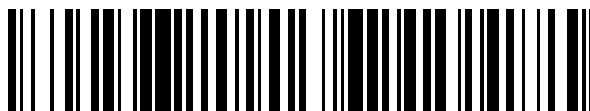


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 753**

51 Int. Cl.:

H02J 3/00 (2006.01)

H02J 13/00 (2006.01)

G05B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.05.2011 PCT/US2011/034850**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.02.2012 WO2012015508**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2011 E 11728089 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 2599183**

54 Título: **Sistema de control dinámico de redes eléctricas distribuidas**

30 Prioridad:

29.07.2010 US 846520

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

19.06.2017

73 Titular/es:

**SPIRAE LLC (100.0%)
243 N College Avenue
Fort Collins CO 80524-2404, US**

72 Inventor/es:

**CHERIAN, SUNIL y
PACIFIC, OLIVER**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 617 753 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 dinámico de redes eléctricas distribuidas.

5 Solicitud relacionada

La presente solicitud es una continuación parcial de la solicitud de patente US 12/846.520 presentada el 29 de julio de 2010, y reivindica prioridad con respecto a la misma.

10 Antecedentes de la invención**Campo de la invención**

15 Formas de realización de la presente invención se refieren, en general, a redes eléctricas y, más particularmente, a sistemas y métodos para controlar la asignación, la producción y el consumo de energía en una red de energía eléctrica.

Antecedentes relevantes

20 Una red eléctrica no es una entidad individual, sino un conglomerado de múltiples redes y múltiples compañías generadoras de energía con múltiples operadores que utilizan niveles variables de comunicación y coordinación, la mayoría de los cuales se controlan manualmente. Una red inteligente hace que aumente la conectividad, la automatización y la coordinación entre compañías eléctricas y consumidores de energía y las redes que transportan esa energía para efectuar o bien transmisiones de larga distancia o bien una distribución local.

25 El documento D5 de MARTENSEN N ET AL: "Models and simulations for the danish cell project: Running PowerFactory with OPC and Cell Controller", 8TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON LARGE-SCALE INTEGRATION OF WIND POWER INTO POWERSYSTEMS AS WELL AS ON TRANSMISSION NETWORKS FOR OFFSHORE WIND FARMS, 15 de octubre de 2009 (15-10-2009), páginas 1 a 6, XP003032951, da a conocer: un sistema (figura 1) para el control distribuido de recursos de energía en una red eléctrica de transmisión y distribución, que comprende: un motor de control (el controlador de células); un motor de simulación (PowerFactory, página 2, columna de la izquierda, primer párrafo completo) que se puede hacer funcionar para producir un modelo de características operativas (por ejemplo, valores de potencia activa y reactiva, página 3, columna de la derecha, A.1) y de respuesta de control (las salidas descritas en la página 4, columna de la izquierda, sección 5) de un recurso de energía distribuido, y comunicar resultados del modelo al motor de control (durante la simulación del entorno de la figura 1, las salidas se comunican al controlador de células); y una interfaz de control (la interfaz OPC) acoplada comunicativamente entre el motor de control y el motor de simulación.

40 La red eléctrica actual de corriente alterna se diseñó en la última parte del siglo 19. Muchas de las decisiones y suposiciones que se realizaron sobre su implementación entonces, siguen usándose en la actualidad. Por ejemplo, la red eléctrica actual incluye un sistema centralizado de transmisión unidireccional de energía eléctrica que está impulsado por la demanda. Durante los últimos 50 años, la red eléctrica no ha seguido el ritmo de los desafíos modernos. Desafíos tales como las amenazas de seguridad, los objetivos nacionales de utilizar una generación de energías alternativas, los objetivos de conservación, una necesidad de controlar oleadas de demanda máxima, la demanda ininterrumpida de energía y los nuevos dispositivos de control digitales cuestionan la capacidad de la red de distribución eléctrica actual. Para entender mejor la naturaleza de estos desafíos, es necesaria una asimilación clara de la generación y distribución de energía actuales.

50 La red eléctrica existente comienza en una central eléctrica y, después de esto, distribuye electricidad a través de una variedad de líneas de transmisión de energía hacia el consumidor de la misma. El productor o proveedor de energía consta, prácticamente en todos los casos, de un generador eléctrico rotativo. En ocasiones, los generadores rotativos son accionados por una presa hidroeléctrica, grandes motores diésel o turbinas de gas, aunque, en la mayoría de los casos, el generador es alimentado con vapor. El vapor se puede crear quemando carbón, aceite, gas natural o, en algunos casos, por medio de un reactor nuclear. También se puede producir energía eléctrica por medio de reacciones químicas, conversión directa de la luz solar y muchos otros medios.

60 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 sinusoidal durante un periodo de tiempo. A la corriente alterna (AC) que actúa como una única onda sinusoidal se le denomina energía monofásica. Las centrales eléctricas y las líneas de transmisión actuales transportan tres fases diferentes de energía AC simultáneamente. Cada una de estas fases está desplazada 120° con respecto a cada una de las otras, y cada fase se distribuye por separado. A medida que se añade energía a la red, la misma se debe sincronizar con la fase existente de la línea de transmisión particular que esté utilizando.

65 Cuando esta energía trifásica abandona el generador desde una central eléctrica, entra en una subestación de transmisión en donde el voltaje generado se eleva hasta un valor extremadamente alto para su transmisión a larga

distancia. A continuación, tras alcanzar un área de distribución regional, el elevado voltaje de transmisión se reduce para adaptarse a una red de distribución local o regional. Este proceso de reducción puede producirse en varias fases y, habitualmente, tiene lugar en una subestación eléctrica.

5 La figura 1 muestra una red de distribución eléctrica típica tal como es sabido para aquellos versados en la materia. Según se muestra, tres centrales eléctricas 110 prestan servicio a tres regiones distintas y separadas de consumidores de energía 150. Cada central eléctrica 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 eléctricas 130. La figura 1 muestra también que las plantas generadoras de energía están unidas por medio de líneas de transmisión de alto voltaje 120.

15 Desde cada planta generadora de energía 110, se distribuye energía para la subestación de transmisión 125 y, después de esto, la misma se reduce para las subestaciones eléctricas 130 que se comunican por interfaz con un bus de distribución, situando la electricidad en un voltaje de línea estándar de aproximadamente 7.200 voltios. Estas líneas eléctricas se ven comúnmente por todos los vecindarios a lo largo del mundo, y transportan energía al usuario final 150. Las viviendas y la mayoría de negocios requieren solamente una de las tres fases de energía que son transportadas típicamente por las líneas eléctricas. Antes de llegar a cada casa, un transformador de distribución reduce los 7.200 voltios bajándolos a aproximadamente 240 voltios, y los convierte al servicio eléctrico doméstico normal.

20 El sistema actual de distribución eléctrica conlleva múltiples entidades. Por ejemplo, la producción de energía puede representar una entidad, mientras que la transmisión de energía a larga distancia puede representar otra. Cada una de estas compañías interactúa con una o más redes de distribución que finalmente entregan energía al consumidor de la misma. Aunque las divisiones de control descritas en la presente no son absolutas, las mismas representan, sin embargo, un obstáculo para un control dinámico de energía sobre una red eléctrica distribuida.

25 Con la red de distribución eléctrica actual, si la demanda de energía por parte de un grupo de consumidores de energía superase la capacidad de producción de sus instalaciones generadoras de energía asociadas, esas instalaciones pueden comparar excedente de energía de otros productores de energía en red. Existe un límite con respecto a la distancia sobre la que se puede transportar de manera fiable y eficiente la energía, con lo que a medida que aumenta la demanda de los consumidores, se requieren más productores de energía regionales. El consumidor tiene poco control sobre quién produce la energía que consume.

30 Las redes de distribución eléctrica de este tipo han existido y se han estado utilizando durante más de 100 años. Y aunque el concepto global no ha variado significativamente, se ha generalizado en extremo y ha resultado razonablemente fiable. No obstante, cada vez resulta más claro que la red eléctrica existente está obsoleta, y que son necesarios sistemas de control nuevos e innovadores para modificar los medios por los cuales se distribuye eficientemente energía desde el productor al consumidor. Por ejemplo, cuando la demanda de energía del consumidor supera de manera rutinaria la capacidad de producción de unas instalaciones locales de producción de energía, el propietario y el operador de la red eléctrica local considera que se pueda añadir una capacidad de producción de energía adicional, o alternativamente, se deniega el servicio a una parte de los consumidores, es decir, se producen caídas de tensión. Para añadir energía adicional a la red, se emprende un proceso complicado y lento para entender y controlar opciones nuevas de distribución de energía eléctrica. La capacidad de la red de gestiona las demandas de pico debe ser conocida y monitorizada para garantizar un funcionamiento seguro de la red, y, si fuera necesario, debe implementarse una infraestructura adicional. Este proceso puede durar años y no consigue tener en cuenta la naturaleza dinámica de la producción y la demanda eléctricas.

35 Uno de los aspectos que resalta la necesidad de modificar los sistemas existentes de control de distribución eléctrica es la aparición de fuente de producción de energía alternativas y renovables, sistemas de almacenamiento distribuidos, sistemas de gestión de la demanda, electrodomésticos inteligentes, y dispositivos inteligentes para gestión de la red. Cada una de estas opciones requiere una gestión de energía activa de la red de distribución, incrementando sustancialmente las estrategias de control que se utilizan en la actualidad para la gestión de redes eléctricas de distribución.

40 Las soluciones existentes de gestión de redes carecen de la inteligencia distribuida para gestionar el flujo de energía a través de la red en una multitud de escalas de tiempo. Este vacío es especialmente evidente, en la medida en la que, típicamente, los propietarios de los nuevos cursos de generación de energía que se conectan a la red son diferentes organizaciones y dichos recursos se pueden usar para aportar diferentes ventajas a diferentes partes en momentos diferentes. Las herramientas convencionales de gestión de sistemas de energía eléctrica están diseñadas para trabajar con equipos y sistemas de red cuyos propietarios son los propios operadores de la red. No están diseñadas para permitir transacciones dinámicas entre usuarios finales (consumidores de energía), proveedores de servicios, operadores de redes, productores de energía, y otros participantes en el mercado.

45 Las redes eléctricas existentes se diseñaron para un flujo unidireccional de electricidad y, si una sub-red o región local genera más energía de la que consume, el flujo inverso de electricidad puede plantear problemas de seguridad

y fiabilidad. Existe, por lo tanto, un desafío en cuanto a la gestión dinámica de recursos de producción y de red eléctricas en tiempo real, y en cuanto a la habilitación de transacciones dinámicas entre diversos consumidores de energía, propietarios de recursos, proveedores de servicios, participantes en el mercado, y operadores de las redes. Puesto que deben realizarse cambios en el sistema existente de energía eléctrica para añadir capacidades de gestión dinámica de la energía usando diferentes recursos y bajo diversas condiciones, existe un desafío adicional en cuanto al modelado y la simulación del comportamiento del sistema eléctrico que usa diferentes estrategias de gestión de la energía. Una o más formas de realización de la presente invención abordan estos y otros desafíos presentes en la red de distribución eléctrica actual.

10 Sumario de la invención

En lo sucesivo en la presente se describe a título de ejemplo un sistema para el control y la distribución dinámicos de energía sobre una red eléctrica distribuida. De acuerdo con una forma de realización de la presente invención, una arquitectura de control multicapa se integra en la red existente de transmisión y distribución de energía, para permitir una gestión dinámica de la producción, la distribución, el almacenamiento y el consumo de energía (en conjunto, recursos de energía distribuidos). Este control dinámico se complementa con la capacidad de modelar soluciones propuestas de distribución de energía antes de la implementación, validándose así que la solución propuesta de distribución de energía funcione dentro de las limitaciones físicas y reguladores de la infraestructura existente. De acuerdo con una forma de realización de la presente invención, el sistema de control multicapa se combina con una simulación del sistema de energía eléctrica y recursos de energía distribuidos conectados a la red, de tal manera que el comportamiento del sistema total (sistema de energía eléctrica junto con el sistema de control multicapa que lo controla) se simula de manera precisa. Esta invención permite que la pluralidad de módulos de control dentro del sistema de control multicapa controlen partes apropiadas del sistema de energía simulado, de la misma manera que se produciría en el mundo real. Esto representa un aspecto significativo de la presente invención puesto que el sistema de control multicapa y la simulación del sistema de energía se pueden ejecutar como sistemas independientes, aunque acoplados comunicativamente.

Según una forma de realización de la presente invención, un sistema de control distribuido se comunica por interfaz con una red de distribución eléctrica existente para controlar de manera eficiente la producción y la distribución de energía. El sistema de control distribuido tiene tres capas principales: i) módulo de control empresarial, ii) módulos de control regional, y iii) módulos de control local. Un módulo de control empresarial está acoplado comunicativamente con sistemas existentes de control de supervisión y de adquisición de datos, y con una pluralidad de módulos de control regional. Los módulos de control regional 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 con el fin de gestionar dinámicamente flujos de energía en la red. Cada módulo de control regional está asociado además a una pluralidad de módulos de control local que se comunican por interfaz con productores de energía, incluyendo generadores eléctricos accionados por vapor, parques eólicos, instalaciones hidroeléctricas y grupos de paneles fotoeléctricos (solares), recursos de almacenamiento, tales como dispositivos de almacenamiento térmico o eléctrico y baterías en vehículos eléctricos, y sistemas de gestión de la demanda o electrodomésticos inteligentes.

Cada módulo de control local se sitúa bajo la dirección de un módulo de control regional para la gestión y el control de su productor de energía, consumidor o dispositivo asociado. Normalizando respuestas de control, el módulo de control regional se puede hacer funcionar para gestionar la producción, la distribución, el almacenamiento y el consumo de energía dentro de su región asociada. En otra forma de realización de la presente invención, módulos de control regional, por medio del módulo de control empresarial, pueden identificar una solicitud de producción de energía adicional. Conociendo la capacidad de producción de otras áreas regionales y si las mismas poseen un excedente de capacidad, el módulo de control empresarial puede ordenar a un módulo de control regional diferente que aumente la producción de energía para producir energía excedente o que aproveche energía almacenada. A continuación, la energía excedente se puede transmitir a la región que necesite energía para la distribución.

Según otra forma de realización de la presente invención, pueden simularse en tiempo real modificaciones del sistema de producción y distribución de energía para determinar si una solución propuesta que se encuentre con fluctuaciones de generación y consumo de energía se sitúa dentro de las capacidades de regulación, de las directrices de seguridad y/o del sistema. Un sistema de simulación que funciona en combinación con varios módulos del sistema de control multicapa utiliza información en tiempo real del sistema de energía, y predice las consecuencias de acciones de control antes de emitir las acciones de control hacia sistemas conectados. Cada módulo de control incluye un módulo de simulación asociado que conoce la estructura de la red, DER conectados en red, y sus características destacadas que se sitúan dentro del alcance de visibilidad y operativo de los módulos de control. El módulo de simulación lleva a cabo una estimación por estados para determinar condiciones en ubicaciones que no se miden directamente, calibrar la validez de mediciones reales, y estimar las condiciones que podrían resultar como consecuencia de acciones específicas o de una secuencia de acciones. Este planteamiento utiliza módulos de control distribuido y módulos de simulación para llevar a cabo estas operaciones en subsecciones del sistema eléctrico dentro de su propio intervalo de operaciones y en tiempo casi real. Tras la validación de que una solución propuesta en el sistema puede lograrse, la misma se puede implementar usando controles de tiempo real.

Otro aspecto de la presente invención incluye la gestión de demandas de carga de energía, producción de energía y distribución a nivel empresarial sobre una red eléctrica. Cuando los cambios de demanda son impulsados por una pluralidad de consumidores de energía, el módulo de control empresarial puede detectar la necesidad de energía adicional por parte de uno o más módulos de control regional. Además, el módulo de control empresarial puede recibir datos referentes a la capacidad de cada módulo de control regional de producir excedente de energía en relación con la demanda local de sus consumidores. El módulo de control empresarial puede emitir órdenes hacia uno o más módulos de control regional, para incrementar la producción de energía o reducir el consumo, así como para reencaminar el excedente de energía. Al recibir una orden de este tipo, los módulos de control regional se comunican con los productores de energía dentro de su región para incrementar la producción de energía. La orden transmitida a cada productor de energía se normaliza para garantizar una respuesta a la producción homogénea por la variedad de opciones de producción de energía asociadas a una red eléctrica distribuida. Los módulos de control local y los módulos de control regional tienen también la capacidad de actuar independientemente para mantener en equilibrio el suministro y la demanda, en caso de que se requiera una acción muy rápida para mantener el sistema en una condición de funcionamiento estable.

La presente invención posee además la capacidad de responder automáticamente a cambios en la estructura de la red, la disponibilidad de recursos, niveles de generación de energía, o condiciones de carga sin requerir ninguna reprogramación. De acuerdo con una forma de realización de la presente invención, los módulos de control empresarial así como los módulos de control regional y local poseen información de componentes conocidos de la red eléctrica distribuida. Cuando se conectan a la red componentes nuevos de una clase conocida, por ejemplo, una turbina eólica adicional, las diversas capas de la presente invención la reconocen inmediatamente como una turbina eólica que posee características y capacidades particulares. Al conocer estas características y capacidades, la presente invención puede emitir órdenes sin fisuras con respecto a la producción de energía y su distribución. Tras emitirse una orden, los módulos de control regional y local pueden proporcionar a cada componente la información correcta, tal que la misma sea entendida por ese dispositivo y ejecutada según se espera. La presente invención también posee la capacidad de reconocer componentes que son extraños para la red distribuida. Tras acoplarse a la red un dispositivo no reconocido, el módulo de control local inicia una consulta para identificar las características, propiedades y capacidades de ese dispositivo. Esa información se añade al repositorio de información, y, posteriormente, se usa para facilitar la comunicación con el dispositivo y su control. Este proceso puede ser manual o automático. Esta información nueva se propaga inmediatamente hacia módulos apropiados del sistema, y actividades de monitorización, de control, de red, y de simulación pueden aprovechar las capacidades ofrecidas por el nuevo dispositivo automáticamente.

La presente invención permite además que el módulo de control empresarial presente capacidades funcionales a otras aplicaciones para implementar tipos diferentes de servicios. Los ejemplos incluyen una aplicación de gestión de cargas de pico de alimentadores que usa 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 de "isla" hacia un módulo de control regional, para separarse de la red y funcionar de manera independiente utilizando recursos de generación locales y control de carga. Mediante el uso de capacidades funcionales presentadas por el módulo de control empresarial, muchas aplicaciones pueden usar capacidades de la red de generación de energía, de consumo de energía y de almacenamiento de recursos, sin comprometer su estabilidad o violar límites operativos.

La presente invención proporciona un método y sistemas para permitir transacciones generales entre diferentes proveedores de servicios y abonados a servicios automáticamente (transacciones dinámicas entre consumidores de energía, proveedores de servicios, operadores de redes, productores de energía, y otros participantes en el mercado), aunque manteniendo la estabilidad y fiabilidad de operaciones de la red. El planteamiento multicapa de la presente invención proporciona una interfaz estable entre aplicaciones que funcionan en la etapa frontal (*front end*) del sistema y dispositivos que se comunican por interfaz con la etapa interna (*back end*). Al realizar esto, tanto las aplicaciones como los dispositivos experimentan una experiencia de "Plug and Play" la cual se aprovecha al máximo para gestionar la red eléctrica distribuida. Un ejemplo sería cómo una aplicación de gestión de cargas de pico automáticamente encuentra y usa generadores disponibles, para garantizar que no se supera un límite de demanda en un alimentador de distribución. Esto es análogo a que una aplicación de procesamiento de texto encuentre automáticamente una impresora en red disponible cuando sea necesario.

Las características y ventajas descritas en esta exposición y en la siguiente descripción detallada no son exhaustivas. Muchas características y ventajas adicionales se pondrán de manifiesto para alguien con conocimientos habituales en la técnica pertinente a la vista de los dibujos, la memoria descriptiva, y las reivindicaciones de la presente. Por otra parte, debe señalarse que el lenguaje utilizado en la memoria descriptiva se ha seleccionado principalmente con fines relacionados con su inteligibilidad y didácticos, y puede no haberse seleccionado para delimitar o circunscribir la materia objeto de la invención; es necesario remitirse a las reivindicaciones para determinar dicha materia objeto de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Las características y objetivos de la presente invención antes mencionados y otros, y la forma de obtenerlos, se pondrán más claramente de manifiesto, y la propia invención se entenderá mejor, al hacer referencia a la siguiente descripción de una o más formas de realización consideradas conjuntamente con los dibujos adjuntos, en donde:

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

la figura 2 muestra una capa superpuesta de un proceso de alto nivel de un sistema para controlar una red eléctrica distribuida de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

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

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

la figura 4 es un diagrama de bloques funcionales de alto nivel de un sistema de funcionamiento de redes distribuidas de recursos energéticos (una forma de realización alternativa de los controles de red inteligente presentados en la figura 3A y 3B) para la gestión de recursos, topología y producción de energía de acuerdo con una forma de realización de la presente invención, en donde aplicaciones nuevas están usando las capacidades funcionales presentadas por un sistema de funcionamiento de redes distribuidas de recursos energéticos para implementar capacidades del sistema más complejas según se describe en la presente;

la figura 5 es un diagrama de bloques de alto nivel de una arquitectura multicapa para controlar una red eléctrica distribuida de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

la figura 6 es un diagrama de flujo para operaciones de módulos de control local de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

la figura 7 es un diagrama de flujo para operaciones de módulos de control regional de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

la figura 8 es un diagrama de flujo para operaciones del módulo de control empresarial de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

la figura 9 es un diagrama de flujo de una forma de realización de un método para controlar la distribución y producción de energía en una red eléctrica distribuida de acuerdo con la presente invención, en la que la reducción de demanda se considera como una generación negativa;

la figura 10 es un diagrama de flujo de una forma de realización de un método para simular una topología de red eléctrica distribuida y sus sistemas de energía asociados;

las figuras 11A y 11B se combinan para constituir un diagrama de flujo de una forma de realización de un método para desplegar y validar controles desarrollados con un sistema de energía simulado.

La figura 12 es un diagrama de flujo de una forma de realización de un método para la monitorización y modificaciones en tiempo real de entradas de órdenes y control a un sistema de energía físico sobre la base de una simulación de un sistema de energía en tiempo real;

la figura 13 es un diagrama de bloques de alto nivel que muestra la interacción entre un módulo de control, un motor de simulación y componentes físicos de una red eléctrica distribuida de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

Las figuras representan formas de realización de la presente invención únicamente con fines ilustrativos. Alguien versado en la materia reconocerá fácilmente, a partir de la siguiente descripción, que pueden utilizarse formas de realización alternativas de las estructuras y métodos ilustrados en la presente, sin desviarse con respecto a los principios de la invención descritos en este documento.

Glosario de términos

Por comodidad a la hora de describir la invención en la presente, se proporciona el siguiente glosario de términos. Debido a la naturaleza introductoria y sintética de este glosario, estos términos deben interpretarse también de manera más precisa por el contexto de la Descripción Detallada en la cual se exponen.

Informática en la Nube es un paradigma de informática en el cual recursos dinámicamente escalables y normalmente virtualizados se proporcionan en forma de un servicio a través de Internet. No es necesario que los usuarios tengan conocimiento, experiencia, o control de la infraestructura tecnológica en la “nube” que lo soporta. El término “nube” se usa como una metáfora para “internet”, basándose en cómo se representa Internet en diagramas de redes informáticas, y es una abstracción de la infraestructura compleja que oculta.

El HTTP (Protocolo de Transferencia de HiperTexto) es un protocolo de comunicaciones para la transferencia de información sobre Internet o una red de área extensa similar. El HTTP es una normativa de solicitudes/respuestas entre un cliente y un servidor. Un cliente es el usuario final; el servidor es el sitio web. Al cliente que realiza una solicitud HTTP – usando un navegador web, una araña web, u otra herramienta de usuario final – se le hace referencia como agente de usuario. Al servidor respondedor – que almacena o crea recursos tales como archivos e imágenes HTML – se le denomina servidor de origen. Entre el agente de usuario y el servidor de origen puede haber varios intermediarios, tales como proxys, pasarelas y túneles. El HTTP no se limita al uso del TCP/IP (que se define posteriormente) y sus capas de soporte, aunque esta es su aplicación más popular en Internet.

Un Servidor Web es un ordenador que alberga un programa de ordenador que es responsable de aceptar solicitudes HTTP de clientes web, los cuales son conocidos como navegadores web, y de servirles respuestas HTTP junto con contenido de datos opcional, el cual es habitualmente páginas web, tales como documentos HTML y objetos enlazados (imágenes, etcétera).

El Protocolo de Internet (IP) es un protocolo usado para comunicar datos a través de una inter-red conmutada por paquetes usando la Serie de Protocolos de Internet, al que se hace referencia también como TCP/IP. La Serie de Protocolos de Internet es el conjunto de protocolos de comunicaciones usados para Internet y otras redes similares. Se denomina así por dos de los protocolos más importantes que hay en ella, el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y el Protocolo de Internet (IP), que fueron los dos primeros protocolos de red definidos en esta normativa. Las redes IP actuales representan una síntesis de varios desarrollos que comenzaron a evolucionarse en los 60 y 70, concretamente Internet y las LANs (Redes de Área Local), que aparecieron desde mediados hasta finales de los 80, junto con la llegada de la Red Informática Mundial (*World Wide Web*) a principios de los 90. La Serie de Protocolos de Internet, como muchas series de protocolos, puede considerarse como un conjunto de capas. Cada capa resuelve un conjunto de problemas que conlleva la transmisión de datos, y proporciona un servicio bien definido para los protocolos de capa superiores basándose en el uso de servicios de algunas capas inferiores. Las capas superiores están más próximas en términos lógicos al usuario y tratan con datos más abstractos, basándose en protocolos de capas inferiores para traducir datos a formatos que finalmente se pueden transmitir físicamente. El modelo TCP/IP consta de cuatro capas (RFC 1222). Desde la más baja a la más alta, estas capas son la Capa de Enlace, la Capa de Internet, la Capa de Transporte, y la Capa de Aplicación.

Una red de área extensa (WAN) es una red informática que cubre un área amplia (es decir, cualquier red cuyos enlaces de comunicación cruzan límite metropolitanos, regionales o nacionales). Está en contraposición con las redes de área personal (PANs), las redes de área local, las redes de área de campos (CANs), o las redes de área metropolitana (MANs) que se limitan habitualmente a una sala, un edificio, un campus o un área metropolitana específica (por ejemplo, una ciudad) respectivamente. Las WAN se usan para conectar redes de área de local y otros tipos de redes entre sí, de manera que los usuarios y ordenadores en una ubicación se pueden comunicar con usuarios y ordenadores de otras ubicaciones. Muchas WAN se construyen para una organización particular y son privadas. Otras, construidas por proveedores de servicios de Internet, proporcionan conexiones desde 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, tal como una vivienda, una oficina, un grupo pequeño de edificios, tal como una escuela, o un aeropuerto. Las características definitorias de las LANs, por contraposición a las WANs, incluyen sus velocidades de transferencia de datos habitualmente mayores, una menor área geográfica, y la prescindibilidad de líneas de telecomunicaciones arrendadas.

Internet es un sistema global de redes informáticas interconectadas que usan la Serie de Protocolos de Internet Normalizada, prestando servicio a miles y millones de usuarios en todo el mundo. Es una *red de redes* que consta de millones de redes privadas, públicas, académicas, comerciales y gubernamentales, de ámbito local a global, que están enlazadas mediante hilos de cobre, cables de fibra óptica, conexiones inalámbricas, y otras tecnologías. Internet transporta una amplísima variedad de recursos y servicios de información, más particularmente los documentos de hipertexto inter-enlazados de la Red Informática Mundial y la Infraestructura para soportar correo electrónico. Además, soporta servicios populares, tales como chat en línea, transferencia de archivos y compartición de archivos, juegos, comercio, redes sociales, publicación, vídeo bajo demanda, teleconferencias y telecomunicaciones.

SCADA, o Control de Supervisión y Adquisición de Datos hace referencia a un sistema de control industrial, sistema de control de redes eléctricas o sistema informático usado en combinación con la monitorización y el control de un proceso. Hablando en términos generales, un sistema de SCADA se refiere habitualmente a un sistema que coordina la monitorización de sitios o complejos de sistemas diseminados sobre grandes áreas. La mayoría de acciones de control se llevan a cabo automáticamente por parte de Unidades de Terminales Remotas (RTU) o Controladores Lógicos Programables (PLC). A efectos de la presente invención, el SCADA es uno de los muchos medios por los cuales la presente invención obtiene información de la demanda de los consumidores de energía, así como datos relacionados referentes a la red eléctrica distribuida.

Los Recursos Energéticos Distribuidos (DER) son activos, equipos, o sistemas con capacidad de producir energía, almacenar/liberar energía, gestionar el consumo, y proporcionar mediciones y control distribuidos por toda una red eléctrica. Cada uno de los recursos varía en cuanto a tipo y capacidad. Por otra parte, un DER puede representar un sistema compuesto por otro DER junto con partes del sistema de energía eléctrica operativamente unidos junto con los sistemas de control descritos en esta invención (formando un DER compuesto). A su vez, un DER compuesto tiene el aspecto de un DER ordinario para otros elementos del sistema de energía externos al DER compuesto. Esta capacidad de control recursivo proporciona a la presente invención un mecanismo de composición poderoso para construir y hacer funcionar sistemas muy grandes de una manera escalable.

La OPC ((Vinculación e Incrustación de Objetos) para Control de Procesos) es una normativa de interfaces de software que permite que programas de Windows se comuniquen con dispositivos de hardware industriales. La OPC se implementa en pares de servidor/cliente. El servidor de OPC es un programa de software que convierte el protocolo de comunicaciones de hardware usado por un Controlador Lógico Programable (PLC) (un pequeño ordenador industrial que controla uno o más dispositivos de hardware) en el protocolo de OPC. El software de cliente de OPC es cualquier programa que necesita conectarse al hardware. El cliente de OPC usa el servidor de OPC para obtener datos del hardware o enviar órdenes a este último. Hay disponibles muchas normativas de interfaces y protocolos para intercambiar información entre aplicaciones o sistemas que son utilizados por la presente invención con el final de comunicarse con varios DER, aplicaciones y sistemas.

Una Red Inteligente entrega electricidad de los proveedores a los consumidores utilizando tecnología digital para controlar la producción, el consumo, el almacenamiento y la liberación de energía, electrodomésticos en las viviendas de los consumidores que gestionan la demanda y/o ahorran energía, reducen costes e incrementan la fiabilidad y la transparencia. La diferencia entre una red inteligente y una red convencional es que se usan comunicaciones omnipresentes y un control inteligente para optimizar operaciones de la red, aumentar las opciones de servicios, y permitir la participación activa de múltiples proveedores de servicios (incluyendo consumidores de energía) en una maraña compleja de transacciones dinámicas de energía y servicios.

Descripción de la invención

En lo sucesivo en la presente se describen de manera detallada formas de realización de la presente invención en referencia a las figuras adjuntas. Aunque la invención se ha descrito e ilustrado con un cierto grado de particularidad, se entiende que la presente exposición se ha realizado únicamente a título de ejemplo, y que aquellos versados en la materia pueden recurrir a numerosos cambios en cuanto a la combinación y disposición de las partes sin desviarse con respecto al espíritu y el alcance de la invención.

Formas de realización de la presente invención permiten la gestión y el control de una pluralidad de DER y elementos de red conectados a una red eléctrica distribuida. A diferencia de las redes eléctricas tradicionales, una red eléctrica inteligente permite la generación y almacenamiento de energía, y la gestión de cargas dentro de redes de distribución a un nivel local o regional. Para facilitar la generación, el almacenamiento, la gestión de cargas y la distribución de energía, la presente invención integra un sistema de control multicapa que actúa de manera que se comunica por interfaz con una pluralidad de diversas aplicaciones que ofrecen una variedad de servicios a una pluralidad de elementos diversos productores y controladores de energía. En la siguiente descripción se incluyen diagramas de flujo que representan ejemplos de la metodología que se puede usar para controlar y gestionar una red eléctrica de transmisión y distribución usando las capacidades de DER en sistemas instalados en la misma. En la siguiente descripción, se entenderá que cada bloque de las ilustraciones de los diagramas de flujo, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de diagramas de flujo, pueden ser implementadas por instrucciones de programa de ordenador. Estas instrucciones de programa de ordenador se pueden cargar en un ordenador u otro aparato programable para producir una máquina, de tal manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable creen medios para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques de los diagramas de flujo. Estas instrucciones de programa de ordenador también se pueden almacenar en una memoria legible por ordenador que puede ordenar a un ordenador u otro aparato programable que funcione de una manera particular, de tal manera que las instrucciones almacenadas en la memoria legible por ordenador produzcan un artículo de fabricación, incluyendo medios de instrucciones que implementen la función especificada en el bloque o bloques de diagramas de flujos. Las instrucciones de programa de ordenador también se pueden cargar en un ordenador u otro aparato programable para conseguir la ejecución de una serie de etapas operativas en el ordenador o en el otro aparato programable, con el fin de producir un proceso implementado por ordenador tal

que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador o en el otro aparato programable proporcionen etapas para implementar las funciones especificadas en el bloque o bloques de los diagramas de flujo.

Por consiguiente, bloques de las ilustraciones de los diagramas de flujo soportan combinaciones de medios para llevar a cabo las funciones especificadas y combinaciones de etapas con vistas a ejecutar las funciones especificadas. Se entenderá también que cada bloque de las ilustraciones de los diagramas de flujo, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de los diagramas de flujo, se pueden implementar por medio de sistemas informáticos basados en hardware de propósito especial que llevan a cabo las funciones o etapas especificadas, o combinaciones de instrucciones de hardware de propósito especial y de ordenador.

En la actualidad, los sistemas de redes eléctricas tienen grados variables de comunicación dentro de los sistemas de control para sus recursos de alto valor, tal como en centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones y usuarios importantes de energía. En general, la información fluye en un sentido, proveniente de los usuarios y de las cargas que controlan, de vuelta a las empresas de servicios públicos. Las empresas de servicios públicos intentan cumplir la demanda con generadores que siguen de manera automática la carga y, a continuación, despachando generación de reserva. Tienen éxito o fracasan en grados variables (operaciones normales, caídas de tensión, apagones programados, apagones no controlados). La cantidad total de demanda de energía por parte de los usuarios puede tener una distribución de probabilidad muy amplia lo cual requiere que las centrales generadoras de reserva funcionen en un modo de espera, preparadas para responder al uso de energía que varía rápidamente. Este planteamiento de gestión de las redes es caro; de acuerdo con una estimación, el último 10% de capacidad generadora puede ser necesario en un porcentaje tan pequeño como el 1% del tiempo, y las caídas de tensión y los cortes del servicio pueden resultar costosos para los consumidores.

Las líneas eléctricas existentes en la red se construyeron originalmente usando un modelo radial, y posteriormente se garantizó la conectividad por medio de múltiples rutas, a lo que se hace referencia como estructura de red en malla. Si el flujo de corriente o efectos relacionados a través de la red superan los límites de cualquier elemento de red particular, el mismo podría fallar, y la corriente se derivaría a otros elementos de red, los cuales finalmente también pueden fallar, provocando un efecto dominó. Una de las técnicas para evitar esto es la desconexión de carga por medio de un apagón programado o una reducción de voltaje (caída de tensión).

La generación distribuida permite que consumidores individuales generen energía in situ, usando cualquier método de generación que ellos encuentren apropiado. Esto permite que individuos personalicen su generación directamente con respecto a su carga, haciendo que sean independientes con respecto a fallos de energía en la red. Sin embargo, si una subred local genera más energía de la que está consumiendo, el flujo inverso puede plantear problemas de seguridad y fiabilidad, dando como resultado un fallo en cascada de la red eléctrica. La generación distribuida se puede añadir en cualquier lugar de la red eléctrica, pero es necesario que dichos recursos energéticos adicionales se coordinen correctamente para mitigar impactos negativos en el sistema eléctrico. Formas de realización de la presente invención abordan esta necesidad para controlar de manera segura y fiable la producción, la distribución y el almacenamiento y el consumo de energía en una red eléctrica distribuida.

De acuerdo con una forma de realización de la presente invención, un sistema de control multicapa se superpone e integra en la red eléctrica existente. Usando datos recogidos en combinación con sistemas de SCADA existentes, un módulo de control empresarial gobierna la demanda, el control, la gestión y la distribución de energía total. Este módulo de control empresarial interactúa con módulos de control regional que sirven para gestionar la producción y la distribución de energía a un nivel local o regional. Cada módulo de control regional se comunica por interfaz con múltiples DER dentro de su área de responsabilidad, para gestionar dinámicamente la producción y el consumo de energía manteniendo el sistema dentro de sus límites de fiabilidad y seguridad. Estas tres capas, el módulo de control empresarial, el módulo de control regional y el módulo de control local, forman un sistema de funcionamiento de redes distribuidas de recursos energéticos que actúa como un entorno estable al cual proporciona energía uno cualquiera de entre una pluralidad de productores de energía y del cual pueden extraer energía uno cualquiera de una pluralidad de consumidores de energía. El sistema de la presente invención permite que los componentes individuales de la red eléctrica, consumidores y productores de energía, cambien dinámicamente sin afectar de manera perjudicial a la estabilidad y fiabilidad de la red eléctrica distribuida.

La figura 2 muestra una superposición de alto nivel de un sistema de comunicaciones para controlar una red eléctrica distribuida de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. Las instalaciones generadoras de energía tradicionales 110 están acopladas a subestaciones 125 como lo están los parques eólicos 220 y los grupos de paneles solares 210. Aunque la figura 2 muestra tres formas de generación de energía, alguien versado en la materia reconocerá que la presente invención es aplicable a cualquier forma de generación de energía o fuente de energía. De hecho, la presente invención tiene igualmente la capacidad de gestionar energía añadida a la red eléctrica distribuida desde baterías, como las que se pueden encontrar en vehículos eléctricos siempre que la energía sea compatible con el formato de la red, o se transforme para ser compatible con el mismo.

Asociado a cada subestación 125 se encuentra un módulo de control regional 225. El módulo de control regional gestiona la producción, la distribución y el consumo de energía usando DER disponibles dentro de su región. Asociadas también a cada región se encuentran cargas industriales 260 que serían representativas de grandes

empresas comerciales y cargas residenciales 250. De acuerdo con la presente invención, cada módulo de control regional que usa una o más aplicaciones se puede hacer funcionar para gestionar de manera autónoma la distribución y la producción de energía dentro de su región. El funcionamiento autónomo también se puede situar en modo de isla, donde la gestión de la frecuencia y el voltaje de la red se llevan a cabo con una velocidad suficientemente rápida para materializar unas operaciones en red seguras. La presente invención gestiona dinámicamente varios modos de funcionamiento de los DER y la red para llevar a cabo estas funciones, además de gestionar los flujos de energía.

Cada entidad productora de energía 210, tal como las centrales generadoras de energía tradicionales 110 y las fuentes de energía renovable o alternativa 220, se comunica por interfaz con la red regional por medio de un módulo de control local 215. El módulo de control local 215 normaliza respuestas de órdenes de control con cada uno de la pluralidad de productores de energía. Ofreciendo al módulo de control regional 225 una respuesta normalizada desde cada una de la pluralidad de entidades productoras de energía, el módulo de control regional puede gestionar activamente la red eléctrica de una manera escalable. Esto significa que el controlador puede modificar dinámicamente sus acciones en función del DER que esté disponible en cualquier momento. El controlador distribuido compensa de manera dinámica y automática recursos que pueden añadirse, situarse fuera de servicio, fallar o perder conectividad. Esta capacidad proporciona a la presente invención una naturaleza altamente escalable que reduce al mínimo la necesidad de cambiar manualmente el sistema cada vez que se produce un cambio en la estructura de la red o la disponibilidad de DER. Esta es una característica única y diferenciadora de esta invención.

Para entender mejor la versatilidad y la escalabilidad de la presente invención, considérese el siguiente ejemplo. La figura 2 muestra una red eléctrica primaria 205 (mostrada en líneas de trazos superpuesta con una red de gestión de distribución de energía 200). Supóngase que, tal como se representa en la figura 2, un módulo de control regional 225 está gestionando activamente la producción, el consumo y la distribución de energía dentro de su área de responsabilidad. Para llevar a cabo esto, el módulo de control regional 225 interactúa con el módulo de control empresarial 275 que, a su vez, proporciona al módulo de control regional 225 acceso a controles de red inteligente 285, datos 280 y otras aplicaciones de gestión que están asociadas al módulo de control empresarial 275. En este ejemplo, considérese que el área de responsabilidad incluye una central eléctrica distribuida 110 y unas instalaciones eléctricas de tipo parque eólico 220. Además de interactuar con estas instalaciones generadoras de energía, el módulo de control regional 225 tiene también conocimiento del consumo y la demanda de energía por parte de cargas residenciales 250 y cargas comerciales 260. Supóngase que no hay viento y, por lo tanto, las instalaciones de producción eólica 220 están inactivas. Por consiguiente, el módulo de control regional gestiona la distribución de energía generada por la central eléctrica 110 y la energía tomada de la red principal 205 para los diversos consumidores de energía 250, 260.

Supóngase además que comienza a soplar una brisa suficientemente como para accionar las turbinas eólicas. Una a una, una pluralidad de turbinas eólicas, entran en funcionamiento y comienzan a producir energía. A medida que cada turbina eólica comienza a producir energía, se identifica para el módulo de control regional 225 y, de hecho, para todo el sistema de funcionamiento de la red distribuida de recursos energéticos, como una turbina eólica que presenta características y propiedades particulares. Conociendo estas características y propiedades, el módulo de control regional puede establecer comunicación y control de la turbina cuando cambia su modo de inactivo a en producción. A medida que la(s) turbina(s) eólica(s) puede(n) proporcionar energía adicional, el módulo de control regional puede reducir las solicitudes de producción para la central eléctrica 110, basándose en su análisis de la carga tanto residencial 250 como comercial 260, y ajustar la energía extraída de la red primaria 205 para mantener el sistema dentro de límites de funcionamiento o de límites contractuales basados en el mercado. El sistema también ajusta automáticamente otros parámetros, tales como las reservas rodantes locales y las reservas de sustitución necesarias para ajustarse a las condiciones del mundo real siempre variables. Este ajuste continuo sobre la cartera de DER bajo cualquier modelo de control, y sobre módulos de control, es un rasgo distintivo de esta invención.

Al llevar a cabo esto, el módulo de control regional 225 puede modificar el esquema de distribución (topología de red) dentro de su región, para optimizar la producción y la distribución de energía y para mantener el sistema dentro de sus límites operativos. Por último, supóngase que una de las turbinas eólicas del parque eólico 220 es de un tipo que es desconocido para el módulo de control regional. Aunque produce energía, el módulo de control regional no posee sus características, propiedades, y otros datos pertinentes con respecto a la producción de energía. De acuerdo con una forma de realización de la presente invención, los módulos de control regional 225 y local 215 emiten una pluralidad de consultas hacia la nueva turbina eólica, para averiguar datos pertinentes a la integración de la turbina eólica en la red eléctrica distribuida. Estos datos también se pueden obtener a través de entradas manuales por parte de operadores. Una vez obtenida, esta información se comparte con el módulo de control empresarial 275 el cual almacena los datos en un repositorio accesible por todos los módulos de control regional. Ahora la nueva turbina eólica está disponible para un control activo por parte del sistema hasta el nivel que se permita.

Uno de los métodos para la generación de energía en una central eléctrica tradicional se produce generando vapor el cual hace girar una o más turbinas accionadas por vapor, lo cual a continuación acciona un generador eléctrico. A medida que aumenta la demanda dentro de la región, hay una cantidad de tiempo finita desde el momento en el que se materializa la demanda y el momento en el que puede producirse una nueva cantidad de energía. Esta clase de

respuesta es diferente para cada tipo de generación de energía. Por ejemplo, desde el momento en el que se materializa una demanda creciente hasta el correspondiente en el que hay disponible energía generada por una turbina de gas, pueden transcurrir dos minutos. Esto significa que el tiempo entre el momento en el que la interfaz de control emite una orden hacia la turbina de gas para que comience a producir energía, hasta el correspondiente en el que se obtiene realmente la energía en la subestación, puede ser de hasta cinco minutos o algún otro periodo de tiempo. Alternativamente, puede que una turbina accionada por vapor tenga la capacidad de incrementar su salida en menos de 30 segundos, un motor alternativo de gas natural de reserva rodante puede que tenga la capacidad de incrementar su salida en segundos, y puede que un volante tenga la capacidad de contribuir energéticamente de manera instantánea. La sensibilidad a entradas de control de cada sistema productor de energía es diferente. Los algoritmos de control dentro de las diferentes capas de la presente invención gestionan estas distinciones, de manera que la producción de energía satisface dinámicamente las demandas energéticas en todo el momento. Otra forma de realización de la presente invención normaliza respuestas a entradas de control con respecto a la generación de energía. El conocimiento de las características de respuesta de los DER permite que el controlador emita de manera fiable señales apropiadas para producir resultados deseados. Al realizar esto, cada DER se convierte en el equivalente de un dispositivo de producción de energía de tipo "plug and play". Aunque cada DER es único, su interfaz hacia el sistema de gestión de control de la presente invención está normalizada haciendo que sean posibles el control y la gestión de una pluralidad de diversos DER. La información referente a las características de rendimiento, los límites operativos, y otras restricciones de los DER y la red, son usados por las diversas capas de control para llevar a cabo acciones locales o regionales, sin necesidad de una autoridad decisoria central, tal como en los sistemas convencionales de control de redes basados en el SCADA. Este planteamiento único permite que la presente invención sea altamente escalable, que responda rápidamente a condiciones variables y que incorpore una diversidad de recursos de generación, de almacenamiento, y de gestión de cargas dispersados geográficamente dentro del sistema de energía eléctrica.

Igual que con la comunicación entre el módulo de control regional 225 y el módulo de control empresarial 275, cada módulo de control local 215 proporciona datos al módulo de control regional 225 en relación con las características de los DER. Estas características pueden incluir salida máxima, salida mínima, tiempo de respuesta, y otras características tal como conocerán aquellos versados en la materia. Entendiendo estas características, el módulo de control regional 225 y el módulo de control empresarial 275 pueden gestionar la producción y la distribución de energía sin poner en riesgo la fiabilidad y la seguridad de la red.

Considérese otro ejemplo en el cual un módulo de control regional 225 reconoce un aumento de la demanda de energía. A través de los módulos de control local asociados 215 dentro de la región, el módulo de control regional 225 puede ordenar a uno o más productores de energía adicional que satisfagan esta cantidad aumentada. Entendiendo la respuesta de control de cada uno de los productores de energía y sus modos de funcionamiento disponibles, el módulo de control regional puede emitir órdenes en el momento apropiado y en la secuencia apropiada, para cumplir las necesidades dinámicas de la región. Los modos de funcionamiento pueden ser seguimiento de carga automático, compartición de carga, seguimiento de frecuencia, caída (*droop*), generación de carga base basada en puntos de consigna, o cualquier otro modo disponible para un DER individual. La capacidad del módulo de control regional de seleccionar modos de funcionamiento sobre su cartera de DER, le permite responder a condiciones que evolucionan en la red en múltiples escalas de tiempo. La gestión dinámica y distribuida de modos sobre una cartera de DER es un rasgo distintivo de la presente invención.

El módulo de control regional 225 tiene conocimiento además de la capacidad productora de electricidad dentro de la región y de las limitaciones sobre la red de distribución. El módulo de control regional 225 entiende la topología con respecto a los productores de energía y los consumidores de energía y su propia capacidad de distribuir la energía. Cada módulo de control regional 225 está acoplado comunicativamente a un módulo de control empresarial 275 por medio de una red de área extensa 230 en una forma de realización de la presente invención. Tal como apreciará alguien versado en la materia, una red de área extensa puede ser Internet u otros medios de comunicar datos entre ubicaciones remotas. En otras formas de realización de la presente invención, se pueden intercambiar datos entre el módulo de control empresarial 275 y los módulos de control regional 225 por medio de una red de área local o una Intranet.

De acuerdo con una forma de realización de la presente invención, el módulo de control empresarial 275 incluye la pluralidad de aplicaciones para colaborar en la gestión de una red eléctrica distribuida. Estas aplicaciones pueden incluir, entre otros, visualización de datos 280, controles de red inteligente 285 y simulación de entornos 290. Los controles de red inteligente 285 incluyen capacidades, tales como control de flujo de potencia activa y reactiva, control de voltaje y de Voltaje Amperaje Reactivo (VAR) sobre alimentadores o puntos de interconexión de la red, gestión de intermitencias usando varios recursos para contrarrestar la variabilidad de la generación de energía de fuentes de generación renovables, tales como turbinas eólicas y paneles solares, y el despacho óptimo de generación, almacenamiento o cargas controlables para cumplir operaciones, costes o criterios de emisiones.

El módulo de control empresarial 275 se puede hacer funcionar para gestionar la interacción de varios módulos de control regional 225 y de los productores de energía bajo su control. Tal como se ha descrito previamente, cada módulo de control regional 225 que usa aplicaciones aplicables puede gestionar dinámicamente los consumidores de energía y los productores de energía dentro de su control. A medida que aumenta o se reduce la demanda

(potencia activa o potencia reactiva) dentro de una cierta región gestionada por un módulo de control regional 225, unos algoritmos dentro del módulo de control regional actúan para compensar la producción de energía dentro de su región particular. No obstante, la presente invención reconoce que la demanda de consumidores de energía en una región puede superar la capacidad correspondiente a los productores de energía de esa región. La presencia del módulo de control empresarial 275 y su capacidad de coordinar operaciones de módulos de control regional 225 permite gestionar dinámicamente este tipo de situación, al permitir que la producción de un módulo de control regional preste servicio a otro que no tiene suficientes recursos locales o por cualquier otro motivo. Una característica de la presente invención es que al módulo de control empresarial 275 que usa una aplicación de DER se le encomienda la tarea de gestionar y controlar solicitudes de energía adicional, así como la disponibilidad de capacidad productora de energía excedente. En esencia, el módulo de control empresarial proporciona una coordinación a nivel de sistema, el módulo de control regional proporciona una coordinación regional, y el módulo de control local proporciona un control rápido de recursos, proporcionando así un control uniforme sobre un número elevado de recursos en diferentes escalas de tiempo y con un alcance geográfico diferente para cumplir objetivos específicos del sistema. Esta capacidad del sistema para coordinar el funcionamiento de una cartera dinámica y variable de DER sobre una red de distribución dinámica y variable con el fin de mantener el sistema dentro de sus límites operativos permitidos, es un rasgo distintivo de esta invención.

La unidad de visualización de datos 280 se puede hacer funcionar para proporcionar a un usuario o a una aplicación de DER el estado actual de la demanda de electricidad, la topología y el estado de la red, y la capacidad productora de energía por toda la red eléctrica distribuida. En cualquier instante de tiempo, un usuario puede visualizar la capacidad de los productores de energía para proporcionar energía adicional, o la carga particular experimentada en una región. Por otra parte, el módulo de visualización de datos 280 puede indicar a un usuario la disponibilidad de una vía por la cual distribuir energía. Antes de emitir una orden al módulo de control regional 225 para incrementar la producción de electricidad, el módulo de control empresarial 275 puede simular los efectos de una orden propuesta para someter a prueba la estabilidad de la red bajo el cambio propuesto.

El entorno de simulación 290, utilizando datos en tiempo real de módulos de control regional existentes 225 y sus instalaciones de DER, puede dar inicio a una serie de órdenes simuladas para equilibrar la generación y las cargas. Conociendo la topología de la red de distribución y las propiedades eléctricas de los elementos dentro de su rango de control, el módulo de simulación 290 puede validar si una orden propuesta satisfará la carga proyectada dentro de límites predefinidos, tales como restricciones de seguridad y reguladoras. El módulo de simulación puede usar modelos de DER o DER compuestos según les sean presentados por los módulos de control regional, para estimar el comportamiento del sistema en tiempo casi real. Debe indicarse que los módulos de control regional tienen sus propios módulos de simulación para estimar el rendimiento y planificar acciones dentro de su rango de control, permitiendo operaciones distribuidas del sistema. Una vez que se ha validado una orden propuesta usando el módulo de simulación 290, pueden pasarse las mismas órdenes al módulo de control de red inteligente 285 para su ejecución. Esto podría ser una acción automática o puede venir mediada por un operador humano. Este módulo de simulación tiene en cuenta el comportamiento y los efectos del sistema de control multicapa de redes eléctricas distribuidas de la presente invención, desplegado dentro del sistema. La capacidad de la simulación de tener en cuenta el comportamiento del sistema de control multicapa de redes eléctricas distribuidas es un rasgo distintivo de esta invención. Otro rasgo distintivo de esta invención es los entornos de simulación distribuida dentro de los módulos de control local, regional y empresarial, y la capacidad de simular un comportamiento del sistema usando DER compuestos, presentados por capas de nivel inferior.

Las figuras 3A y 3B son diagramas de bloques de alto nivel que muestran un flujo de un proceso para implementar una metodología de control simulada (figura 3A) y real (figura 3B) en un sistema de energía de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. Este flujo de un proceso se usa para cumplir diferentes objetivos. Uno de los ejemplos es durante el desarrollo del sistema de control. El módulo del sistema de energía simulado 340 se desarrolla para reflejar el sistema de energía real en donde se va a desplegar el sistema de control distribuido en la presente invención. A continuación, el módulo de controles de red inteligente 285 se construye usando módulos de control local 215, módulos de control regional 225, y un módulo de control empresarial 275 según se requiera para el sistema de energía objetivo. El módulo de interfaz de usuario 315 presenta la interfaz de usuario de operaciones para el sistema según deseen varios usuarios. El sistema de control que se esté diseñando se puede ejecutar en el ordenador de propósito general, exactamente en el mismo hardware que se desplegará in situ, o en cualquier combinación de los mismos. El módulo de I/O Inteligente 335 encaminará un flujo de información entre el módulo de controles de red inteligente 285 (cuyo nivel superior es el módulo de control empresarial 275) y el módulo de sistema de energía simulado 340. En este momento, el diseñador o usuario del sistema puede someter a prueba el sistema de control bajo desarrollo con respecto al sistema de energía objetivo, simulado, hasta que se alcance el rendimiento deseado. Se muestra otro ejemplo del flujo de un proceso en la figura 3B, en donde ahora el módulo de I/O inteligente 335 encamina flujos de información entre el módulo de controles de red inteligente 285 y el sistema de energía real. En este ejemplo, el sistema de control se ha desplegado in situ y los diversos módulos de control (locales, regionales, y empresarial) están acoplados comunicativamente con DER in situ y entre ellos. Una característica exclusiva de esta invención es que el sistema de control distribuido no requiere ninguna modificación aparte de un direccionamiento apropiado para que las comunicaciones in situ hagan funcionar el sistema de energía físico según se diseñe usando el módulo de sistema de energía simulado 340. El sistema de control también permite una sintonización fina de parámetros in situ para cumplir los objetivos de rendimiento del sistema. Todavía otro uso

ejemplificativo de los diagramas de flujo de proceso en la figura 3A y 3B se produce durante operaciones del sistema. Los dos casos podrían ser operativos uno junto a otro, permitiendo que los operadores comparasen las operaciones in situ con operaciones simuladas en relación con operaciones de planificación, reconfiguración del sistema, expansión o resolución de problemas. 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 adquisición y gestión de datos 310 y un módulo de datos y análisis históricos 305. Estos módulos trabajan conjuntamente entre sí para recopilar y analizar datos de la red eléctrica distribuida, por medio de módulos de control regional 225 con el fin de presentar a un usuario, por medio de la interfaz de usuario 315, información con respecto a la red de distribución, que incluye su estado con respecto a la producción de energía y el consumo de la misma. El módulo de visualización de datos 280 podría ser exactamente el mismo si el sistema de control se conectase a un sistema de energía simulado o al sistema de energía real. Los módulos de interfaz entre el módulo de controles de red inteligente 285, el módulo de sistema de energía simulado 340, el sistema de energía real 350, y el módulo de visualización 280 que permite que el sistema conmute sin fisuras entre estos diversos casos prácticos es un rasgo distintivo de esta invención.

Usando el módulo de visualización 280, se puede emitir un conjunto de órdenes utilizando el módulo de control de red inteligente 285 para gestionar la producción y la distribución de energía dentro de la red eléctrica distribuida. Dentro del módulo de control de red inteligente 285 existe un motor incorporado de simulación de sistemas de energía 320, un motor de control en tiempo real 325 y una interfaz de control inteligente en tiempo real 335. En una forma de realización de la presente invención, estos módulos (módulo 285 y sus módulos componentes) están contenidos dentro del módulo de control local 215, el módulo de control regional 225, y el módulo de control empresarial 275 estableciendo la arquitectura de control distribuida del sistema. Para cada uno de los módulos 215, 225 y 275, el módulo de I/O inteligente 335 proporciona la interfaz hacia el mundo externo de los DER, componentes de la red, y sistemas. Proporciona al sistema de control distribuido, acceso a flujos de datos en tiempo real y tiempo no real dentro del alcance de la visibilidad y el alcance de control de los módulos individuales. Estos flujos de datos aportan las actividades del motor de controles de tiempo real 325 y el motor incorporado de simulación de sistemas de energía 320. Por ejemplo, supóngase que en el momento de la configuración del sistema un módulo de control regional particular 225 estaba asociado a una subestación particular, y a todos los alimentadores que estaban por debajo de ella, estando conectados las cargas, los DER de generación, y otros DER a los alimentadores a través de módulos de control local apropiados 215. En el momento del despliegue del sistema, los módulos de I/O inteligentes del módulo de control regional 225 y los módulos de control local asociados 215 se conectan a DER y otras fuentes y sumideros de datos requeridos. Esta parte del sistema de energía se encuentra ahora dentro del alcance visible y controlable del módulo de control regional. Durante operaciones del sistema, datos de tiempo real entran a través de módulos de I/O inteligentes 335 y alcanzan al motor de controles de tiempo 325 y al motor incorporado de simulación de sistemas de energía 320, estando presente la totalidad de estos tres en sus instancias apropiadas en módulos de control locales, regionales, y empresarial 215, 225, y 275. Dentro de cada uno de estos módulos, tienen lugares actividades paralelas en las que el motor de controles de tiempo real usa sus algoritmos para determinar cómo proceder para cumplir sus objetivos locales. Para lograr esto, puede consultar al motor de simulación incorporado en relación con predicciones sobre las consecuencias de las acciones que podría llevar a cabo. Este proceso puede producirse en forma de iteraciones hasta que se cumpla alguna condición o haya transcurrido cierto tiempo, momento en el que el motor de controles 325 determine su acción y envía señales de órdenes a destinos apropiados a través de su módulo de I/O inteligente asociado 325. Al llevar a cabo todas estas operaciones en paralelo sobre el sistema de energía controlado por el sistema de control distribuido, la presente invención alcanza una solución de control altamente escalable que no pueden lograr los sistemas centralizados. Además, presentando las capacidades funcionales de DER compuestos aguas arriba desde módulos de control local 215 a módulos de control regional 225, y desde módulos de control regional 225 al módulo de control empresarial 275, el sistema gestiona automáticamente la coordinación de actividades entre módulos de control que van desde simulaciones y predicciones locales hasta la sincronización y las consecuencias de las acciones de control. Este planteamiento por capas para el funcionamiento sinérgico de módulos de control distribuidos que incluyen el motor incorporado de simulación de sistemas de energía 320, el motor de controles de tiempo real 325, y la I/O inteligente 335 para el funcionamiento fiable de sistemas de energía es un rasgo distintivo de esta invención.

Cada uno de los módulos dentro del módulo de control de red inteligente 285, la interfaz de control inteligente de tiempo real 335, el motor incorporado de simulación de sistemas de energía 320 y el motor de control de tiempo real 325 trabajan conjuntamente en varias combinaciones para formar el sistema de control multicapa de red eléctrica distribuida de la presente invención con el fin de gestionar y controlar la red eléctrica tal como se muestra en la figura 2.

Volviendo de nuevo a la figura 3, un usuario (o una aplicación que se ejecuta en el módulo de control empresarial cuando está funcionando en un modo automático), que reconoce la necesidad de modificar algún parámetro de funcionamiento del sistema, por ejemplo, reducir el voltaje del sistema para ahorrar energía, puede dar inicio a una serie de órdenes a través del módulo de control de red inteligente 285 para emitir al nuevo punto de consigna de voltaje. Las órdenes provenientes del módulo de control de red inteligente 285 se ejecutan en el entorno de sistema de energía simulado 290 para averiguar si la solución propuesta cumplirá el objetivo de reducción de voltaje bajo las condiciones actuales de ese momento en la red. En esencia, el sistema de control multicapa de redes eléctricas distribuidas de la presente invención proporciona datos reales en tiempo real con respecto a la topología de red y los productores de energía actuales, así como datos en tiempo real referentes al consumo de energía, a un motor de

simulación, el cual a continuación lleva a cabo una o más simulaciones de soluciones propuestas para cumplir objetivos de rendimiento del sistema.

Una vez que el módulo de simulación de entornos 290 ha validado una serie de simulaciones, puede aplicarse la estrategia de control de la red al sistema de energía 350 sin miedo de que la modificación en la red afecte negativamente a la estabilidad de la misma. Esto se logra enviando las órdenes desde el módulo de gestión y visualización de datos 280, al sistema de control multicapa de redes eléctricas distribuidas 285 instalado in situ, que, a su vez, está conectado a la red física y dispositivos 350, en lugar de la red simulada y los recursos 290. Durante la aplicación de las órdenes reales al sistema de energía real 350, se adquieren una vez más datos a través del módulo de adquisición y gestión 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 multicapa de redes eléctricas distribuidas 285 en simulación y, a continuación, para desplegarlo directamente in situ (con modificaciones muy pequeñas, tales como direccionamiento de los dispositivos) es uno de los rasgos distintivos de la presente invención.

Aplicaciones de gestión que actúan en la capa empresarial 275 pueden dar inicio a órdenes hacia uno o más de los módulos de control regional 225 para incrementar la producción de energía y la energía de transferencia entre la variedad de regiones dentro de la red eléctrica distribuida. Por ejemplo, considérese una región gestionada y controlada por un módulo de control regional 225 que está experimentando un aumento en la demanda de energía o la carga. Este aumento de la demanda puede ser el resultado de un día con una temperatura inusualmente elevada, que tiene como consecuencia un aumento del uso de los aires acondicionados o el incremento puede esperarse durante horas laborales debido a una alta concentración de la industria situada dentro de la región. El módulo de control regional 225 conjuntamente con el módulo de control empresarial 275, y en comunicación con este último, puede predecir y reconocer este incremento de la carga usando aplicaciones de gestión de cargas de pico, de respuestas a demandas u otras aplicaciones de gestión de DER. El módulo de control regional 225 puede reconocer además que los productores de energía dentro de la región no tienen capacidad de producir suficiente energía para cumplir la demanda, o que su capacidad de producir dicha energía saltaría las restricciones de seguridad y reguladoras.

Tras reconocer que podría producirse una situación del tipo mencionado, el módulo de control regional 225 emite una solicitud de energía adicional a través del módulo de control empresarial 275. Aplicaciones asociadas al módulo de control empresarial 275 emiten consultas hacia los restantes módulos de control regional 225, en relación con su capacidad de producir energía excedente. Otros módulos de control regional 225 pueden responder a la consulta indicando que tienen la capacidad de incrementar la producción de energía como respuesta a la solicitud de energía por parte de otra región.

Al entender que una región tiene un excedente de capacidad de energía y otra presenta una necesidad de energía adicional, así como al conocer la topología de la red eléctrica distribuida, aplicaciones asociadas al módulo de control empresarial 275 pueden ejecutar una serie de controles simulados para incrementar la producción de energía de una primera región y transferir el excedente de energía a una segunda región. Una vez que se han validado las órdenes, las mismas son emitidas por el módulo de control de red inteligente 285 a los dos módulos de control regional afectados 225; es decir, la región que tiene un excedente de capacidad de energía y el módulo de control regional 225 de la región que solicita energía. Además, una aplicación de distribución puede configurar conmutadores por toda la red eléctrica distribuida para transferir energía desde la primera región a la segunda región.

La solicitud de energía desde una región y la respuesta con excedente de energía desde otra, según son gestionadas por una o más aplicaciones afiliadas al módulo de control empresarial 275, son un proceso dinámico. Alguien versado en la materia pertinente reconocerá que el consumo de electricidad dentro de una región particular varía dinámicamente, igual que lo hace la capacidad de cualquier región de producir energía. Aunque los datos históricos pueden proporcionar una comprensión en relación con cargas típicas experimentadas por una o más regiones, así como la capacidad de otra región de producir excedente de energía, la producción y la transferencia de energía se deben controlar dinámicamente y en tiempo real. Dentro del sistema de control multicapa de redes eléctricas distribuidas de la presente invención, las diferentes capas llevan a cabo diferentes funciones de gestión de energía. La capacidad de "mirar hacia delante" para tomar decisiones sobre qué acciones llevar a cabo usando simulaciones existe en todos los niveles. Esta es una característica del controlador distribuido – no todas las decisiones se deben tomar a nivel empresarial. Esto se cumple también para las simulaciones – muchas simulaciones se llevan a cabo en el nivel del controlador regional, mientras que simulaciones a nivel del sistema se pueden llevar a cabo a nivel empresarial. Esencialmente, las simulaciones necesarias para el control en tiempo real se llevan a cabo automáticamente en la capa de control apropiada, las simulaciones para proporcionar a los operadores las opciones de las que pueden disponer bajo situaciones con diversas operaciones se llevan a cabo a nivel empresarial.

La figura 4 es un diagrama de bloques funcional de alto nivel de un sistema de funcionamiento de redes de recursos de energía distribuidos para la producción de energía, la gestión de la demanda, la gestión de topologías, y la gestión de DER o activos de acuerdo con otra forma de realización de la presente invención. Entre una pluralidad de

aplicaciones de gestión y una variedad de recursos productores de energía se interpone un Sistema de Funcionamiento de Redes de Recursos de Energía Distribuidos (DER-NOS) 410. Según una forma de realización de la presente invención, el DER-NOS se comunica por interfaz con una variedad de recursos productores de energía utilizando una pasarela o interfaz (módulo de control local) 445. La pasarela 445 es una interfaz que emite órdenes en el orden, la secuencia y el formato correctos para un dispositivo particular. Esta interfaz traduce órdenes normalizadas para diferentes clases de equipos, activos o DER, en las órdenes exclusivas requeridas por diferentes marcas y modelos de equipos. La interfaz garantiza que, por lo que respecta a los controles de red inteligente 285, cada dispositivo funciona de la misma manera de un fabricante a otro. Esta pasarela 445 también ejecuta la capa más baja del sistema de control multicapa de redes eléctricas distribuidas. En este ejemplo, el DER-NOS interacciona de manera consistente con DER, tales como células fotovoltaicas 440, centrales eléctricas convencionales 430, capacidades de generación con combinación de combustibles 420, recursos de generación renovables 415 y similares. También tiene la capacidad de gestionar activos adicionales, tales como dispositivos de almacenamiento o sistemas de gestión de cargas. El DER-NOS tiene la capacidad de gestionar y controlar una variedad de recursos productores, el almacenamiento, y de consumo de energía, utilizando una variedad de herramientas de aplicación.

Según una forma de realización de la presente invención, los recursos de energía distribuidos se pueden gestionar y controlar utilizando módulos de aplicación que incluyen, entre otros, gestión de cargas de pico 465, aplicaciones de generación distribuida 460, aplicaciones de respuesta a demandas 455, y otras aplicaciones de monitorización de DER-NOS 450. Cada una de estas herramientas de gestión y control interacciona, por medio de una estación de trabajo de ingeniería o una interfaz de usuario basada en la web, a través o bien de ordenadores o bien de dispositivos móviles, para ayudar al usuario en el despliegue del sistema y para entender y gestionar el funcionamiento de la red eléctrica y los recursos de energía distribuidos conectados a la red, a lo largo de toda la red de energía. Esta gestión y este control se logran por medio del DER-NOS. Una persona versada en la técnica pertinente reconocerá que la estación de trabajo de ingeniería 475 interacciona, en una forma de realización, con un modelo de visualización de datos 280 según se describe con respecto a la figura 2. Esta estación de trabajo de ingeniería permite configurar el sistema para que se adapte a las condiciones in situ.

La figura 4 muestra además una interacción entre la estación de trabajo de ingeniería 475 y la aplicación de monitorización 450 por medio de un módulo de simulación de modelado, al que se hace referencia también en la presente como módulo de simulación 290. La aplicación de monitorización proporciona datos en tiempo real al módulo de simulación que, a su vez, se usa para configurar y sintonizar el sistema. Esta capacidad del sistema para utilizar datos de tiempo real del lugar in situ, con el fin de llevar a cabo simulaciones para sintonizar adicionalmente el sistema de una manera integrada, diferencia la presente invención con respecto a la técnica anterior.

El DER-NOS interacciona con una variedad de aplicaciones de gestión 465, 460, 455, 450 y los recursos productores de energía 440, 430, 420, 415 y lleva a cabo automáticamente una gestión de energía 480, una gestión de la topología 485 y una gestión de activos de recursos energéticos (DER) 490. Esta gestión se logra, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención, usando un sistema operativo de tres capas que actúa como puente entre las aplicaciones de gestión, por un lado, y los recursos de energía distribuidos por otro. Sin el DER-NOS de la presente invención, cada aplicación de gestión y control tendría que desarrollar métodos personalizados para obtener datos, comunicarse por interfaz con cada DER, y enviar instrucciones únicas para hacer funcionar los DER, al mismo tiempo que se dejaría sin resolver la cuestión de la mitigación del impacto en la red, operaciones en conflicto entre DER, y la coordinación para lograr objetivos a nivel de sistema. El DER-NOS es una plataforma común para ser usada por todas las aplicaciones de gestión de DER, de red y de energía. Por ejemplo, según una forma de realización de la presente invención, no es necesario que la aplicación de generación distribuida 460 conozca qué órdenes específicas se deben emitir para conseguir que un tipo particular de generador eléctrico de energía por vapor incremente la producción. Simplemente emite una instrucción de que la central debería incrementar la producción, y el DER-NOS convierte la orden en un formato que será reconocido por el generador eléctrico de energía por vapor. Además, el DER-NOS lleva a cabo también una "agregación" y "virtualización" de DER. Agregación es el proceso de agrupar dinámicamente diferentes DER en grupos sobre la base de criterios especificados por el usuario o la aplicación. Las capacidades combinadas de los DER en el grupo y las operaciones que se pueden llevar a cabo sobre el grupo son calculadas por el DER-NOS. Una orden emitida hacia un recurso agregado, por un usuario o aplicación, se interpretará de forma transparente y se ejecutará de manera apropiada por parte del DER-NOS. El DER-NOS también puede unir recursos agregados y la red que los conecta, en recursos "virtuales" usando módulos apropiados de control local y regional 215 y 225. Los recursos virtuales (igual que los DER compuestos descritos anteriormente) pueden ser tratados como un DER individual por otras partes del sistema. En este momento, se hace que estos "recursos virtuales" (con capacidades comparables a una central eléctrica convencional u otro DER) estén disponibles para la variedad de aplicaciones de gestión 465, 460, 455, 450. Las funciones de gestión de disponibilidad, de compatibilidad, de asignación a grupos y/o aplicaciones, de resolución de conflictos, de gestión de errores y otras funciones de gestión de recursos son llevadas a cabo por el DER-NOS, de forma muy parecida a la correspondiente según la cual un sistema operativo de un ordenador asigna memoria, tiempo de procesador, y dispositivos periféricos a aplicaciones. La capacidad de presente sistema de gestionar recursos y hacer que los mismos estén disponibles individualmente, en grupos, o como recursos virtualizados para aplicaciones con el fin de 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 multicapa para controlar una red eléctrica distribuida, que muestra una vista ampliada de una forma de realización de un DER-NOS de acuerdo con la presente invención. Tal como se muestra en la figura 5, el DER-NOS incluye un planteamiento multicapa que dispone de módulos de control local 510, módulos de control regional 520, y un módulo de control empresarial 530. El módulo de control empresarial 530 está acoplado comunicativamente a cada uno de una pluralidad de módulos de control regional 520, y cada módulo de control regional 520 está acoplado comunicativamente a una pluralidad de módulos de control local 510. El DER-NOS interactúa con aplicaciones y dispositivos externos a través de interfaces personalizadas 545, 555 y 565. A través de estas interfaces, el DER-NOS adquiere la capacidad de interactuar con activos de DER existentes, equipos de la red, sistemas SCADA de empresas de servicios públicos, y otras aplicaciones para intercambiar datos y órdenes de control. Estas interfaces personalizadas sirven como adaptadores para traducir interfaces específicas de cada implementación en el lenguaje común usado dentro del sistema.

El DER-NOS 410 está enlazado con una variedad de aplicaciones de gestión 580, tal como se ha mostrado previamente en la figura 4. Cada una de la pluralidad de aplicaciones de gestión 580 está enlazada con el DER-NOS 410 por medio de un servidor de OPC 531. El módulo de control empresarial 530 y el módulo de control regional 520 incluyen, los dos, cliente/servidores de OPC 535 para colaborar en la comunicación entre el DER-NOS 410 y la pluralidad de aplicaciones de gestión 580. Tal como entenderá alguien con conocimientos habituales en la técnica pertinente, la utilización del OPC no es más que uno de los muchos medios para implementar una interfaz de comunicaciones. Muchas otras de estas interfaces que son tanto fiables como rápidas se pueden utilizar conjuntamente con la presente invención sin desviarse con respecto al alcance del material de la misma. En esta forma de realización, el módulo de control empresarial 530 usa un modelo de objeto para cada tipo de activo dentro del DER-NOS. El modelo de objeto no solamente define la entrada y la salida para un activo particular, tal como un DER, sino que también define la respuesta de control/del sistema de cambios en órdenes emitidos hacia el activo. El hecho de garantizar que un activo responde de una manera similar a una orden proporciona al módulo de control empresarial la capacidad de mantener una arquitectura de control estable y repetible. Por ejemplo, si dos generadores respondieran de forma diferente a una orden "OFF", la complejidad de implementación de los controles resultaría difícil ya que el área bajo control se amplía, y el número de activos variables aumenta. El uso de un modelo de información de objetos común resuelve este dilema al proporcionar tanto información como controles comunes. Estos modelos de objetos comunes se implementan principalmente en cada módulo de control local 510, basándose en definiciones de modelos de objetos comunes, y a continuación se propagan por todo el sistema. Este planteamiento garantiza que el sistema se puede comunicar por interfaz con cualquier activo in situ, con independencia del fabricante o de la personalización específica de cada emplazamiento, y que siga teniendo un modelo de objeto común que lo representa. El establecimiento de correspondencias (*mapping*) de detalles específicos de cada emplazamiento, activo e implementación con un modelo de objeto común lo lleva a cabo el módulo de control local 510.

El módulo de control empresarial 530 está enlazado también con sistemas existentes de control de supervisión y adquisición de datos 540 a través de una interfaz personalizada. A través de estos sistemas y con datos adicionales de cada módulo de control regional 520, la unidad de control 530 monitoriza y controla puntos de datos y dispositivos a través de sistemas de SCADA existentes y módulos de control específicos del DER-NOS. Tal como entenderá alguien con conocimientos habituales en la técnica pertinente, el SCADA no es más que uno de los muchos medios para implementar sistemas de control de supervisión. La interfaz personalizada 545 se puede utilizar para comunicarse por interfaz con cualquier aplicación externa requerida.

De acuerdo con una forma de realización de la presente invención, el módulo de control empresarial 530 incluye un módulo de topología de red 532, controles 533 por medio de los cuales gestionar los módulos de control regional 520 y recursos de energía distribuidos [¿número?], un administrador de cambios dinámicos de configuración 535, un administrador de interfaces de módulos de control regional 536 y un gestor de interfaces de entrada/salida 538. Cada uno de los módulos de control regional 520 incluye un módulo de topología de red 532, controles 533 para gestionar los recursos de energía distribuidos dentro de su región, un administrador de cambios dinámicos de configuración 535, un administrador de interfaces de módulos de control local 525 y un gestor de interfaces de entrada/salida 538.

Cada módulo de control local 510 incluye controles 533 por medio de los cuales se gestionan recursos de energía distribuidos utilizando el administrador de interfaces de activos 515. El módulo de control local 510 incluye también un cliente de OPC 534, un administrador de cambios dinámicos de configuración 535 y un gestor de interfaces de entrada/salida 538. El módulo de control local 510 interactúa directamente con los recursos de energía (conocidos también en la presente como Recursos de Energía Distribuidos o DERs) 560 y sistemas de medición a través de una interfaz personalizada 565. El módulo de control regional 520 interactúa con sistemas de campo 550 y/o controladores/aplicaciones de subsistemas a través de su interfaz personalizada 555. Estas tres capas del DER-NOS 410 trabajan junto con aplicaciones de gestión 580 para gestionar y controlar dinámicamente una red eléctrica distribuida.

Tal como puede apreciar una persona versada en la materia pertinente, el conocimiento de la topología de la red es un aspecto crítico de la gestión de la red eléctrica distribuida. El módulo de topología de red 532 soporta consultas de análisis de topologías de red, que se pueden integrar en control particular para potenciar el alcance/capacidad de control. La topología de la red es la representación de la conectividad entre los diversos elementos del sistema de energía eléctrica (transformadores, barras colectoras, interruptores, alimentadores, etcétera) y el DER que está conectado al mismo. El DER-NOS usa este subsistema para garantizar que se pueden llevar a cabo de manera segura futuros controles al mismo tiempo que se limita el riesgo sobre la estabilidad de la red. Esto se logra ejecutando simulaciones dinámicas y cálculos de flujos de carga para predecir el estado futuro del sistema sobre la base de acciones de control propuestas y evaluando si el estado resultante viola algún criterio de estabilidad, fiabilidad o de operaciones 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 manera que puedan realizarse predicciones con la información disponible más reciente.

El módulo de topología de red 532 asociado al módulo de control empresarial 530 puede emitir consultas hacia el módulo de control regional 520 y esperar por resultados. El módulo de control regional 520 usa su propio módulo de topología de red 532 y algoritmos de control para calcular resultados para consultas del módulo de control empresarial 530. De esta manera, no es necesario que el módulo de control empresarial 530 analice la red completa él mismo, sino que, más bien, distribuir el análisis en los módulos de control regional 520. Este proceso se puede realizar usando un método de solicitud-respuesta o haciendo que el módulo de control regional 520 envíe sin solicitud previa información al módulo de control empresarial 530 de una manera periódica o activada por eventos. El resultado neto es que el módulo de topología de red, los módulos de simulación y otros módulos dentro de módulos de control de capas superiores, tienen acceso a información pre-procesada de módulo de control de capas inferiores reduciendo al mínimo los datos de tiempo real que necesitan y el procesado que deben llevar a cabo.

El subsistema de control 533 asociado al módulo de control local 510 descodifica órdenes proporcionadas desde el módulo de control regional 520 y dirigidas a recursos de energía 560. El subsistema de control 533 garantiza que el activo seleccionado responde de manera consistente y fiable. Esta operación traduce las órdenes basadas en modelos de objetos comunes, utilizadas dentro del sistema, en las órdenes específicas de cada emplazamiento, equipo e implementación, requeridas para hacer funcionar el DER 560.

El gestor de interfaces de entrada/salida 538 proporciona un sistema de gestión de interfaces para gestionar comunicaciones remotas entre el módulo de control empresarial 530 y sistemas externos, tales como sistemas de SCADA, y otras aplicaciones empresariales. Dentro del módulo de control regional 520, el gestor de interfaces de entrada/salida 538 gestiona comunicaciones remotas con dispositivos y sistemas de campo y subsistemas 550, y proporciona la capacidad de intercambiar información y señales de control con dispositivos externos (recursos de energía distribuidos, contadores, etcétera). Estos módulos de interfaces de entrada/salida 538, la interfaz de módulo de control regional 536, la interfaz de módulo de control local 525, y el administrador de interfaces de activos 515, permiten que el sistema establezca correspondencias de puntos de datos, dispositivos y sistemas externos con los modelos de objetos comunes usados dentro del sistema, para garantizar consistencia y fiabilidad entre los datos utilizados en cada subsistema.

Sistemas de campo o controladores y aplicaciones de subsistemas 550 son cualquier sistema externo al DER-NOS con el cual debe intercambiar datos y señales de control el módulo de control regional 520. Un ejemplo sería un conmutador (interruptor) en una subestación.

El administrador de cambios dinámicos de configuración 535, que se encuentra en cada módulo, es el motor que acepta señales de campo, información de otros sistemas, tales como un SCADA de una empresa pública de servicios, o entradas de usuario, y responde a cambios en la configuración de la red (topología de red), disponibilidad de activos, o cambios del sistema de comunicaciones, realizando cambios internos en partes apropiadas del sistema. Puesto que el DER-NOS es un controlador distribuido tal como se ha descrito previamente, el administrador de configuración dinámico 535 es el motor que garantiza que la información de cambios en tiempo real se propaga apropiadamente por todo el sistema (sin tener que apagar y volver a arrancar el sistema) y que varios recursos (DER y activos de la red) se sitúan en modos nuevos de funcionamiento de forma dinámica.

Típicamente, el módulo de control local 510 únicamente interacciona con dispositivos individuales o un grupo pequeño de dispositivos conectados directamente en un único emplazamiento. Por tanto, no requiere el administrador de configuración dinámico 535, que es más sofisticado, y que trata con cambios de configuración por múltiples dispositivos/emplazamientos que están dispersados geográficamente. Los controles en el módulo de control local 533 tienen la capacidad de gestionar cambios de configuración según se requiera para los dispositivos a los cuales está conectado el módulo de control local 510.

La figura 6 es un diagrama de flujo que representa operaciones lógicas del módulo de control local de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. Cada capa de la arquitectura del DER-NOS 410 funciona de forma independiente con respecto a las otras capas, de tal manera que siempre que se pierdan comunicaciones entre capas o fallan otros subsistemas, cada módulo de control puede continuar funcionando en un modo de

protección contra fallos, hasta que otros sistemas vuelvan a estar en funcionamiento o hasta que se activen secuencias pre-programadas, tales como una secuencia de interrupción del funcionamiento.

5 El módulo de control local funciona llevando a cabo operaciones basadas en un estado del sistema anterior 610. A partir de este estado, el módulo de control local actualiza 620 el estado de cada DER conectado, así como condiciones locales de la red y otras restricciones locales sobre el sistema. A continuación, se envía 650 una solicitud de actualización desde el módulo de control local al módulo de control regional. Se reciben actualizaciones pendientes y, después de esto, el módulo de control local determina las siguientes acciones a realizar y/o la respuesta a enviar hacia el módulo de control regional 670. A partir de ese instante, el módulo de control local lleva a cabo 680 una o más acciones, y actualiza el módulo de control regional con respecto a estas acciones. El procesado de solicitud y respuesta entre módulos locales, regionales y empresariales, es asíncrono en el sentido de que los módulos no esperan aguardando la llegada de un mensaje de respuesta. Están diseñados para continuar con las operaciones sin bloquearse por un retardo de las comunicaciones o un fallo de las mismas entre módulos de control.

15 La figura 7 es un diagrama de flujo que representa la lógica operativa de un módulo de control regional. Igual que con el módulo de control local, el módulo de control regional lleva a cabo acciones basándose en un estado anterior del sistema 710. El módulo de control regional recibe información de y actualiza el estado de cada módulo de control local conectado 720, así como el estado de la red desde un SCADA y/o controladores de subsistemas. También se actualizan mediciones de la red dentro de la región sobre la cual se tienen la responsabilidad así como eventos monitorizados. Armado con el conocimiento del estado de los módulos de control local que están bajo supervisión, el módulo de control regional solicita 740 actualizaciones del módulo de control empresarial, incluyendo el objetivo que debería cumplir el módulo de control regional.

25 Después esto, el control regional determina cómo proceder sucesivamente 760 para cumplir estos objetivos. Al llevar a cabo esto, los módulos de control regional evalúan 770 las consecuencias de cada acción propuesta, usando simulación local y algoritmos inteligentes locales según se describe posteriormente en referencia a la figura 10. Se consideran también 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 determinado de acciones, y envía una respuesta al módulo de control empresarial informándole sobre estas acciones, así como órdenes a los módulos de control local pertinentes.

35 Finalmente, la figura 8 es un diagrama de flujo que representa el funcionamiento lógico de un módulo de control empresarial de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. Nuevamente, el módulo de control empresarial lleva a cabo sus acciones basándose en el estado anterior del sistema 810. En calidad de entidad de gobierno global, el módulo de control empresarial actualiza 820 el estado de módulos de control regional conectados, aplicaciones empresariales y otros activos empresariales con los cuales interacciona. También se emiten 850 actualizaciones del estado del sistema al subsistema de presentación que se utiliza para actualizar el sistema de interfaz de usuario (humano). Así mismo, la interfaz de usuario se puede usar para recibir entradas de usuario cuando las mismas se aporten.

40 Después de esto, el módulo de control empresarial determina qué acción llevar a cabo a continuación 870 evaluando las consecuencias de diversas acciones mediante la ejecución de simulaciones globales que utilizan algoritmos inteligentes. Las simulaciones del módulo de control empresarial actúan sobre DER compuestos o DER virtuales proporcionados por módulos de control regional. El comportamiento dinámico, las características del rendimiento y las interfaces de medición y control de los DER compuestos se calculan y presentan al módulo de control empresarial por medio de módulos de control regional. Por lo tanto, las simulaciones en el nivel del módulo de control empresarial pueden caracterizar el comportamiento global del sistema sin tener que modelar todos los detalles de todos los recursos y componentes de la red distribuidos. Se consideran acciones alternativas 880 hasta que se determina un conjunto aceptable final de acciones o avisos. Una vez determinado, el módulo de control empresarial ejecuta a continuación 890 estas acciones, y emite una respuesta y órdenes y órdenes nuevas a los módulos de control regional conectados.

55 La figura 9 es un diagrama de flujo de una forma de realización de un método para gestionar la distribución y producción de energía en una red eléctrica distribuida, de acuerdo con la presente invención. Tal como apreciará alguien versado en la materia pertinente, el control y la gestión de recursos de energía distribuidos usando un sistema de funcionamiento en red puede incluir, entre otras cosas, la asignación de producción de energía, la modificación de la topología de red, asignaciones de almacenamiento de energía, gestión de cargas, y simulaciones. La figura 9 muestra un ejemplo de un método correspondiente a una reasignación de recursos de energía en una red eléctrica distribuida. Una persona versada en la materia reconocerá que el ejemplo de este método es representativo de las interacciones entre varias aplicaciones de gestión de DER y recursos de energía por medio de un DER-NOS, y que no es limitativo en cuanto al alcance de las capacidades del DER-NOS.

65 Según una forma de realización de la presente invención, aplicaciones de gestión que funcionan a través de un módulo de control empresarial llevan a cabo un análisis predictivo del sistema de energía basándose en la producción de energía y el consumo de energía proyectados 910. A medida que se lleva a cabo el análisis del

sistema de energía, se monitoriza la producción de energía y el consumo reales de la misma dentro de cada módulo de control regional 920. Adicionalmente, se analiza la topología de red así como la conectividad en red 930.

5 Tras recibirse 940 en el módulo de control empresarial una solicitud de energía adicional, una aplicación, de respuesta a la demanda, del módulo de control empresarial identifica una o más regiones que tienen excedente de capacidad de producción de energía 950. Después de esto, la aplicación de gestión determina una reasignación propuesta de recursos de producción de energía y modificaciones de la conectividad en red para cumplir la solicitud recibida 960.

10 Se inicia una simulación de la reasignación propuesta de recursos de producción de energía junto con simulaciones de cambios de la conectividad en la red distribuida 970. Como respuesta al hecho de que los resultados de la simulación se encuentren con restricciones predefinidas, la aplicación de control construye una serie de órdenes para dirigir la reasignación de energía propuesta 980.

15 Con la reasignación 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 empresarial, órdenes 990 a los módulos de control regional pertinentes. Tras recibir las órdenes de reasignación, el módulo de control regional emite órdenes de producción de energía hacia productores de energía dentro de su región pertinente y/o modifica su topología de red para distribuir el excedente de energía con el fin de cumplir la solicitud de carga de otras regiones. Aunque se usan simulaciones en niveles diferentes dentro del sistema de control distribuido, la retroalimentación real proveniente de sistemas de campo en múltiples escalas de tiempo garantiza que errores de las simulaciones no den como resultado errores fuera de control durante operaciones. En efecto, el mundo real proporciona una verificación adicional continua de resultados de simulación. Los módulos de control tienen en cuenta este efecto para mitigar las consecuencias de potenciales errores de la simulación.

25 La figura 10 es un diagrama de flujo de una forma de realización de un método de la presente invención para simular un sistema de energía que refleja una parte de una red de distribución eléctrica real (DER compuesto). Tal como se ha mencionado previamente, un aspecto de la presente invención incluye la capacidad de simular una red de distribución de energía física y su sistema de control asociado, para determinar y validar entradas de control antes de la implementación real. La presente invención proporciona la capacidad de simular externamente las características y la capacidad de un sistema de energía, como respuesta a un conjunto particular de entradas de control antes del despliegue real de dichos controles. Durante la fase de despliegue (mostrada de forma más detallada en referencia a la figura 11), los controles y el sistema de energía simulado se validan y modifican para lograr un resultado deseado. Finalmente, en la medida en la que los controles se usan para operar el sistema de energía, la monitorización en tiempo real de las respuestas del sistema de energía permite que la presente invención ejecute simulaciones paralelas del sistema de energía a un nivel local para sintonizar las entradas de control con el fin de lograr de manera precisa los resultados deseados. La presente invención proporciona la capacidad de simular y reflejar una red eléctrica de distribución actual, y someter a prueba virtualmente varias entradas de control con el fin de determinar las características y capacidades de la red tanto antes de la implementación de dichos controles como durante esta última.

40 Un aspecto de la presente invención, según se ilustra en el proceso de la figura 11, es su capacidad de simular externamente el comportamiento, la respuesta, y características de componentes individuales, así como una pluralidad de estos componentes interacciona para formar una respuesta del sistema simulado. Esta simulación de componentes de energía incluye una superposición de sistemas de control local, regional y empresarial. Este adentramiento en la capacidad de un DER compuesto se puede trasladar aguas arriba a otros módulos de control que, a continuación, pueden usar esa información como base para su propio proceso de simulación y control.

50 Al usar la capacidad de agrupar componentes del sistema de energía en DER compuestos y simular las características, respuestas y capacidades de este DER compuesto localmente, la presente invención puede proporcionar una simulación robusta, precisa y en tiempo real de la red eléctrica distribuida, que se va a usar para modificar entradas de control sobre una base de tiempo real y alcanzar un objetivo deseado. A diferencia de la simulación global de una red eléctrica distribuida, cada simulación se produce localmente y es independiente de otras simulaciones. No obstante, las simulaciones aguas abajo proporcionan información a módulos de control aguas arriba, y por lo tanto a sus motores de simulación, con respecto a las capacidades y las características de respuesta del DER compuesto de aguas abajo. Para un módulo de control de aguas arriba, un DER compuesto de aguas abajo es simplemente otro componente del sistema de energía con características específicas. Este tipo de proceso de simulación permite que la presente invención modifique a escala una simulación de la red eléctrica distribuida completa de manera tanto rápida como precisa.

60 Volviendo de nuevo a la figura 10, un proceso de simulación interna o externa comienza 1005 con el desarrollo 1010 de un sistema de energía simulado. En una forma de realización de la presente invención, este sistema de energía simulado refleja una parte de la red eléctrica de distribución junto con su sistema de control superpuesto. Al realizar esto, se puede presentar una representación de un DER compuesto al motor de simulación el cual, a su vez, puede determinar las capacidades del DER compuesto.

65

5 Con el sistema de energía simulado desarrollado, se construye 1020 un módulo de control utilizando controles locales, regionales y empresariales según se requiera. Estas entradas de control representan las diversas metodologías utilizadas para controlar los diversos componentes físicos, sus interfaces y sus interacciones, según se representa en la topología simulada. Las entradas de control utilizadas son idénticas a aquellas que se utilizarían para controlar los componentes correspondientes en el sistema de energía físico.

10 Tras haberse representado el sistema de energía y estando en orden las herramientas para implementar cambios en ese sistema, se puede ejecutar una simulación basándose en un objetivo energético del sistema local 1030. De acuerdo con una forma de realización de la presente invención, se recibe un objetivo del sistema con respecto al sistema de energía simulado, y el mismo se reenvía al motor de simulación para su evaluación. El motor de simulación determina si el DER compuesto actual tiene la capacidad y el potencial de cumplir la solicitud.

15 Para llevar a cabo esto, el módulo de control somete a prueba de manera iterativa 1050 varias entradas de control enviadas a cada uno de los componentes en el sistema de energía simulado, con el fin de identificar predicciones referentes a diversas acciones de control. Cada vez que se reenvía una combinación particular de entradas de control para su evaluación, tiene lugar una consulta que pregunta si se han cumplido 1060 los objetivos deseados. Cuando la respuesta a la consulta es no, tiene lugar una nueva iteración con nuevas entradas de control revisadas. La selección de las entradas de control y el proceso iterativo se lleva a cabo de acuerdo con modelos de simulación tal como será sabido para alguien versado en la materia pertinente.

20 Cuando se ha encontrado una entrada de control seleccionada para lograr el resultado deseado, se despliegan 1070 los controles en el sistema de energía físico con vistas a su implementación. Allí, los controles se validan con el fin de garantizar que la combinación propuesta de entradas de órdenes en los diversos componentes del DER pueden funcionar dentro de los parámetros de diseño de cada componente y de la propia red con el fin de lograr el resultado deseado.

25 Las figuras 11A y 11B se combinan para formar un diagrama de flujo que muestra una forma de realización de un método destinada a desplegar un conjunto simulado de entradas de control para un sistema de energía físico. El proceso comienza 1105 con la recepción de órdenes desarrolladas por una simulación externa o un proceso similar. Estas órdenes se implementan 1110 en el sistema de energía físico por medio del módulo de control.

30 Cuando el sistema de energía recibe las órdenes, se monitoriza 1115 su respuesta y se evalúa la misma para determinar si las órdenes implementadas están proporcionando el resultado esperado y las capacidades deseadas 1120. Cuando las órdenes están produciendo el resultado deseado acorde con la simulación, se establece 1125 un control operativo del DER compuesto que permite que un usuario se implique activamente con el sistema de energía.

35 Esta combinación seleccionada de entradas de órdenes se traslada a continuación aguas arriba 1130 a otros módulos de control y motores de simulación que pueden utilizar esta información para llevar a cabo otras simulaciones, aunque a una escala mayor de representación. Por ejemplo, una simulación actual que implique 4 componentes físicos y dos sistemas de control local y un sistema de control regional individual puede considerarse como un único DER en una simulación de nivel empresarial. A efectos de esa simulación empresarial, el motor de simulación local únicamente considera estos componentes como un único DER con características y capacidades específicas según se deduce a partir de lo siguiente.

40 Cuando la respuesta del sistema de energía físico a las órdenes simuladas no es la esperada, debe tomarse una determinación en relación con si debe culparse, por esa imprecisión, a los propios controles o al sistema de energía simulado. Para tomar dicha determinación durante la fase de despliegue, las órdenes de control se conmutan 1140 desde el sistema de energía físico al sistema de energía simulado. Nuevamente se monitorizan las características y la respuesta del sistema de energía en este momento simulado, para determinar si el control utilizado en el sistema de energía físico produce las mismas respuestas, aunque inaceptables. Si las respuestas a las mismas entradas de control observadas desde el sistema de energía simulado no se corresponden con aquellas observadas desde el sistema de energía físico, puede concluirse que la simulación del propio sistema de energía es imprecisa. Por consiguiente, se reciben actualizaciones 1155 desde el sistema de energía físico al motor de simulación para modificar 1160 las características del sistema de energía simulado. A continuación, con un nuevo sistema de energía simulado, más preciso, en orden, pueden utilizarse nuevamente las entradas de control en la simulación para determinar si los resultados obtenidos del sistema de energía físico se corresponden con los de la simulación.

45 Si los resultados de los dos sistemas de energía, simulado y físico, coinciden, puede llegarse a la conclusión de que la incapacidad del sistema físico de responder según se deseada y anticipaba es debida a deficiencias en las órdenes emitidas por el módulo de control. Por consiguiente, la simulación modifica 1170 las órdenes emitidas por el módulo de control, y consultan nuevamente si el flujo de información del módulo de control (ahora modificado) produce los objetivos deseados desde el sistema de energía simulado 1180. En caso negativo, se inicia de manera iterativa una nueva modificación de órdenes hasta que se logren los objetivos deseados. Una vez que se cumplen los objetivos, el flujo de información del módulo de control se conmuta 1190 desde el sistema de energía simulado de vuelta al sistema de energía físico. Nuevamente, los controles se implementan en el sistema de energía físico

con las respuestas monitorizadas 1115. Si las modificaciones sobre el sistema de energía simulado y/o las órdenes son suficientes, los resultados deseados que se observan en la simulación se alcanzarán en el sistema de energía físico. Una vez que se validan las órdenes como generadoras del resultado deseado, se establece 1125 un control operativo del sistema de energía y las capacidades/características del DER compuesto, ahora implementado, se trasladan aguas arriba para la coordinación de los módulos de control.

La figura 12 presenta un diagrama de flujo de una forma de realización de una metodología para una monitorización en tiempo real y una modificación de órdenes de un sistema de energía distribuido. Después de haberse simulado, desplegado y validado un sistema de control, el mismo se sitúa en un modo operativo. En esta fase, un usuario puede interactuar con el módulo de control, según se requiera, para obtener información sobre el sistema de energía bajo su control y gestionar el mismo. De acuerdo con una forma de realización de la presente invención, las órdenes emitidas por el módulo de control se monitorizan y ajustan constantemente para garantizar que el sistema de energía bajo su cargo satisface su objetivo deseado. Al realizar esto, las órdenes desarrolladas bajo la simulación y validadas en el sistema de energía son implementadas 1210 por el módulo de control a través de una interfaz o módulo de entrada/salida.

A medida que se transportan las órdenes, se monitoriza 1220 la respuesta de los diversos componentes del sistema de energía igual que se hace con las características globales del sistema de energía (DER compuesto) en su conjunto. A partir de los datos monitorizados, el módulo de control determina si el sistema de energía que está a su cargo está proporcionando la respuesta y las características que se esperan y desean 1230. Cuando el sistema de energía funciona según se espera, el sistema simplemente continúa monitorizando 1220 el rendimiento hasta que se recibe un nuevo objetivo.

No obstante, durante esta fase operativa, cuando el rendimiento del sistema de energía bajo su control no funciona de la manera esperada, o no consigue producir los resultados deseados, se replica 1240 una simulación local del sistema de control y del propio sistema de energía en paralelo con el funcionamiento del sistema de energía físico. Tal como alguien versado en la materia apreciará, una vez que el módulo de control se ha situado en un modo operativo, el mismo no puede simplemente desactivarse para modificar las órdenes emitidas como durante la fase de despliegue. Aunque se ha identificado una deficiencia en las características o la respuesta del sistema de energía, este debe permanecer operativo.

Según una forma de realización de la presente invención, el sistema de energía físico continúa funcionando bajo el módulo de control existente que utiliza órdenes existentes, al mismo tiempo que se utiliza un nuevo módulo de control simulado y sistema de energía simulado para explorar cambios menores en las órdenes, con el fin de sintonizar de manera fina la respuesta de los componentes del sistema de energía y el DER compuesto en general. Mientras el sistema de energía físico continúa funcionando, el sistema de energía simulado modifica 1250 su estructura para que se corresponda de manera más precisa con la del sistema físico. Estas modificaciones se basan en variaciones observadas de las características del sistema físico, en comparación con el sistema simulado. Estas variaciones pueden producirse sobre una base de tiempo real y pueden no haber sido anticipadas por las simulaciones anteriores. Sin embargo, las variaciones se incorporan en el modelo del sistema de energía simulado sobre una base de tiempo real para conseguir que la simulación sea lo más precisa posible.

Con el sistema de energía simulado y actualizado de forma precisa sobre una base de tiempo real, los controles emitidos por los módulos de control se modifican 1260 para lograr la respuesta deseada del DER compuesto. Con cada modificación sobre los controles, se produce una consulta 1270 para determinar si la respuesta cumple el objetivo deseado. Cuando la respuesta no llega al objetivo, se producen de manera iterativa otras modificaciones 1260, cada una de ellas seguida por otra consulta, hasta que se satisfaga el objetivo. Una vez que se ha satisfecho el objetivo, el nuevo conjunto de órdenes del módulo de control simulado se usa como base para modificar 1280 las órdenes en el módulo de control físico. Después de esto, el módulo de control físico implementa 1210 las órdenes revisadas y se monitoriza 1220 la respuesta del sistema de energía físico.

La monitorización operativa del sistema físico así como la duplicación y la simulación tanto del módulo de control como del DER compuesto continúan de manera simultánea, de modo que, a medida que se producen cambios menores en el sistema físico, o a medida que se identifican imprecisiones en el conjunto de órdenes previo, puede identificarse una acción correctora y la misma puede realizarse inmediatamente. Al realizar esto, el control del DER compuesto se sintoniza de manera fina al igual que la capacidad de informar, aguas arriba, de una representación precisa de la capacidad y las características del DER compuesto bajo su cargo.

Para entender mejor cómo colaboran los procesos de simulación en el desarrollo de un sistema de control robusto, escalable y preciso, considérese el siguiente ejemplo. La figura 13 muestra una vista abstracta, de alto nivel, de un módulo de control 1310 que sería parte de un sistema de control o bien local, o bien regional o bien empresarial, según una forma de realización de la presente invención. Tal como se ha descrito previamente, cada módulo de control 1310 incluye un motor de control 1320 y un motor de simulación 1330.

Para el presente ejemplo, supóngase que la red física 1340 de una región de interés incluye un parque de turbinas eólicas, una central generadora de energía por carbón, y una fábrica que actúa como carga en el bus regional.

Asociados también a estos componentes se encuentran varias subestaciones, transformadores y líneas de transmisión. Estos tres componentes de DER se agrupan entre sí y se superponen con un sistema de control local que se comunica con el módulo de control regional para formar un DER compuesto. Cada componente tiene también una unidad individual de control y monitorización, específica de ese componente. Por ejemplo, cada turbina eólica poseería una unidad de control que puede emitir órdenes y proporcionar datos con respecto a esa turbina eólica individual, así como una unidad global de control y monitorización para el propio parque. Así mismo, la central generadora de energía posee controles para el funcionamiento de los generadores dentro de la central. Y sin duda, la carga posee ciertas características con respecto al uso de la energía. Además de estas unidades de control componentes, se encuentra un módulo de control integrado que integra cada uno de estos componentes en un sistema de energía individual. Estos sistemas, los componentes, las líneas de transmisión, las subestaciones y la infraestructura de control se unen para formar, a efectos de esta simulación, un sistema de un único DER compuesto.

Para desarrollar los controles necesarios para controlar dicho sistema según se ha descrito anteriormente, el sistema de energía físico completo se simula por medio del motor de simulación 1330 con vistas a formar una red simulada 1350. Esta red simulada es una representación virtual de las características conjuntas de cada componente individual fusionadas con las características de la red y su infraestructura de control. El motor de control 1320 posee las entradas de control que puede utilizar para modificar/controlar el comportamiento de cada componente dentro del sistema, y controlar así el propio DER compuesto.

Considérese, en este ejemplo, que el parque de turbina eólicas tiene la capacidad de dar salida hasta 10 MW de potencia durante la tarde cuando el viento es predominante, pero, siendo realista, únicamente puede producir de manera fiable 3 MW desde las 6 AM hasta el Mediodía. La central generadora de energía puede generar 15 MW de potencia, pero una generación de energía por encima de 10 MW es costosa y requiere una notificación con una antelación significativa para poner en marcha generadores adicionales. Finalmente, la carga varía durante todo el día laborable de 2 a 5 MW, llegando a los picos de valor durante las horas de la tarde.

De acuerdo con la presente invención y teniendo en cuenta el presente ejemplo, llega una solicitud de que la interfaz 1380 entre el módulo de control actual y uno situado aguas arriba, pide 10 MW de potencia del sistema de energía de aguas abajo entre las 10 AM y las 2 PM. Antes de emitir una respuesta hacia el módulo de control solicitante con respecto a su capacidad de dar satisfacción a dicha solicitud y antes de emitir órdenes hacia los componentes físicos en un intento de producir energía para dicha demanda, el módulo de control 1310 da instrucciones al motor de simulación 1330 para que determine si el cumplimiento de dicha solicitud es viable y, si fuera el caso, qué órdenes deben ser emitidas hacia los componentes físicos con el fin de producir dicho excedente de energía.

El motor de simulación 1310 que usa el sistema de energía simulado desarrollado 1150, una vez conocidas las características de los componentes, y habiendo disponibles órdenes del motor de control 1320, lleva a cabo una simulación externa ejecutando iteraciones de varias entradas de control y restricciones del entorno para determinar si el DER compuesto que está a su cargo puede producir un excedente de potencia de 10 MW dentro de los estándares requeridos desde las 10 AM hasta el Mediodía. El sistema de energía simulado del DER compuesto puede, en este caso, producir solo normalmente un excedente de 8 MW durante las horas que van de las 10 AM hasta el Mediodía. Y para proporcionar a un módulo de control de aguas arriba, 10 MW de potencia durante las horas solicitadas, tendrían que emitirse órdenes específicas para generar energía adicional y posiblemente limitar la carga. Por ejemplo, puede haberse tenido que poner en marcha un generador adicional en la central eléctrica, así como pueden haberse tenido que poner en funcionamiento turbinas eólicas adicionales.

A continuación, la capacidad del sistema de energía de cumplir la demanda se puede llevar de vuelta al módulo control solicitante. Cuando se considera que las órdenes y la simulación son válidas y aceptables, el motor de control puede desplegar entonces las órdenes exactas y validadas para dar instrucciones a la red física 1350 con el fin de que produzca un excedente 10 MW de potencia según se solicita. Durante el despliegue, las órdenes se implementan y las características del sistema de energía físico se monitorizan para validar tanto la simulación del sistema de energía como las órdenes desarrolladas. Si fuera necesario, se efectúan modificaciones tanto sobre las órdenes como sobre la simulación.

Tras la implementación operativa, el módulo de control monitoriza las condiciones reales y percibe, tal vez, que las turbinas eólicas están produciendo menos energía de lo normal, puede ejecutarse entonces una nueva simulación en paralelo para determinar qué órdenes nuevas deben emitirse o qué órdenes existentes deben modificarse para mantener la energía para el módulo de control de aguas arriba según se solicita. En caso de que la simulación determinase que ya no puede producir 10 MW de excedente de energía; puede llevarse un mensaje al módulo de control de aguas arriba en relación con ese déficit. Por lo tanto, la presente invención considera, simula y controla, no solamente los componentes individuales de una red eléctrica distribuida, sino cómo interaccionan estos componentes.

Un aspecto de la presente invención es su capacidad de modificar a escala el proceso de simulación desde un entorno de un sistema de energía local a la red eléctrica distribuida completa. Cuando se simula un sistema de energía y se desarrollan órdenes para su control, tal como se ilustra en el ejemplo anterior, se obtiene información

con respecto a la capacidad de ese sistema de energía de proporcionar una cierta capacidad. Las características del sistema de energía en su conjunto se determinan y, desde la perspectiva de un módulo de control aguas arriba, un compuesto aguas abajo – DER comprendido en varios componentes diferentes, líneas de transmisión, subestaciones y otra infraestructura, no es más que un único componente con características específicas. Ese módulo de control de aguas arriba puede usar a continuación esa información para caracterizar el sistema de energía como no más que un componente: un DER compuesto. La simulación aguas arriba y el desarrollo del sistema de control se producen de la misma manera y, igual que en el módulo de aguas abajo, se puede modificar el tiempo real. Así, cuando las características de uno de sus componentes cambian (el DER compuesto de aguas abajo), pueden modificarse la simulación y el módulo de control del sistema de energía de aguas arriba. Esta forma de simulación distribuida y modificación en tiempo real sobre una base local, permite que la presente invención controle de forma precisa y eficaz las numerosas permutaciones de una amplia red eléctrica distribuida en tiempo real.

Formas de realización de la presente invención se pueden hacer funcionar para gestionar y controlar dinámicamente una red eléctrica distribuida que tiene una pluralidad de recursos de producción de energía. Una pluralidad de células a nivel local, regional y empresarial dentro de una red eléctrica distribuida se gestiona de forma autónoma utilizando módulos de control que funcionan en combinación con un sistema de funcionamiento de red multicapa. Cada módulo de control local está acoplado conectivamente a un módulo de control regional, y, a su vez, a un módulo de control empresarial que se comunica por interfaz con diversas aplicaciones de gestión y control que supervisan la red eléctrica distribuida. Se monitorizan y analizan continuamente la producción de energía y el consumo de energía igual que el sistema en el que estas funcionan. En una forma de realización de la presente invención, tras la determinación de que el consumo de energía de una región supera su capacidad productora de energía, aplicaciones de gestión, que funcionan a través del módulo de control empresarial, reasignan dinámicamente recursos de producción de energía por toda la red. Esta reasignación de producción y distribución de energía se monitoriza y ajusta continuamente para garantizar que la red permanece estable, fiable y segura. Cuando dicha reasignación no es posible o no se produce a tiempo, el módulo de control regional apropiado llevará a cabo una acción correctora para adaptar la carga a la generación o bien desconectando cargas, o bien derivando energía almacenada o bien activando generadores de emergencia.

Aunque la presente invención se ha descrito a través de la gestión de redes eléctricas, es también aplicable y compatible con la gestión de energía distribuida dentro de instalaciones comerciales, campus, o cualquier lugar donde haya líneas de distribución que transportan energía entre salas, edificios, fuentes de energía renovable, sistemas de gestión de cargas, vehículos eléctricos y similares. Esto se cumple para campus comerciales mayores, bases militares, pueblos remotos que no pertenecen a la red eléctrica y similares. La presente invención forma y gestiona dinámicamente sistemas de energía distribuidos usando recursos distribuidos, redes reconfigurables y redes de comunicación heterogéneas, diferenciándola con respecto a micro-redes estáticas en unas instalaciones o ubicación remota en donde los generadores y algunos otros recursos están diseñados y configurados para seguir cargas locales. Esta capacidad dinámica del sistema de control distribuido de la presente invención para adaptarse a los recursos, la topología de red, y la disponibilidad, variabilidad adiciones y supresiones de las comunicaciones es un rasgo distintivo de esta invención.

Tal como apreciará alguien versado en la materia pertinente, partes de la presente invención se pueden implementar en un sistema de ordenador convencional o de propósito general, tal como un ordenador central, un ordenador personal (PC), un ordenador portátil, un ordenador de tipo *notebook*, un ordenador de mano o de bolsillo, un ordenador integrado, y/o un ordenador servidor. Un sistema típico comprende una(s) unidad(es) de procesamiento central (CPU) o procesador(es) acoplado(s) a una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM), un teclado, una impresora, un dispositivo señalador, una pantalla o adaptador de vídeo conectado a un dispositivo de pantalla, 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), un puerto(s) o interfaz(es) de comunicaciones (COMM), y una tarjeta de interfaz de red (NIC) o controlador (por ejemplo, Ethernet). Aunque no se muestra por separado, con el sistema se incluye según una manera convencional un reloj de sistema en tiempo real.

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 toda circuitería necesaria de controladores de entrada/salida (I/O) y otra lógica de interconexión ("*glue*" *logic*). El bus, que incluye líneas de dirección para direccionar la memoria del sistema, proporciona transferencia de datos entre los diversos componentes. La RAM sirve como memoria de trabajo para la CPU. La ROM contiene el código del sistema básico de entrada/salida (BIOS), un conjunto de rutinas de bajo nivel en la ROM que pueden ser usadas por programas de aplicación y los sistemas operativos para interactuar con el hardware, incluyendo la lectura de caracteres desde el teclado, la salida de caracteres hacia impresoras, y otros.

Los dispositivos de almacenamiento masivo proporcionan un almacenamiento persistente en soportes fijos y extraíbles, tales como sistemas de almacenamiento magnético, óptico o magnético-óptico, memoria *flash*, o cualquier otra tecnología disponible de almacenamiento masivo. El almacenamiento masivo se puede compartir en una red, o puede ser un almacenamiento masivo dedicado. Típicamente, unos medios de almacenamiento fijo

almacenan código y datos para dirigir el funcionamiento del sistema de ordenador incluyendo un sistema operativo, programas de aplicación de usuario, controladores y otros archivos de soporte, así como otros archivos de datos de todo tipo. Típicamente, los medios de almacenamiento fijo actúan como disco duro principal para el sistema.

5 En el funcionamiento básico, se carga lógica de programa (incluyendo aquella que implementa la metodología de la presente invención) desde los medios de almacenamiento extraíbles o los medios de almacenamiento fijos en la memoria principal (RAM) para su ejecución por parte de la CPU. Durante el funcionamiento de la lógica de programa, el sistema acepta entradas de usuario desde un teclado y un dispositivo señalador, así como entradas basadas en el habla desde un sistema de reconocimiento de voz (no mostrado). El teclado permite la selección de programas de aplicación, la entrada de aportaciones basadas en el teclado o datos, y la selección y manipulación de objetos de datos individuales visualizados en la pantalla o dispositivo de visualización. Así mismo, el dispositivo señalador, tal como un ratón, un control de *track-ball*, un dispositivo de lápiz, o similares, permite la selección y la manipulación de objetos en el dispositivo de visualización. De esta manera, estos dispositivos de entrada soportan una entrada de usuario manual para cualquier proceso que se ejecute en el sistema.

15 El sistema de ordenador visualiza texto y/o imágenes gráficas y otros datos en el dispositivo de visualización. El adaptador de vídeo, que está interpuesto entre el módulo de visualización y el bus del sistema, controla el dispositivo de visualización. El adaptador de vídeo, el cual incluye memoria de vídeo accesible para la CPU, proporciona circuitería que convierte datos de píxeles almacenados en la memoria de vídeo en una señal de trama *raster* adecuada para su uso por una trama *raster* de un tubo de rayos catódicos (CRT) o un monitor de pantalla de cristal líquido (LCD). A partir de la impresora u otro dispositivo de salida puede obtenerse una copia en papel de la información visualizada, u otra información dentro del sistema.

20 El propio sistema se comunica con otros dispositivos (por ejemplo, otros ordenadores) por medio de la NIC conectada a una red (por ejemplo, red Ethernet, red inalámbrica Bluetooth, o similares). El sistema también puede comunicarse con dispositivos locales conectados ocasionalmente (por ejemplo, dispositivos enlazados por cable serie) por medio de la interfaz COMM, que puede incluir un puerto serie RS-232, una interfaz de Bus Serie Universal (USB), o similares. Los dispositivos que comúnmente se conectarán de forma local a la interfaz incluyen ordenadores portátiles, organizadores de mano, cámaras digitales y similares.

25 Tal como se ha descrito previamente, la presente invención también se puede utilizar en un escenario de red, tal como una red de área local o red de área extensa y similares. Dichas redes también pueden incluir ordenadores centrales o servidores, tales como un ordenador de pasarela o un servidor de aplicaciones (que puede acceder a un repositorio de datos u otra fuente de memoria). Un ordenador de pasarela sirve como punto de entrada a cada red. La pasarela se puede acoplar a otra red por medio de un enlace de comunicaciones. Además, el ordenador de pasarela se puede acoplar indirectamente a uno o más dispositivos. El ordenador de pasarela también se puede acoplar a un dispositivo de almacenamiento (tal como un repositorio de datos). El ordenador de pasarela se puede implementar utilizando una variedad de arquitecturas.

30 Aquellos versados en la materia apreciarán que el ordenador de pasarela puede estar situado a una gran distancia geográfica con respecto a la red, y de manera similar, los dispositivos pueden estar situados a una distancia sustancial de las redes igualmente. Por ejemplo, la red puede estar situada en California mientras que la pasarela puede estar situada en Texas, y uno o más de los dispositivos puede estar situado en Nueva York. Los dispositivos se pueden conectar a la red inalámbrica utilizando un protocolo de red, tal como el TCP/IP, a través de una serie de medios de conexión alternativos, tales como un teléfono celular, redes de radiofrecuencia, redes satelitales, etcétera. Preferentemente, la red inalámbrica se conecta a la pasarela usando una conexión de red, tal como TCP o UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario) sobre IP, X.25, Retransmisión de Tramas, ISDN (Red Digital de Servicios Integrados), PSTN (Red Telefónica Pública Conmutada), etcétera. Alternativamente, los dispositivos se pueden conectar de manera directa a la pasarela usando una conexión por marcación. Además, la red inalámbrica se puede conectar a otra u otras redes (no mostradas) de una forma análoga.

35 En formas de realización preferidas, partes de la presente invención se pueden implementar en software. El microprocesador accede típicamente al código de programación de software que materializa la presente invención desde soportes de almacenamiento de largo plazo de algún tipo, tal como una unidad de disco duro. El código de programación de software se puede materializar en cualquiera de una variedad de soportes conocidos para su uso con un sistema de procesamiento de datos, tal como una unidad de disco duro o CD-ROM. El código se puede distribuir en dichos soportes, o se puede distribuir desde la memoria o medios de almacenamiento de un sistema de ordenador a través de una red de algún tipo a otros sistemas de ordenador para su uso por dichos otros sistemas. Alternativamente, el código de programación se puede materializar en la memoria y el microprocesador puede acceder al mismo usando el bus. Las técnicas y métodos para materializar el código de programación de software en memoria, en soportes físicos, y/o distribuir código de software por medio de redes, son bien conocidos y no se describirán adicionalmente en la presente.

40 Una implementación de la presente invención se puede ejecutar en un entorno web, donde se descargan paquetes de instalación de software usando un protocolo tal como el Protocolo de Transferencia de HiperTexto (HTTP) desde un servidor Web a uno o más ordenadores de destino que están conectados a través de Internet. Alternativamente,

una implementación de la presente invención se puede ejecutar en otros entornos de red que no sean de tipo Web (usando Internet, una Intranet o Extranet empresarial, o cualquier otra red) donde se distribuyen paquetes de software para su instalación usando técnicas, tales como la Invocación Remota a Métodos (RMI), OPC o la Arquitectura de Negociación de Solicitud de Objetos Comunes (CORBA). Las configuraciones para el entorno incluyen una red de cliente/servidor así como un entorno multi-nivel. O, tal como se ha mencionado anteriormente, la presente invención se puede usar en un entorno autónomo, por ejemplo por parte de un instalador que desea instalar un paquete de software desde unos medios de instalación disponibles localmente, 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. Así, un potencial sistema de destino al 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 hacer uso de una estación de trabajo conectada en red, una estación de trabajo autónoma, o cualquier otro dispositivo informático similar. Estos entornos y configuraciones son bien conocidos en la técnica.

A continuación se exponen formas de realización preferidas de la presente invención. En una forma de realización correspondiente a un sistema para controles de recursos de energía distribuidos en una red eléctrica de transmisión de distribución, el sistema comprende:

- un motor de control;
- un motor de simulación que se puede hacer funcionar para producir un modelo de características de respuesta de funcionamiento y control de un recurso de energía distribuido y comunicar resultados del modelo al motor de control;
- una interfaz de control acoplada comunicativamente entre el motor de control y o bien el motor de simulación o bien los recursos de energía distribuidos.

Otras características preferidas, que pueden estar presentes por separado o combinadas, según resulte apropiado, incluyen:

- el recurso de energía distribuido incluye una topología de red de una pluralidad de componentes de transmisión y distribución y una pluralidad de componentes de generación, almacenamiento, acondicionamiento y demanda de energía acoplados a la red eléctrica de transmisión y distribución.
- el modelo producido el motor de simulación se puede hacer funcionar para representar interacciones combinadas del recurso de energía distribuido con el fin de determinar características de respuesta de la topología de red a diversas órdenes.
- la interfaz de control se puede hacer funcionar para transformar resultados del modelo de características de respuesta de funcionamiento y control en un conjunto normalizado de parámetros de comunicación para su diseminación a otras interfaces de control.
- cada interfaz de control se puede hacer funcionar para recibir información de respuesta de funcionamiento y control, referente a otros recursos de energía distribuidos, y consultas referentes a la capacidad del recurso de energía distribuido de cumplir parámetros de respuesta de funcionamiento y control.
- cada interfaz de control se puede hacer funcionar para comunicar capacidades de respuesta de funcionamiento y control del recurso de energía distribuido a otras interfaces de control.
- cada recurso de energía distribuido incluye uno o más bucles de control gestionados por el motor de control.
- como respuesta a la recepción, por parte del motor de control, de una solicitud de un parámetro de rendimiento especificado desde otra interfaz de control, al cual tiene capacidad de dar satisfacción el recurso de energía distribuido, el motor de control determina una estrategia de ejecución usando el bucle o bucles de control para lograr el parámetro de rendimiento especificado.
- como respuesta a la determinación de que el recurso de energía distribuido puede cumplir el parámetro de rendimiento especificado usando la estrategia de ejecución, aplicar la estrategia de ejecución al recurso de energía distribuido.
- la interfaz de control comunica acciones llevadas a cabo y resultados logrados a la interfaz de control que envía la solicitud.
- cada interfaz de control media solicitudes u órdenes hacia el motor de control.

- cada interfaz de control actúa como intermediario para moderar solicitudes y/u órdenes de otras interfaces de control y para comunicar resultados y capacidades del motor de control asociado a otros motores de control sin presentar unos medios a través de los cuales se lograron los resultados.
- 5 • el motor de control, el motor de simulación y la interfaz de control están incluidos en cada uno de una pluralidad de módulos de control.
- cada motor de simulación funciona de manera independiente con respecto a cada uno de los otros motores de simulación.
- 10 • el modelo de características de respuesta de funcionamiento y control cambia dinámicamente sobre la base de cambios de otros recursos de energía distribuidos y/o la topología de la red de transmisión y distribución.
- el motor de simulación se puede hacer funcionar para recibir consultas de control de otros módulos de control.
- 15 • una red de comunicaciones que se puede hacer funcionar para comunicar cambios en la topología de red al motor de simulación.
- 20 • el recurso de energía distribuido es un recurso de energía distribuido virtual.
- como respuesta a la validación de los resultados del modelo de características de respuesta de funcionamiento y control del recurso de energía distribuido, aplicar órdenes desarrolladas por el motor de control para controlar la red eléctrica de transmisión y distribución sin modificaciones.
- 25 • características de respuesta de funcionamiento y control del recurso de energía distribuido se monitorizan y modifican dinámicamente para cumplir parámetros de rendimiento especificados.

30 En otra forma de realización de un sistema para control de recursos de energía distribuidos en una red eléctrica de transmisión y distribución, el sistema comprende:

- una pluralidad de recursos de energía distribuidos en una red eléctrica de transmisión y distribución;
- 35 • un sistema de control de recursos de energía distribuidos asociado a por lo menos una de la pluralidad de recursos de energía distribuidos con un motor de control y un motor de simulación, en donde el motor de simulación se puede hacer funcionar para producir un modelo de características de respuesta de funcionamiento y control del por lo menos un recurso de energía distribuido para uno o más bucles de control producidos por el modo de control; y
- 40 • un conmutador interpuesto entre el motor de control y que se acopla o bien al motor de simulación o bien al por lo menos un recurso de energía distribuido en la red eléctrica de transmisión y de distribución, en donde, como respuesta a la validación del rendimiento del sistema de control con el modelo de características de respuesta de funcionamiento y control, el motor de control puede aplicar el bucle o bucles de control a por lo menos un recurso de energía distribuido en la red eléctrica de transmisión y de distribución sin modificaciones.
- 45

Otras características preferidas del sistema anterior para modelar controles de recursos de energía distribuidos incluyen:

- 50 • una topología de red de una pluralidad de componentes de una red de transmisión y distribución y una pluralidad de componentes de generación, almacenamiento, acondicionamiento y demanda de energía está incluida para cada recurso de energía distribuido.
- una interfaz de control que se puede hacer funcionar para transformar resultados del modelo de características de respuesta de funcionamiento y control, en un conjunto normalizado de parámetros de comunicación para su diseminación a otras interfaces de control.
- 55 • como respuesta a que la validación de la respuesta del recurso de energía distribuido para el bucle o bucles de control se corresponda con el modelo de características de respuesta de funcionamiento y control, el motor de control establece un control de funcionamiento del recurso de energía distribuido.
- 60 • el motor de control monitoriza continuamente características de respuesta de funcionamiento y control de los recursos de energía distribuidos para el bucle o bucles de control.
- 65 • como respuesta al hecho de que las características de respuesta de funcionamiento y control no consigan cumplir las expectativas, el sistema es operativo para modificar el modelo y/o uno o más bucles de control,

con el fin de cumplir las expectativas y comunicar la modificación al motor de control para la ejecución de los bucles de control.

- 5 • cada motor de simulación de cada sistema de control de recursos de energía distribuidos funciona de manera independiente con respecto a cada uno de los otros motores de simulación y, en donde, cada modelo producido por cada motor de simulación puede ser una parte de otro modelo de un motor de simulación.
- 10 • cada recurso de energía distribuido está asociado exclusivamente a una interfaz de control que actúa como intermediario para moderar solicitudes y/u órdenes de otras interfaces de control, y para comunicar resultados y capacidades a las otras interfaces de control sin presentar unos medios a través de los cuales se lograron los resultados.
- 15 • el sistema se puede hacer funcionar para modelar y modificar dinámicamente características de respuesta de funcionamiento y control sobre la base de cambios de otros recursos de energía distribuidos y/o cambios de la topología de la red de transmisión y distribución.

En otra forma de realización, un método para modelar controles de un recurso de energía distribuido en una red eléctrica de transmisión y distribución, comprende las etapas:

- 20 • formar un modelo del recurso de energía distribuido, en donde el recurso de energía distribuido incluye una topología de red de una pluralidad de componentes de una red de transmisión y distribución y una pluralidad de componentes de generación, almacenamiento, acondicionamiento y demanda de energía;
- 25 • simular respuestas de control de funcionamiento de la topología de red que comprende el recurso de red distribuido para una pluralidad de entradas de control; y
- comunicar a un motor de control capacidades simuladas del recurso de energía distribuido antes de emitir entradas de control para el recurso de energía distribuido.

30 Otras características preferidas del método anterior para modelar controles de un recurso de energía distribuido en una red eléctrica de transmisión y distribución, incluyen:

- 35 • la simulación aplica una pluralidad de bucles de control en el modelo de los recursos de energía distribuidos bajo control del motor de control, en donde cada bucle de control se puede hacer funcionar para modificar el rendimiento y la respuesta del recurso de energía distribuido.
- unos medios a través de los cuales se lograron las capacidades del recurso de energía distribuido son independientes de otros motores de control y se pueden comunicar o no a estos últimos.
- 40 • moderar solicitudes y/u órdenes de otros recursos de energía distribuidos y determinar una estrategia de ejecución para lograr un parámetro de rendimiento especificado.
- 45 • como respuesta a que la validación de la pluralidad de entradas de control por parte del motor de control logre los parámetros de rendimiento especificados, aplicar la pluralidad de entradas de control a los recursos de energía distribuidos.

Otra forma de realización preferida de un método para modelar controles de un recurso de energía distribuido en una red eléctrica de transmisión y distribución comprende:

- 50 • simular respuestas de control de funcionamiento de un recurso de energía distribuido usando un sistema de energía simulado basado en el recurso de energía distribuido;
- desarrollar entradas de control del recurso de energía distribuido basándose en respuestas simuladas de control de funcionamiento; y
- 55 • desplegar las entradas de control del recurso de energía distribuido para controlar el recurso de energía distribuido.

60 Otras características preferidas del método anterior para modelar controles de un recurso de energía distribuido en una red eléctrica de transmisión y distribución incluyen:

- el sistema de energía simulado representa el recurso de energía distribuido e incluye una topología de red de una pluralidad de componentes de la red de transmisión y distribución.
- 65 • el recurso de energía distribuido es un recurso de energía distribuido compuesto.

- monitorizar respuestas de control de funcionamiento del recurso de energía distribuido.
 - 5 • como respuesta a que las respuestas de control de funcionamiento de los recursos de energía distribuidos cumplan las expectativas de la respuesta simulada de control de funcionamiento, establecer un control de funcionamiento del recurso de energía distribuido usando entradas de control desarrolladas del recurso de energía distribuido.
 - 10 • como respuesta a que las respuestas de control de funcionamiento de los recursos de energía distribuidos no consigan cumplir expectativas de respuestas de control de funcionamiento, duplicar en un entorno simulado los recursos de energía distribuidos y las entradas de control de los recursos de energía distribuidos para evaluar una o más modificaciones de las entradas de control mientras el control de funcionamiento de los recursos de energía distribuidos no se ve afectado.
 - 15 • implementar la o las modificaciones como respuesta a que se cumplan las expectativas de la respuesta de control de funcionamiento en el entorno simulado.
 - 20 • como respuesta al hecho de que las respuestas de control de funcionamiento de los recursos de energía distribuidos no consigan cumplir las expectativas de la respuesta simulada de control de funcionamiento, modificar el sistema de energía simulado y/o entradas de control de los recursos de energía distribuidos hasta que las respuestas de control de funcionamiento de los recursos de energía distribuidos cumplan las expectativas de la respuesta simulada de control de funcionamiento.
 - 25 • la simulación, el desarrollo y el despliegue se efectúan independientemente a un nivel local, regional y empresarial.
 - cada instancia independiente de simulación, desarrollo y despliegue proporciona datos de información para el modelado y el control de otros recursos de energía distribuidos.
- 30 Otra forma de realización preferida de un sistema de modelado de controles de recursos de energía distribuidos, comprende:
- una pluralidad de recursos de energía distribuidos que forman una red eléctrica de transmisión y distribución;
 - 35 • una pluralidad de módulos de control, estando acoplado comunicativamente cada módulo de control a cada uno de los otros módulos de control, en donde cada módulo de control incluye un motor de control y un motor de simulación y una máquina con capacidad de ejecutar instrucciones materializadas en forma de software, y en donde cada módulo de control ejercer un control de funcionamiento de una parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos; y
 - 40 • una pluralidad de partes de software, en donde
 - una de dichas partes de software está configurada para desarrollar entradas de control de recursos de energía distribuidos para la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos sobre la base de respuestas simuladas de control de funcionamiento, y
 - 45 ▪ una de dichas partes de software está configurada para comunicar a los otros módulos de control, características de respuestas de control para las entradas de control desarrolladas de recursos de energía distribuidos de la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos.
- 50 Características adicionales del anterior sistema de modelado y control de controles de recursos de energía distribuidos incluyen:
- cada uno de la pluralidad de módulos de control y la parte de recursos de energía distribuidos bajo control de funcionamiento de ese módulo de control pueden ser considerados por otros módulos de control como un recurso de energía distribuido.
 - 55 • las características de respuesta de control incluyen información referente a la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos en conjunto.
 - 60 • la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos incluye una topología de red de una pluralidad de componentes de una red de transmisión y distribución y una pluralidad de componentes de generación, almacenamiento, acondicionamiento y demanda de energía.
 - 65 • el motor de simulación desarrolla las entradas de control de recursos de energía distribuidos para la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos usando una simulación de la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos.

- 5 • el motor de control valida las entradas de control de recursos de energía distribuidos sobre la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos y, como respuesta a que las entradas de control de los recursos de energía distribuidos no consigan producir una respuesta esperada de la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos, el sistema modifica la simulación y/o las entradas de control de recursos de energía distribuidos.
- 10 • como respuesta a que las entradas de control de recursos de energía distribuidos produzcan la respuesta esperada de la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos, el motor de control establece un control de funcionamiento de la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos.
- 15 • el motor de control monitoriza el rendimiento de funcionamiento de la parte de la pluralidad de recursos de energía distribuidos y modifica dinámicamente las entradas de control de recursos de energía distribuidos para mantener la respuesta esperada.

Tal como entenderán aquellos familiarizados con la técnica, partes de la invención se pueden materializar en otras formas específicas, sin desviarse con respecto al espíritu o sus características esenciales. Así mismo, la denominación y la división particulares de los módulos, gestores, funciones, sistemas, motores, capas, características, atributos, metodologías y otros aspectos no son obligatorias o significativas, y los mecanismos que implementan la invención o sus características pueden tener nombres, divisiones y/o formatos diferentes. Además, tal como se pondrá de manifiesto para alguien con conocimientos habituales en la técnica pertinente, los módulos, gestores, funciones, sistemas, motores, capas, características, atributos, metodologías y otros aspectos de la invención, se pueden implementar en forma de software, hardware, microprogramas, o cualquier combinación de los tres. Evidentemente, donde quiera que un componente o parte de la presente invención se implemente en forma de software, el componente se puede implementar como un guion de instrucciones (*script*), como un programa autónomo, como parte de un programa mayor, como una pluralidad de guiones de instrucciones independientes, y/o programas, como una biblioteca enlazada de forma estática o dinámica, como un módulo cargable del Kernel, como un controlador de dispositivos, y/o según todas y cualquiera de otras maneras que se conocen actualmente o en el futuro para aquellos versados en la técnica de la programación informática. Adicionalmente, la presente invención no se limita en modo alguno a la implementación en ningún lenguaje de programación específico o para ningún sistema o entorno de funcionamiento específico.

REIVINDICACIONES

1. Sistema distributivo de control de redes eléctricas de transmisión y distribución, que comprende:

5 una red eléctrica de transmisión y distribución que incluye una pluralidad de recursos de energía distribuidos, siendo un subconjunto de la pluralidad de recursos de energía distribuidos controlable;

un motor de control (325);

10 un motor de simulación (320) que se puede hacer funcionar para producir un modelo de características de respuesta de funcionamiento y control de la red eléctrica de transmisión y distribución que incluye la pluralidad de recursos de energía distribuidos y el subconjunto de la pluralidad de recursos de energía distribuidos son controlables; una interfaz de control (1380) acoplada comunicativamente entre el motor de control y el motor de simulación y la pluralidad de recursos de energía distribuidos, estando la interfaz de control configurada para recibir una solicitud de rendimiento especificado de una parte de la red eléctrica de transmisión y distribución, estando el sistema configurado para, antes de emitir órdenes a los seleccionados de la pluralidad de recursos de energía distribuidos, proporcionar el rendimiento especificado solicitado, con el fin de dirigir el motor de simulación (1330) para que determine si es viable el cumplimiento de dicha solicitud y, si fuera el caso, qué órdenes deben ser emitidas hacia la pluralidad de recursos de energía distribuidos para producir dicho rendimiento especificado solicitado; y

25 tras determinarse que el cumplimiento de la solicitud es viable, el sistema está configurado para desplegar órdenes validadas para ordenar la producción del rendimiento especificado solicitado y, durante el despliegue, siendo las órdenes implementadas y siendo las características del sistema de energía monitorizadas para validar tanto la simulación como las órdenes desarrolladas y siendo llevadas a cabo las modificaciones de efecto tanto en las órdenes como en la simulación según se requiera.

30 2. Sistema según la reivindicación 1, en el que el recurso de energía distribuido incluye una topología de red de una pluralidad de componentes de transmisión y distribución y una pluralidad de componentes de generación, almacenamiento, acondicionamiento y demanda de energía acoplados a la red eléctrica de transmisión y distribución, y en el que el modelo producido por el motor de simulación se puede hacer funcionar para representar unas interacciones combinadas de los recursos de energía distribuidos para determinar características de respuesta de la topología de red a varias órdenes.

35 3. Sistema según la reivindicación 2, en el que la interfaz de control se puede hacer funcionar para transformar resultados del modelo de características de respuesta de funcionamiento y control en un conjunto normalizado de parámetros de comunicación para su diseminación a otras interfaces de control.

40 4. Sistema según la reivindicación 3, en el que cada interfaz de control se puede hacer funcionar para recibir información de respuesta de funcionamiento y control referente a otros recursos de energía distribuidos y consultas referentes a la capacidad del recurso de energía distribuido de cumplir los parámetros de respuesta de funcionamiento y control.

45 5. Sistema según la reivindicación 4, en el que como respuesta a la recepción por el motor de control de una solicitud de un parámetro de rendimiento especificado desde otra interfaz de control, que el recurso de energía distribuido puede cumplir, el motor de control determina una estrategia de ejecución usando uno o más bucles de control para lograr el parámetro de rendimiento especificado.

50 6. Sistema según la reivindicación 1, en el que cada interfaz de control actúa como un intermediario para moderar solicitudes y/u órdenes de otras interfaces de control y para comunicar los resultados y capacidades del motor de control asociado a otros motores de control sin presentar unos medios a través de los cuales se lograron los resultados.

55 7. Sistema según la reivindicación 1, en el que el motor de control, el motor de simulación y la interfaz de control están incluidos en cada una de una pluralidad de módulos de control y, en el que cada motor de simulación funciona de manera independiente con respecto a cada uno de los otros motores de simulación.

60 8. Sistema según la reivindicación 1, en el que el recurso de energía distribuido es un recurso de energía distribuido virtual.

9. Sistema según la reivindicación 2, en el que como respuesta a la validación de los resultados del modelo de características de respuesta de funcionamiento y control del recurso de energía distribuido, se aplican unas órdenes desarrolladas por el motor de control para controlar la red eléctrica de transmisión y distribución sin modificaciones.

65 10. Sistema según la reivindicación 1, en el que como respuesta al hecho de que las características de respuesta de funcionamiento y control no consigan cumplir las expectativas, el sistema es operativo para modificar el modelo y/o

uno o más bucles de control, de manera que se cumplan las expectativas y se comunique la modificación al motor de control para la ejecución.

5 11. Método para modelado y control en una red eléctrica de transmisión y distribución, en el que la red eléctrica de transmisión y distribución incluye una pluralidad de recursos de energía distribuidos, y en el que un subconjunto de la pluralidad de recursos de energía distribuidos es controlable por unas entradas de control, comprendiendo el método:

10 formar un modelo de la red eléctrica de transmisión y distribución que incluye el subconjunto de recursos de energía distribuidos que son controlables, incluyendo el recurso de energía distribuido una topología de red de una pluralidad de componentes de la red de transmisión y distribución y una pluralidad de componentes de generación, almacenamiento, acondicionamiento y demanda de energía;

15 recibir una solicitud de energía adicional de una parte de la red eléctrica de transmisión y distribución;

desarrollar un conjunto de órdenes de control de recursos de energía distribuidos para modificar el funcionamiento del subconjunto de la pluralidad de recursos de energía distribuidos que son controlables para cumplir la solicitud de rendimiento especificado de la parte de la red eléctrica de transmisión y distribución;

20 aplicar el conjunto desarrollado de entradas de control de recursos de energía distribuidos a esa parte del modelo de la red eléctrica de transmisión y distribución correspondiente al subconjunto de la pluralidad de recursos de energía distribuidos que son controlables, con el fin de validar que el conjunto desarrollado de órdenes cumplirá la solicitud de rendimiento especificado; y

25 como respuesta a la validación de que la parte de la red eléctrica de transmisión y distribución en el modelo cumple la solicitud de rendimiento especificado sobre la base del conjunto aplicado de órdenes de recursos de energía distribuidos, se despliega el conjunto de entradas de control de recursos de energía distribuidos para el subconjunto de la pluralidad de recursos de energía distribuidos que son controlables con el fin de controlar la red eléctrica de transmisión y distribución.

30 12. Método según la reivindicación 11, que además comprende monitorizar de forma iterativa el rendimiento de la red eléctrica de transmisión y distribución, y, como respuesta al hecho de que el rendimiento de la red eléctrica de transmisión y distribución no consiga cumplir la solicitud de rendimiento especificado, se desarrolla un nuevo conjunto de entradas de control para modificar el funcionamiento del subconjunto de la pluralidad de recursos de energía distribuidos que son controlables, con el fin de cumplir la solicitud de rendimiento especificado de la red eléctrica de transmisión y distribución.

35 13. Método según la reivindicación 11, que además comprende identificar uno o más parámetros de control para cada uno del subconjunto de la pluralidad de recursos de energía distribuidos que son controlables.

40 14. Método según la reivindicación 11, que además comprende monitorizar unas respuestas de control de funcionamiento del subconjunto de la pluralidad de los recursos de energía distribuidos que son controlables, y, en el que como respuesta al hecho de que la respuesta de control de funcionamiento de la red de transmisión y distribuida no consiga cumplir la solicitud de rendimiento especificado, se modifica el conjunto desarrollado de entradas de control de recursos de energía distribuidos.

45 15. Método según la reivindicación 14, en el que, como respuesta al hecho de que las respuestas de control de funcionamiento del subconjunto de los recursos de energía distribuidos que son controlables no consigan cumplir las expectativas de respuesta de control de funcionamiento, se replica en el modelo el subconjunto de los recursos de energía distribuidos que son controlables y el conjunto de entradas de control de recursos de energía distribuidos para evaluar una o más modificaciones del conjunto de entradas de control de recursos de energía distribuidos, mientras que el control de funcionamiento de los recursos de energía distribuidos no se ve afectado.

50

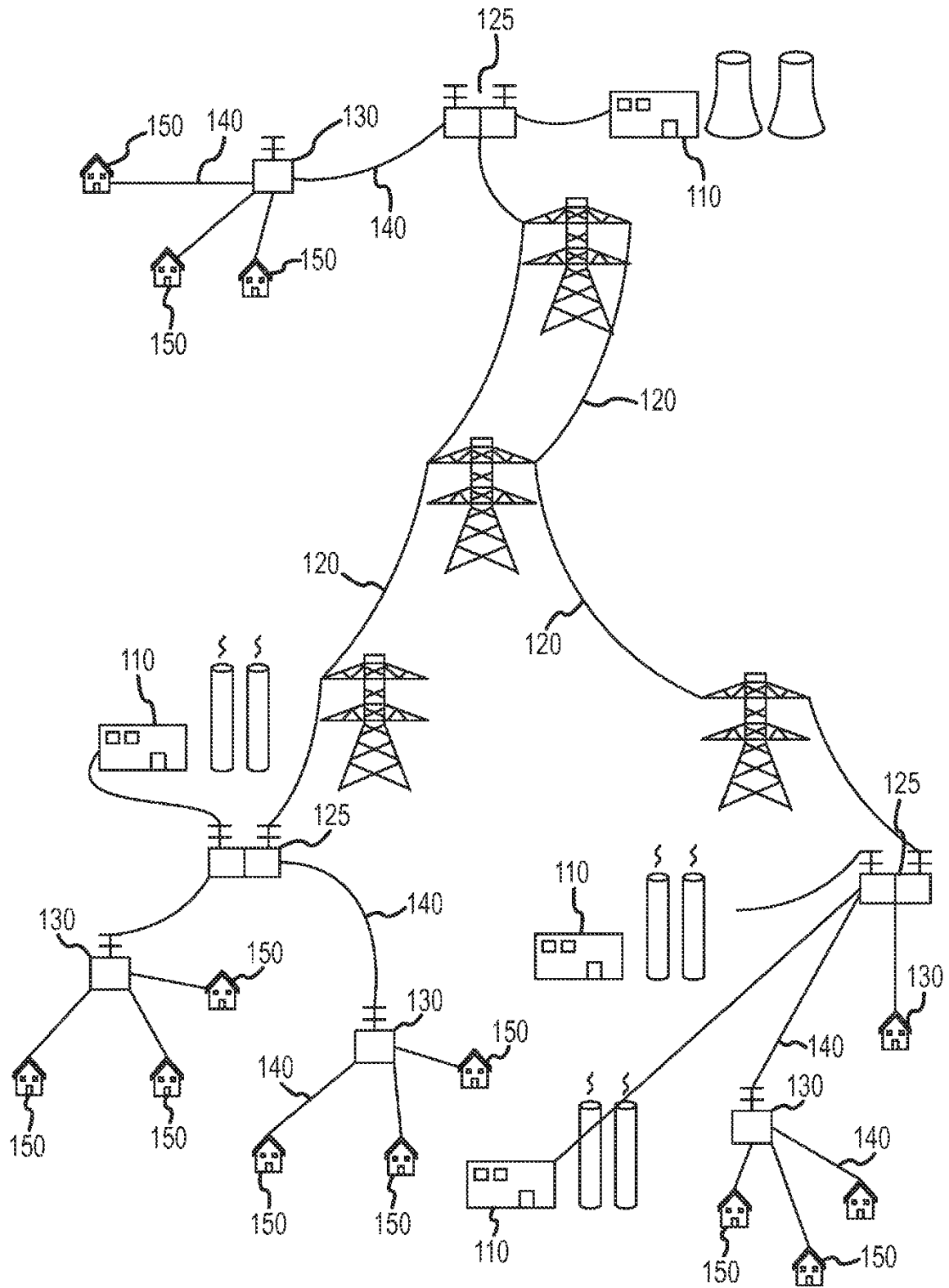


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

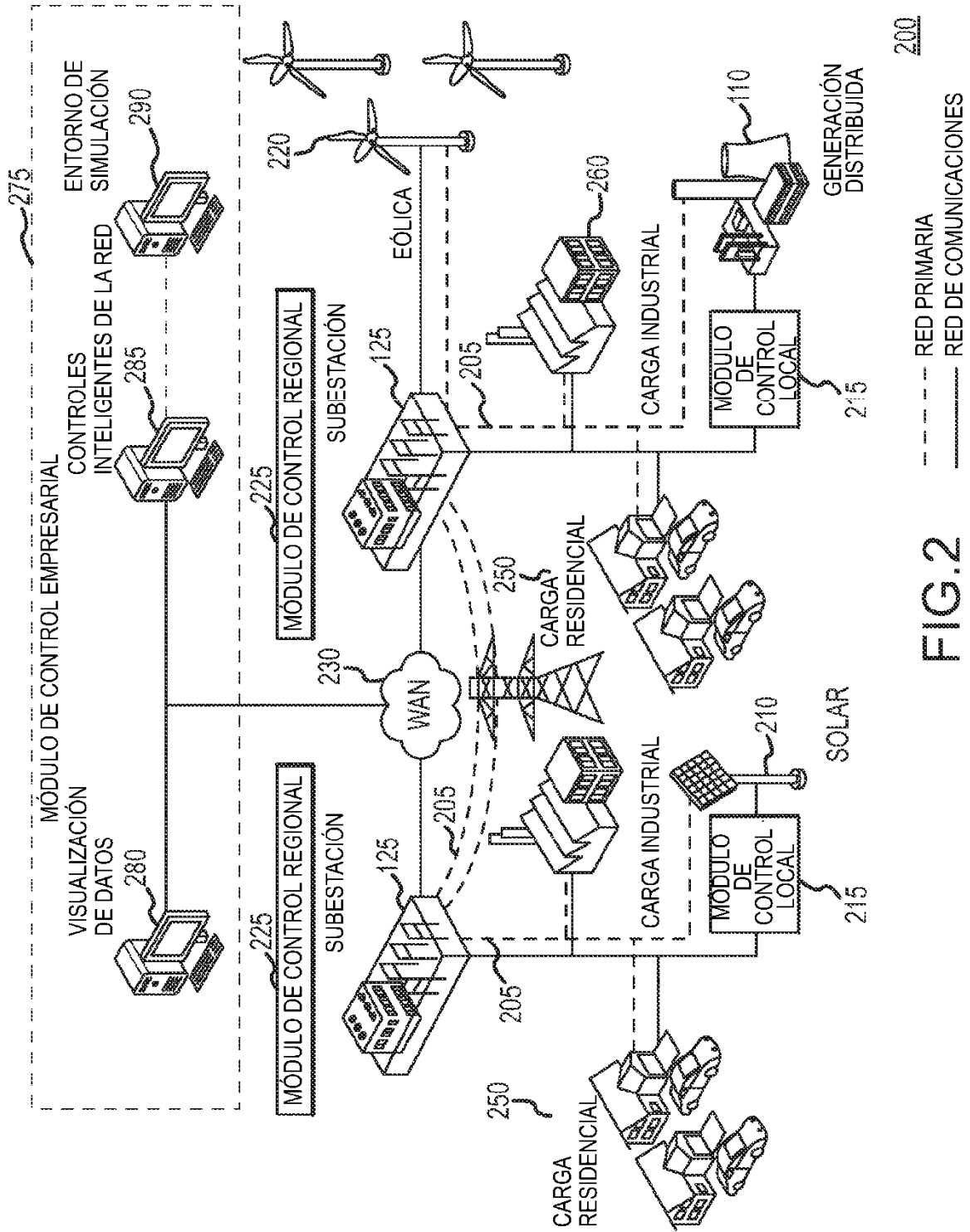


FIG.2

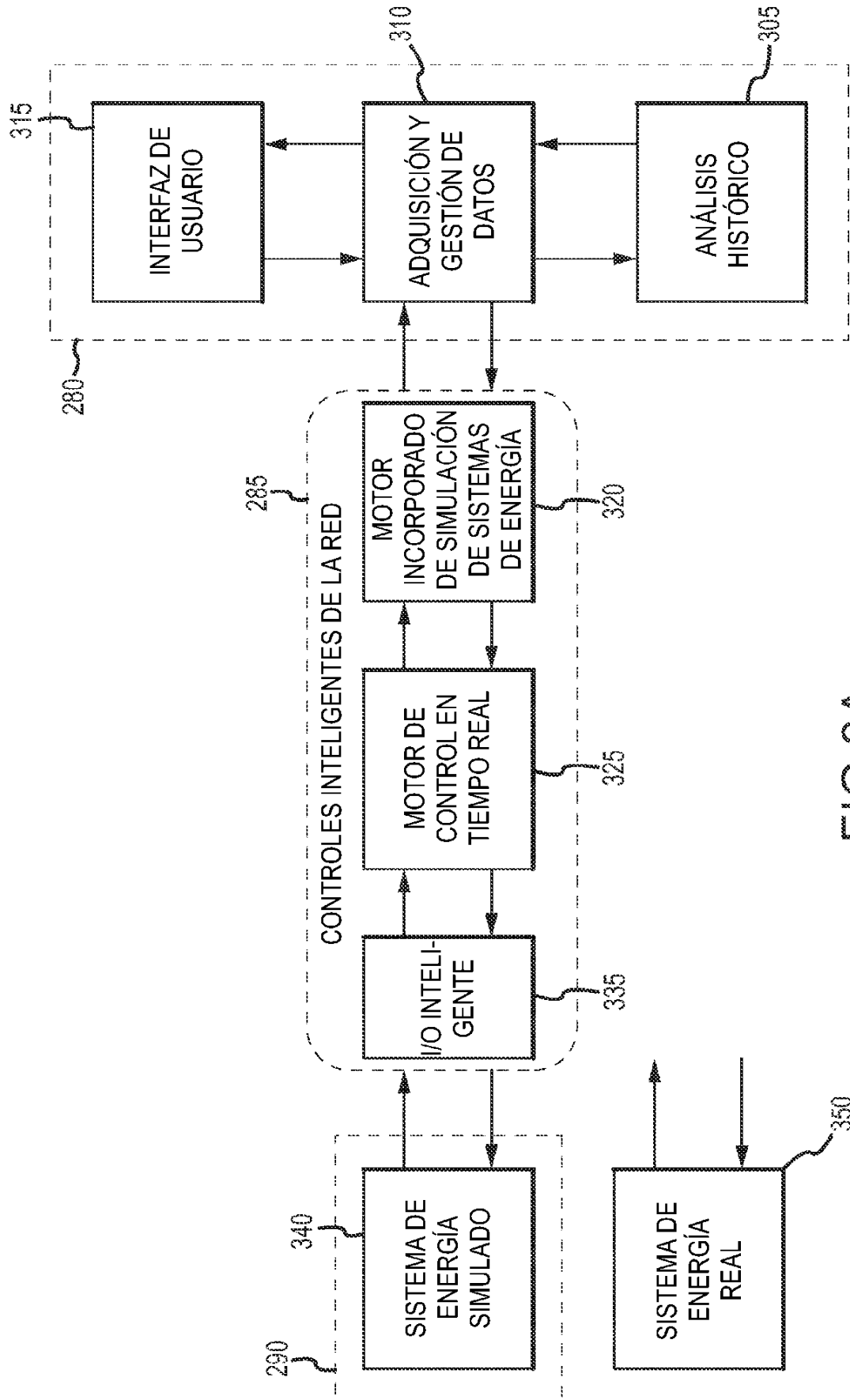


FIG.3A

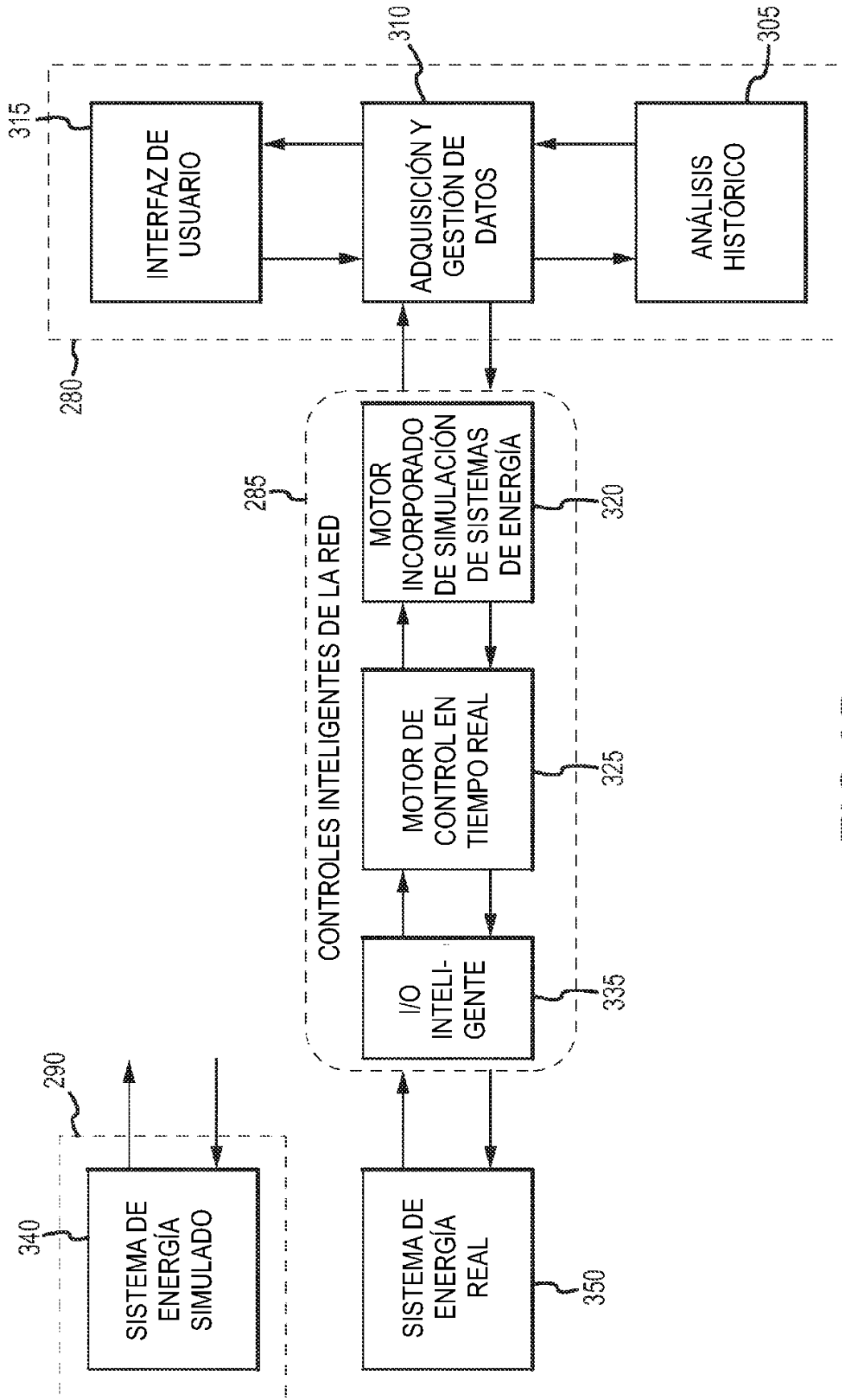


FIG.3B

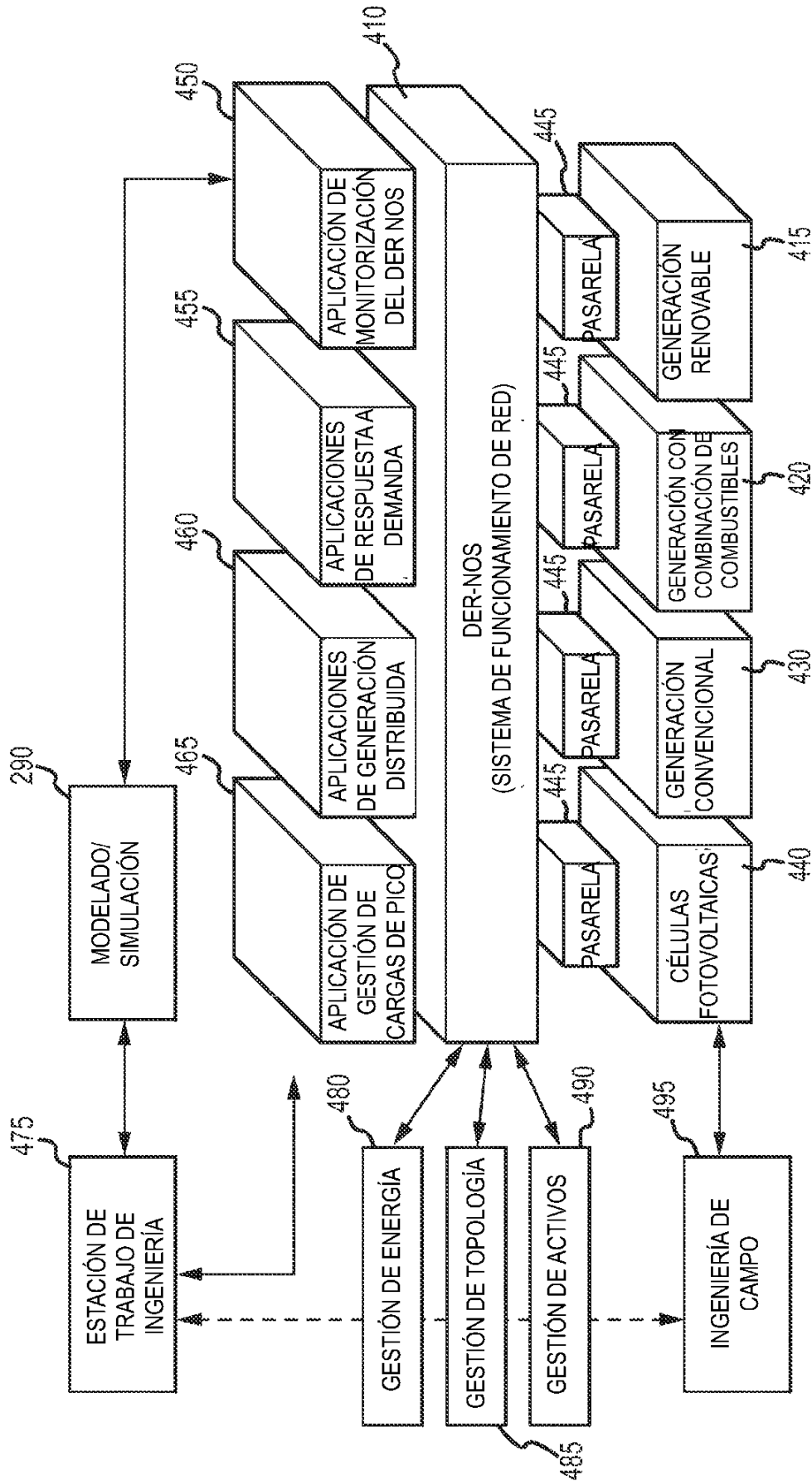


FIG.4

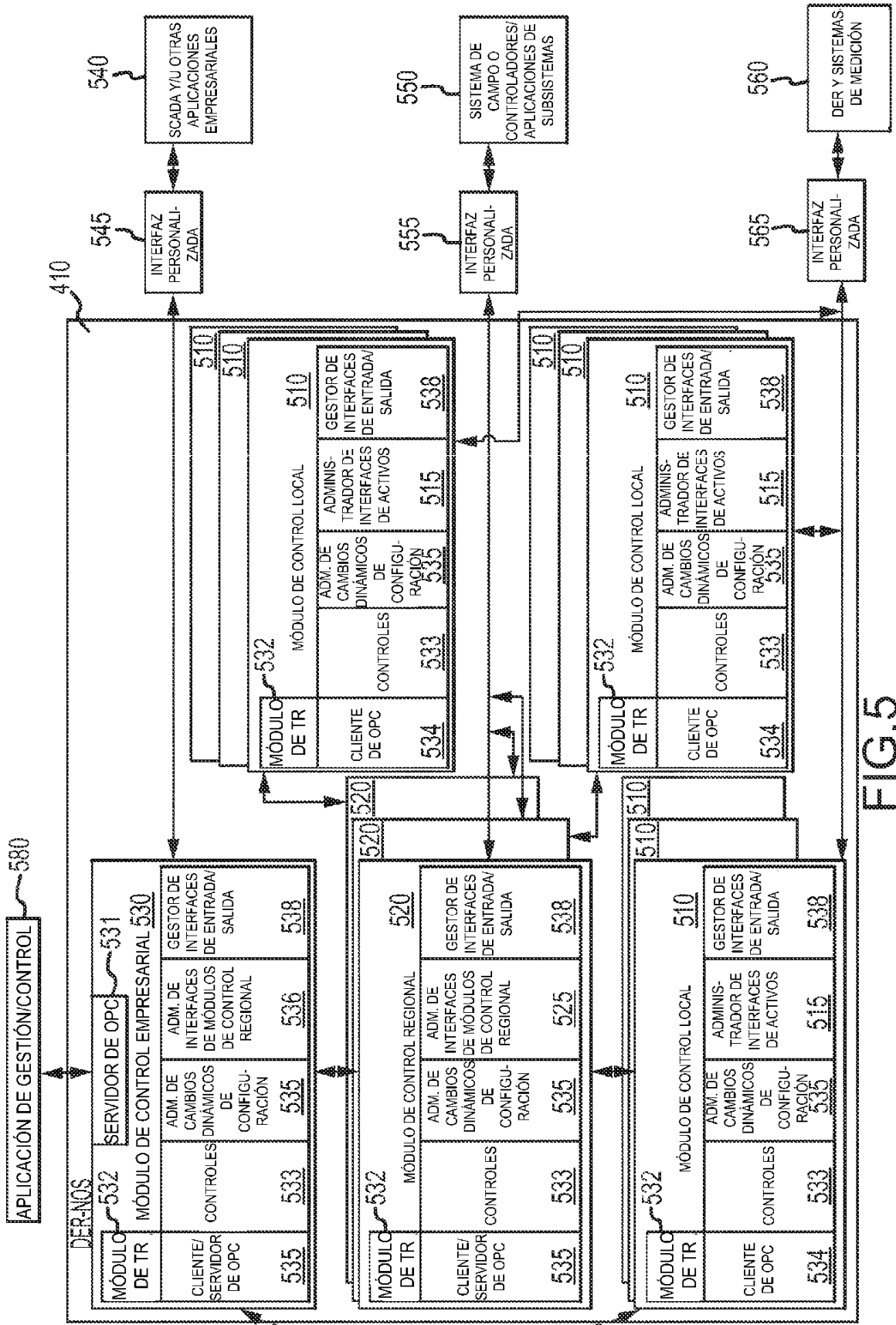


FIG.5

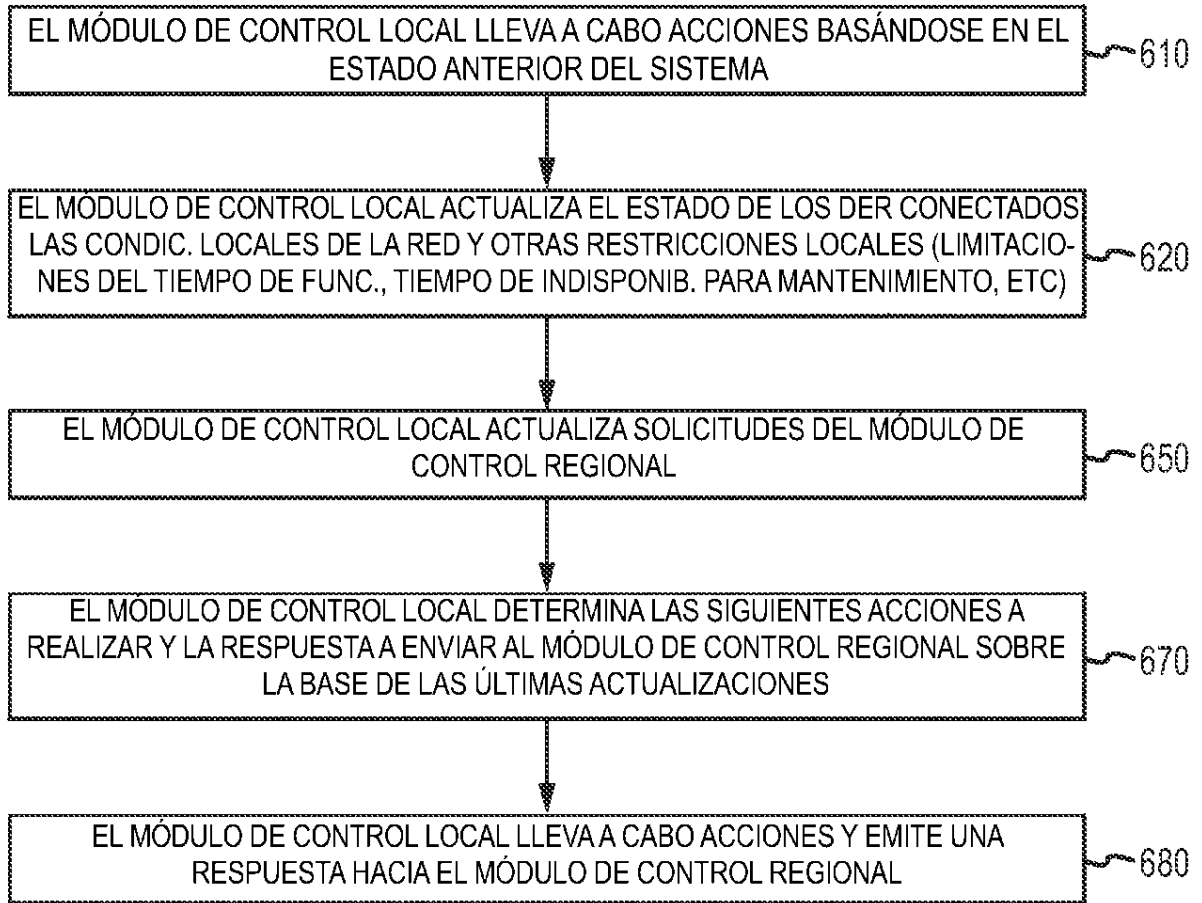


FIG.6

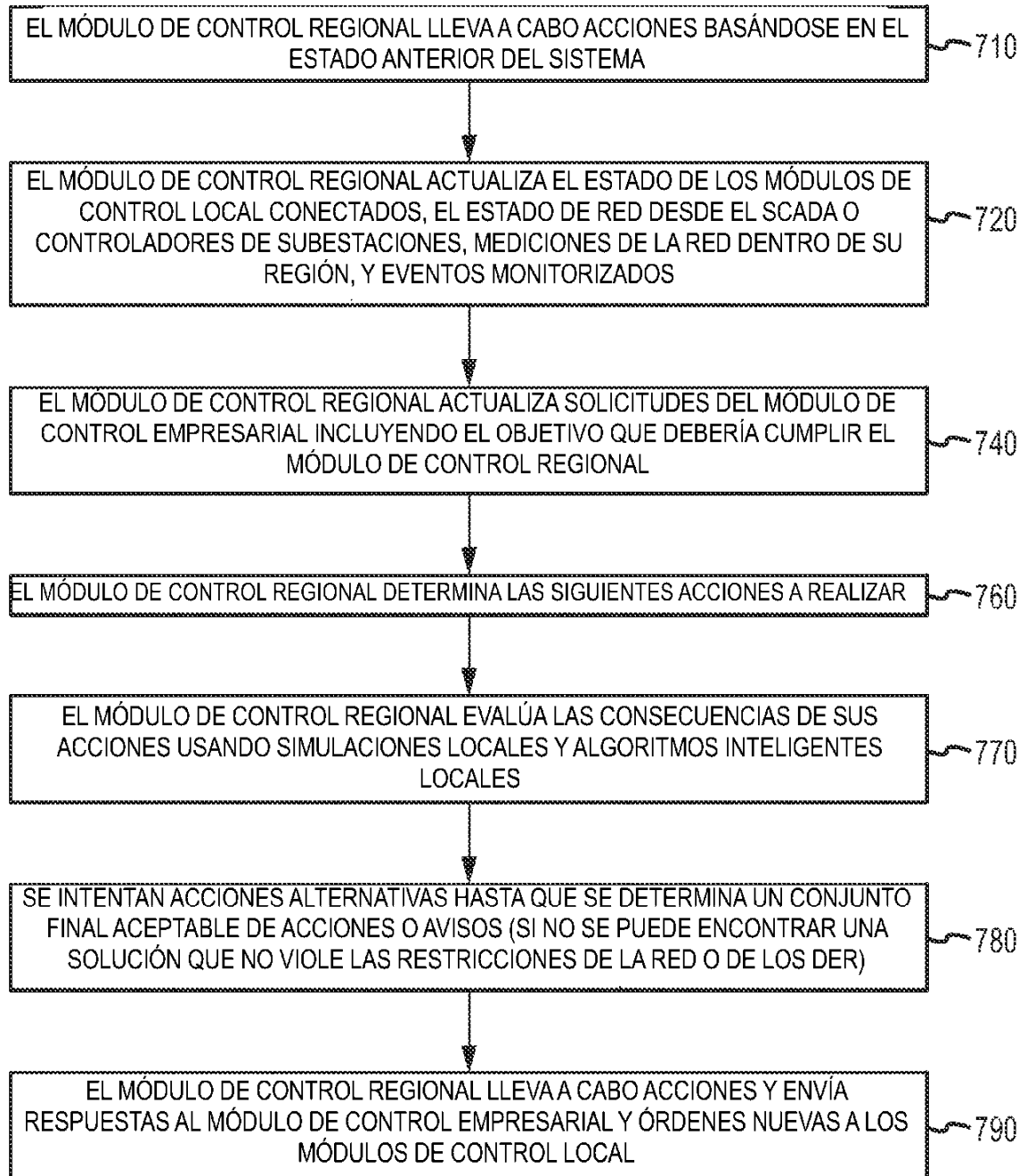


FIG.7

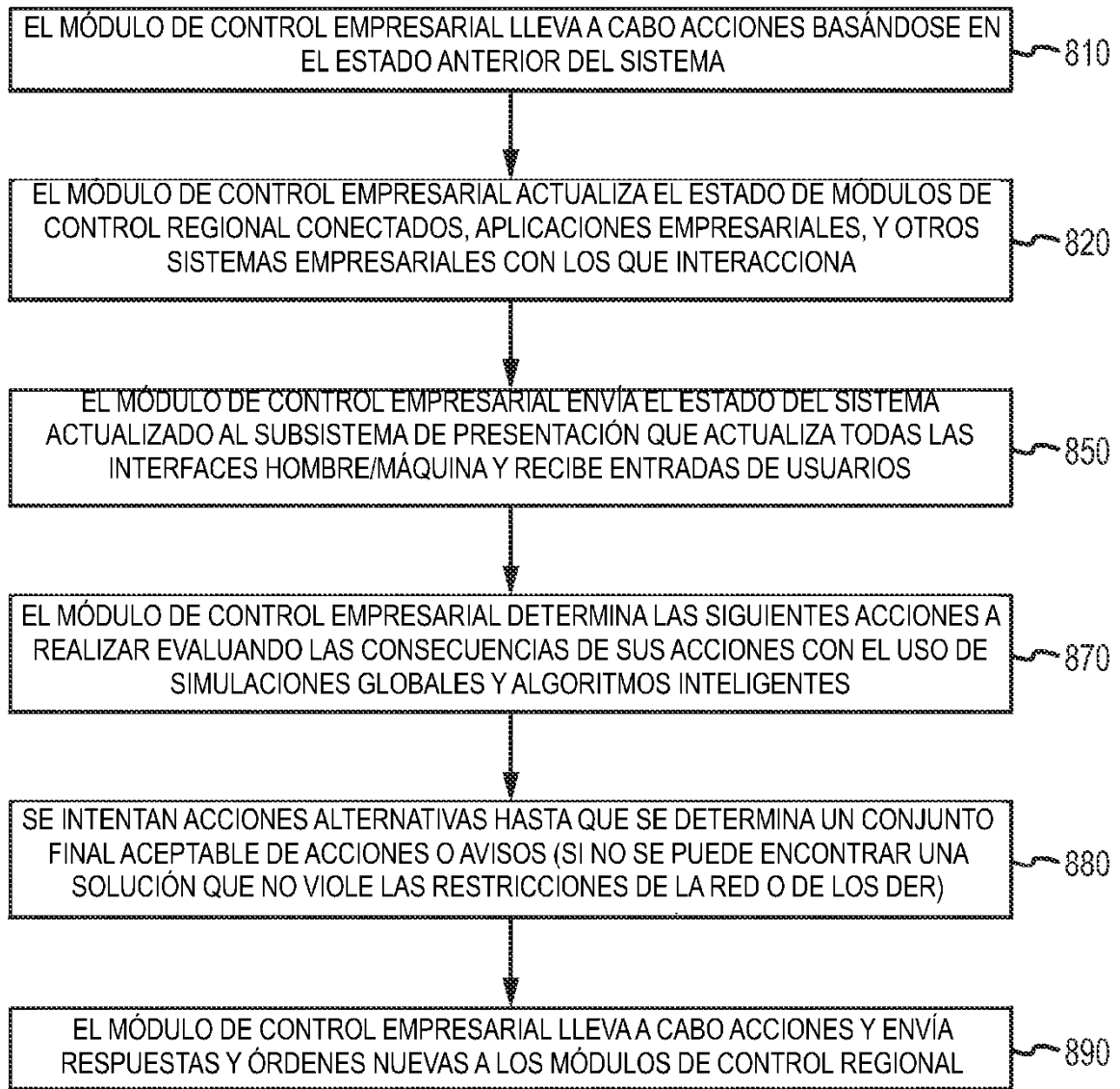


FIG.8

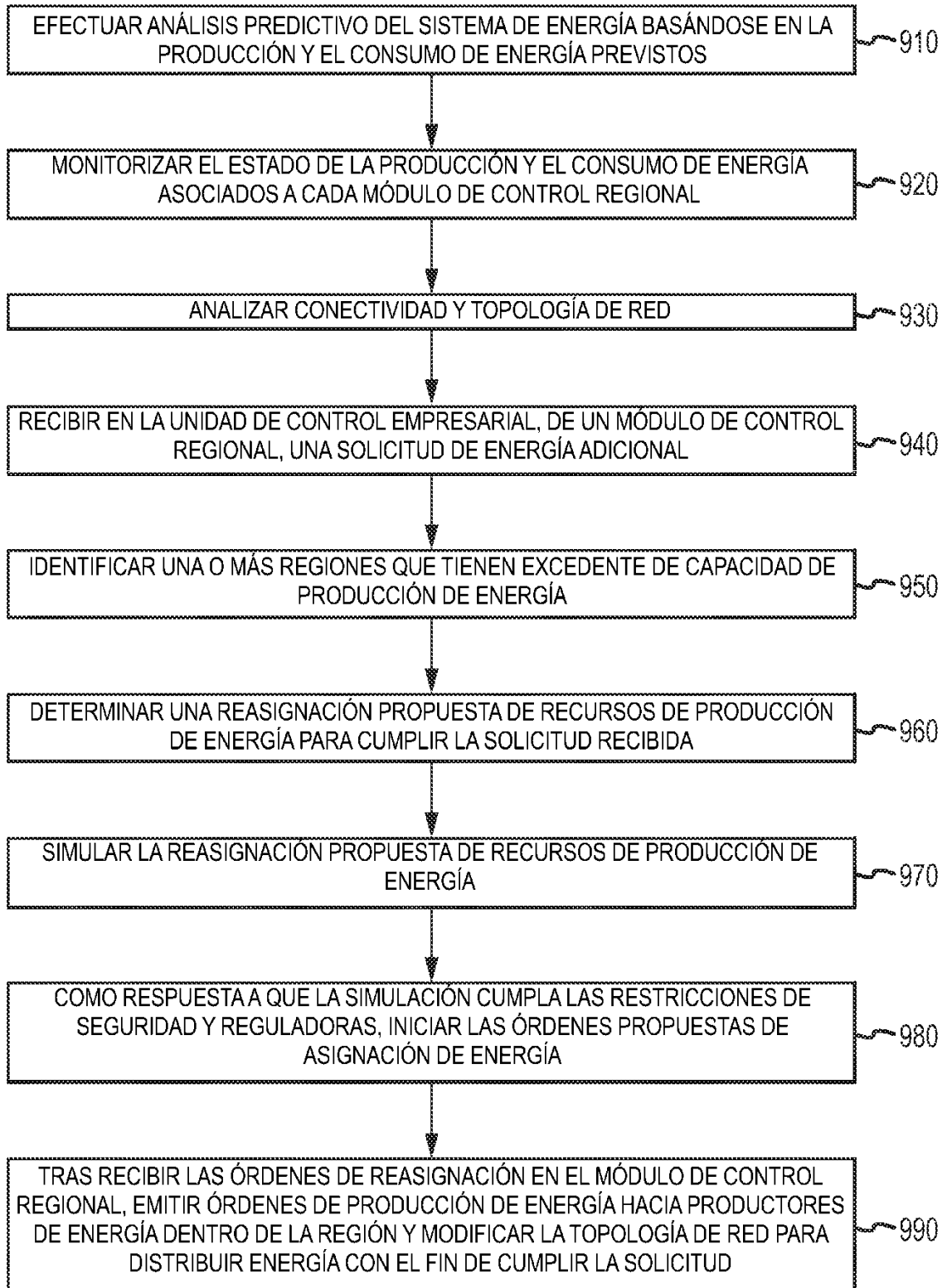


FIG.9

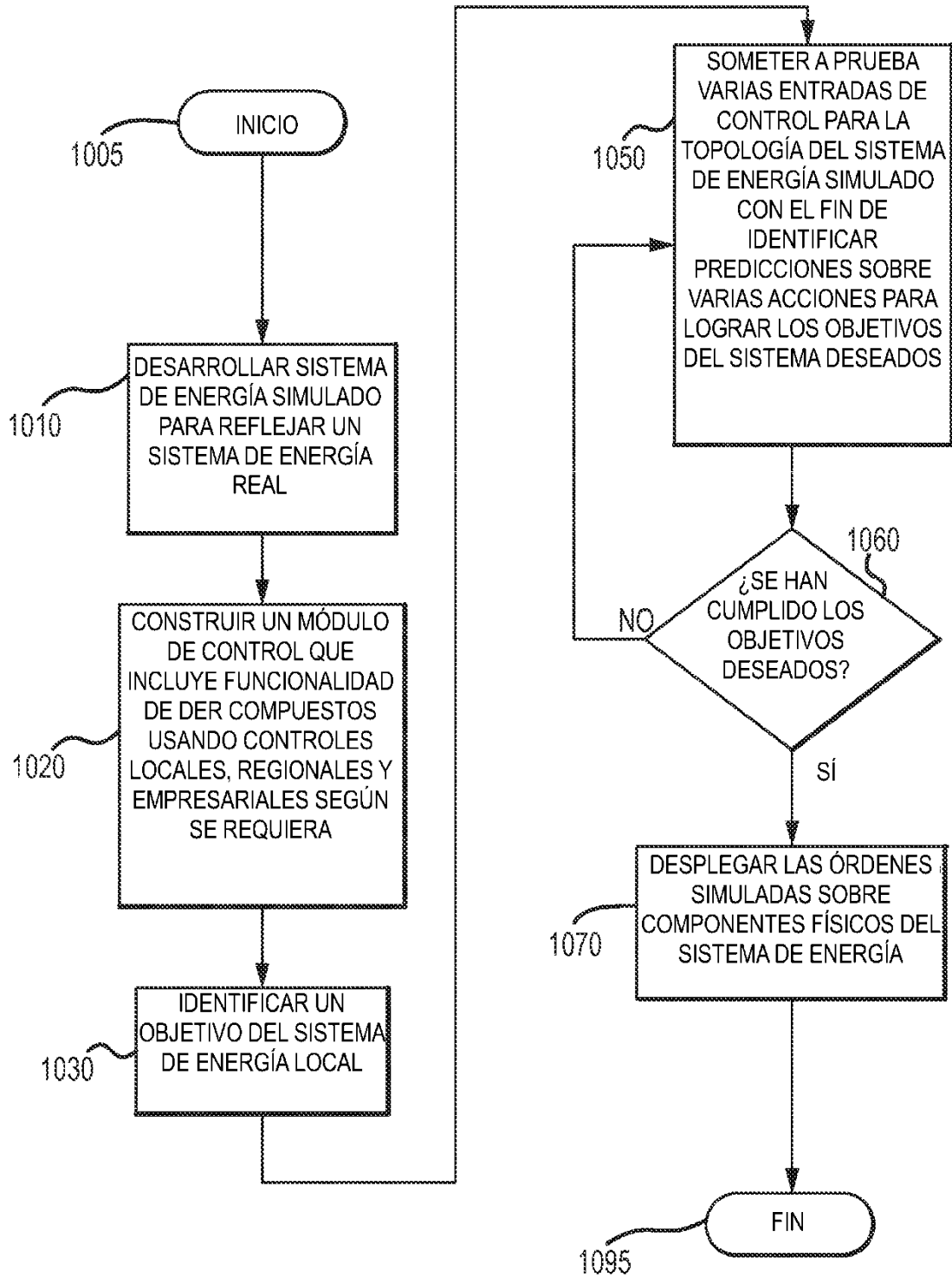


FIG. 10

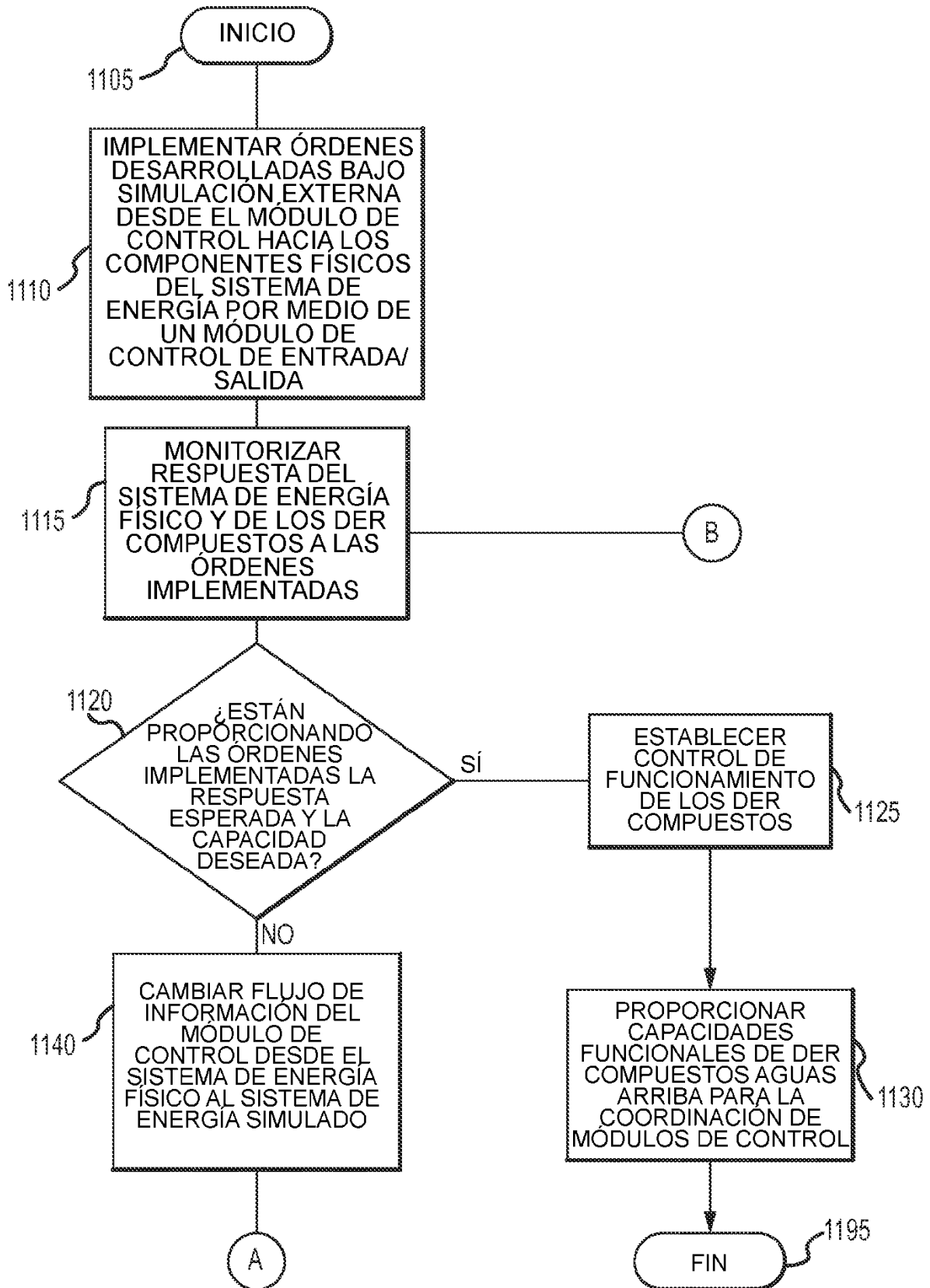


FIG. 11A

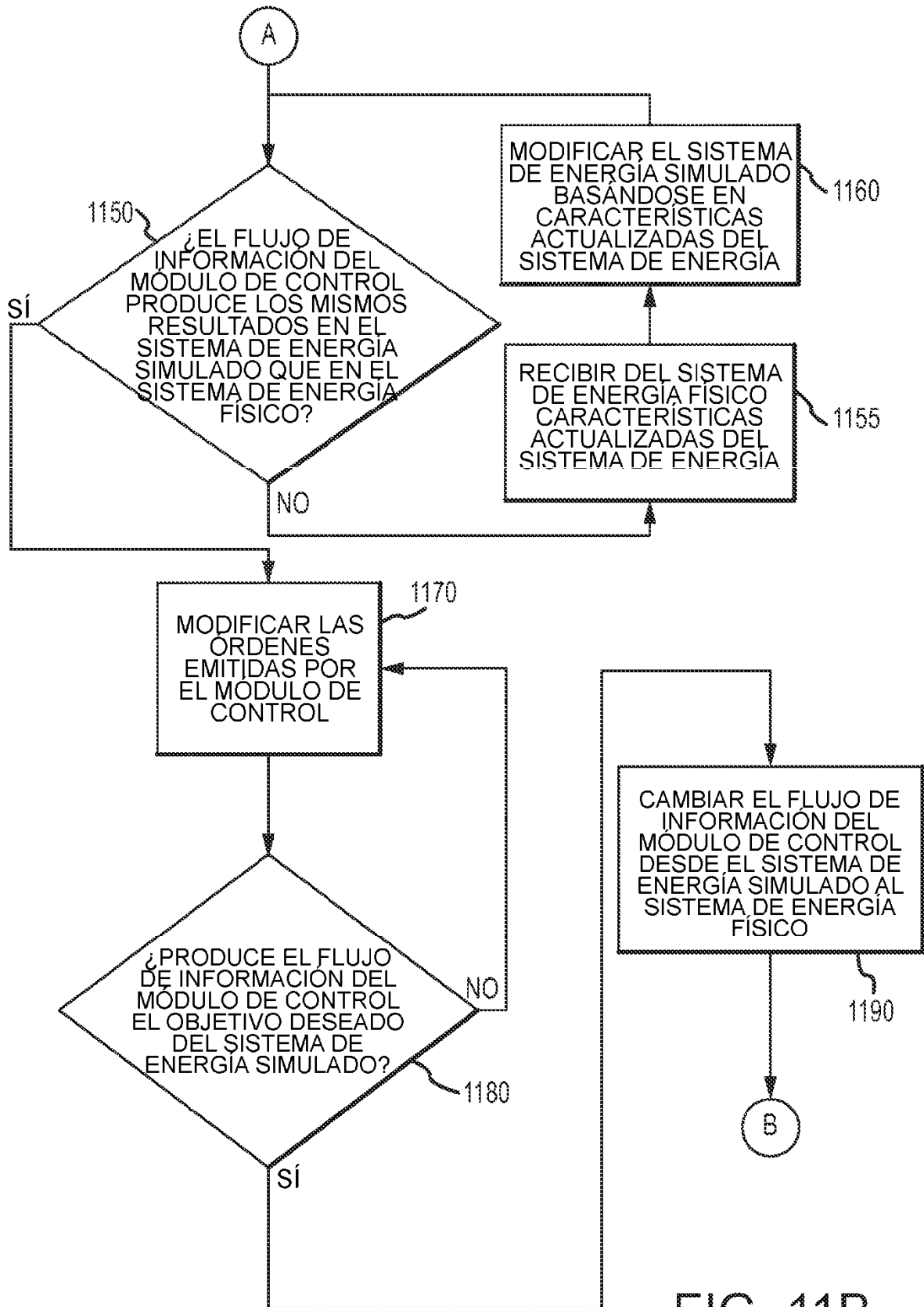


FIG. 11B

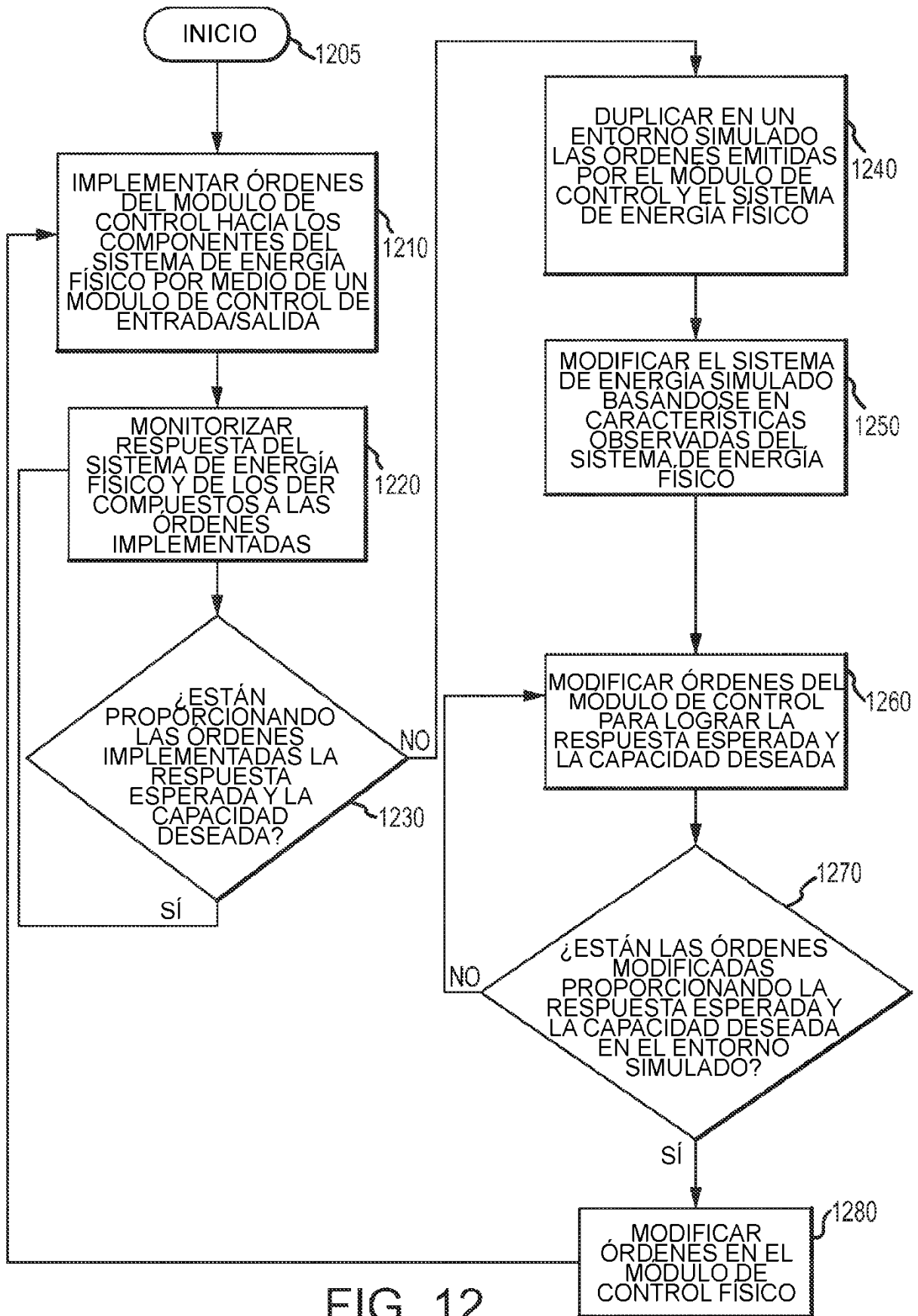


FIG. 12

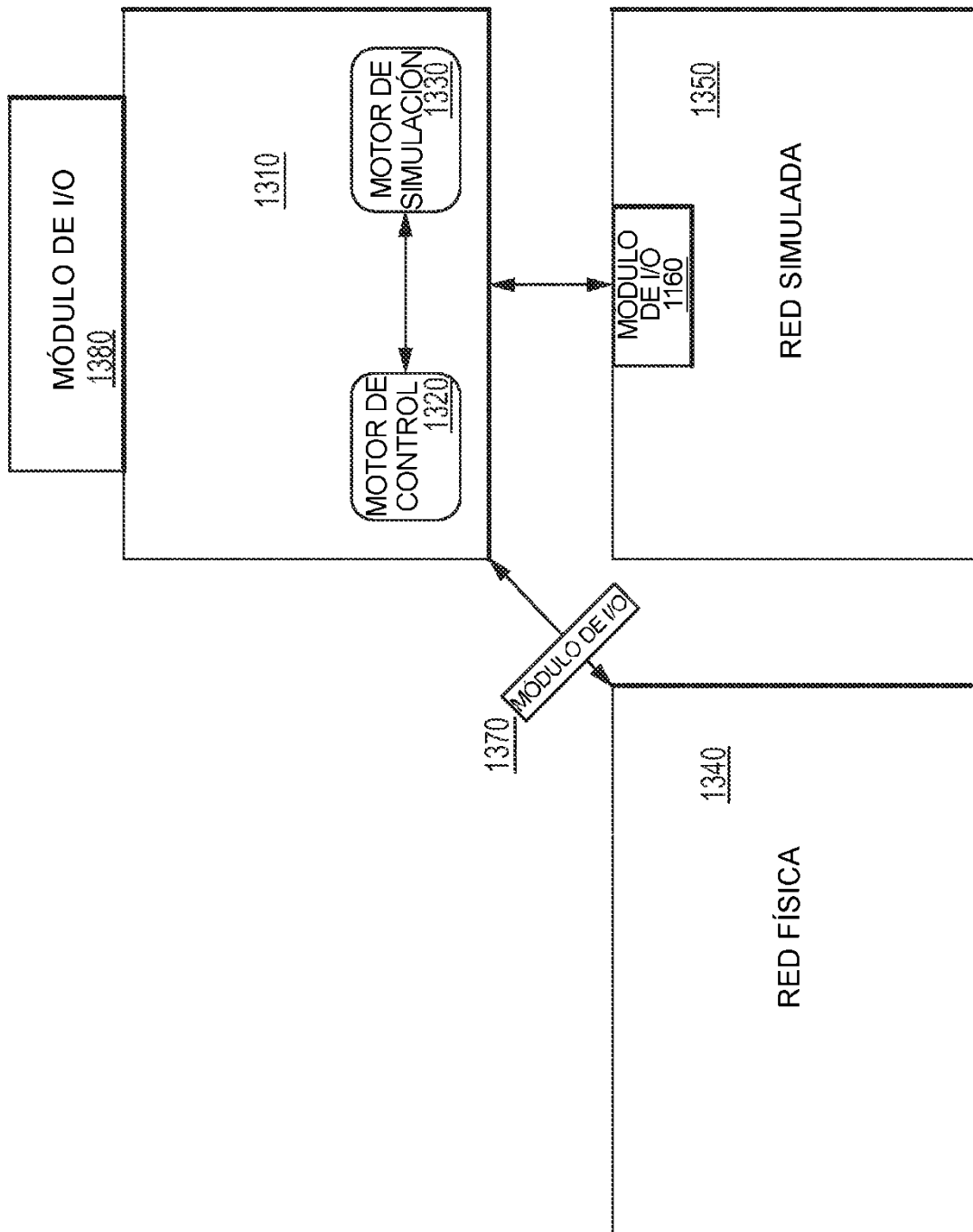


FIG. 13