

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 238**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38** (2006.01)  
**F03D 9/00** (2006.01)  
**F03D 7/02** (2006.01)  
**F03D 9/25** (2006.01)  
**G06Q 30/02** (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2008** **E 08101499 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019** **EP 1959534**

54 Título: **Red de suministro eléctrico, controlador y procedimiento para controlar la generación de potencia en una red de suministro eléctrico**

30 Prioridad:

**13.02.2007 US 674199**

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

**27.05.2020**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY**  
**1 River Road**  
**Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**LUTZE, HANS HENNING y**  
**BUCKER, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

ES 2 763 238 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**

Red de suministro eléctrico, controlador y procedimiento para controlar la generación de potencia en una red de suministro eléctrico

5

La presente invención se refiere a una red de suministro eléctrico y a un procedimiento para controlar la generación de potencia en una red de suministro eléctrico.

10

La energía eólica se utiliza a menudo para generar energía eléctrica en plantas de producción eléctrica, a menudo denominadas parques eólicos, utilizando, por ejemplo, la rotación de grandes turbinas eólicas para accionar generadores eléctricos. Sin embargo, debido a que la velocidad del viento y la densidad del aire cambian a lo largo del tiempo, la salida de potencia de los generadores de un parque eólico también puede cambiar a lo largo del tiempo, a veces incluso descender a cero cuando la velocidad del viento cae por debajo de un umbral mínimo. Las variaciones en la salida de potencia de estos parques eólicos pueden causar variaciones no sólo en la cantidad de potencia que fluye procedente del parque, sino también en la frecuencia de un sistema de energía al que se entrega la energía eléctrica para el consumo de la misma. Un grupo de sistemas de energía, plantas de energía, e infraestructura asociada que se extienden sobre un área geográfica a veces se denomina una red. Una caída en la salida de potencia del parque eólico puede causar una deficiencia en la potencia entregada a un área local de una red en la que se encuentra el parque eólico, así como en la potencia entregada a otras áreas de la red. Normalmente, se ajusta una salida de potencia de una o más plantas de producción eléctrica dentro de la red para compensar un cambio en la salida de potencia procedente del parque eólico. Por consiguiente, el tamaño del parque eólico en relación con la demanda local de potencia, a veces denominada demanda de carga, en relación con una demanda de carga de otras áreas de la red, y/o en relación con una demanda de carga total de la red, puede influir en el impacto de la producción variable de potencia del parque eólico en otras plantas de la red. Por ejemplo, cuando la salida de potencia del parque eólico desciende a cero debido a poco viento, otra planta dentro de la red puede satisfacer la demanda de carga total de una región de la red local con respecto al parque eólico. Estas otras plantas de producción eléctrica son normalmente plantas que generan energía eléctrica a partir de carbón, vapor, un fluido combustible, agua y/o energía solar, pero también pueden incluir, pero no se limitan a, plantas de turbinas de gas, plantas de producción eléctrica nuclear, o incluso otros parques eólicos.

15

20

25

30

35

40

45

Normalmente, una red incluye una pluralidad de sistemas de generación de energía que se extienden sobre un área geográfica. La red también incluye sistemas que consumen energía (a veces denominados en esta divulgación "sistemas de energía"), así como una infraestructura de la red, tal como, pero sin limitarse a, una infraestructura para la interconexión, el control, el mantenimiento y/o la mejora de los sistemas de generación de energía, los sistemas de energía y/o cualquier infraestructura de la red. Por ejemplo, la red puede incluir líneas de transmisión eléctrica que interconectan los sistemas de generación de energía, los sistemas de energía dentro de la red, cualquier infraestructura dentro de la red, y/o cualquier combinación de las mismas. Normalmente, la red incluye un sistema de control centralizado que está conectado operativamente a los sistemas de generación de energía para controlar una salida de potencia de cada uno de los sistemas de generación de energía, por ejemplo, utilizando una lógica de procesamiento. Normalmente, el sistema de control centralizado es operado por el operador de la red. La salida de potencia de los sistemas de generación de energía controlados por el sistema de control centralizado puede incluir, pero no se limita a, una cantidad de potencia eléctrica, una frecuencia de la potencia eléctrica generada y/o una tasa de cambio de la cantidad y/o de la frecuencia de la potencia eléctrica.

50

55

Los sistemas de generación de energía pueden, por ejemplo, dar servicio a una región geográfica dentro de la red suministrando energía eléctrica a dichas regiones. Los sistemas de generación de energía pueden incluir cualquier tipo de fuente de generación de energía. Por ejemplo, el sistema de generación de energía puede incluir una fuente de generación de energía que genera energía eléctrica al menos parcialmente a partir de carbón, vapor, agua, un fluido combustible tal como gasolina, gas natural, combustible diesel, etc. y/o energía solar. Además, los sistemas de generación de energía pueden incluir una fuente de generación de energía nuclear, una planta de producción eléctrica de turbina de gas y/o un parque eólico.

60

El documento US 2002/084655 describe un sistema, un procedimiento y un producto de programa informático para aumentar el valor comercial de la energía eléctrica producida a partir de una instalación de producción de potencia de energía renovable.

En vista de lo anterior, se proporciona una red de suministro eléctrico según la reivindicación 1.

65

Aspectos, ventajas y características adicionales de la presente invención son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos que la acompañan.

A continuación se describe una divulgación completa y habilitante de formas de realización de la presente invención, proporcionada a modo de ejemplo que sólo incluye el mejor modo de la misma, para un experto

en la materia, de forma más específica en el resto de la especificación, incluyendo referencias a las figuras adjuntas en las que:

5 La figura 1 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico según una forma de realización de la presente invención.

La figura 2 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico según una forma de realización adicional de la presente invención.

10 La figura 3 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico según otra forma de realización de la presente invención.

La figura 4 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico según una forma de realización más adicional de la presente invención.

15 La figura 5 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico según una forma de realización aún más adicional de la presente invención.

20 La figura 6 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico de acuerdo con una forma de realización añadida de la presente invención.

La figura 7 muestra una representación esquemática de un controlador local según una forma de realización de la presente invención.

25 La figura 8 muestra un diagrama de flujo según una forma de realización de la presente invención.

La figura 9 muestra la variación de salida de potencia a lo largo del tiempo en una primera condición cuando la potencia total de salida es controlada con un procedimiento según una forma de realización de la presente invención.

30 La figura 10 muestra la variación de salida de potencia a lo largo del tiempo en una segunda condición cuando la potencia total de salida es controlada con un procedimiento según una forma de realización de la presente invención.

35 Ahora se hará referencia en detalle a las diversas formas de realización de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en las figuras. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, y sin que signifique una limitación de la invención. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una forma de realización se pueden usar en o junto con otras formas de realización para producir una forma de realización más adicional. Se pretende que la presente invención incluya dichas modificaciones y variaciones.

40 La figura 1 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico según una forma de realización de la presente invención. En este caso, la red de suministro eléctrico 100 incluye un control centralizado de la red 110 que monitoriza y controla la salida de potencia y el consumo de potencia dentro de la red, la frecuencia de la red o similares. En la figura 1, sólo se muestra en detalle una parte de la red, mientras que la mayor parte de la estructura de la red está representada esquemáticamente por el número de referencia 150. Se entenderá por parte de los expertos en la materia que esta parte de la red puede incluir una pluralidad de líneas eléctricas, sistemas de generación de energía, consumidores de energía y similares. Aun así, la estructura detallada de esta parte de la red de suministro no es esencial para entender los principios subyacentes de la presente invención y, por lo tanto, ha sido omitida.

45 La red de suministro eléctrico 100 incluye además una fuente de generación de energía renovable intermitente 200. En la forma de realización de la figura 1, la fuente de generación de energía renovable intermitente 200 se muestra como una pluralidad de turbinas eólicas 210, también denominada parque eólico. Sin embargo, los expertos en la materia entenderán que la fuente de generación de energía renovable intermitente 200 puede incluir también una sola turbina eólica conectada a la red de suministro eléctrico 100 y/o una planta de energía solar. En lo sucesivo, la fuente de generación de energía renovable intermitente será tratada a modo de ejemplo como un sistema de energía eólica sin limitar el alcance de la invención al mismo. Se entenderá por parte de los expertos en la materia que cualquier otra fuente de generación de energía que exhiba un comportamiento de generación de energía intermitente, es decir, un comportamiento fluctuante sin suministro a petición de los operadores de la red o con suministro a petición de los operadores de la red pero sólo en pequeño grado, se puede utilizar como la fuente de generación de energía intermitente sin desviarse del alcance de la presente invención. Además del sistema de energía eólica 200, la red de suministro eléctrico 100 incluye un sistema de generación de energía adicional 300. El

50

55

60

65 al menos un sistema de generación de energía adicional 300 puede ser uno cualquiera de entre una planta de carbón, una planta de vapor, una planta de combustible líquido, una planta hidroeléctrica, una planta de turbinas de gas, una planta de biogás, una planta de energía nuclear o cualquier otro sistema de generación

de energía. Además de los sistemas de generación de energía, adicional o alternativamente se puede utilizar una planta o un dispositivo de almacenamiento de energía que permita el suministro de energía a petición de los operadores de la red como sistema de generación de energía adicional 300. Además, se entenderá por parte de los expertos en la materia que se puede proporcionar una pluralidad de sistemas de generación de energía adicionales 300 en vez de solamente uno solo sin desviarse del alcance de la presente invención. El sistema de energía eólica 200 y el al menos un sistema de generación de energía adicional 300 están configurados para generar energía eléctrica y están adaptados para suministrar dicha energía eléctrica a la red de suministro eléctrico 100.

Además, la red de suministro eléctrico 100 incluye un controlador local 400 que está adaptado para controlar la potencia total de salida del sistema de energía eólica 200 y del al menos un sistema de generación de energía adicional 300 según indican las flechas. Normalmente, el controlador local 400 se implementa como un microcontrolador programable, pero también se puede implementar mediante cualquier otra solución de hardware o software adecuada, por ejemplo, un circuito de dispositivo de control lógico fijo. A diferencia del control centralizado de la red 110, el controlador local sólo está adaptado para controlar sus sistemas locales de generación de energía 200 y 300, pero no está conectado a áreas más remotas de la red. Además, el controlador local está adaptado para controlar la potencia total de salida del sistema de energía eólica 200 y del al menos un sistema de generación de energía adicional 300 que no es un sistema de energía eólica. Por lo tanto, el controlador local 400 está adaptado para controlar la cantidad total de potencia eléctrica entregada a la red de suministro eléctrico 100 por parte del sistema de energía eólica 200 y de la planta de producción eléctrica adicional 300. Se entenderá por parte de los expertos en la materia que el término "potencia total de salida" incluye tanto la potencia activa como la reactiva. Por consiguiente, el control centralizado de la red 110 también puede exigir una cierta cantidad de flujo de potencia reactiva que debe ser proporcionada por los sistemas de generación de energía 200 y 300. En este caso, el controlador local 400 ajusta los sistemas de generación de energía 200, 300 para proporcionar una cantidad suficiente de flujo de potencia reactiva. Además, los expertos en la materia entenderán que no es necesario que el controlador local 400 controle directamente el sistema de energía eólica 200 y la planta de producción de energía 300. Más bien, el sistema de energía eólica 200 y la planta de producción de energía 300 pueden tener sus propios sistemas de control individuales como, por ejemplo, un controlador de turbina eólica. Sin embargo, el controlador local 400 puede controlar una potencia de salida específica para cada uno del sistema de energía eólica 200 y la planta de producción de energía 300. Además, el controlador local 400 está conectado con el control centralizado 110. El control centralizado de la red 110 está adaptado para solicitar una potencia total de salida deseada del sistema de energía eólica 200 y de la planta de producción de energía 300 desde el controlador local 400. Sin embargo, el control centralizado de la red 110 no está conectado al sistema de energía eólica 200 ni a la planta de producción de energía 300. Por lo tanto, el sistema de energía eólica 200 y la planta de producción de energía 300 sólo son controlados a través del controlador local 400. El controlador local 400 puede estar configurado para aceptar señales en tiempo real procedentes del control centralizado de la red 110. De este modo, el controlador local 400 puede participar en el control de suministro a petición de los operadores de la red dinámico y de generación automática (ACG), que es una función de tipo estándar de regulación dinámica de la frecuencia de la red.

De este modo, la aplicación de uno o más controladores locales 400 facilita el control de la red de suministro eléctrico 100. En particular, el control centralizado de la red 110 puede confiar en la potencia total de salida demandada que se proporciona debida al control del controlador local 400. Normalmente, la salida de potencia del sistema de energía eólica 200 será altamente fluctuante debido a la variación de la velocidad del viento u otras razones. Si este sistema de energía eólica forma parte de la infraestructura de generación de energía local, la potencia de suministro de esta infraestructura de generación de energía local también fluctuará debido a la cantidad de energía eólica fluctuante. Sin embargo, el controlador local 400 controla las otras plantas, por ejemplo convencionales, de producción eléctrica 300 en la infraestructura local, de modo que la potencia total de salida deseada es entregada a la red de suministro eléctrico 100. De este modo, la fuente de generación de energía intermitente y la fuente de generación de energía suministrable a petición de los operadores de la red, por ejemplo, un parque eólico y una turbina de gas, actúan como una sola entidad bajo el control del controlador local 400. Por ejemplo, el controlador local 400 puede estar adaptado para controlar la potencia total de salida del sistema de energía eólica 200 y de la planta de producción de energía 300 para que sea sustancialmente constante, por ejemplo, igual a la potencia total de salida deseada solicitada por el control centralizado 110. En otra forma de realización, el controlador local 400 puede estar adaptado para controlar la potencia total de salida del sistema de energía eólica 200 y de la planta de producción de energía 300 para que varíe sólo dentro de un rango predeterminado, es decir, para que permanezca dentro de una banda predeterminada. Por ejemplo, el rango puede ser determinado por el control centralizado 110 y transmitido al controlador local 400. En una forma de realización adicional, el controlador local 400 puede estar adaptado para controlar la potencia total de salida del sistema de energía eólica 200 y de la planta de producción de energía 300 para que varíe de acuerdo con una planificación predeterminada. Por ejemplo, la planificación puede ser determinada por el control centralizado 110 y transmitida al controlador local 400. La planificación puede tener en cuenta las horas del día en las que se consume mucha potencia, por ejemplo, por las mañanas y a la hora del almuerzo, y las horas en las que se consume poca potencia, por ejemplo, durante la noche. Debido a las estrategias de control anteriores que se podrían implementar en el controlador local 400, se aumenta considerablemente

la probabilidad estadística de la potencia generada por el sistema de energía eólica 200 y puede, por ejemplo, permitir una reducción permanente de la generación de energía fósil o nuclear. Además, se pueden reducir los problemas de estabilidad de la red de suministro eléctrico 100 durante condiciones meteorológicas graves, por ejemplo tormentas, ya que la producción de energía eólica puede ser respaldada localmente por la planta de producción de energía 300.

Normalmente, el controlador local 400 es un regulador de lazo cerrado que controla la salida de potencia en base al menos parcialmente a por lo menos una variable indicativa de la condición actual de la red de suministro eléctrico 100. Por lo tanto, el controlador local 400 está normalmente conectado con al menos un sensor para medir al menos una variable de la red, de modo que el control se puede basar al menos parcialmente en la variable de la red medida por dicho sensor. Normalmente, la al menos una variable de la red se selecciona de entre el grupo que consiste en: potencia activa, potencia reactiva, salida de potencia de una fuente de generación de energía renovable intermitente, salida de potencia de un sistema de generación de energía alternativo, corriente, voltaje, frecuencia, factor de potencia, tasa de cambio de la potencia. En la figura 1, el controlador local 400 está conectado con un sensor 410 para detectar la salida de potencia del sistema de energía eólica 200, otro sensor 411 para detectar la salida de potencia de la planta de producción de energía 300, y un sensor 412 para medir la frecuencia de la red. Sin embargo, se entenderá por parte de los expertos en la materia que los sensores 410, 411, 412 pueden medir una o más de las variables de la red antes mencionadas. Además, el controlador local 400 puede estar provisto de sensores de red adicionales para medir variables adicionales de la red.

La figura 2 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico 100 de acuerdo con una forma de realización adicional de la presente invención. La configuración básica de la red de suministro eléctrico 100 es similar a la de la red que se muestra en la figura 1. Sin embargo, el controlador local 400 está conectado con al menos un sensor 420 que indica al menos una condición ambiental. El controlador local 400 está adaptado para controlar la potencia total de salida en base al menos parcialmente a la condición ambiental medida por el sensor 420. Las condiciones ambientales típicas monitorizadas por el sensor 420 incluyen la velocidad del viento, densidad del aire, irradiancia, turbulencia atmosférica, condición de lluvia, condición de nieve, temperatura del aire y humedad. Por consiguiente, el sensor 420 puede incluir un anemómetro, un densímetro de aire, un higrómetro, un termómetro, un sensor de lluvia, un sensor de nieve, un sensor de turbulencia y similares. Dado que la salida de potencia del sistema de energía eólica 200 depende en gran medida de las condiciones ambientales y en particular atmosféricas, se puede mejorar la precisión del control por parte del controlador local 400 teniendo en cuenta las condiciones ambientales que determinan la salida de potencia del sistema de energía eólica 200. Por ejemplo, el controlador local 400 puede aumentar la salida de potencia de la planta de producción de energía 300 si un anemómetro 420 mide una disminución en la velocidad del viento. De este modo, la potencia total de salida del sistema de energía eólica 200 y de la planta de producción de energía 300 se puede mantener a un nivel constante, aunque la salida del sistema de energía eólica 200 disminuya debido a condiciones de calma.

La figura 3 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico según otra forma de realización de la presente invención. La configuración básica de la red de suministro eléctrico 100 es similar a la de la red que se muestra en la figura 1. Sin embargo, el controlador local 400 está conectado con al menos un medio de previsión o pronóstico 430 que proporciona al menos una variable de previsión o pronóstico. El controlador local 400 está adaptado para controlar la potencia total de salida, en base al menos parcialmente a por lo menos una variable de previsión proporcionada por el medio de previsión 430. Las variables de previsión típicas que se pronostican con el medio de previsión incluyen una previsión meteorológica, un aviso de tormenta, la velocidad del viento, la densidad del aire, irradiancia, turbulencia atmosférica, condición de lluvia, condición de nieve, la temperatura del aire, la humedad y una planificación de suministro. Por consiguiente, el medio de previsión 430 puede incluir un servicio meteorológico. Por lo tanto, el controlador local 400 puede anticipar las condiciones meteorológicas futuras en la instalación de energía eólica 200 dentro de un horizonte de previsión predeterminado. En particular, el controlador local 400 puede determinar una pluralidad de escenarios meteorológicos ponderados con diferentes probabilidades. Dado que la salida de potencia del sistema de energía eólica 200 depende en gran medida de las condiciones meteorológicas en la instalación de energía eólica, se puede mejorar la precisión del control por parte del controlador local 400 teniendo en cuenta condiciones meteorológicas futuras que gobiernan la salida de potencia futura del sistema de energía eólica 200. Por ejemplo, el medio de previsión 430 pueden reportar un aviso de tormenta para una tormenta que se producirá con una probabilidad del 95% dentro de las próximas 2 horas en la instalación de energía eólica 200. A continuación, el controlador local 400 puede parar turbinas eólicas 210 del parque eólico antes de que la tormenta llegue a la instalación de energía eólica 200. Al mismo tiempo, el controlador local 400 puede incrementar la salida de potencia de una planta de producción eléctrica convencional 300. De este modo, la potencia total de salida del sistema de energía eólica 200 y de la planta de producción de energía 300 se puede mantener a un nivel constante o, al menos, dentro de un rango predeterminado, aunque la salida de potencia del sistema de energía eólica 200 descienda a cero debido a la parada de turbinas.

En aún otra forma de realización que se muestra en la figura 4, el controlador local 400 está conectado con al menos un medio de eficiencia económica 435. El medio de eficiencia económica 435 proporciona al

menos una variable de eficiencia económica, que normalmente se selecciona de entre el grupo que consiste en: un coste de operación, un precio de combustible, un precio de mercado de la energía eléctrica o una tarifa de transmisión de energía. El controlador local 400 está adaptado para controlar la potencia total de salida en base al menos parcialmente a la variable de eficiencia económica proporcionada por el medio de eficiencia económica 435. Por lo tanto, el controlador local 400 puede decidir reducir/aumentar o parar/arrancar los generadores de energía también en base a factores económicos. Por ejemplo, el precio de combustible para el diesel puede ser más alto que el del gas. En este caso, el controlador local 400 puede decidir parar un motor diesel en lugar de una turbina de gas. Además, el controlador local 400 puede decidir almacenar energía en lugar de suministrarla a la red si el precio actual de mercado de la energía eléctrica no es atractivo. Por último, se debe entender que la información económica puede ser proporcionada al controlador local 400 ya sea a través de un medio de eficiencia económica separado 435 o a través del control centralizado de la red 110 (según se indica con la línea discontinua). Por supuesto, se puede aumentar el beneficio aplicando también consideraciones económicas a la operación del controlador local 400.

En otra forma de realización que se muestra en la figura 7, un medio de previsión 440 está integrado en el controlador local 400. El medio de previsión integrado 440 recibe información procedente de unos sensores externos y/o un medio de previsión externo 430. El medio de previsión integrado 440 está adaptado para proporcionar una previsión o pronóstico dentro de un horizonte de previsión predeterminado, tal como se ha descrito anteriormente, en base a la información recibida. El controlador local 400 incluye además un medio de estimación de potencia total de salida 450 adaptado para estimar la potencia total de salida dentro del horizonte de previsión predeterminado. Por ejemplo, el medio de estimación de la potencia total de salida 450 puede simular la salida de potencia del sistema de energía eólica 200 en base a una previsión meteorológica. Además, el medio de estimación 450 puede determinar a partir de la salida de potencia estimada si la salida de potencia total deseada solicitada por el control centralizado de la red 110 puede ser generada por el sistema de energía eólica 200 y la planta de producción de energía 300 dentro del horizonte de previsión. Normalmente, el controlador local 400 comprende también un medio para reportar información 460 adaptado para reportar al control centralizado de la red 110 si se puede generar o no se puede generar la potencia total de salida deseada dentro del horizonte de previsión. Además, el medio para reportar información 460 también está adaptado para informar de la potencia total de salida estimada determinada por el medio de estimación 450 al control centralizado de la red 110. De este modo, el control centralizado de la red 110 es informado por el controlador local 400 de la potencia total de salida prevista y puede planificar contramedidas si es necesario. Por ejemplo, se puede incrementar la producción de energía en otra parte de la red 150 si el sistema de energía eólica 200 se debe parar completamente durante una tormenta y la planta de producción de energía 300 no tiene suficiente potencia máxima para mantener la potencia total de salida deseada. Por lo tanto, se puede mejorar la precisión del control por parte del controlador local 400 teniendo en cuenta las previsiones meteorológicas u otras previsiones que gobiernan la futura salida de potencia del sistema de energía eólica 200. Además, también se puede tener en cuenta una planificación de suministro por parte del medio de previsión 440 para que se tenga en cuenta la demanda de potencia dentro de un horizonte de previsión predeterminado. Además, esto puede mejorar la precisión del control por parte del controlador local 400 ya que, por ejemplo, la frecuencia de la red disminuirá cuando se conecten a la red grandes cargas o un gran número de cargas más pequeñas en un corto período de tiempo. Por ejemplo, existe una gran demanda de potencia durante las horas de la mañana y a la hora del almuerzo, mientras que durante la noche se demanda una cantidad considerablemente menor de potencia.

La figura 5 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico de acuerdo con una forma de realización aún más adicional de la presente invención. La configuración básica de la red de suministro eléctrico 100 es similar a la que se muestra en la figura 1, pero el controlador local 400 está conectado con un sensor 420 para condiciones ambientales, un medio de previsión 430, y un medio de eficiencia económica 435. De este modo, teniendo en cuenta las condiciones actuales y futuras para la generación intermitente de energía renovable, así como factores económicos, se puede mejorar aún más la precisión y la eficiencia del control por parte del controlador local 400.

La figura 6 muestra una representación esquemática de una red de suministro eléctrico de acuerdo con otra forma de realización más de la presente invención. En la misma, la red de suministro eléctrico 100 incluye diversos sistemas de generación de energía intermitente y plantas alternativas de producción eléctrica de suministro a petición de los operadores de la red agrupadas en grupos o concentraciones regionales. Los sistemas de generación de energía intermitente y las demás plantas de producción eléctrica están conectados a la red de suministro eléctrico 100, por ejemplo, a través de líneas eléctricas. Además, unas cargas (que no se muestran) tales como fábricas, casas particulares, etc. están conectadas a la red y reciben energía eléctrica de la misma. Cada uno de los grupos regionales de producción de energía está controlado por un controlador local 400 según se ha descrito anteriormente. Además, cada uno de los controladores locales 400 está conectado con el control centralizado de la red 110. De este modo, el control centralizado de la red 110 controla la producción de energía dentro de la red de suministro eléctrico 100 a través de controladores locales 400. En lugar de controlar directamente los parques eólicos y las plantas de producción eléctrica, el control centralizado 110 sólo envía solicitudes de potencia total de salida

deseada a cada uno de los controladores locales 400. Entonces, los controladores locales 400 tienen que proporcionar la salida de potencia demandada o informar que no se puede proporcionar la potencia de salida solicitada debido a las condiciones meteorológicas, la previsión del tiempo, etc. Opcionalmente, los controladores locales 400 pueden proporcionar una planificación estimada de producción de energía al control centralizado 110, de modo que el control centralizado 110 puede tomar contramedidas si uno o más de los controladores locales 400 no pueden proporcionar la potencia total de salida deseada. De este modo, la red de suministro eléctrico 110 tiene una estructura jerárquica que delega el control y la estabilidad de la potencia total de salida a los controladores locales 400. Dado que los controladores locales 400 pueden reaccionar a las condiciones meteorológicas regionales e incluso pueden tener en cuenta las previsiones meteorológicas, se puede mantener la estabilidad de la red incluso en el caso de una elevada penetración de energía eólica.

La figura 8 muestra un diagrama de flujo según una forma de realización de la presente invención. En una primera etapa, un centro de control centralizado de la red transmite una potencia total de salida deseada a un controlador local. La potencia total de salida deseada puede ser un valor constante o un rango dentro del que la potencia total de salida puede variar. A continuación, la salida de potencia de la al menos una fuente de generación de energía eólica y de la al menos una fuente de generación de energía adicional son controladas por el controlador local de modo que la salida de potencia total de la al menos una fuente de generación de energía intermitente y de la al menos una fuente de generación de energía adicional sea sustancialmente igual a la salida de potencia total deseada. En esta forma de realización, la energía eléctrica es generada por al menos una fuente de generación de energía eólica y al menos una fuente de generación de energía adicional. En una forma de realización, la etapa de controlar la potencia total de salida incluye estimar una producción total de potencia dentro de un período de previsión predeterminado, y determinar si dicha producción total de potencia estimada es suficiente para proporcionar la potencia total de salida deseada dentro de dicho período de previsión. Si no se puede proporcionar la potencia total de salida deseada, se informa de ello al control centralizado de la red. Opcionalmente, también se puede reportar al control centralizado la información de que se puede generar el valor de potencia total de salida deseado. Según otra forma de realización, se obtiene al menos una variable de previsión, y se estima la potencia total de salida en base al menos parcialmente a la al menos una variable de previsión. Normalmente, la variable de previsión incluye una previsión del tiempo, una advertencia de tormenta, la velocidad del viento, la densidad del aire, turbulencia atmosférica, condición de lluvia, condición de nieve, temperatura del aire, humedad, o una planificación de suministro a petición de los operadores de la red. En una forma de realización aún más adicional de la presente invención, se reporta al control centralizado una planificación de salida de potencia total estimada para el período de previsión. De este modo, el control centralizado puede planificar la producción de energía dentro de la red.

La figura 9 muestra la variación de la potencia de salida a lo largo del tiempo en una primera condición cuando la potencia total de salida es controlada con un procedimiento según una forma de realización de la presente invención. En la forma de realización que se muestra en la figura 9, una potencia total de salida deseada solicitada por un control centralizado es constante en el tiempo. Sin embargo, la velocidad del viento ha estado fluctuando, de modo que la salida de potencia de un sistema de energía eólica también ha fluctuado en consecuencia. Se entenderá por parte de los expertos en la materia que existe una potencia máxima de salida del sistema de energía eólica, de modo que la potencia de salida nunca excederá este límite, incluso para velocidades del viento más altas. Otra planta de producción eléctrica dentro del grupo regional es controlada por un controlador local para complementar la producción de energía por parte del sistema de energía eólica, de modo que se pueda mantener una potencia total de salida sustancialmente constante. Sin embargo, los datos de previsión sugieren una condición de calma en un futuro próximo de modo que disminuirá la velocidad promedio del viento. Por lo tanto, también disminuirá la salida de potencia estimada por parte del sistema de energía eólica de acuerdo con la velocidad del viento. Como resultado, se debe incrementar la salida de potencia de la otra planta de producción eléctrica para mantener la potencia total de salida deseada. Como se puede ver en la figura 9, todavía es posible mantener la potencia total de salida deseada aunque disminuya la salida de potencia del sistema de energía eólica.

La figura 10 muestra la variación de la potencia de salida a lo largo del tiempo en una segunda condición cuando la potencia total de salida es controlada con un procedimiento según una forma de realización de la presente invención. En este caso, el control centralizado de la red también solicita una potencia total de salida constante. Sin embargo, el medio de previsión reporta un aviso de tormenta, lo que resulta en un aumento considerable de la velocidad del viento. Las velocidades del viento durante la tormenta serán demasiado altas para que las turbinas eólicas funcionen, por lo que se deberán parar antes de que la tormenta llegue a la instalación de energía eólica. En consecuencia, la salida de energía eólica estimada desciende a cero para esta instalación de energía eólica. De forma similar que en el ejemplo de la figura 9, la salida de potencia de la otra planta de producción eléctrica aumenta cuando disminuye la salida de energía eólica. Sin embargo, se muestra que incluso con la potencia máxima de salida de la otra planta de producción eléctrica, no se puede alcanzar la potencia total de salida deseada. Más bien, la potencia total de salida se reduce a la salida de potencia de la otra planta de producción eléctrica. Por lo tanto, existe una brecha de potencia  $\Delta$  entre la potencia total de salida deseada solicitada y la potencia de salida real posible durante la tormenta. Esta brecha de potencia  $\Delta$  tiene que cerrarse mediante el aumento de producción de

energía de otros sistemas de generación de energía en la red. Sin embargo, debido a la capacidad de previsión del controlador local, la brecha de potencia se puede anticipar con mucha antelación. De este modo, es posible aumentar la generación de potencia con la suficiente antelación incluso para plantas de producción de energía de reacción lenta, tales como plantas de carbón.

5

Los expertos en la materia entenderán que la presente invención aumenta la confianza estadística en la estabilidad de las redes producción eléctrica de energía eólica involucradas. De este modo, se pueden reducir las plantas nucleares y/o de carbón convencionales sin poner en peligro la estabilidad de la red y/o un suministro de potencia suficiente. Además, la inclusión de previsiones meteorológicas y de condiciones meteorológicas reales aumenta la previsibilidad de la producción de energía eólica. La estructura jerárquica de la red con controladores locales aumenta la fiabilidad, ya que el control se basa en datos locales y/o regionales. Además, se facilita el control centralizado de la red, ya que se puede basar en valores de potencia de salida locales garantizados, mientras que los detalles del control se pueden delegar a los controladores locales.

10

15

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluido el mejor modo, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia realizar y utilizar la invención. Si bien la invención se ha descrito en términos de diversas formas de realización específicas, los expertos en la materia reconocerán que la invención puede ser puesta en práctica con alguna modificación dentro del alcance de las reivindicaciones. En especial, se pueden combinar entre sí características no exclusivas mutuamente de las formas de realización que se han descrito anteriormente. En particular, se pueden utilizar sistemas de energía eólica y sistemas de energía solar como sinónimos en el contexto de la presente invención, ya que ambos representan fuentes de energía intermitentes. El alcance patentable de la invención es definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Se pretende que estos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto a los lenguajes literales de las reivindicaciones.

20

25

**REIVINDICACIONES**

1. Una red de suministro eléctrico (100), que incluye un medio de control centralizado (110),  
 5 una fuente de generación de energía renovable intermitente (200) para generar energía eléctrica; al menos un sistema de generación de energía adicional (300); y al menos un controlador local (400) para controlar la potencia total de salida de dicha fuente de generación de energía renovable intermitente (200) y dicho al menos un sistema de generación de energía adicional (300),  
 10 en la que el medio de control centralizado (110) está conectado con el al menos un controlador local (400) y está adaptado para solicitar una potencia total de salida deseada desde el controlador local (400), y en la que el medio de control centralizado (110) no está conectado a la fuente de generación de energía renovable intermitente (200) y al por lo menos un sistema de generación de energía adicional (300),  
 15 en la que al menos un controlador local participa en un control de suministro dinámico y de generación automática.
2. La red de suministro eléctrico según la reivindicación 1, en la que el controlador local (400) está adaptado para controlar la potencia total de salida para que varíe de acuerdo con una planificación prescrita por el medio de control centralizado (110) y/o para que esté dentro de un rango predeterminado y/o sea sustancialmente constante.  
 20
3. La red de suministro eléctrico según la reivindicación 1 o 2, en la que el controlador local (400) está conectado con al menos un sensor (410) para medir al menos una variable de la red, en la que el controlador local (400) está adaptado para controlar la potencia total de salida en base al menos parcialmente a la al menos una variable de la red medida por dicho sensor (410, 411, 412), en la que la al menos una variable de la red se selecciona de entre el grupo formado por: una potencia activa, una potencia reactiva, una salida de potencia de una fuente de generación de energía renovable intermitente, una salida de potencia de un sistema de generación de energía alternativo, una corriente, un voltaje, una frecuencia, un factor de potencia, una tasa de cambio de potencia; y/o en la que el controlador local (400) está conectado con al menos un sensor indicativo de al menos una condición ambiental (420), en la que el controlador local (400) está adaptado para controlar la potencia total de salida en base al menos parcialmente a la al menos una condición ambiental medida por dicho sensor (420), en la que la al menos una condición ambiental se selecciona de entre el grupo que consiste en: una velocidad del viento, una densidad del aire, una irradiancia, una turbulencia atmosférica, una condición de lluvia, una condición de nieve, una temperatura del aire, humedad; y/o en la que el controlador local (400) está conectado con al menos un medio de eficiencia económica (435) que proporciona al menos una variable de eficiencia económica seleccionada de entre el grupo que consiste en: un coste de operación, un precio de combustible, un precio de mercado de energía eléctrica, una tarifa de transmisión de energía, en la que el controlador local (400) está adaptado para controlar la potencia total de salida en base al menos parcialmente a la al menos una variable de eficiencia económica proporcionada por dicho medio de eficiencia económica (435).  
 25  
 30  
 35  
 40
4. La red de suministro eléctrico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que el controlador local (400) está conectado con al menos un medio de previsión (430, 440) que proporciona al menos una variable de previsión, en la que el controlador local (400) está adaptado para controlar la potencia total de salida en base al menos parcialmente a la al menos una variable de previsión proporcionada por dicho medio de previsión, en la que la al menos una variable de previsión se selecciona de entre el grupo que consiste en: una previsión meteorológica, un aviso de tormenta, una velocidad del viento, una densidad del aire, una irradiancia, una turbulencia atmosférica, una condición de lluvia, una condición de nieve, una temperatura del aire, una humedad, una planificación de suministro.  
 45  
 50
5. La red de suministro eléctrico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que el controlador local (400) comprende un medio de estimación de potencia total de salida (450) adaptado para estimar la potencia total de salida dentro de un horizonte de previsión predeterminado.  
 55
6. La red de suministro eléctrico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el controlador local (400) comprende un medio para reportar información (460) adaptado para informar al medio de control centralizado (110) si se puede generar una potencia total de salida deseada por parte de la al menos una fuente de generación de energía renovable intermitente (200) y del al menos un sistema de generación de energía adicional (300) y/o para informar al control centralizado (110) la potencia total de salida estimada dentro de un horizonte de previsión predeterminado.  
 60
7. Un procedimiento de controlar la generación de potencia en una red de suministro eléctrico, que comprende las etapas de:  
 65 transmitir una potencia total de salida deseada desde un centro de control centralizado de la red a un controlador local;  
 generar potencia eléctrica utilizando al menos una fuente de generación de energía renovable intermitente;

generar potencia eléctrica utilizando al menos una fuente de generación de energía adicional;  
en el que el medio de control centralizado no está conectado a la al menos una fuente de generación de energía renovable intermitente y a la al menos una fuente de generación de energía adicional, y  
5 controlar la salida de potencia de dicha al menos una fuente de generación de energía renovable intermitente y de dicha al menos una fuente de generación de energía adicional de manera que la potencia total de salida de la al menos una fuente de generación de energía renovable intermitente y la al menos una fuente de generación de energía adicional sea sustancialmente igual a la potencia total de salida deseada;

10 en el que el al menos un controlador local participa en el control de suministro dinámico y de generación automática.

8. El procedimiento según la reivindicación 7, que comprende además las etapas de:

estimar una producción total de potencia dentro de un período de previsión predeterminado;

15 determinar si dicha producción total de potencia estimada es suficiente para proporcionar la potencia total de salida deseada dentro de dicho período de previsión; y

si no se puede proporcionar la potencia total de salida deseada, informar al control centralizado de la red de que no se puede proporcionar la potencia total de salida dentro del período de previsión.

20 9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que, en la etapa de estimación, se obtiene al menos una variable de previsión, y en el que la potencia total de salida se estima en base al menos parcialmente a la al menos una variable de previsión seleccionada de entre el grupo que consiste en: una previsión meteorológica, un aviso de tormenta, una velocidad del viento, una densidad del aire, una irradiancia, una turbulencia atmosférica, una condición de lluvia, una condición de nieve, una temperatura del aire, una humedad y una planificación de suministro.

25 10. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9, en el que la etapa de reportar información comprende proporcionar al control centralizado una planificación de salida de potencia total estimada para el período de previsión.

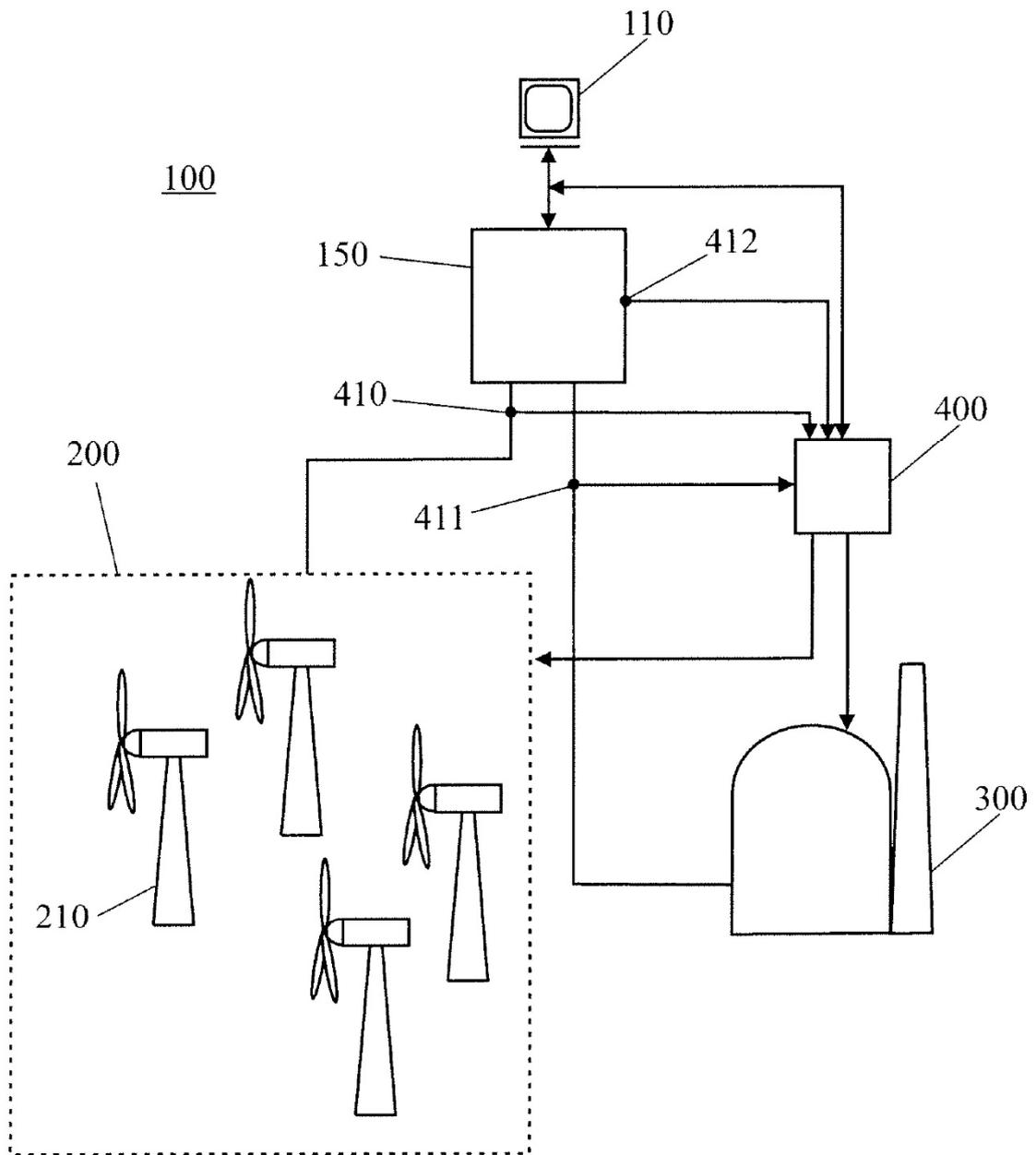


Fig. 1

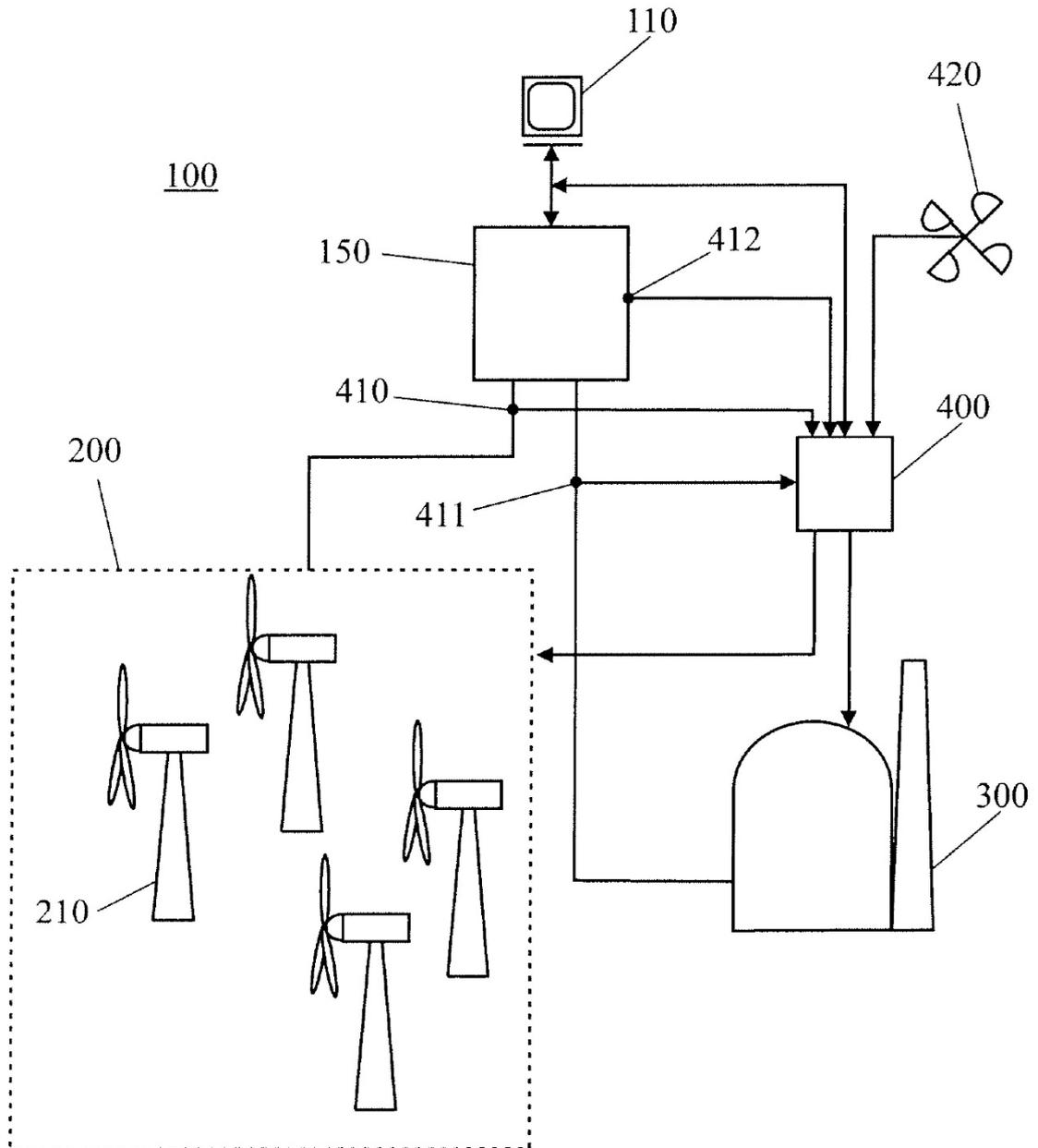


Fig. 2

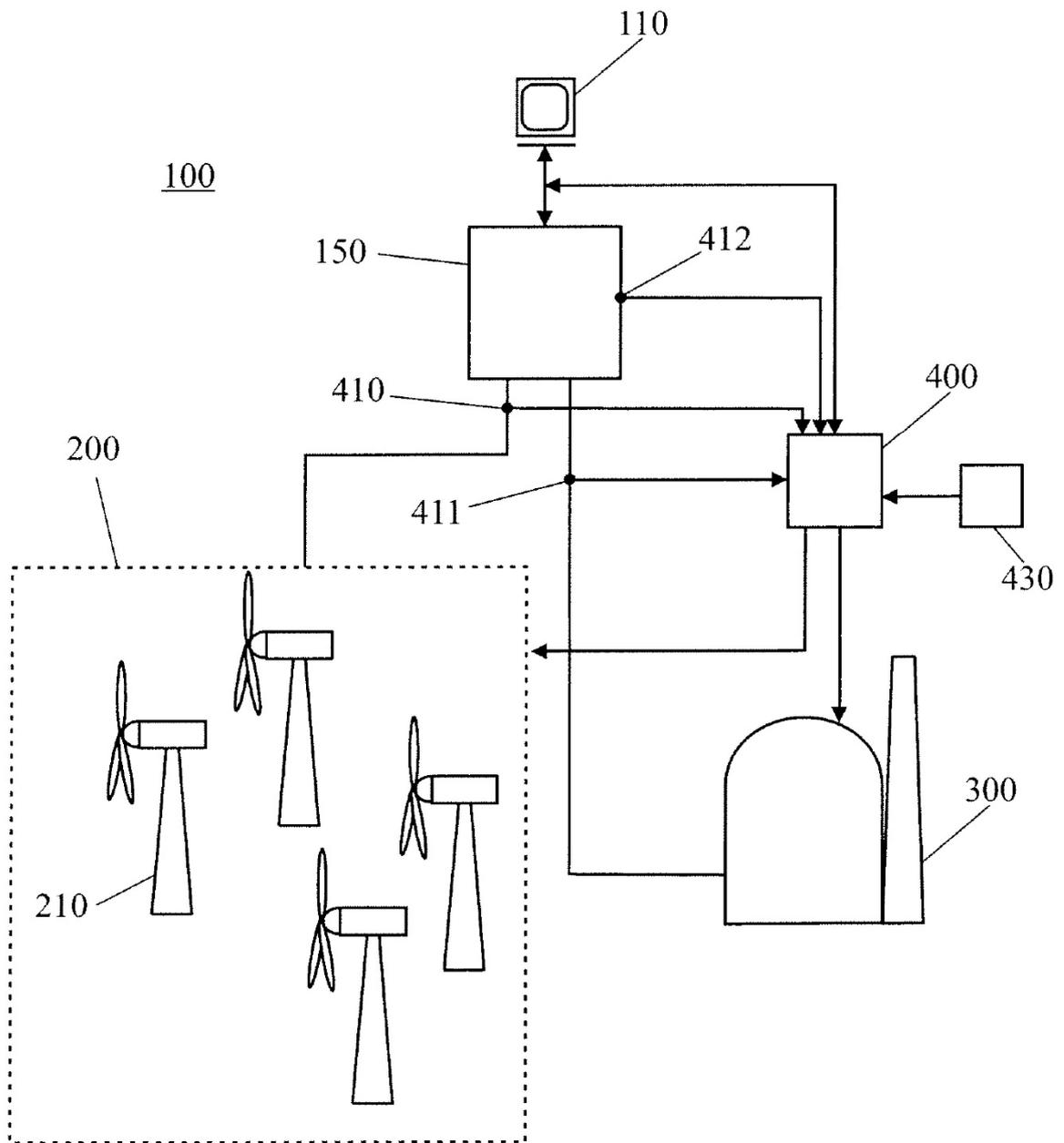


Fig. 3

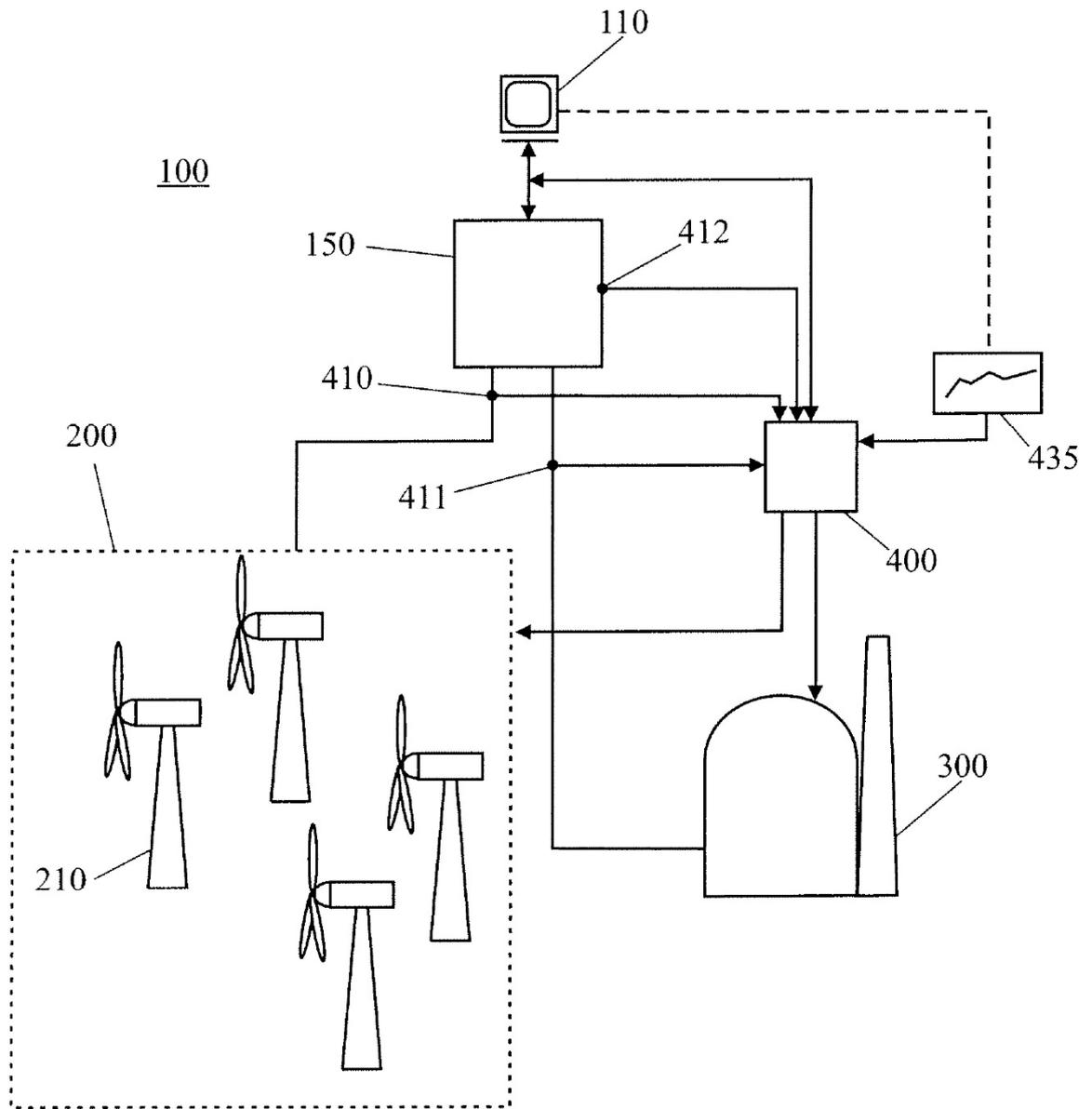


Fig. 4

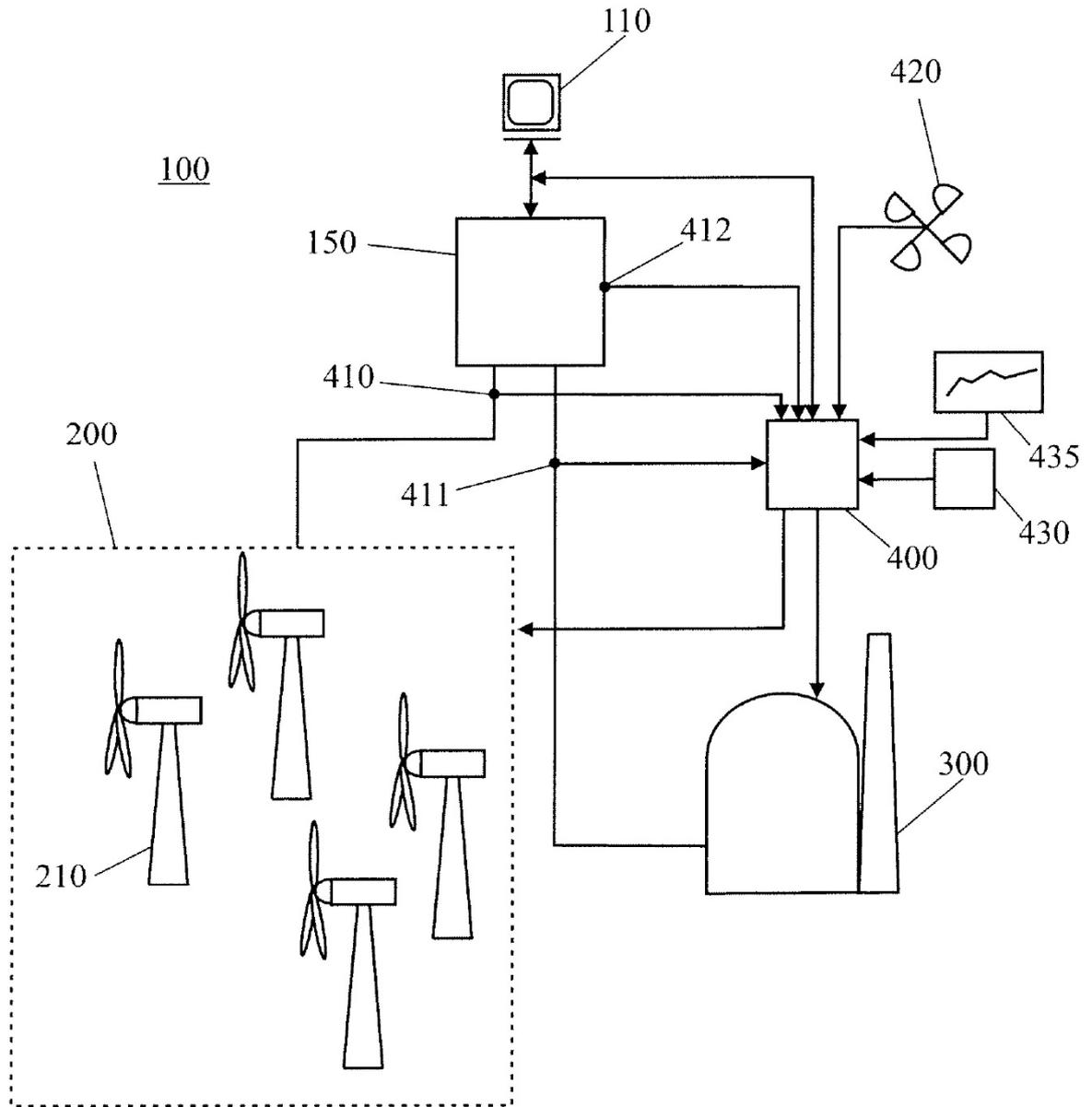


Fig. 5

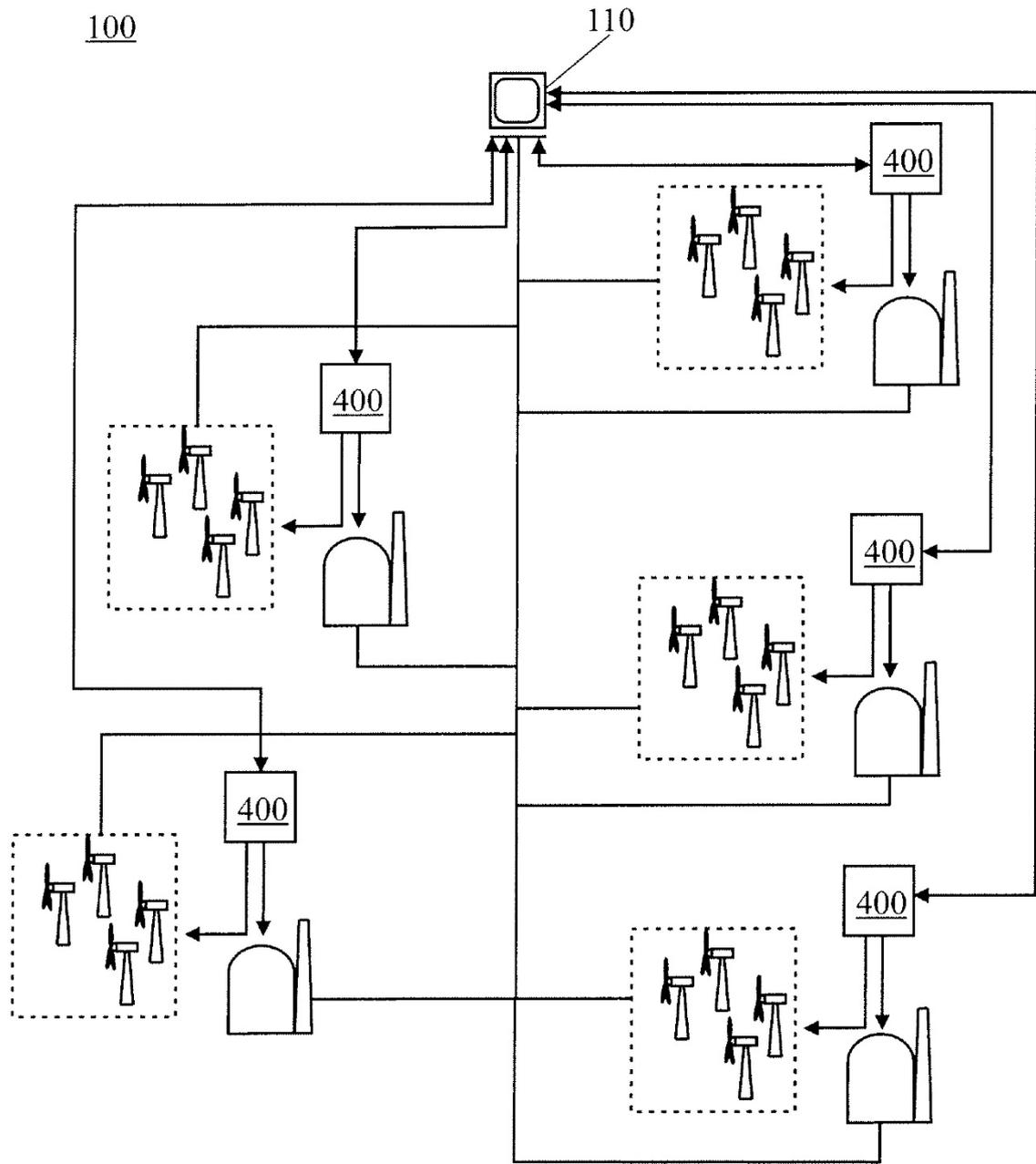


Fig. 6

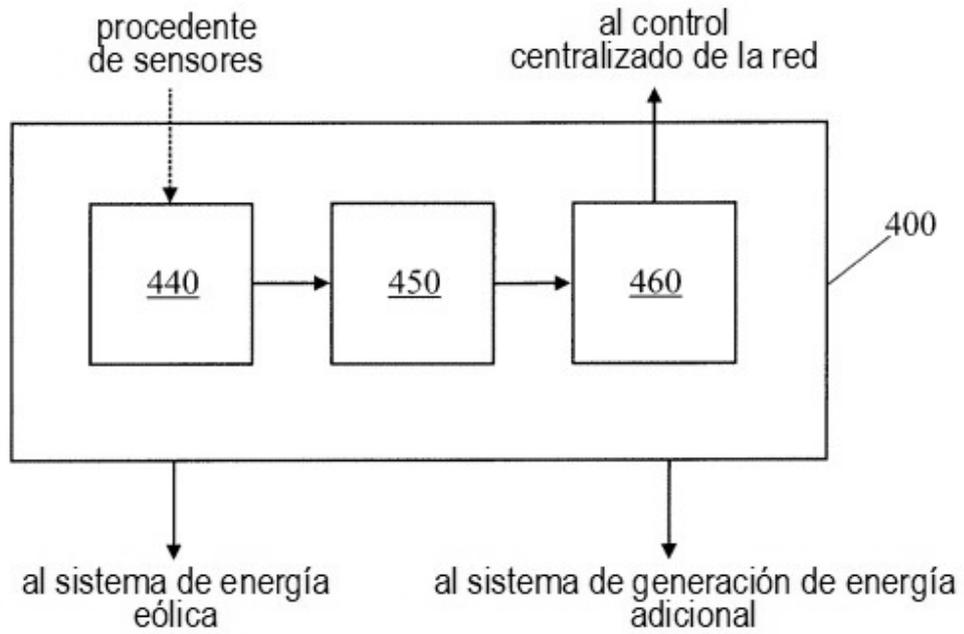


Fig. 7

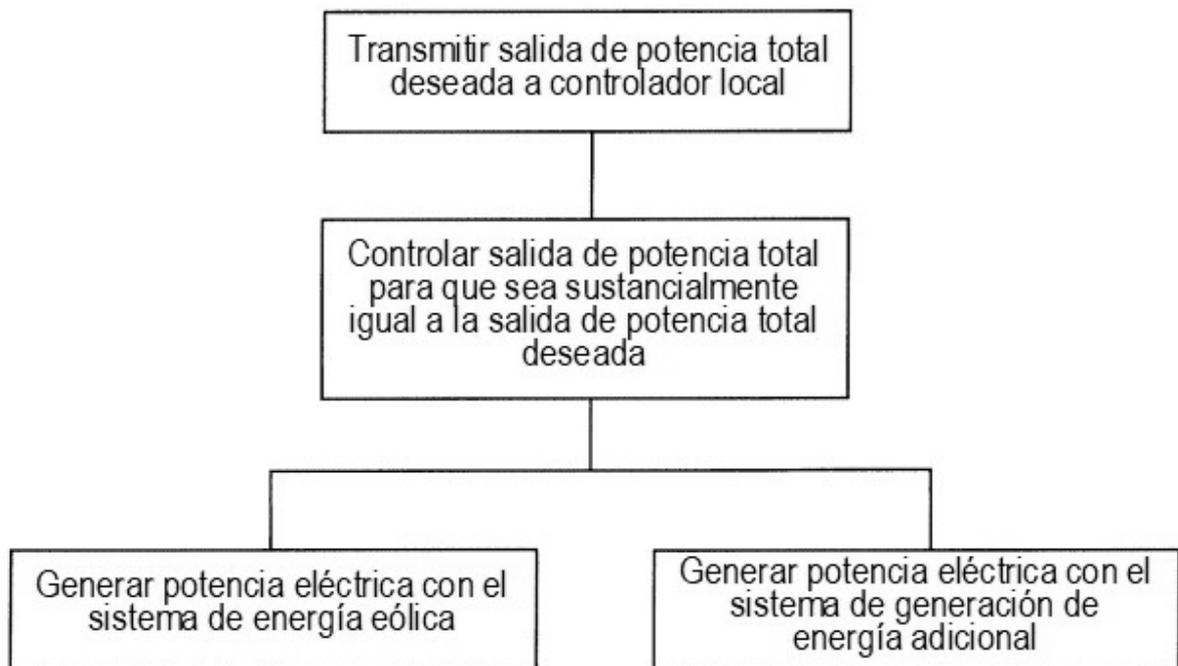


Fig. 8

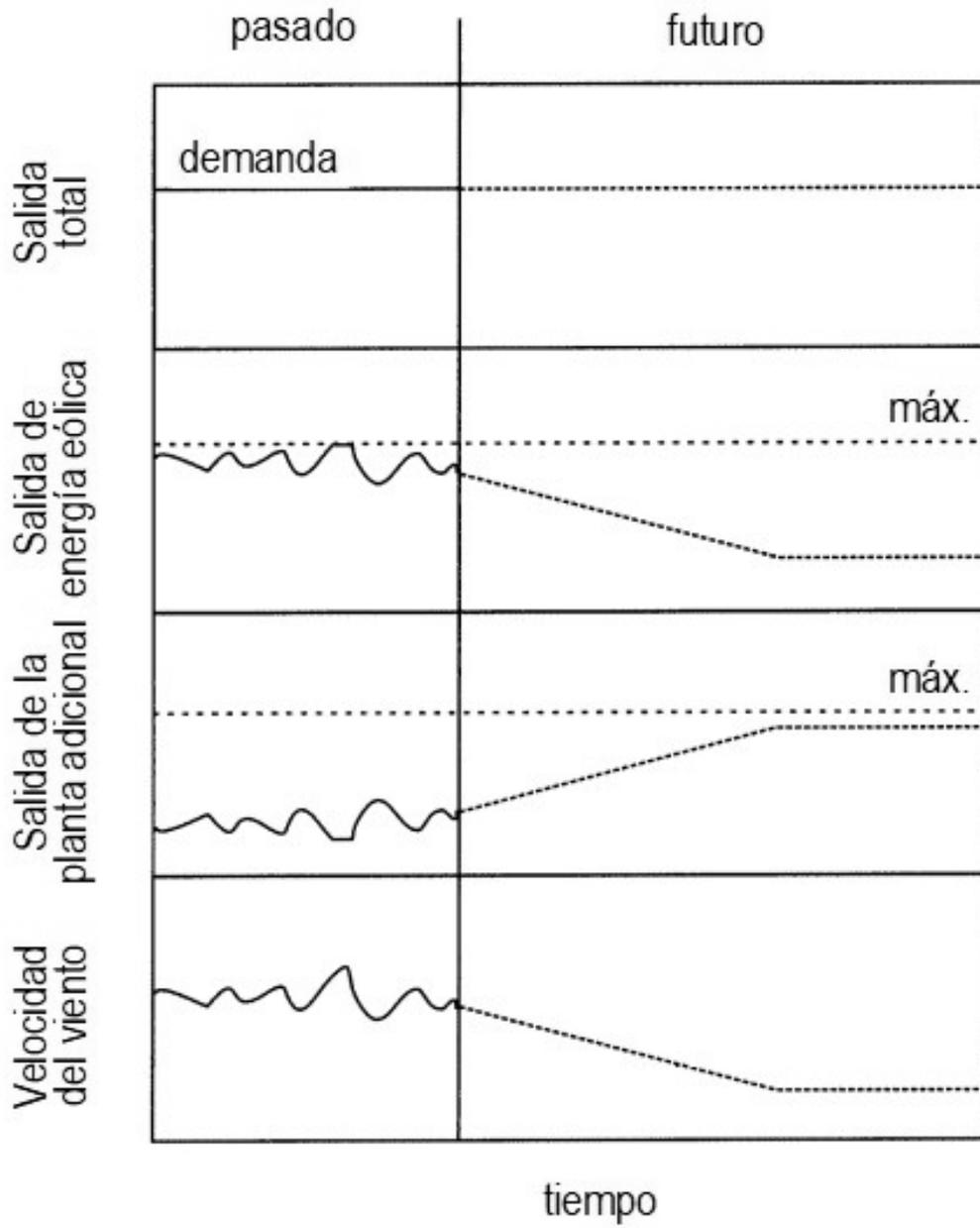


Fig. 9

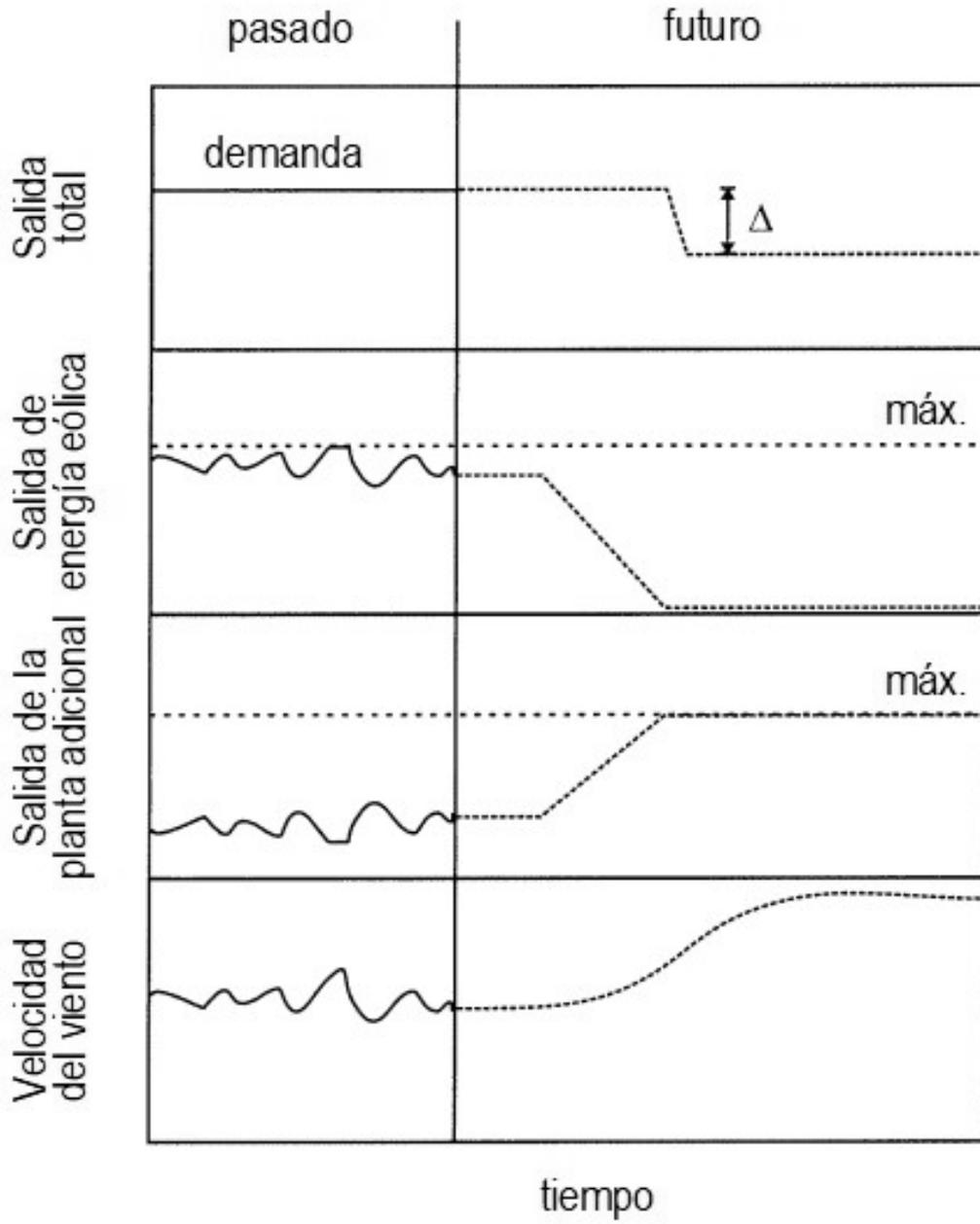


Fig. 10