para compensar la producción de energía en una región particular. La presencia de un módulo de control de compañía 275 y módulos de control regionales 225 que abarcan mucho permite este tipo de control dinámico y estable. Sin embargo, se reconoce por la presente invención que la demanda de consumidor de energía en una región puede superar la capacidad de los productores de energía de esa región. Una característica de la presente invención es que el módulo de control de compañía 275 que utiliza una aplicación DER presenta como tarea gestionar y controlar solicitudes de energía adicional, así como la disponibilidad de capacidad de producción de energía en exceso. En esencia, el módulo de control de compañía proporciona coordinación a nivel sistema, el módulo de control regional proporciona coordinación regional, y el módulo de control local proporciona un control rápido de recursos, permitiendo de ese modo el control uniforme de un gran número de recursos a diferentes escalas de tiempo y diferente alcance geográfico para cumplir objetivos de sistema específicos.

La unidad de visualización de datos 280 puede hacerse funcionar para proporcionar a un usuario o aplicación de DER aplicación el estado actual de demanda de electricidad y capacidad de producción de energía en la totalidad de la red eléctrica distribuida. En cualquier punto en el tiempo, un usuario puede visualizar la capacidad de los productores de energía para proporcionar energía adicional, o la carga particular experimentada en una región. Además, el módulo de visualización de datos 280 puede indicar a un usuario la disponibilidad de una trayectoria mediante la que distribuir energía. Antes de emitir una orden al módulo de control regional 225 para aumentar la producción de electricidad, el módulo de control de compañía 275 puede simular los efectos de una orden propuesta para someter a prueba la estabilidad de la red de distribución bajo el cambio propuesto.

El modelo de simulación 290, que utiliza datos en tiempo real a partir de módulos de control regionales 225 existentes y sus instalaciones DER, puede iniciar una serie de órdenes simuladas para cumplir cargas proyectadas. Al conocer la topología de la red de distribución y las propiedades eléctricas de los elementos en la parte afectada del área de control, el modelo de simulación 290 puede validar si una orden propuesta cumplirá la carga aumentada en límites predefinidos tales como limitaciones de seguridad y regulatorias. Una vez se ha validado una orden propuesta utilizando el módulo de simulación 290, las mismas órdenes pueden pasar al módulo de control de red de distribución inteligente 285 para su ejecución. Esta puede ser una acción automática o puede mediar por un operario humano. Este modelo de simulación tiene en cuenta el comportamiento y los efectos del sistema de control de red eléctrica distribuida de múltiples capas de la presente invención desplegado dentro del sistema. La capacidad de que la simulación tenga en cuenta el comportamiento del sistema de control de red eléctrica distribuida de múltiples capas es una característica distintiva de esta invención.

Las figuras 3A y 3B son diagramas de bloques de alto nivel que muestran un flujo de procedimiento para implementar una metodología de control simulada (figura 3A) y real (figura 3B) en un sistema de energía según una forma de realización de la presente invención. En una forma de realización de la presente invención, el módulo de visualización de datos 280 incluye una interfaz de usuario 315, un módulo de gestión y de adquisición de datos 310 y un módulo de análisis y de datos históricos 305. Estos módulos trabajan uno junto a otro para recoger y analizar datos procedentes de la red de distribución eléctrica por medio de módulos de control regionales 225 para presentarse a un usuario por medio de la información de interfaz de usuario 315 con respecto a la red eléctrica distribuida, incluyendo su estado con respecto a la producción de energía y al consumo de energía.

Al utilizar esta información, puede emitirse un conjunto de órdenes utilizando el módulo de control de red de distribución inteligente 285 para gestionar la producción y distribución de energía dentro de la red eléctrica distribuida. Dentro del módulo de control de red de distribución inteligente 285 existe un motor de simulación de sistema de energía integrado 320, un motor de control en tiempo real 325 y una interfaz de control inteligente, en tiempo real 335. Tal como se conoce en la figura 3, el módulo de control de red de distribución inteligente 285 interacciona con un sistema de energía simulado 340 como parte del modelo de simulación de entorno 290. Tal como apreciará un experto en la técnica relevante, el módulo de simulación 290 puede incluir una variedad de modelos con respecto a la red eléctrica distribuida. Tal como se conoce en este ejemplo, el módulo de simulación de entorno 290 incluye un sistema de energía simulado 340. Sin embargo, el módulo de simulación de entorno 290 también puede incluir modelos con respecto a la topología de red de distribución, características de DER, modelos de carga, y otras características que son críticas para la gestión precisa y dinámica de la red eléctrica distribuida.

Cada uno de estos módulos (el módulo de control de red de distribución inteligente 285, la interfaz de control inteligente en tiempo real, el sistema de energía simulado 340, el módulo de simulación 290, el motor de simulación de sistema de energía integrado 320 y el motor de control en tiempo real 325) se integra con el sistema de control de red eléctrica distribuida de múltiples capas de la presente invención de modo que se gestione y controle la red de distribución eléctrica.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 3, un usuario (o una aplicación que se ejecuta en el módulo de control de

compañía cuando funciona en un modo automático), al reconocer un aumento de demanda a partir de los datos suministrados por los módulos de control regionales en la totalidad de la red de distribución, puede iniciar una serie de órdenes a través del módulo de control de red de distribución inteligente 285 que utiliza el motor de simulación de sistema de energía integrado 320 y el sistema de energía simulado 340. En el entorno simulado, controles en tiempo real y órdenes de interfaz inteligente se desarrollan y se someten a prueba. Una vez desarrolladas, las órdenes se ejecutan en un entorno simulado para verificar si la solución propuesta superará o satisfará límites predeterminados que incluyen limitaciones de seguridad y regulatorias impuestas en la red eléctrica distribuida. En esencia, el sistema de control de red eléctrica distribuida de múltiples capas de la presente invención proporciona datos reales en tiempo real con respecto a la topología de red de distribución actual y a los productores de energía, así como datos en tiempo real relacionados con consumo de energía a un motor de simulación que entonces lleva a cabo una o más simulaciones de soluciones propuestas para satisfacer el aumento de las demandas de electricidad.

Una vez se ha validado una serie de simulaciones mediante el módulo de simulación de entorno 290, puede aplicarse la estrategia de control de red de distribución al sistema de energía 350 real sin temer que la alteración en la red de distribución afectará de manera adversa a la estabilidad de la red de distribución. Esto se logra instalando el sistema de control de red eléctrica distribuida de múltiples capas 285, y el módulo de visualización y de gestión de datos 280, en el campo y conectándolos a la red de distribución física 205 y a los dispositivos 350, en lugar de la red de distribución simulada y recursos 290. Durante la aplicación de las órdenes reales al sistema de energía 350 real, se adquieren datos de nuevo a través del módulo de gestión y de adquisición de datos 310 para verificar que las órdenes emitidas están produciendo los resultados deseados. La capacidad del sistema para evaluar el comportamiento del sistema de control de red eléctrica distribuida de múltiples capas 285 en simulación y entonces para desplegarlo directamente en el campo (con modificaciones muy mínimas tales como dirección del dispositivo) es una de las características distintivas de la presente invención.

Las aplicaciones de gestión que operan en la capa 275 de compañía pueden iniciar órdenes hacia uno o más de los módulos de control regionales 225 para aumentar la producción de energía y transferir energía entre la variedad de regiones dentro de la red eléctrica distribuida. Por ejemplo, teniendo en consideración una región gestionada y controlada por un módulo de control regional 225 que está experimentando un aumento de demanda de energía o carga. Este aumento de demanda puede ser el resultado de un día de temperatura inusualmente elevada que da como resultado un aumento de utilización de aire acondicionado o el aumento puede esperarse durante las horas de trabajo debido a la alta concentración de la industria ubicada en la región. El módulo de control regional 225 junto con y en comunicación con el módulo de control de compañía 275 pueden predecir y reconocer este aumento de carga utilizando gestión de carga de pico, respuesta de demanda, u otras aplicaciones de gestión de DER. El módulo de control regional 225 puede reconocer, además, que los productores de energía en la región son incapaces de producir suficiente energía para satisfacer la demanda o que su capacidad para reducir tal energía superaría los límites de seguridad y regulatorios.

Tras reconocer que puede ocurrir una situación de este tipo, el módulo de control regional 225 emite una solicitud de energía adicional a través del módulo de control de compañía 275. Las aplicaciones asociadas con el módulo de control de compañía 275 emiten consultas a los módulos de control regionales 225 restantes relacionadas con su capacidad para producir energía en exceso. Otros módulos de control regionales 225 pueden responder a la consulta indicando que posee la capacidad para aumentar la producción de energía en respuesta a la solicitud de energía por otra región.

Comprendiendo que una región posee una capacidad de energía en exceso y otra necesita energía adicional, así como el conocimiento de la topología de la red eléctrica distribuida, las aplicaciones asociadas con el módulo de control de compañía 275 pueden ejecutar una serie de controles simulados para aumentar la producción de energía de una primera región y transferir la energía en exceso a una segunda región. Una vez se han validado las órdenes, las órdenes se emiten mediante el módulo de control de red de distribución inteligente 285 a ambos de los módulos de control regionales 225 afectados; es decir, la región que presenta una capacidad de energía en exceso y el módulo de control regional 225 de la región que solicita la energía. Además, una aplicación de distribución puede configurar conmutaciones en la totalidad de la red eléctrica distribuida para transferir energía desde la primera región hasta la segunda región.

La solicitud de energía procedente de una región y la respuesta con energía en exceso procedente de otra, tal como se gestiona por una o más aplicaciones conectadas con el módulo de control de compañía 275, es un procedimiento dinámico. Un experto en la técnica relevante reconocerá que el consumo de electricidad en una región particular varía dinámicamente, así como la capacidad de cualquier región para producir energía. Aunque los datos históricos pueden proporcionar un conocimiento relacionado con cargas típicas experimentadas por una o más regiones, así como la capacidad de otra región para reducir energía en exceso, la producción y transferencia de energía debe controlarse dinámicamente y en tiempo real. Dentro del sistema de control de red eléctrica distribuida de múltiples capas de la presente invención, se llevan a cabo diferentes funciones de gestión de energía por las diferentes capas. La capacidad de "previsión" para tomar decisiones sobre qué acciones tomar utilizando simulaciones existen en cada nivel. Esto es una característica del controlador distribuido, no todas las decisiones deben realizarse a nivel de compañía. Esto también es cierto para las simulaciones, muchas simulaciones se llevan

a cabo a nivel de controlador regional, mientras que las simulaciones a nivel sistema pueden llevarse a cabo a nivel de compañía. En esencia, las simulaciones necesarias para el control a tiempo real se llevan a cabo automáticamente en la capa de control adecuada, las simulaciones para dotar a los operadores de las opciones con las que pueden contar en diversas situaciones de funcionamiento se lleva a cabo a nivel de compañía.

La figura 4 es un diagrama de bloques funcional de alto nivel de un sistema de funcionamiento de red de recursos energéticos distribuidos para la producción de energía, topología y gestión de recursos según otra forma de realización de la presente invención. Un sistema de funcionamiento de red de recursos energéticos distribuidos (DER-NOS) 410 se interpone entre una pluralidad de aplicaciones de gestión y una variedad de recursos de producción de energía. Según una forma de realización de la presente invención, el DER - NOS interactúa con una variedad de recursos de producción de energía que utilizan una pasarela o interfaz (módulo de control local) 445. La pasarela 445 es una interfaz que emite órdenes en un orden correcto en secuencia y formato para que ese dispositivo particular garantice que cada dispositivo funciona de la misma manera de fabricante a fabricante. Esta pasarela 445 también ejecuta la capa más inferior del sistema de control de red eléctrica distribuida de múltiples capas. En este ejemplo, el DER - NOS interacciona de manera consistente con un DER tal como células 440 fotovoltaicas, plantas de generación de energía 430 convencionales, capacidades de generación de combustible mezclado 420, recursos de generación renovables 415 y similares. También puede gestionar recursos adicionales tales como dispositivos de almacenamiento o sistemas de gestión de carga. El DER - NOS presenta la capacidad para gestionar y controlar una variedad de recursos de producción, almacenamiento, y consumo de energía utilizando una variedad de herramientas de aplicación.

Según una forma de realización de la presente invención, los recursos energéticos distribuidos pueden gestionarse y controlarse utilizando módulos de aplicación que incluyen, entre otros, gestión de carga de picos 465, aplicaciones de generación distribuidas 460, aplicaciones de respuesta de demanda 455, y otras aplicaciones de monitorización de DER - NOS 450. Cada una de estas herramientas de gestión y control interactúan con una estación de trabajo de ingeniería para ayudar a un usuario a desplegar el sistema y a comprender y gestionar los recursos energéticos distribuidos en la totalidad de la red eléctrica distribuida. Esta gestión y control se logra por medio del DER - NOS. Un experto en la técnica relevante reconocerá que la estación 475 de trabajo de ingeniería interacciona, en una forma de realización, con un modelo de visualización de datos 280 tal como se describe con respecto a la figura 2. Esta estación de trabajo de ingeniería permite que el sistema se configure para satisfacer condiciones de campo.

La figura 4 muestra, además, una interacción entre la estación 475 de trabajo de ingeniería y la aplicación de monitorización 450 por medio de un módulo de simulación de modelado, también denominado en la presente memoria el módulo de simulación 290. Las aplicaciones de monitorización proporcionan datos en tiempo real al módulo de simulación que, a su vez, se utilizan para configurar y ajustar el sistema. Esta capacidad del sistema para utilizar datos en tiempo real procedentes del campo para llevar a cabo simulaciones para ajustar adicionalmente el sistema de manera integrada diferencia la invención actual de la técnica anterior.

El DER-NOS interacciona con una variedad de aplicaciones de gestión 465, 460, 455, 450 y los recursos de producción de energía 440, 430, 420, 415 para proporcionar gestión de energía 480, gestión de topología 485 y gestión de recursos energéticos (DER) 490. Esta gestión se logra, según una forma de realización de la presente invención, mediante un sistema de funcionamiento de tres capas que actúa como un puente entre las aplicaciones de gestión, por un lado, y los recursos energéticos distribuidos, por otro lado. Sin el DER-NOS de la presente invención, cada aplicación de gestión y control tendría que desarrollar órdenes personalizadas para obtener datos, contactar con cada DER, enviar instrucciones y cómo implementar otras funciones que compatibilicen la aplicación con los diversos DER. El DER-NOS es una plataforma común para la utilización de todas las aplicaciones de gestión de energía. Por ejemplo, según una forma de realización de la presente invención, la aplicación de generación distribuida 460 no necesita conocer qué órdenes específicas deben emitirse para hacer que un tipo particular de generador eléctrico de energía por vapor aumente la producción. Simplemente emite una instrucción de que el parque debe aumentar la producción y el DER-NOS conforma la orden a un formato que el generador eléctrico de energía por vapor reconocerá. Además, el DER-NOS también lleva a cabo la "agregación" y "virtualización" de DER. Esto se ve acompañado por la acumulación dinámica de diferentes DER en grupos basándose en criterios específicos de usuario o aplicación. Las capacidades combinadas del DER en la acumulación y las operaciones que pueden realizarse en la acumulación se calculan por el DER-NOS. Estos recursos "virtuales" (con capacidades comparables a una planta de energía convencional) ahora se encuentran disponibles para la variedad de aplicaciones de gestión 465, 460, 455, 450. La disponibilidad, compatibilidad, asignación de acumulaciones y/o aplicaciones, resolución de conflictos, gestión de errores y otras funciones de gestión de recursos se llevan a cabo por el DER-NOS, tal como un sistema de funcionamiento informático asigna memoria, tiempo de procesamiento, y dispositivos periféricos a aplicaciones. La capacidad del presente sistema para gestionar recursos y hacer que se encuentren disponibles de manera individual, en conjunto, o como recursos virtuales a aplicaciones para utilizarlos de manera óptima para diversas funciones es una ventaja significativa con respecto a sistemas anteriores.

La figura 5 es un diagrama de bloques de alto nivel de una arquitectura de múltiples capas para controlar una red eléctrica distribuida que muestra una vista ampliada de una forma de realización de un DER - NOS según la

presente invención. Tal como se conoce en la figura 5, el DER - NOS incluye un enfoque de múltiples capas que presenta módulos de control locales 510, módulos de control regionales 520, y un módulo de control de compañía 530. El módulo de control de compañía 530 se acopla de manera comunicativa con cada uno de una pluralidad de módulos de control regionales 520 y cada módulo de control regional 520 se acopla de manera comunicativa con una pluralidad de módulos de control locales 510. El DER-NOS interacciona con aplicaciones y dispositivos externos a través de interfaces personalizadas 545, 555, y 565. A través de estas interfaces, el DER-NOS obtiene la capacidad para interaccionar con recursos DER, equipos de red de distribución, sistemas de SCADA de compañías eléctricas, y otras aplicaciones existentes para intercambiar datos y órdenes de control. Estas interfaces personalizadas sirven como adaptadores para traducir interfaces específicas de implementación al lenguaje común utilizado dentro del sistema.

El DER - NOS 410 está conectado a una variedad de aplicaciones de gestión 580 tal como se mostró anteriormente en la figura 4. Cada una de la pluralidad de aplicaciones de gestión 580 está conectada al DER - NOS 410 mediante un servidor OPC 531. Tanto el módulo de control de compañía 530 como el módulo de control regional 520 incluyen clientes/servidores OPC 535 para ayudar a la comunicación entre el DER - NOS 410 y la pluralidad de aplicaciones de gestión 580. Tal como se comprenderá por un experto habitual en la materia, la utilización de OPC es solo uno de muchos medios para implementar una interfaz de comunicación. Muchas de tales interfaces adicionales que son tanto fiables como rápidas pueden utilizarse junto con la presente invención sin alejarse del alcance del material inventivo. El módulo de control de compañía 530 utiliza, en esta forma de realización, un modelo objeto para cada tipo de recursos dentro del DER - NOS. El modelo objeto no solo define la entrada y salida a un recurso particular tal como un DER, sino que también define la respuesta de control/sistema a cambios en órdenes emitidas a los recursos. Al garantizar que un recurso responde de manera similar a una orden proporciona al módulo de control de compañía la capacidad de mantener una arquitectura de control estable y que puede repetirse. Por ejemplo, si dos generadores respondieron de manera diferente a una orden de "APAGADO", la complejidad de implementar controles sería difícil dado que el área bajo control se expande, y el número de recursos variables aumenta. La utilización de un modelo de información de objeto común resuelve este dilema proporcionando tanto información como controles comunes. Estos modelos de objeto común se implementan, principalmente, en cada módulo de control local 510, basándose en definiciones de modelo objeto comunes, y entonces se propagan en la totalidad del sistema. Este enfoque garantiza que el sistema pueda interactuar con cualquier recurso en el campo independientemente del fabricante o personalización específica del sitio y seguir presentando un modelo objeto común que lo representa. El mapeo desde el sitio, los recursos, y los detalles específicos de implementación de un modelo objeto común se llevan a cabo mediante el módulo de control local 510.

El módulo de control de compañía 530 también está conectado a sistemas de adquisición de datos y de control de supervisión existentes 540 a través de una interfaz personalizada. A través de estos sistemas y con datos adicionales procedentes de cada módulo de control regional 520, la unidad de control 530 monitoriza y controla puntos de datos y dispositivos a través de sistemas SCADA y módulos de control específicos de DER-NOS existentes.

Según una forma de realización de la presente invención, el módulo de control de compañía 530 incluye un módulo de topología de red 532, controles 533 mediante los que se gestionan los módulos de control regionales 520 y los recursos energéticos, un manipulador de cambio de configuración dinámico 535, un manipulador de interfaz de módulo de control regional 536 y un gestor de interfaz de entrada/salida 538. Cada uno de los módulos de control regionales 520 incluye un módulo de topología de red 532, controles 533 para gestionar los recursos energéticos dentro de su región, un manipulador de cambio de configuración dinámico 535, un manipulador de interfaz de módulo de control local 525 y un gestor de interfaz de entrada/salida 538.

Cada módulo de control local 510 incluye controles 533 mediante los que se gestionan los recursos energéticos utilizando el manipulador de interfaz de recursos 515. El módulo de control local 510 también incluye un cliente OPC 534, un manipulador de cambio de configuración dinámico 535 y un gestor de interfaz de entrada/salida 538. El módulo de control local 510 interacciona directamente con los recursos energéticos (también conocidos en la presente memoria como recursos energéticos distribuidos DER) 560 y sistemas de medición a través de una interfaz personalizada 565. El módulo de control regional 520 interacciona con unos sistemas de campo 550 y/o controladores/aplicaciones de subsistema a través de su interfaz personalizada 555. Estas tres capas del DER - NOS 410 trabajan junto con aplicaciones de gestión 580 para gestionar de manera dinámica y controlar una red eléctrica distribuida.

Tal como puede apreciarse por un experto en la técnica relevante, el conocimiento de la topología de red es un aspecto crítico para la gestión de la red eléctrica distribuida. El módulo de topología de red 532 soporta cuestiones de análisis de topología de red que pueden integrarse en un control particular para mejorar el intervalo/capacidad de control. La topología de red es la representación de la conectividad entre los diversos elementos del sistema de energía eléctrica (transformadores, barras colectoras, disyuntores, alimentadores, etc.) y el DER que está conectado al mismo. El DER - NOS utiliza este subsistema para garantizar que controles futuros puedan realizarse de manera segura al tiempo que limita poner en riesgo la estabilidad de la red de distribución. Esto se logra realizando cálculos de flujo de carga y simulaciones dinámicas para predecir el futuro estado del sistema basándose en acciones de control propuestas y evaluando si el estado resultante afecta negativamente cualquier

criterio de estabilidad, fiabilidad, o funcionamiento de la red. El subsistema del módulo de topología de red 532 también puede recibir actualizaciones de estado dinámicas de la red eléctrica desde una variedad de fuentes de datos. Esto permite que el módulo de topología de red se actualice con la última información sobre el estado del sistema "real" de modo que pueden realizarse las predicciones con la información más reciente disponible.

El módulo de topología de red 532 asociado con el módulo de control de compañía 530 puede emitir cuestiones al módulo de control regional 520 y esperar los resultados. El módulo de control regional 520 utiliza su propio módulo de topología de red 532 y algoritmos de control para calcular los resultados a las cuestiones procedentes del módulo de control de compañía 530. De esta manera, el módulo de control de compañía 530 no necesita analizar la totalidad de la propia red, sino que en su lugar distribuye el análisis a los módulos de control regionales 520.

El subsistema de control 517 asociado con el módulo de control local 510 decodifica órdenes proporcionadas desde el módulo de control regional 520 dirigidas a los recursos energéticos 560. El subsistema de control 533 garantiza que los recursos objetivo responden de manera consistente y fiable. Esta operación traduce las órdenes basadas en modelo objeto común utilizadas dentro del sistema a las órdenes de sitio, equipos, e implementación específicas requeridas para hacer funcionar el DER 560.

El gestor de interfaz de entrada/salida 538 proporciona un sistema de gestión de interfaz para gestionar comunicaciones remotas entre el módulo de control de compañía 530 y sistemas externos tales como sistemas SCADA y otras aplicaciones empresariales. Dentro del módulo de control regional 520, el gestor de interfaz de entrada/salida 538 gestiona las comunicaciones remotas con los dispositivos de campo y los sistemas y subsistemas 550 y proporciona la capacidad de intercambiar información y señales de control con dispositivos externos (recursos energéticos distribuidos, medidores, etc.). Estos módulos de interfaz de entrada/salida 538, la interfaz de módulo de control regional 536, la interfaz de módulo de control local 525, y el manipulador de interfaz de recursos 515 permiten que el sistema mapee puntos de datos externos, dispositivos, y sistemas con respecto a los modelos objeto comunes utilizados dentro del sistema para garantizar la continuidad y fiabilidad entre los datos utilizados en cada subsistema.

Los controladores de sistemas o subsistema de campo y aplicaciones 550 es cualquier sistema externo a DER-NOS con el que el módulo de control regional 520 debe intercambiar datos y señales de control. Un ejemplo podría ser un conmutador (disyuntor) en una subestación.

El manipulador de cambio de configuración dinámico 535, encontrado en cada módulo es el motor que acepta las señales de campo, información procedente de otros sistemas tales como SCADA de compañía eléctrica, o entradas de usuario y responde a cambios en la configuración de la red (topología de red), disponibilidad de recursos, o cambios de sistema de comunicaciones realizando cambios internos a partes adecuadas del sistema. Dado que el DER-NOS es un controlador distribuido tal como se describió anteriormente, el manipulador de configuración dinámico 535 es el motor que garantiza que la información de cambio en tiempo real se propaga de manera adecuada en la totalidad del sistema (sin tener que apagar y reiniciar el sistema) y diversos recursos (DER y recursos de red de distribución) se colocan en nuevos modos de funcionamiento dinámicamente.

Normalmente, el módulo de control local 510 solo interacciona con dispositivos individuales o un pequeño grupo de dispositivos conectados directamente en un único sitio. Por lo tanto, no requiere un gestor de configuración dinámico 535 más sofisticado que se encargue de cambios de configuración en múltiples dispositivos/sitios que están geográficamente dispersos. Los controles en el módulo de control local 533 poseen la capacidad de gestionar cambios de configuración según se requiera por los dispositivos a los que está conectado el módulo de control local 510.

La figura 6 es un diagrama de flujo que representa operaciones lógicas de módulo de control local según una forma de realización de la presente invención. Cada capa de la arquitectura del DER - NOS 410 funciona de manera independiente de las otras capas de manera que, si y cuando se pierden las comunicaciones entre capas u otros subsistemas fallan, cada módulo de control puede continuar funcionando en modo seguro hasta que los otros sistemas vuelvan a estar en línea o hasta que se activen secuencias preprogramadas, tales como una secuencia de apagón.

El módulo de control local funciona llevando a cabo operaciones basándose en un estado del sistema anterior 610. A partir de ese estado, el módulo de control local actualiza 620 el estado de cada DER conectado, así como las condiciones de red de distribución local y otras limitaciones locales en el sistema. A continuación, se una solicitud de actualización se envía 650 desde el módulo de control local hasta el módulo de control regional. Las actualizaciones se reciben y a continuación el módulo de control local determina las siguientes acciones que deben llevarse a cabo y/o la respuesta que debe enviarse al módulo de control regional 670. En ese momento, el módulo de control local lleva a cabo 680 una o más acciones y actualizaciones del módulo de control regional con respecto a estas acciones.

La figura 7 es un diagrama de flujo que representa la lógica de funcionamiento de un módulo de control regional. Tal como el módulo de control local, el módulo de control regional lleva a cabo acciones basándose en un estado

del sistema anterior 710. Los módulos de control regionales reciben información de y actualizan el estado de cada módulo de control local 720 conectado, así como el estado de red de SCADA y/o controladores de subsistema. Las mediciones de red de distribución en la región de responsabilidad, así como las situaciones monitorizadas también se actualizan. Una vez cuenta con un conocimiento del estado de los módulos de control local bajo supervisión, el módulo de control regional solicita 740 actualizaciones procedentes del módulo de control de compañía incluyendo el objetivo que debe estar cumpliendo el módulo de control regional.

A continuación, el control regional determina la siguiente acción que debe realizarse 760 para cumplir estos objetivos. Al realizarlo, los módulos de control regionales evalúan 770 las consecuencias de cada acción propuesta utilizando simulación local y algoritmos inteligentes locales. También se tienen en consideración 780 acciones alternativas hasta que se determina un conjunto final de acciones o avisos. Por último, el módulo de control regional lleva a cabo 790 el conjunto de acciones determinado y envía una respuesta al módulo de control de compañía informándole de estas acciones, así como de órdenes a los módulos de control locales aplicables.

Finalmente, la figura 8 es un diagrama de flujo que representa la operación lógica de un módulo de control de compañía según una forma de realización de la presente invención. De nuevo, el módulo de control de compañía lleva a cabo sus acciones basándose en el estado de la técnica anterior del sistema 810. Como entidad de control global, el módulo de control de compañía actualiza 820 el estado de módulos de control regionales conectados, aplicaciones empresariales y otros recursos empresariales con los que interacciona. Las actualizaciones de estado del sistema también se envían 850 al subsistema de presentación que se utiliza para actualizar el sistema de interfaz de usuario (humano). Del mismo modo, la interfaz de usuario puede utilizarse para recibir entradas de usuario cuando se proporcionan.

A continuación, el módulo de control de compañía determina qué acción llevar a cabo a continuación 870 evaluando las consecuencias de diversas acciones realizando simulaciones globales y algoritmos inteligentes. Se tienen en consideración 880 acciones alternativas hasta que se determina un conjunto de acciones o avisos aceptable final. Una vez determinado el módulo de control de compañía, entonces ejecuta 890 estas acciones y envía respuestas y órdenes y nuevas órdenes a los módulos de control regionales conectados.

La figura 9 es un diagrama de flujo de una forma de realización del procedimiento para gestionar la distribución y producción de energía en una red eléctrica distribuida según la presente invención. Tal como se apreciará por un experto en la materia, el control y gestión de recursos energéticos distribuidos utilizando un sistema de funcionamiento de red puede incluir, entre otras cosas, la ubicación de producción de energía, modificación de topología de red, ubicaciones de almacenamiento de energía, gestión de carga, simulaciones. La figura 9 muestra un procedimiento a modo de ejemplo de una reubicación de recursos energéticos en una red eléctrica distribuida. Un experto en la materia reconocerá que este procedimiento a modo de ejemplo representa las interacciones entre diversas aplicaciones de gestión DER y recursos energéticos por medio de un DER-NOS y no es limitativo en cuanto al alcance o capacidades del DER-NOS.

Según una forma de realización de la presente invención, las aplicaciones de gestión que operan a través de un módulo de control de compañía llevan a cabo un análisis de sistema de energía predictivo basándose en producción 910 de energía y consumo de energía previstos. A medida que el análisis de sistema de energía se lleva a cabo, se monitoriza la producción y consumo de energía reales dentro de cada módulo de control regional 920. Además, se analiza la topología de red, así como la conectividad 930 de red.

Tras recibir 940 en el módulo de control de compañía una solicitud de energía adicional, una aplicación de respuesta de demanda del módulo de control de compañía identifica una o más regiones que presentan una capacidad 950 de producción de energía en exceso. A continuación, la aplicación de gestión determina una reubicación propuesta de recursos de producción de energía y modificaciones a la conectividad de red para satisfacer la solicitud 960 recibida.

Una simulación de la reubicación de recursos de producción de energía propuesta se inicia junto con simulaciones de cambios de conectividad en la red distribuida 970. En respuesta a los resultados de la simulación que satisfacen las limitaciones predefinidas, la aplicación de control construye una serie de órdenes para dirigir la reubicación 980 de energía propuesta.

Con la reubicación propuesta de recursos de producción de energía validada, la aplicación de gestión y la aplicación de control envían directamente por medio del módulo de control de compañía unas órdenes 990 a los módulos de control regionales aplicables. Tras recibir las órdenes de reubicación, el módulo de control regional emite órdenes de producción de energía a los productores de energía dentro de su región aplicable y/o modifica su topología de red para distribuir la energía en exceso para cumplir la solicitud de carga de otras regiones.

Pueden hacerse funcionar formas de realización de la presente invención para gestionar y controlar de manera dinámica una red eléctrica distribuida que presenta una pluralidad de recursos de producción de energía. Una pluralidad de células regionales dentro de una red eléctrica distribuida se gestiona de manera autónoma utilizando módulos de control regionales que funcionan junto con un sistema de funcionamiento de red de múltiples capas.

Cada módulo de control regional está acoplado de manera conectada a un módulo de control de compañía que interactúa con diversas aplicaciones de gestión y control que supervisan la red eléctrica distribuida. Además, cada módulo de control regional está asociado con una pluralidad de módulos de control locales que interactúan directamente con recursos de producción de energía dentro de las interfaces de DER de tipificación regionales. La producción de energía y el consumo de energía se monitorizan y analizan de manera continua. En una forma de realización de la presente invención, tras la determinación de que un consumo de energía de una región supera su capacidad de producción de energía, las aplicaciones empresariales, que funcionan a través del módulo de control de compañía, reubican dinámicamente los recursos de producción de energía en la totalidad de la red de distribución. Esta reubicación de producción y distribución de energía se monitoriza y ajusta de manera continua para garantizar que la red de distribución permanece estable, fiable y segura.

Aunque se ha descrito la presente invención a modo de gestión de red de distribución eléctrica, puede aplicarse y es capaz de igual modo de la gestión de energía distribuida en instalaciones comerciales, campus, o en cualquier lugar en donde existan líneas de distribución que transporten energía entre salas, edificios, fuentes de energías renovables, sistemas de gestión de carga, vehículos eléctricos y similares. Esto es así para grandes instalaciones comerciales, bases militares, pueblos fuera de la red de distribución remotos y similares. La presente invención forma y gestiona dinámicamente sistemas de energía distribuida en lugar de presentar microrredes de distribución formadas estáticamente en una instalación o ubicación remota.

A continuación, se señalan formas de realización preferidas de la presente invención. En una forma de realización, un sistema de control distribuido para una red de distribución y transmisión de energía en el que la red eléctrica de distribución/transmisión incluye una pluralidad de recursos energéticos distribuidos (DER) acoplados a una pluralidad de consumidores de energía comprende:

- un módulo de control de compañía acoplado de manera comunicativa con unos sistemas de adquisición de datos y de control de supervisión existentes para la red eléctrica de distribución/transmisión y/u otras aplicaciones empresariales;
- una pluralidad de módulos de control locales en el que cada módulo de control local está asociado de manera única con uno de la pluralidad de DER; y
- una pluralidad de módulos de control regionales en el que cada módulo de control regional se interpone entre el módulo de control de compañía y una parte de la pluralidad de módulos de control locales y en el que el módulo de control regional puede hacerse funcionar para realizar gestión de energía en una región y/o intercambio de energía con regiones adyacentes.

Otras características preferidas, que pueden estar presentes de manera independiente o combinada, según sea apropiado incluyen las siguientes:

- el módulo de control de compañía puede estar acoplado de manera comunicativa con una red de comunicación.
- un módulo de control regional puede interponerse entre el módulo de control de compañía y otro módulo de control regional formando un sistema distribuido.
- la pluralidad de DER puede elegirse de entre un grupo que consiste en generación, almacenamiento y gestión de carga/demanda de energía.
- los DER de red de distribución y transmisión de energía pueden elegirse de entre un grupo que consiste en protección de red de distribución y equipos, regulación de tensión, control de flujo de energía, baterías de condensadores, y transformadores.
- el módulo de control de compañía puede gestionar la demanda entre la pluralidad de módulos de control regionales y el intercambio de energía con redes de distribución eléctrica o sistemas de energía adyacentes.
- la gestión de la demanda entre la pluralidad de módulos de control regionales puede incluir iniciar órdenes a módulos de control regionales para variar la producción de energía en una primera región en respuesta a una demanda variada en una segunda región.
- la gestión de la demanda entre la pluralidad de módulos de control regionales puede incluir redefinir módulos de control locales asociados con cada módulo de control regional y módulos de control regionales.
- el módulo de control de compañía puede hacerse funcionar para emitir de manera selectiva órdenes de control transmitidas a la pluralidad de módulos de control locales y/o módulos de control regionales.
- en respuesta a la interrupción de comunicación el sistema de control distribuido puede hacerse funcionar

para conmutar a una modalidad de funcionamiento autónoma y tras la restauración de comunicación sincronizar datos y revertir a una modalidad de orden.

- 5 • el sistema de control distribuido puede incluir, además, una interfaz de dispositivo interpuesta entre cada módulo de control local y su DER asociado. La interfaz de dispositivo puede convertir órdenes de módulo de control local tipo de manera que pueda comprenderse por el DER asociado y convertir respuestas de DER en mensajes tipo comprendidos por el módulo de control local.
- 10 • el módulo de control local puede hacerse funcionar para recoger datos relacionados con cada DER acoplado.
- los datos relacionados con cada DER acoplado pueden incluir características de respuesta estática, dinámica o de control del DER.
- 15 • el módulo de control local puede tipificar órdenes y/o mensajes de respuesta entre el DER y el módulo de control regional.
- la gestión de producción de energía puede realizarse basándose en producción, carga y almacenamiento en la región, y/o intercambiar energía con regiones adyacentes.
- 20 • la gestión de producción de energía mediante el módulo de control regional dentro de cada región puede ser autónoma.
- cada módulo de control regional puede hacerse funcionar para recibir y responder a órdenes de producción procedentes del módulo de control de compañía.
- 25 • el módulo de control regional puede verificar que las órdenes de producción recibidas del módulo de control de compañía están dentro de límites predefinidos de los DER y la red eléctrica de distribución/transmisión en la región asociada con el módulo de control regional antes de emitir órdenes de control a los DER.
- 30 • las órdenes de producción pueden verificarse dinámicamente y modificarse de manera anticipada para mantener la producción real dentro de límites de sistema predefinidos.
- el módulo de control de compañía y cada uno de la pluralidad de módulos de control regionales y cada uno de la pluralidad de módulos de control locales puede hacerse funcionar para recibir y responder a órdenes emitidas desde usuarios autorizados por medio de una interfaz de usuario.
- 35 • el sistema de control distribuido puede incluir, además, un módulo de modelado que puede hacerse funcionar para predecir respuesta y operaciones de sistema con respecto a diversas condiciones de sistema.
- 40 • el módulo de modelado puede ubicar el funcionamiento de la pluralidad de DER y formar un conjunto de controles modelados para cumplir con objetivos de flujo de energía específicos.
- 45 • el conjunto de controles modelados desarrollado por el módulo de modelado puede aplicarse directamente al sistema.

En otra forma de realización, se implementa un sistema de control distribuido como un programa de instrucciones ejecutable por una máquina tal como un ordenador. En una forma de realización de este tipo, el programa de instrucciones comprende una pluralidad de códigos de programa para gestionar una red eléctrica de distribución/transmisión incluyendo la red eléctrica de distribución/transmisión una pluralidad de recursos energéticos distribuidos (DER) acoplados a una pluralidad de consumidores de energía. Este programa de instrucciones incluye:

- 55 • un código de programa para gestionarse en un flujo de energía de módulo de control de compañía dentro de la red eléctrica de distribución/transmisión;
- un código de programa para recibir en uno o más de una pluralidad de módulos de control regionales solicitudes de energía desde el módulo de control de compañía en el que cada módulo de control regional está asociado con una región asociada con una parte de la pluralidad de los DER; y
- 60 • un código de programa para gestionar en cada uno de la pluralidad de los DER de módulos de control regionales dentro de su región asociada.

65 Otras características preferidas del sistema de control distribuido anterior que puedan incluirse de manera independiente o en combinación incluyen:

- las solicitudes de flujo de energía regionales pueden recibirse en el módulo de control de compañía desde por lo menos uno de la pluralidad de módulos de control regionales y/o usuarios de sistema.
- 5 • las órdenes de flujo de energía regionales pueden emitirse por el módulo de control de compañía en respuesta a solicitudes de flujo de energía regionales recibidas del por lo menos uno de la pluralidad de módulos de control regionales y/o usuarios de sistema.
- 10 • las solicitudes de flujo de energía locales pueden recibirse en el por lo menos uno de la pluralidad de módulos de control regionales desde por lo menos uno de una pluralidad de módulos de control locales y/o usuarios de sistema.
- 15 • las órdenes de flujo de energía locales pueden emitirse por el módulo de control regional en respuesta a solicitudes de flujo de energía locales recibidas del por lo menos uno de la pluralidad de módulos de control locales y/o usuarios de sistema.
- el código de programa para gestionar DER puede incluir código de programa para órdenes de control tipo emitidas a los DER por medio de un módulo de control local.
- 20 • el programa de instrucciones puede incluir, además, código de programa para recoger datos relacionados con cada DER.
- el programa de instrucciones puede incluir, además, código de programa para iniciar órdenes a uno o más de los módulos de control regionales para variar el flujo de energía en una primera región en respuesta a una demanda variada en una segunda región.
- 25 • el programa de instrucciones puede incluir, además, código de programa para iniciar órdenes a uno o más de los módulos de control regionales para variar el flujo de energía en una región en respuesta a una solicitud iniciada por usuario.
- 30 • el programa de instrucciones puede incluir, además, código de programa para redefinir DER asociados con cada módulo de control regional o bien automáticamente o bien en respuesta a una solicitud iniciada por usuario.
- 35 • el programa de instrucciones puede incluir, además, código de programa para determinar operaciones estáticas y/o dinámicas de DER basándose en un flujo de energía derivado o predicho.
- el programa de instrucciones puede incluir, además, código de programa para el análisis en tiempo real de conectividad y condiciones existentes de la red eléctrica de distribución/transmisión.
- 40 • el programa de instrucciones puede incluir, además, código de programa que puede hacerse funcionar para hacer funcionar una región separada eléctricamente de la red eléctrica de distribución/transmisión de manera autónoma.
- 45 • el programa de instrucciones puede incluir, además, código de programa que puede hacerse funcionar para gestionar de manera dinámica DER para reincorporar y sincronizar operaciones de una región de funcionamiento autónomo de vuelta a la red eléctrica de distribución/transmisión.
- 50 • el programa de instrucciones puede incluir, además, código de programa para modificar las trayectorias de conectividad entre el módulo de control de compañía, la pluralidad de módulos de control regionales, una pluralidad de módulos de control locales y la pluralidad de DER.

Otra forma de realización de la presente invención se caracteriza como un sistema informático para gestionar una red eléctrica de distribución/transmisión que incluye una pluralidad de recursos energéticos distribuidos (DER). En esta forma de realización el sistema informático puede incluir una máquina que puede ejecutar instrucciones materializadas como software y que puede interactuar con unos sistemas de adquisición de datos y de control de supervisión existentes para la red eléctrica de distribución/transmisión. El sistema también puede incluir una pluralidad de partes de software, en el que una de dichas partes de software está configurada para gestionarse en un flujo de energía de módulo de control de compañía dentro de la red eléctrica de distribución/transmisión y en el que otras partes de software están configuradas para recibir en uno o más de una pluralidad de módulos de control regionales solicitudes de energía procedentes de una unidad de control de compañía en el que cada módulo de control regional está asociado con una región asociada con una parte de la pluralidad de DER. Además, otras partes de software pueden estar configuradas para emitir, en uno o más de la pluralidad de módulos de control regionales, órdenes a uno o más de los DER en la región asociada del uno o más módulos de control regionales a través de uno de una pluralidad de módulos de control locales.

Otras características de esta forma de realización que pueden implementarse de manera independiente o en combinación incluyen:

- una parte de software que está configurada para iniciar órdenes desde el módulo de control de compañía a uno o más de los módulos de control regionales para modificar el flujo de energía en una primera región en respuesta a solicitudes de flujo de una segunda región.
- una parte de software que está configurada para predecir respuestas y operaciones de sistema con respecto a diversas condiciones de sistema.

Tal como se apreciará por un experto en la técnica relevante, las partes de la presente invención pueden implementarse en un sistema informático convencional o de fines generales tal como un ordenador principal, un ordenador personal (PC), un ordenador portátil, una agenda portátil, un ordenador de mano o de bolsillo, y/o un ordenador de servidor. Un sistema típico comprende unidad(es) de procesamiento central (CPU) o procesador(es) acoplados a una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM), un teclado, una impresora, un dispositivo de puntero, un adaptador de video o de visualización conectado a un dispositivo de visualización, un dispositivo de almacenamiento (masivo) extraíble (por ejemplo, disco flexible, CD-ROM, CD-R, CD-RW, DVD, o similares), un dispositivo de almacenamiento (masivo) fijo (por ejemplo, disco duro), puerto(s) o interfaz/interfaces de comunicación (COMM), y una tarjeta de interfaz de red (NIC) o controlador (por ejemplo, Ethernet). Aunque no se muestra de manera independiente, un reloj de sistema en tiempo real se incluye con el sistema de manera convencional.

La CPU comprende un procesador adecuado para implementar la presente invención. La CPU se comunica con otros componentes del sistema por medio de un bus de sistema bidireccional (que incluye cualquier circuitería de controlador de entrada/salida (I/O) necesaria y otra lógica de "interconexión"). El bus, que incluye líneas de dirección para dirigir la memoria de sistema, proporciona transferencia de datos entre dos y varios de los diversos componentes. La RAM sirve de memoria de trabajo para la CPU. La ROM contiene el código de sistema de entrada/salida básico (BIOS), un conjunto de rutinas de bajo nivel en la ROM que los programas de aplicación y los sistemas de funcionamiento pueden utilizar para interaccionar con el hardware, incluyendo la lectura de caracteres del teclado, dar salida a caracteres hacia impresoras, y así sucesivamente.

Los dispositivos de almacenamiento masivos proporcionan un almacenamiento continuo en medios fijos y extraíbles tal como sistemas de almacenamiento magnético, óptico, o magnetóptico, memoria flash, o cualquier otra tecnología de almacenamiento masivo disponible. El almacenamiento masivo puede compartirse en una red, o puede ser un almacenamiento masivo dedicado. Normalmente, un almacenamiento fijo almacena códigos y datos para dirigir el funcionamiento del sistema informático incluyendo un sistema de funcionamiento, programas de aplicación de usuario, controladores y otros archivos de soporte, así como otros archivos de datos de todas las clases. Normalmente, el almacenamiento fijo sirve de disco duro principal para el sistema.

En funcionamiento básico, la lógica de programa (incluyendo la que implementa la metodología de la presente invención descrita a continuación) se carga desde el almacenamiento extraíble o el almacenamiento fijo en la memoria (RAM) principal para ejecutarse por la CPU. Durante el funcionamiento de la lógica de programa, el sistema acepta la entrada de usuario desde un teclado y dispositivo de puntero, así como entrada basada en voz desde un sistema de reconocimiento de voz (no se muestra). El teclado permite la selección de programas de aplicación, introducción de entradas o datos basadas en teclado, y la selección y manipulación de objetos de datos individuales visualizados en la pantalla o dispositivo de visualización. Del mismo modo, el dispositivo de puntero, tal como un ratón, cursor, dispositivo de estilográfica, o similares, permite la selección y manipulación de objetos en el dispositivo de visualización. De esta manera, estos dispositivos de entrada soportan entradas de usuario manuales para cualquier procedimiento ejecutado en el sistema.

El sistema informático representa imágenes de texto y/o gráficas y otros datos en el dispositivo de visualización. El adaptador de video, que se interpone entre ese elemento de visualización y el bus del sistema, controla el dispositivo de visualización. El adaptador de video, que incluye memoria de video accesible a la CPU, proporciona circuitería que convierte datos de pixel almacenados en la memoria de video en una señal de mapa de bits adecuada para utilizarse por un mapa de bits de tubo de rayos catódicos (CRT) o monitor de visualización de cristal líquido (LCD). Puede obtenerse una copia impresa de la información visualizada, u otra información dentro del sistema, a partir de la impresora u otro dispositivo de salida.

El propio sistema se comunica con otros dispositivos (por ejemplo, otros ordenadores) por medio del NIC conectado a una red (por ejemplo, red Ethernet, red inalámbrica Bluetooth, o similares). El sistema también puede comunicarse con dispositivos locales conectados de manera ocasional (por ejemplo, dispositivos conectados por cable en serie) por medio de la interfaz COMM, que pueden incluir un puerto en serie RS-232, una interfaz de bus en serie universal (USB), o similares. Los dispositivos que habitualmente están conectados de manera local a la interfaz incluyen ordenadores portátiles, organizadores de mano, cámaras digitales, y similares.

Tal como se describió anteriormente, la presente invención también puede emplearse en un entorno de red tal

como una red de área local o red de área extendida y similares. Tales redes también pueden incluir ordenadores o servidores principales, tales como un ordenador pasarela o servidor de aplicación (que pueden acceder a un repositorio de datos u otra fuente de memoria). Un ordenador pasarela sirve como punto de entrada a cada red. La pasarela puede acoplarse a otra red por medio de un enlace de comunicación. Además, el ordenador pasarela puede estar acoplado indirectamente a uno o más dispositivos. El ordenador pasarela también puede estar acoplado a un dispositivo de almacenamiento (tal como un repositorio de datos). El ordenador pasarela también puede implementarse utilizando una variedad de arquitecturas.

Los expertos en la materia apreciarán que el ordenador pasarela puede ubicarse a una gran distancia geográfica de la red, y de manera similar, los dispositivos también pueden ubicarse a una distancia sustancial de las redes. Por ejemplo, la red puede ubicarse en California mientras que la pasarela puede ubicarse en Texas, y uno o más de los dispositivos pueden ubicarse en Nueva York. Los dispositivos pueden conectarse a la red inalámbrica utilizando un protocolo de diseño de redes tal como TCP/IP con respecto a varios medios de conexión alternativos tales como teléfonos celulares, redes de radiofrecuencia, redes satélites, etc. La red inalámbrica se conecta, preferentemente, a la pasarela que utiliza una conexión de red tal como TCP o UDP (protocolo de datagrama de usuario) a través de IP, X.25, retransmisión de tramas, ISDN (red digital de servicios integrados), PSTN (red telefónica pública conmutada), etc. Alternativamente, los dispositivos pueden conectarse directamente a la pasarela utilizando conexión de marcado. Además, la red inalámbrica puede conectarse a una o más redes adicionales (no mostradas) de manera análoga.

En formas de realización preferidas, partes de la presente invención pueden implementarse en software. Normalmente, se accede al código de programación de software que materializa la presente invención mediante el microprocesador a partir de medios de almacenamiento a largo plazo de determinado tipo, tal como un disco duro. El código de programación de software puede materializarse en cualquiera de una variedad de medios conocidos para utilizarse con un sistema de procesamiento de datos tal como un disco duro o CD-ROM. El código puede distribuirse en tales medios, o puede distribuirse a partir de la memoria o almacenamiento de un sistema informático en una red de determinado tipo a otros sistemas informáticos para utilizarse por tales sistemas adicionales. Alternativamente, el código de programación puede materializarse en la memoria y accederse al mismo mediante el microprocesador que utiliza el bus. Las técnicas y procedimientos para materializar el código de programación de software en la memoria, en medios físicos, y/o la distribución de código de software por medio de redes se conocen bien y no se comentarán adicionalmente en la presente memoria.

Una implementación de la presente invención puede ejecutarse en un entorno Web, en el que se descargan paquetes de instalación de software utilizando un protocolo tal como el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) a partir de un servidor web a uno o más ordenadores objetivo que están conectados a través de Internet. Alternativamente, una implementación de la presente invención puede ejecutarse en otros entornos de diseño de red que no se encuentran en la web (utilizando Internet, una intranet o extranet corporativa, o cualquier otra red) en donde los paquetes de software se distribuyen para su instalación utilizando técnicas tales como llamada a procedimientos remotos (RMI), OPC o arquitectura de petición de objetos comunes (CORBA). Las configuraciones para el entorno incluyen una red de cliente/servidor, así como un entorno de múltiples capas. O bien, tal como se comentó anteriormente, la presente invención puede utilizarse en un entorno autónomo, tal como por un instalador que desea instalar un paquete de software a partir de medios de instalación localmente disponibles en lugar de a través de una conexión de red. Además, puede ocurrir que tanto el cliente como el servidor de una instalación particular residan en el mismo dispositivo físico, en cuyo caso no se requiere una conexión de red. Por tanto, un posible sistema objetivo que se interroga puede ser el dispositivo local en el que se implementa una implementación de la presente invención. Un desarrollador de software o instalador de software que prepara un paquete de software para su instalación utilizando la presente invención puede utilizar una estación de trabajo conectada a la red, una estación de trabajo autónoma, o cualquier otro dispositivo informático similar. Estos entornos y configuraciones se conocen bien en la técnica.

Tal como se comprenderá por aquellos expertos habituales en la materia, las partes de la invención pueden materializarse en otras formas específicas sin alejarse de las características esenciales de la misma. Del mismo modo, el nombre y división particular de los módulos, gestores, funciones, sistemas, motores, capas, características, atributos, metodologías, y otros aspectos no son obligatorios ni significativos, y los mecanismos que implementan la invención o sus características pueden presentar diferentes nombres, divisiones, y/o formatos. Además, tal como resultará evidente a un experto habitual en la materia, los módulos, gestores, funciones, sistemas, motores, capas, características, atributos, metodologías, y otros aspectos de la invención pueden implementarse como software, hardware, firmware, o cualquier combinación de los tres. Obviamente, siempre que un componente o parte de la presente invención se implementa como software, el componente puede implementarse como un comando, como un programa autónomo, como parte de un programa mayor, como una pluralidad de comandos, y/o programas independientes, como una biblioteca enlazada estática o dinámicamente, como un módulo cargable de núcleo, como un controlador de dispositivo, y/o de todas y cada una de las formas conocidas a día de hoy o en el futuro para los expertos en la materia de programación informática. Adicionalmente, la presente invención no se limita en absoluto en cuanto a su implementación a ningún lenguaje de programación específico o a ningún sistema o entorno de funcionamiento específico. Por consiguiente, la exposición de la presente invención está destinada a ser ilustrativa pero no limitativa del alcance de la invención que se expone en

las siguientes reivindicaciones. Aunque anteriormente se han descrito los principios de la presente invención junto con la red de distribución eléctrica, debe comprenderse claramente que la descripción anterior solo se realiza a modo de ejemplo y no como una limitación del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control distribuido para una red eléctrica de distribución y transmisión, incluyendo dicha red eléctrica de distribución y transmisión una pluralidad de recursos energéticos distribuidos, DER, (110, 210, 220) acoplados a una pluralidad de consumidores de energía (250, 260), comprendiendo el sistema de control distribuido:
5 un módulo de control de compañía (275, 530) acoplado de manera comunicativa con unos sistemas de adquisición de datos y de control de supervisión existentes para la red eléctrica de distribución/transmisión y/u otras aplicaciones empresariales;
10 una pluralidad de módulos de control locales (215, 510), estando asociado cada módulo de control local de manera única con uno de la pluralidad de DER; y
15 una pluralidad de módulos de control regionales (225, 520), interponiéndose cada módulo de control regional entre el módulo de control de compañía y una parte de la pluralidad de módulos de control locales;
20 en el que cada módulo de control regional puede hacerse funcionar para realizar la gestión de energía dinámica en una región y un intercambio de energía con regiones adyacentes, regulando la gestión de energía dinámica los parámetros de flujo de energía local y regional para que se encuentren dentro de límites de funcionamiento definidos, e incluyendo cálculos predictivos, y siendo los cálculos predictivos cálculos de flujo de carga basados en actualizaciones de estado dinámicas de una red eléctrica a partir de una variedad de fuentes de datos,
25 caracterizado por que el módulo de control local (215) tipifica respuestas de orden de control con cada uno de la pluralidad de recursos energéticos distribuidos, DER, (110, 210, 220) de manera que cada módulo de control regional (225) puede gestionar de manera activa la red de distribución eléctrica en la región de manera escalable.
2. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que un módulo de control regional (225, 520) está interpuesto entre el módulo de control de compañía (275, 530) y otro módulo de control regional formando un sistema distribuido.
30
3. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de DER se elige de entre un grupo que consiste en generación, almacenamiento y gestión de carga/demanda de energía, protección de red de distribución y equipos, regulación de tensión, control de flujo de energía, baterías de condensadores, y transformadores.
35
4. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que el módulo de control de compañía (275, 530) gestiona la demanda entre la pluralidad de módulos de control regionales (225, 520) y el intercambio de energía con redes de distribución eléctrica o sistemas de energía adyacentes y en el que gestionar la demanda entre la pluralidad de módulos de control regionales incluye iniciar órdenes a módulos de control regionales para variar la producción de energía en una primera región en respuesta a una demanda variada en una segunda región.
40
5. Sistema de control según la reivindicación 4, en el que gestionar la demanda entre la pluralidad de módulos de control regionales (225, 520) incluye redefinir módulos de control locales (215, 510) asociados con cada módulo de control regional y los módulos de control regionales.
45
6. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que el módulo de control de compañía (275, 530) puede hacerse funcionar para emitir de manera selectiva órdenes de control transmitidas a la pluralidad de módulos de control locales (215, 510) y/o módulos de control regionales (225, 520).
50
7. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que, en respuesta a la interrupción de comunicación, el sistema de control distribuido puede hacerse funcionar para conmutar a una modalidad de funcionamiento autónoma y tras la restauración de comunicación sincronizar datos y revertir a una modalidad de orden.
55
8. Sistema de control según la reivindicación 1, que comprende, además, una interfaz de dispositivo interpuesta entre cada módulo de control local (215, 510) y su DER asociado, en el que la interfaz de dispositivo convierte las órdenes de módulo de control local tipo de manera que puedan comprenderse por el DER asociado y convierte las respuestas de DER en mensajes tipo comprendidos por el módulo de control local.
60
9. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que el módulo de control local tipifica órdenes y/o mensajes de respuesta entre el DER y el módulo de control regional (225, 520).
65
10. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que cada uno de los módulos de control regionales verifica que las órdenes de producción recibidas desde el módulo de control de compañía están dentro de límites predefinidos de los DER y la red eléctrica de distribución/transmisión en la región asociada con el módulo de control regional antes de emitir órdenes de control a los DER.

11. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que las órdenes de producción se verifican dinámicamente y se modifican de manera anticipada de manera que se mantenga la producción real dentro de límites de sistema predefinidos.

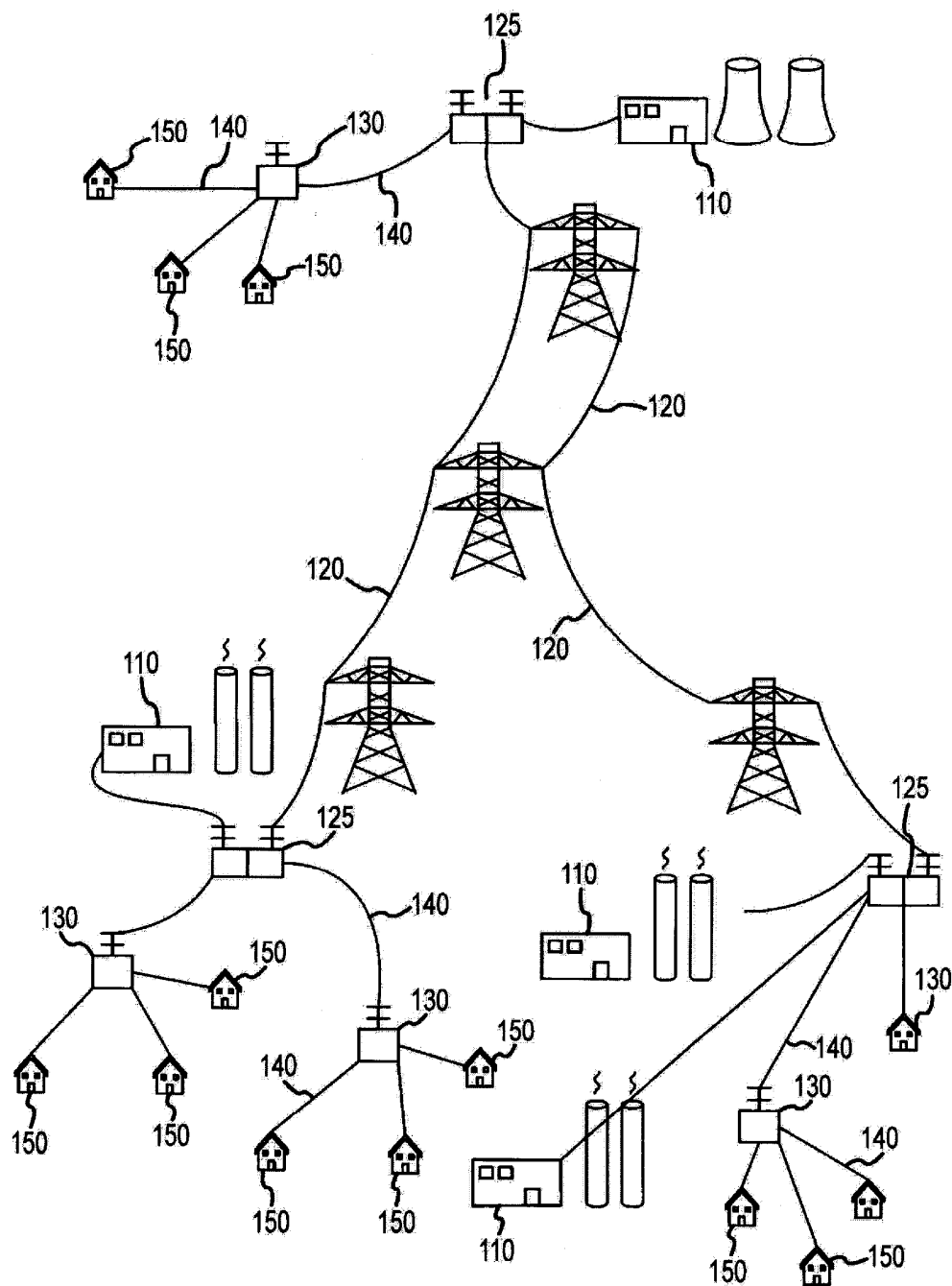


FIG.1
TÉCNICA ANTERIOR

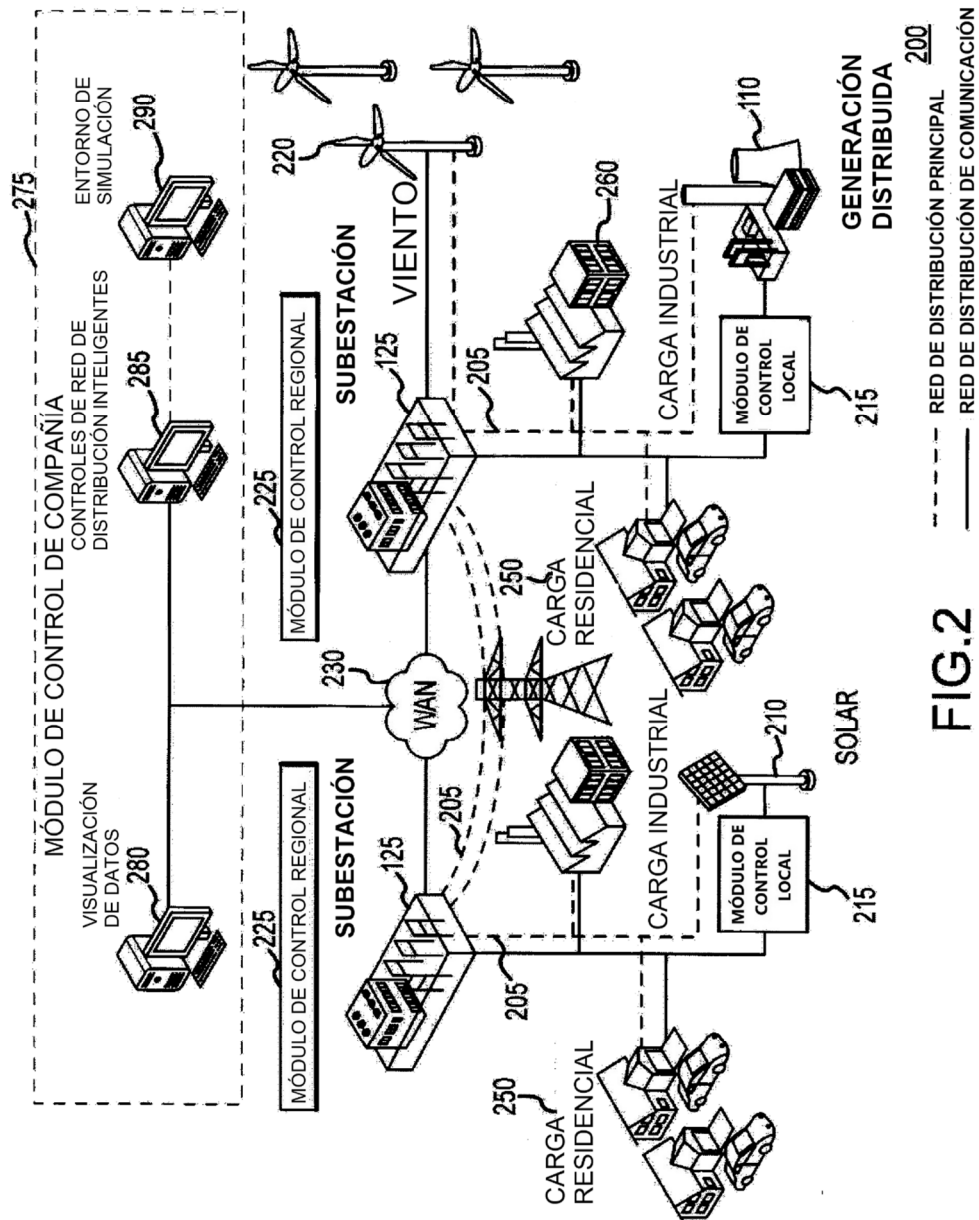


FIG.2

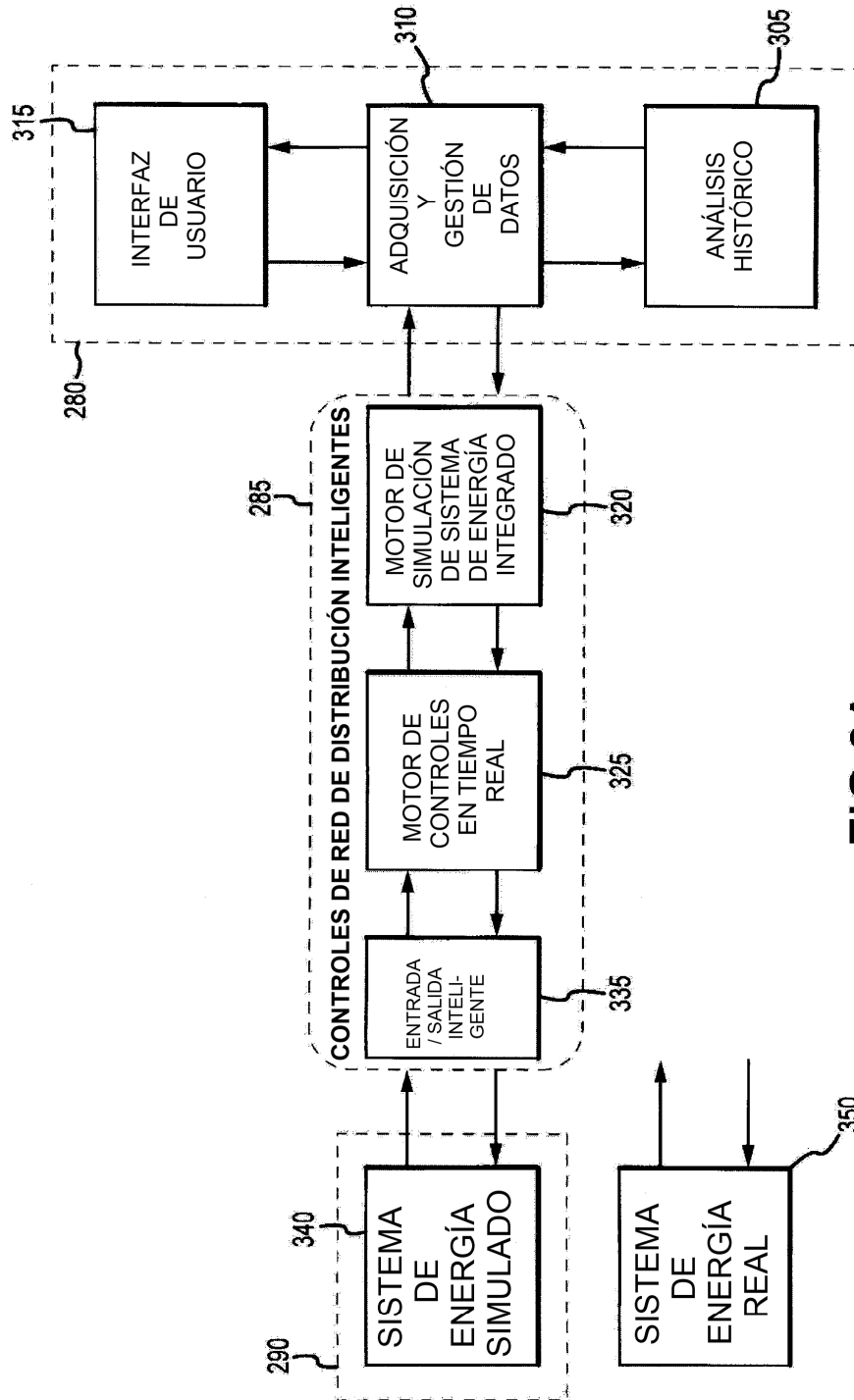


FIG.3A

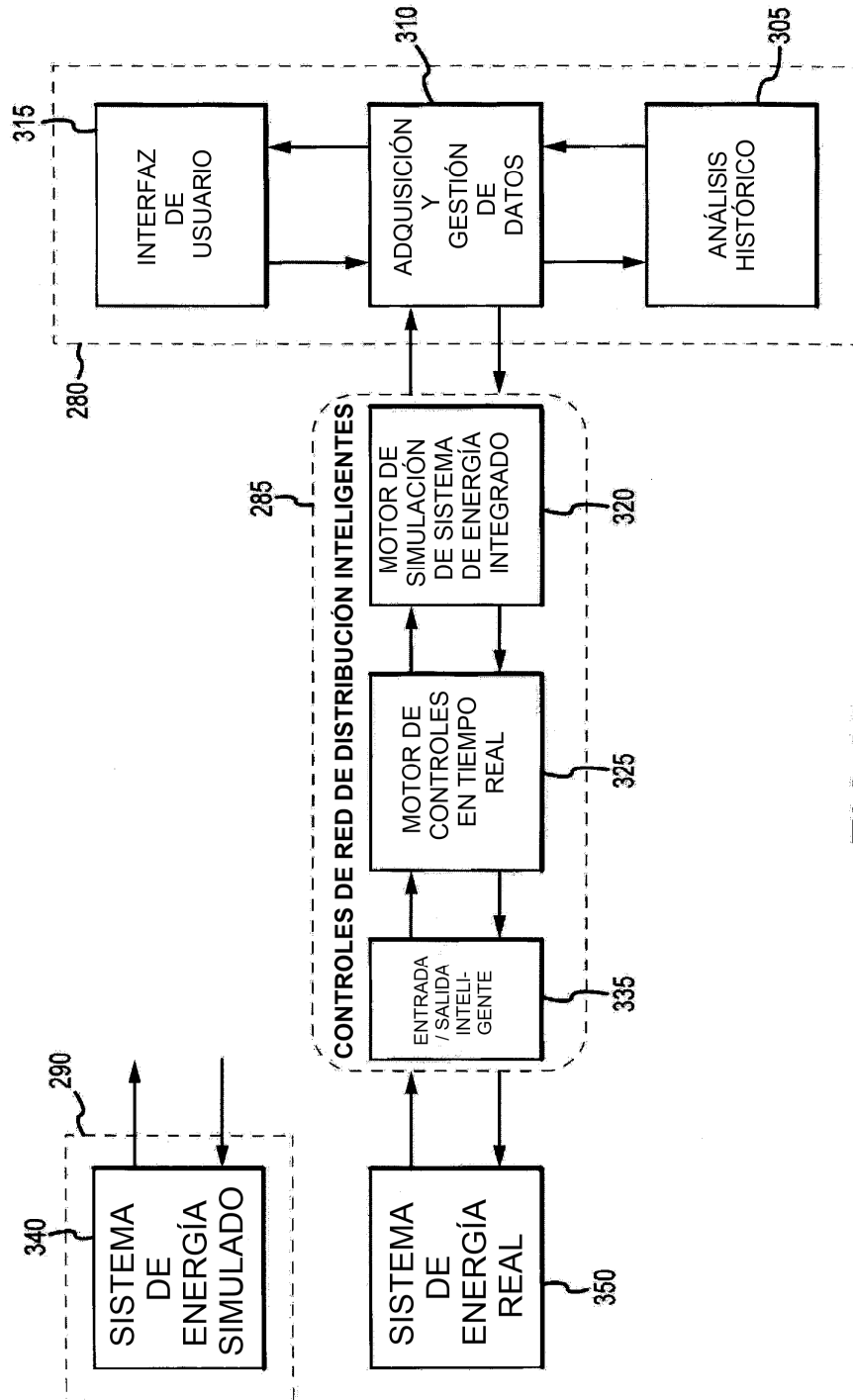


FIG.3B

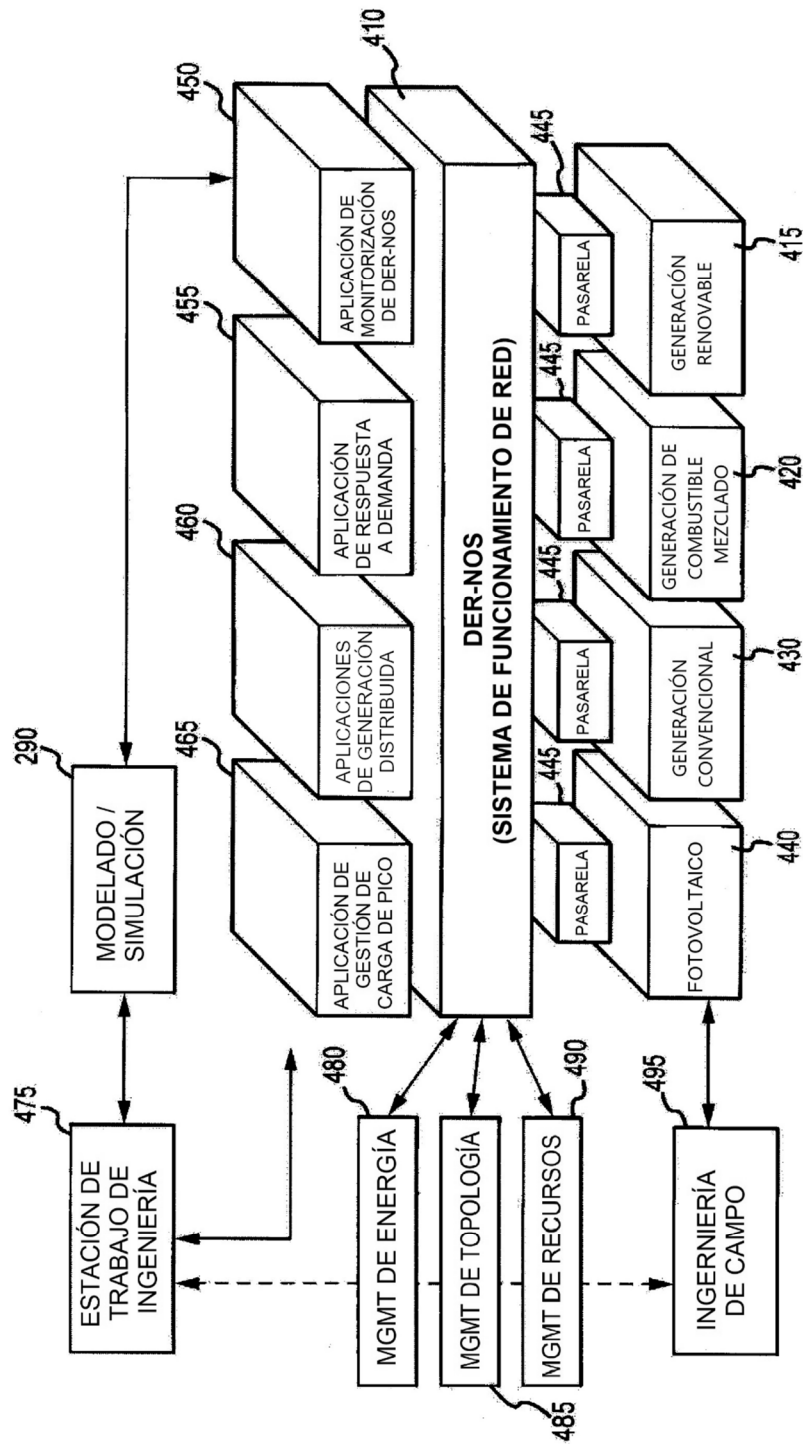


FIG.4

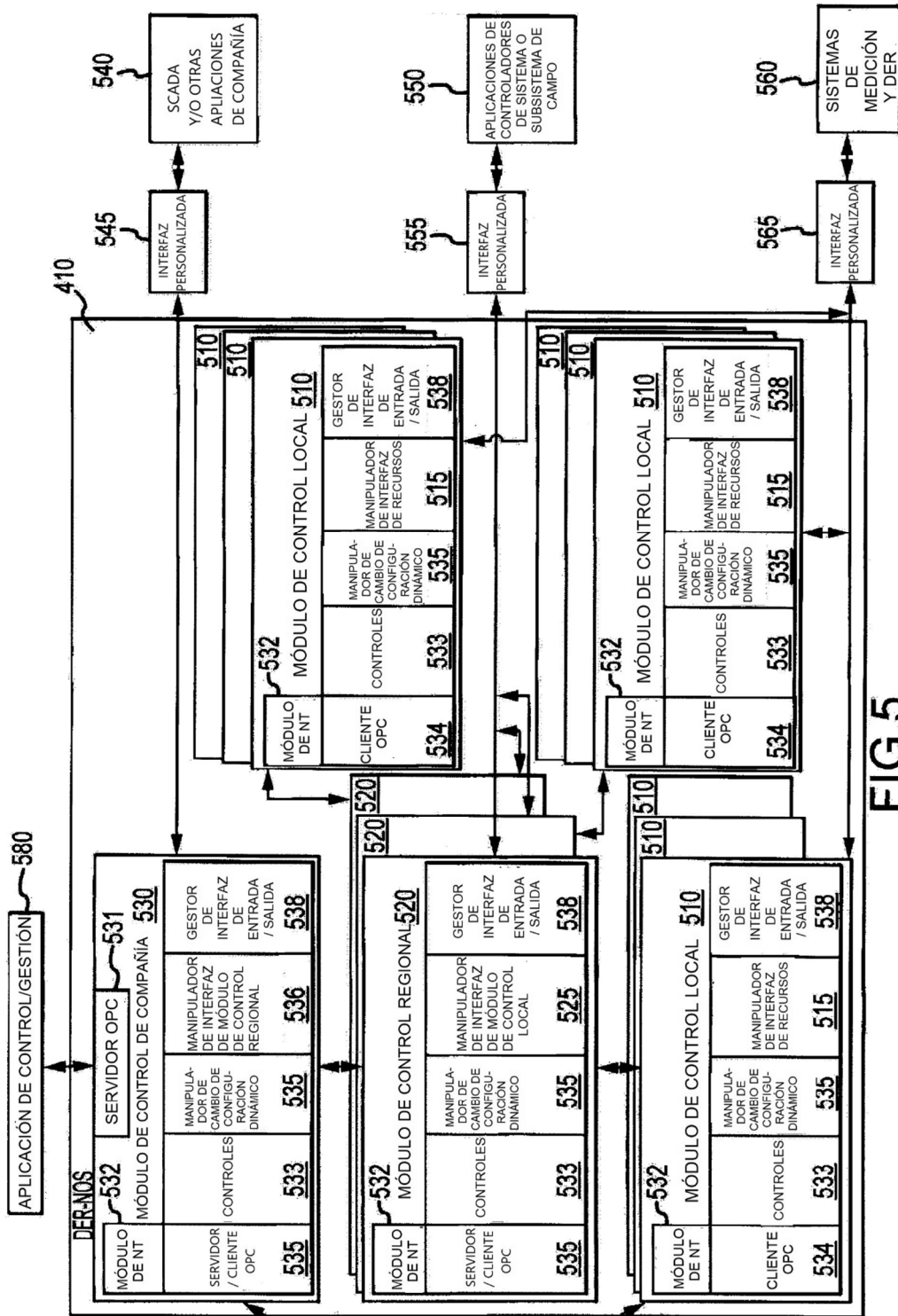


FIG.5



FIG.6

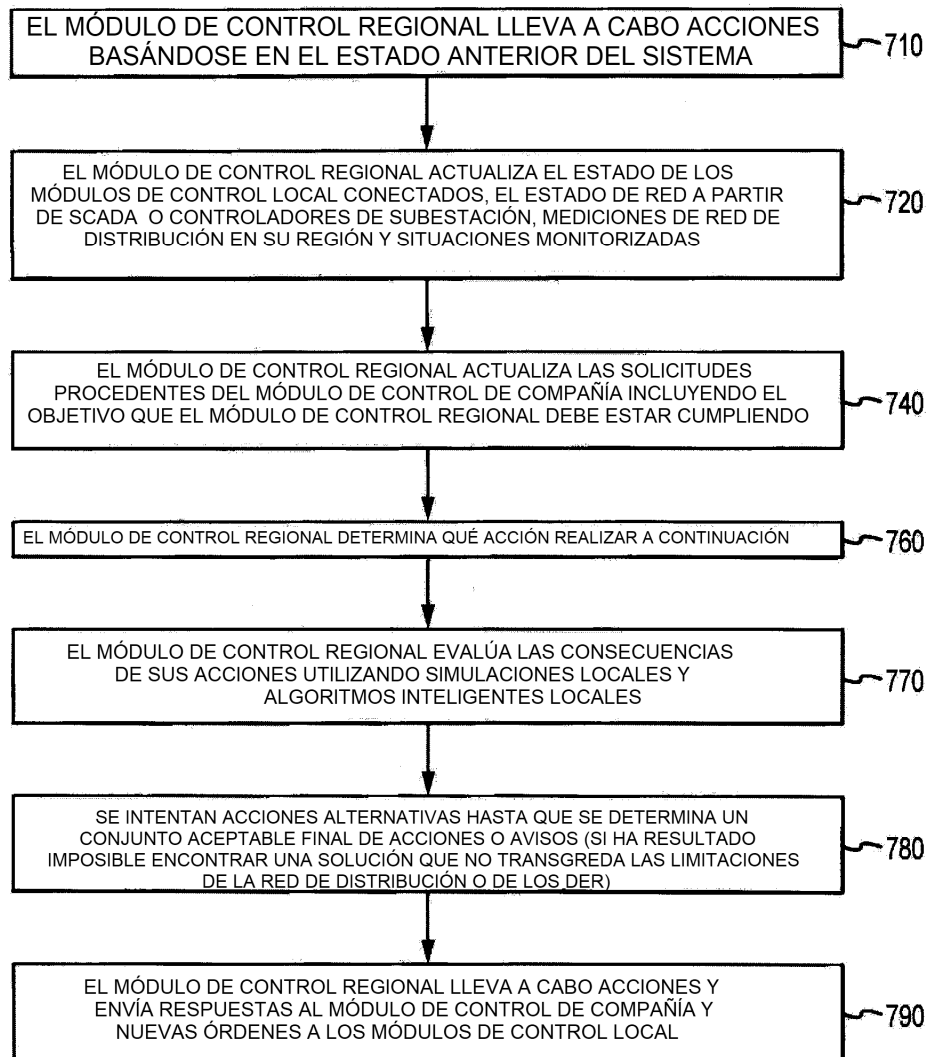


FIG.7

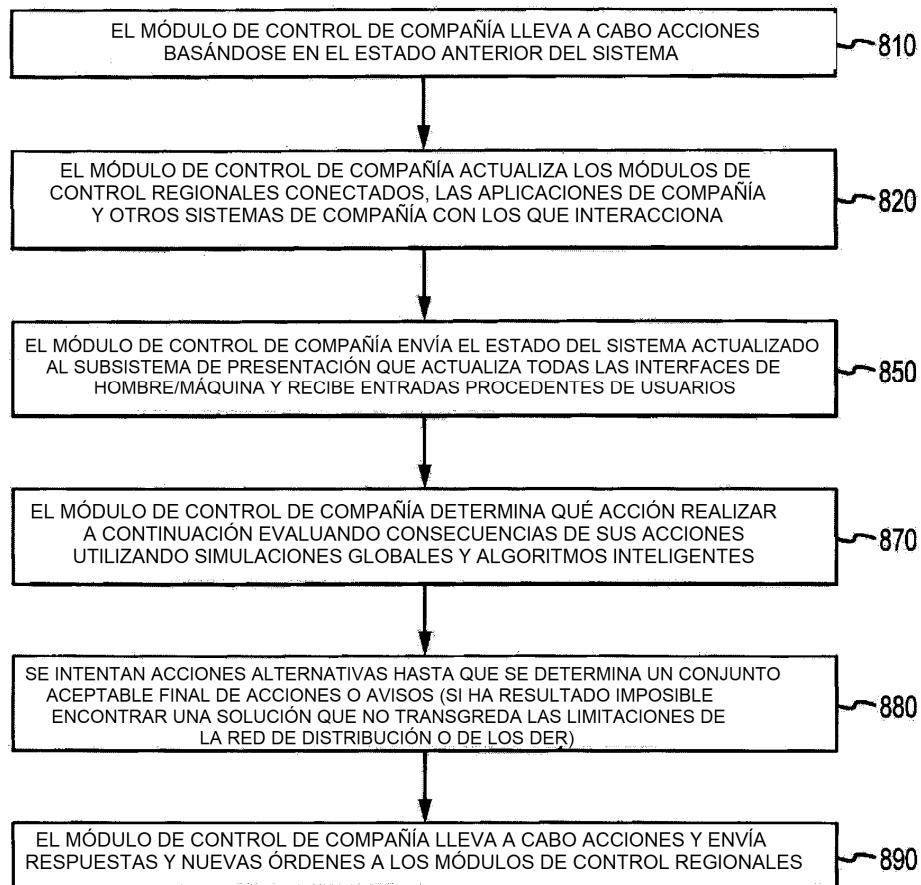


FIG.8

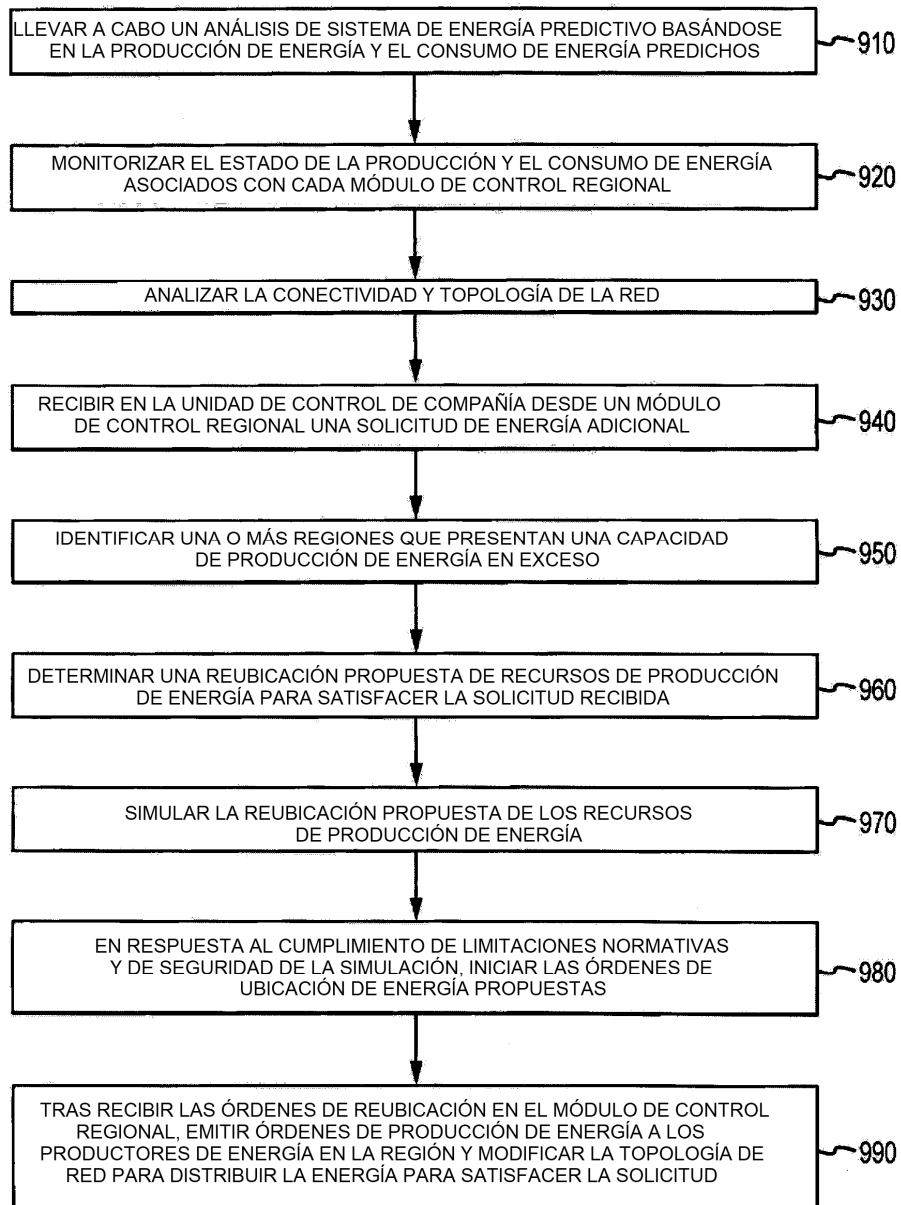


FIG.9