

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 821 004**

51 Int. Cl.:

H02J 3/00 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.02.2016** **PCT/JP2016/000950**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.09.2016** **WO16136237**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2016** **E 16754988 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.06.2020** **EP 3262732**

54 Título: **Sistema y método de determinación de error de predicción para fluctuaciones de energía renovable**

30 Prioridad:

23.02.2015 US 201562119304 P

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

23.04.2021

73 Titular/es:

**OKINAWA INSTITUTE OF SCIENCE AND
TECHNOLOGY GRADUATE UNIVERSITY (100.0%)
1919-1, Aza Tancha Onna-son Kunigami-gun
Okinawa 904-0495, JP**

72 Inventor/es:

BANDI, MAHESH M.

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 821 004 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 y método de determinación de error de predicción para fluctuaciones de energía renovable

Campo técnico

La tecnología descrita se refiere de manera general a sistemas de predicción de energía eólica.

5 Antecedentes de la técnica

La generación de energía renovable, y la energía eólica en particular, fluctúa debido a la variación natural en la fuente de energía. Por ejemplo, se ha conocido que la turbulencia atmosférica fluctúa, así como el viento en sí mismo que comparte características espectrales del viento turbulento del que deriva la energía. Con respecto al viento específicamente, mientras que los parques eólicos distribuidos se pretende que suavicen estas fluctuaciones, la potencia que entra en la red que se genera a partir del viento todavía fluctúa incontroladamente, lo que plantea un riesgo de aumento de inestabilidad de la red y de los costes de reserva correspondientes.

Para gestionar estas fluctuaciones, los operadores de las empresas de servicios públicos pueden usar modelos de predicción para predecir estas fluctuaciones en un horizonte de tiempo futuro (por ejemplo, desde pocas horas hasta 1 día). Esto se hace para explicar las reservas de operación conocidas como potencia de reserva necesaria para la demanda no satisfecha por las fuentes de energía renovable fluctuantes. Esto también se hace para proteger la infraestructura de la red de la inestabilidad y el riesgo de apagón debido a las oscilaciones bruscas repentinas de potencia por las fuertes fluctuaciones en la fuente de energía renovable.

Los modelos de predicción inherentemente nunca son perfectamente precisos y el grado de robustez a ser incorporado en las redes inteligentes depende de la precisión del error de predicción y de cómo este error varía con el tiempo. A su vez, el conocimiento de esta precisión ayuda a determinar los requisitos de tiempo de respuesta cuando se diseña la red inteligente moderna.

Por consiguiente, puede ser necesaria una solución que imparta una manera fiable de capturar y/o mitigar la precisión del error de predicción, así como la variación temporal del error. Es con respecto a estas y otras consideraciones que se presentan las diversas realizaciones descritas a continuación.

El documento US2014172182 A1 describe un sistema y un método para controlar la distribución de energía desde una pluralidad de recursos de energía hasta una carga. El sistema incluye un controlador del sistema de energía para controlar la distribución de energía a una carga eléctrica proporcionada por una pluralidad de recursos de energía. Los recursos de energía incluyen fuentes de energía que se pueden despachar, tales como generadores diesel y generadores combinados de calor y potencia; fuentes renovables de energía, que incluyen células fotovoltaicas, aerogeneradores y fuentes geotérmicas; y recursos de almacenamiento tales como baterías electroquímicas o reservas hidroeléctricas por bombeo.

El documento US2011202191 A1 describe un sistema y un método de control de un sistema de generación de electricidad que incluye al menos una planta de generación de fuente de energía intermitente. Un método ejemplar incluye calcular los parámetros de operación reales de al menos una planta de generación de fuente de energía intermitente; calcular los parámetros de operación de predicción de la al menos una planta de generación de fuente de energía intermitente; generar las definiciones de contingencia de la fuente de energía intermitente a partir de tales parámetros de operación reales y de parámetros de operación de predicción; analizar las definiciones de contingencia de la fuente de energía intermitente para proporcionar un análisis de contingencia; y controlar el sistema de generación de electricidad en dependencia de tal análisis de contingencia.

El documento US2005143865 A1 describe un sistema de gestión de energía eléctrica que incluye un monitor para el uso total de potencia de una instalación que monitoriza un historial de consumo de potencia durante un intervalo de tiempo establecido de un sistema de distribución que tiene al menos una carga eléctrica. Las predicciones de potencia disponible se generan a lo largo del intervalo de tiempo comparando el historial de consumo de potencia con una asignación establecida. Las predicciones de potencia disponible se transmiten a la al menos una carga eléctrica. El al menos un control de carga recibe las predicciones de capacidad de potencia y controla el uso de energía de la al menos una carga eléctrica de manera que el uso total de energía de la instalación no exceda la asignación establecida.

Compendio de la invención

La presente invención se describe en las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones de la invención.

Un ejemplo de antecedentes no reivindicado en la presente memoria se refiere a un medio de almacenamiento legible por ordenador que se puede usar para almacenar un programa operable para gestionar la producción de energía en una red de energía en base a una cantidad física por la cual el programa hace que un ordenador ejecute un primer proceso. El primer proceso puede incluir un paso de orden (1-1) que fija n a un número entero igual a 1 o

mayor. También se puede incluir un paso de orden (1-2) en el primer proceso que hace un cálculo mostrado en la fórmula (1) con respecto a la cantidad física, $P_G(t)$, $P_G(t)$ que se representa como una función del tiempo t y de un valor predicho de la cantidad física, $P_F(t+\tau)$, en un tiempo $t+\tau$ cuando pasa un tiempo fijo τ desde el tiempo t según la siguiente función: $(|P_F(t+\tau) - P_G(t)|)^n \dots (1)$. Se ha de entender que la función $P_G(t)$ puede corresponder a la potencia generada para una red en particular, mientras que la función $P_F(t)$ puede corresponder a la potencia predicha en cuanto a una fuente de energía renovable particular, tal como eólica.

El programa también puede ejecutar un paso de orden (1-3) que calcula un primer valor promedio como un valor promedio de la fórmula (1) cuando el tiempo t se varía durante un período fijo. También se puede ejecutar un paso de orden (1-4) que calcula un primer valor promedio cuando se varía τ . El paso de orden (1-5) se puede ejecutar por el programa que realiza del paso de orden (1-1) al paso de orden (1-4) al menos una vez para el número entero que es diferente del número entero n en el paso de orden (1-1). También se puede ejecutar un paso de orden (1-6) que calcula un error de escalado de tiempo según un valor numérico del número entero n desde el primer valor promedio calculado en el paso de orden (1-4) y el primer valor promedio calculado en el paso de orden (1-5).

El programa también puede incluir un segundo proceso que incluye un paso de orden (2-1) que fija n al número entero igual o mayor que 1. Se puede incluir un paso de orden (2-2) del segundo proceso que hace un cálculo mostrado en la fórmula (2) con respecto a la cantidad física, $P_G(t)$ representada como la función del tiempo t y de la cantidad física, $P_G(t+\tau)$ en el tiempo $t+\tau$ cuando el tiempo fijo τ pasa del tiempo t , $(|P_G(t+\tau) - P_G(t)|)^n \dots (2)$. También se puede incluir un paso de orden (2-3) en el segundo proceso que calcula un segundo valor promedio como el valor promedio de la fórmula (2) cuando el tiempo t se varía para el período fijo. Se puede incluir un paso de orden (2-4) en el segundo proceso que calcula un segundo valor promedio cuando se varía el tiempo τ . También se puede incluir un paso de orden (2-5) en el segundo proceso que hace una evaluación para determinar si el segundo valor promedio es proporcional a τ^A y calcula A cuando es proporcional. También se puede incluir un paso de orden (2-6) que realiza del paso de orden (2-1) al paso de orden (2-5) al menos una vez para el número entero que es diferente del número entero n en el paso de orden (2-1). También se puede incluir un paso de orden (2-7) que calcula una pendiente A cuando la relación entre la A calculada en el paso de orden (2-5) y el paso de orden (2-6) y el número entero n se aproxima a una línea lineal.

El programa también puede incluir un tercer proceso que incluye un paso de orden (3-1) que realiza del paso de orden (1-1) al paso de orden (1-4) del primer proceso. También se puede incluir un paso de orden (3-2) en el tercer proceso que determina si el primer valor promedio es proporcional a τ^B y calcula B cuando es proporcional. También se puede incluir un paso de orden (3-3) en el tercer proceso que realiza el paso de orden (3-1) y el paso de orden (3-2) al menos una vez para el número entero que es diferente del número entero n en el paso de orden (3-1). Un paso de orden (3-4) que calcula una pendiente B cuando la relación entre la B calculada en el paso de orden (3-2) y el paso de orden (3-3) y el número entero n se aproxima a una línea lineal.

El programa también puede incluir un cuarto proceso que tiene un paso de orden (4-1) que calcula un error de escalado a partir de una diferencia entre la pendiente A calculada en el paso de orden (2-7) y la pendiente B calculada en el paso de orden (3-4).

En ciertos ejemplos, las cantidades físicas P_G y/o P_F se pueden derivar a partir de una velocidad del viento usada para la generación de energía eólica, de la luz solar usada para la producción de energía solar o de la rotación en general de cualquier turbina de energía renovable girada por energía que ocurre de manera natural (por ejemplo, turbinas hidroeléctricas que se hacen girar por el flujo de agua). El programa se puede ejecutar siendo descargado de un servidor o siendo accedido localmente en un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio local. El programa también se puede ejecutar siendo leído de un medio de almacenamiento legible por ordenador.

En otro aspecto, se describe un método para determinar el error de predicción dependiente del tiempo en una red de energía, según las características de la reivindicación 1.

En este método, el proceso físico puede ser energía eólica y la red de energía puede incluir una pluralidad de parques eólicos distribuidos geográficamente que tienen uno o más aerogeneradores. El período de tiempo también se puede medir usando una tasa de muestreo de $1/\Delta t$. A este respecto, el tiempo t podría oscilar entre 1 minuto y 30 minutos, pero la solución incorporada por este método no está limitada. En su lugar, cualquier tiempo t se podría usar según sea necesario o requerido. El método también puede incluir utilizar la estructura estadística en un núcleo de memoria para reducir los errores de escala de tiempo y de escalado.

Las fluctuaciones correlacionadas en ciertas realizaciones pueden incluir datos asociados con aerogeneradores (por ejemplo, turbulencia) de la pluralidad de parques eólicos distribuidos geográficamente. A este respecto, cuando las fluctuaciones definidas por la turbulencia presentan un escalado fractal, el método puede incluir además cuantificar las fluctuaciones correlacionadas con un exponente de escalado usando una función de estructura predeterminada tal como la siguiente: $S_n(\tau) = \langle [x(t+\tau) - x(t)]^n \rangle$, en donde cada función variable en el tiempo $x(t)$ en el tiempo t se resta de una señal variable en el tiempo $x(t+\tau)$ en un tiempo posterior $(t+\tau)$ de modo que una diferencia absoluta pueda determinar una de la pluralidad de fluctuaciones correlacionadas.

En ciertos aspectos, el paso de analizar las tendencias identificadas puede ignorar diferencias entre la pluralidad de parques eólicos distribuidos geográficamente y uno o más parques eólicos adicionales añadidos a la red de energía y/o también ignorar las diferencias entre la variabilidad estacional de la energía eólica.

El método en ciertos aspectos también puede incluir los pasos para identificar las tendencias de potencia generada y de predicción identificadas; e invertir las frecuencias que tienen amplitudes máximas. Preferiblemente, las tendencias de potencia generada y de predicción se identifican usando una transformada rápida de Fourier, pero el método no está tan limitado y se puede usar cualquier método de inversión de tendencia según sea necesario o requerido, incluyendo el análisis de espectro singular o el análisis de componentes de inversión de tendencia. En ciertos aspectos de esta realización, el método también puede incluir: determinar un número de amplitudes máximas que contribuyen a que las tendencias identificadas sean variadas; analizar el número de amplitudes máximas a lo largo del período de tiempo para dividir el período de tiempo en una pluralidad de ventanas independientes; y funciones de estructura informática para cada ventana para determinar la variación entre las tendencias de potencia generada y de predicción identificadas. Una tendencia de potencia de predicción modificada también se puede introducir en la estructura estadística en base a la tendencia de potencia de predicción identificada y entonces modificar con un núcleo de memoria que disminuye exponencialmente derivado de la tendencia de potencia generada identificada.

En aquellos aspectos del método donde la energía eólica es el proceso físico, se puede usar una función de autocorrelación entre la tendencia de potencia generada y la tendencia de potencia de predicción identificadas para determinar un tiempo de disminución característico y este tiempo de disminución característico se puede introducir entonces en la estructura estadística. Donde la energía eólica es el proceso físico, ciertos aspectos también pueden incluir medir las diferencias de velocidad entre una pluralidad de puntos definidos espacialmente y separados por cada parque eólico por una distancia respectiva; calcular un integrando de las diferencias de velocidad medidas y determinar si una función de densidad de probabilidad está disminuyendo más rápido; y determinar una descorrelación exponencial a través de la tasa de muestreo $1/\Delta t$. No obstante, el método descrito en la presente memoria no solamente se limita a procesos físicos tales como la energía eólica y, en su lugar, cualquier proceso físico se puede usar en su lugar según esta descripción.

También se describe un sistema ejemplar para determinar el error de predicción que incluye un medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene memoria y un programa para hacer que un ordenador ejecute cualquiera de los métodos descritos anteriormente. Este sistema también puede incluir un procesador acoplado operativamente al medio de almacenamiento legible por ordenador para ejecutar el programa. Una unidad de procesamiento de gráficos puede estar en comunicación con el procesador y con el medio y operable para mostrar información y el error de predicción dependiente del tiempo generado por el procesador que ejecuta el programa. Además, un servidor puede estar acoplado operativamente al medio de almacenamiento legible por ordenador a través de una red, en donde el programa puede ser residente en el medio de almacenamiento legible por ordenador o de otro modo puede estar en comunicación con el medio a través del servidor.

En otros aspectos, se describe un sistema para determinar el error de predicción según las características de la reivindicación 12.

Otros aspectos y características de la tecnología descrita llegarán a ser evidentes para los expertos en la técnica, tras revisar la siguiente descripción detallada junto con las figuras que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una representación gráfica de la producción total de energía en los Estados Unidos para el año natural 2010.

La FIG. 2 representa gráficamente la demanda de energía del consumidor en Cambridge, Reino Unido, durante un mes ejemplar del año natural 2006.

Las FIGS. 3A-3C representan gráficamente la generación total de energía eólica entre abril de 2006 y abril de 2007 en Irlanda, con diferentes niveles de granularidad.

La FIG. 4 representa el error de predicción instantáneo para un período de 10 días.

La FIG. 5 representa las estadísticas de error de potencia total de la FIG. 4 sumados a los aerogeneradores a lo largo de todos los parques en los datos medidos para las fluctuaciones promedio, comenzando por las más probables que ocurren en alrededor de cero.

La FIG. 6 en la escala log-log representa gráficamente las funciones de estructura de orden $n=1 - 10$ para el valor absoluto en las diferencias de señal de la potencia generada P_G .

La FIG. 7 en la escala log-log representa gráficamente las funciones de estructura de orden $n=1 - 10$ para el valor absoluto de las diferencias de señal de la potencia de predicción P_F .

La FIG. 8 representa gráficamente una escala log-log de funciones de estructuración cruzada $X_n^{FG}(\tau)$ frente a τ (círculos sólidos).

La FIG. 9 representa el exponente de escalado $\zeta_{|n|}$ frente al orden de la función de estructura n para la potencia generada G en círculos sólidos, la potencia de predicción F en cuadrados sólidos y las funciones de estructura cruzada FG en triángulos sólidos.

La FIG. 10 representa una comparación de los datos de generación eólica creados a partir de parques con 1 planta eólica, con 4 plantas eólicas y con 20 plantas eólicas.

La FIG. 11 representa un diagrama de bloques de un sistema informático ejemplar que implementa la solución de predicción descrita en la presente memoria.

La FIG. 12 representa un diagrama de bloques ejemplar de un programa que ejecuta ciertos procesos de la solución de error de predicción de energía descrita en la presente memoria.

La FIG. 13 representa otro diagrama de bloques ejemplar de un programa que ejecuta ciertos procesos de la solución de error de predicción de energía descrita en la presente memoria.

Descripción de realizaciones

Aunque los ejemplos de la tecnología descrita se explican en detalle en la presente memoria, se ha de entender que se contemplan otras soluciones y realizaciones relacionadas. Por consiguiente, no se pretende que la tecnología descrita se limite en su alcance a los detalles de construcción y disposición de módulos, fórmulas y componentes expuestos en la siguiente descripción o ilustrados en los dibujos. La tecnología descrita es capaz de otras realizaciones y de ser puesta en práctica o llevada a cabo de diversas formas.

También se debe observar que, como se usa en la especificación y en las reivindicaciones adjuntas, las formas singulares “un”, “una”, “el” y “la” incluyen referentes plurales a menos que el contexto lo indique claramente de otro modo. Los intervalos se pueden expresar en la presente memoria como “alrededor de” o “aproximadamente” un valor particular y/o “alrededor de” o “aproximadamente” otro valor particular. Cuando se expresa tal intervalo, otros ejemplos incluyen desde un valor particular y/o hasta el otro valor particular.

Al describir ejemplos, se recurrirá a terminología en aras de la claridad. Se pretende que cada término contemple su significado más amplio como se entiende por los expertos en la técnica e incluye todos los equivalentes técnicos que operan de manera similar para lograr un propósito similar. También se debe entender que la mención de uno o más pasos de un paso o proceso no excluye la presencia de pasos o procesos adicionales o de pasos o procesos intermedios entre los identificados expresamente. Los pasos de un método o de un proceso se pueden realizar en un orden distinto al descrito en la presente memoria sin apartarse del alcance de la tecnología descrita. De manera similar, también se entiende que la mención de uno o más componentes en un paso, proceso, función o sistema no excluye la presencia de componentes adicionales o de componentes intermedios entre los componentes identificados expresamente.

En la siguiente descripción se hacen referencias a los dibujos que se acompañan que forman parte de la misma y que muestran, a modo de ilustración, realizaciones o ejemplos específicos. Al referirse a los dibujos, números iguales representan elementos parecidos a lo largo de las diversas figuras.

La energía en general se puede derivar de una variedad de fuentes, incluyendo carbón, gas natural, nuclear e hidroeléctrico. La FIG. 1, por ejemplo, representa una visión general gráfica de la producción total de energía en los Estados Unidos durante el año natural 2010. Se puede ver que las fuentes de energía incluyen carbón, gas natural, nuclear e hidroeléctrica. La FIG. 2 es una representación gráfica de la demanda de los consumidores en Cambridge, Reino Unido a lo largo de todo un mes de 2006. Al comparar las FIGS. 1 y 2, se puede ver que la energía se puede generar a una tasa casi constante, mientras que la demanda de los consumidores tiende a fluctuar dependiendo de una variedad de factores.

Predecir con precisión la producción de energía que se aplica a las energías renovables es incluso más difícil. Por ejemplo, el viento o la luz solar pueden ser difíciles de predecir con precisión debido a una variedad de variables. La energía eólica generada específicamente puede presentar correlaciones temporales significativas incluso a nivel de la red para una red de energía particular donde se espera que las fluctuaciones se promedien a medida que la energía se distribuye desde los parques eólicos distribuidos geográficamente dentro de la red. No obstante, tales fluctuaciones son problemáticas para los operadores del sistema y estas fluctuaciones también poseen una estructura estadística a través de correlaciones temporales en que la solución descrita en la presente memoria es operable para explotar analizando cuantitativamente el error en los modelos de predicción que se aplican al viento. No obstante, la solución descrita en la presente memoria no se limita solamente al viento y también se puede aplicar a otras fuentes de producción de energía sujetas a fluctuaciones tales como la luz solar y la energía solar. A este respecto, más allá de servir como un estándar para la cuantificación de la precisión de la predicción de la energía eólica, la solución descrita en la presente memoria también se puede aplicar en cualquier campo donde se produzca energía y se prediga con fluctuaciones correlacionadas temporalmente que posean una estructura estadística.

Con respecto a la predicción de energía, tal como la energía eólica, los planteamientos anteriores han intentado calcular el error en tales predicciones basándose únicamente en la distribución del error. Por lo tanto, tales planteamientos no han fallado al considerar las variaciones de error temporal que explican las correlaciones de fluctuación. Tales correlaciones de fluctuación pueden incluir, por ejemplo, la turbulencia atmosférica que se puede transferir a la tendencia de potencia generada al analizar el error de predicción. Los planteamientos anteriores han modelado la distribución de probabilidad del error de predicción para capturar el error medio y las fluctuaciones alrededor del error medio que se conocen como la desviación estándar del error de predicción. No obstante, estas cantidades son independientes del tiempo y, por lo tanto, fallan al capturar las variaciones de error temporales.

Volviendo a las FIGS. 3A-3C, representaciones gráficas de la generación total de energía eólica entre abril de 2006 y abril de 2007 (FIG. 3A) usando datos proporcionados por EirGrid, el operador propiedad del estado de transmisión de energía eléctrica en Irlanda. Estos datos, así como 5 años valiosos de datos adicionales de EirGrid, se introdujeron en un sistema informático y se analizaron para determinar el error de predicción dependiente del tiempo descrito a continuación. Se puede ver que para los parques eólicos distribuidos geográficamente a través de Irlanda, la capacidad eólica pico en 2007 para Irlanda fue de aproximadamente 745 MW, dispersos entre aproximadamente 60 parques eólicos individuales. Como revela un examen más granular de los datos, al moverse de la FIG. 3A (abril de 2006 a abril de 2007), la FIG. 3B (enero de 2007 a abril de 2007), y la FIG. 3C (febrero de 2007), parece que la potencia derivada de los aerogeneradores fluctúa drásticamente de manera impredecible dentro y entre cada día. La suposición típica es que los parques eólicos distribuidos como los de las FIGS. 3A-3C suavizarán las fluctuaciones y, sin embargo, las FIGS. 3A-3C muestran claramente que las fluctuaciones de la red parecen estar correlacionadas.

Las soluciones descritas en la presente memoria describen métodos para determinar con precisión las correlaciones estadísticas de orden más alto en cuanto a las fluctuaciones en la potencia generada a partir de una variedad de fuentes (por ejemplo, energía eólica) y de allí estimar de manera fiable el error estadístico en modelos de predicción tales como los modelos de predicción del viento, de la turbulencia atmosférica o de la luz solar en aquellas realizaciones que implican producción de energía solar. En términos generales, el error de predicción del viento se puede evaluar usando una señal variable o fluctuante en el tiempo representada por la función $x(t)$, en donde t es el tiempo y la función $x(t)$ se puede derivar a partir de un proceso físico tal como la energía eólica. Se puede desarrollar un conjunto de datos a partir de $x(t)$ a lo largo de un período de tiempo particular. Mientras que ciertas tasas de muestreo Δt se describen en la presente memoria tales como de 15 minutos, tales tasas de muestreo son ejemplos no limitantes y cualquier tasa de muestreo se podría usar para desarrollar el período de tiempo particular que puede ser mayor o menor que los tratados en la presente memoria.

Como se ha descrito anteriormente, la energía eólica derivada a partir de los aerogeneradores puede ser turbulenta y fluctuar. Predecir esta fluctuación a través de la función $x(t)$ a intervalos de tiempo Δt regulares y predeterminados, tales como de 15 minutos, permitirá que una función de señal de predicción $x_F(t)$ sea determinada. Si un modelo particular predice $x(t)$ exactamente, entonces la función variable en el tiempo $x(t)$ igualará su señal de predicción $x_F(t)$ de manera que el error sea aproximadamente cero. De otro modo, la precisión para la señal de predicción $x_F(t)$ y su error de predicción en cada instante t se puede determinar por el error de predicción instantáneo $D(t)$ restando $x_F(t)$ de $x(t)$. De manera problemática, las soluciones anteriores a la predicción del viento se han centrado exclusivamente en la función $D(t)$ y en modelar su distribución de probabilidad. No obstante, dado que la función $D(t)$ necesariamente varía de un instante a otro, la solución 1 descrita en la presente memoria está diseñada para determinar de manera precisa el papel de las correlaciones en las apariciones de esta variación en su determinación del error de predicción dependiente del tiempo en una red de energía particular. No obstante, si la variación de tiempo de la función original, variable en el tiempo $x(t)$, es puramente aleatoria, no es posible predecir la cantidad $D(t)$. Se ha de entender que "puramente aleatoria" puede incluir fluctuaciones sin variación continua en la señal entre dos escalones de tiempo consecutivos t y $t+\Delta t$.

A este respecto, la función $x(t)$ se caracteriza como no correlacionada y su correlación puede disminuir dentro de un único escalón de tiempo (Δt) del intervalo de muestreo correspondiente. Tal señal se dice que no tiene memoria. No obstante, si las fluctuaciones en la función variable en el tiempo $x(t)$ varían durante un escalón de tiempo particular m , entonces la correlación de la función disminuye más lentamente (típicamente durante m escalones de tiempo Δt). Por lo tanto, los m escalones de tiempo Δt pueden corresponder al período de tiempo durante el cual la señal pierde la memoria de su pasado. Tales correlaciones pueden representar un mecanismo subyacente en el proceso físico, tal como la energía eólica.

La solución descrita actualmente resuelve estos y otros problemas generando un modelo matemático para proporcionar una predicción precisa que capture este mecanismo subyacente de los m escalones de tiempo Δt y que considere estas correlaciones en su predicción $x_F(t)$. Con respecto al viento, las fluctuaciones en la turbulencia asociadas con el flujo sobre los aerogeneradores pueden presentar específicamente escalado fractal o autosimilar. En otras palabras, una fluctuación de una amplitud dada que ocurre durante m escalones de tiempo Δt puede tener la misma estructura que una fluctuación de dos veces su amplitud que ocurre durante $2m$ escalones de tiempo Δt , que a su vez tiene la misma estructura que una fluctuación de 4 veces su amplitud que ocurre durante $4m$ escalones de tiempo Δt .

En ciertas realizaciones, la estructura fractal de las fluctuaciones en la función variable en el tiempo $x(t)$ del sistema descrito en la presente memoria se cuantifica con un exponente de escalado que usa una función de estructura

predeterminada. Preferiblemente, la función de estructura predeterminada que calcula el exponente de escalado se puede definir como $S_n(\tau) = \langle [|x(t+\tau) - x(t)|]^n \rangle$. Como se puede ver, el valor de la función variable en el tiempo $x(t)$ en el tiempo t se puede restar de otro valor de la señal variable en el tiempo $x(t+\tau)$ en un tiempo posterior $(t+\tau)$ de modo que su diferencia absoluta $|x(t+\tau) - x(t)|$ represente tamaño de la fluctuación sobre esa escala de tiempo τ .

5 Muchos de tales valores se pueden recopilar a partir de una serie de tiempo definida por diferentes puntos en el tiempo y cada diferencia absoluta se puede elevar a la potencia de orden n . Por ejemplo, donde $n = 2$, esta cantidad puede estar relacionada con una función de correlación y la función de estructura de orden n $S_n(\tau)$ para $n > 2$ proporciona información de una función de correlación de 2 puntos de orden n . El mismo procedimiento se puede repetir para la serie de tiempo de predicción $x_F(t)$.

10 La solución 1 descrita en la presente memoria también captura correlaciones en el error de predicción entre $x(t)$ y $x_F(t)$ modificando la función de estructura $S_n(\tau)$ para que sea la función de estructura cruzada $X_n(\tau)$. Preferiblemente, la función de estructura cruzada $X_n(\tau)$ se define por $\langle [|x_F(t+\tau) - x(t)|]^n \rangle$. La distinción que se extrae con la función de estructura $S_n(\tau)$ y con la función de estructura cruzada $X_n(\tau)$ es que la diferencia no está entre dos valores de la misma función separados por un intervalo de tiempo τ . En su lugar, la diferencia está entre un valor en el tiempo t , esto es, $x(t)$ y la señal de predicción x_F en un tiempo posterior $(t+\tau)$, esto es, $x_F(t+\tau)$. En ciertas realizaciones, se puede usar un núcleo de memoria en la solución 1 descrita en la presente memoria que reduce tanto la escala de tiempo de referencia como los errores de escalado.

Diversos aspectos de la solución 1 descrita para determinar el error de predicción en una red de energía se pueden entender más plenamente aún a partir de la siguiente descripción de algunas implementaciones de ejemplo y de los resultados correspondientes. Algunos datos experimentales se presentan en la presente memoria con propósitos de ilustración y no se deberían interpretar como limitantes del alcance de la tecnología descrita de ninguna forma o que excluyen cualquier realización alternativa o adicional.

25 Como se ha tratado anteriormente, EirGrid proporcionó dos series de tiempo en bruto que incluyen la energía eólica generada en toda la nación que se introduce en la red, $p_g(t)$, y la predicción de potencia en los modelos de EirGrid, $p_r(t)$, durante una duración idéntica. Por consiguiente, la diferencia instantánea $p_s(t)$ entre cada una se puede definir como $p_r(t) - p_g(t)$ y se entiende como el error de predicción instantáneo. La FIG. 4 representa el error de predicción instantáneo durante un período de 10 días y, como se puede ver, $p_g(t)$ presenta fluctuaciones correlacionadas. Cada serie de la FIG. 4 se muestreó a intervalos de 15 minutos que abarcan un período de 5 años entre 2009 y 2014 y se determinaron las estadísticas de la variación temporal de la energía.

30 Las fluctuaciones en la FIG. 4 son claramente visibles, permitiendo varias observaciones. La energía generada $p_g(t)$ presenta fluctuaciones correlacionadas, mientras que la potencia de predicción $p_r(t)$ pierde la alta frecuencia en relación con la tasa de muestreo de los componentes de series de tiempo. Por consiguiente, el error de predicción instantáneo $p_d(t)$ se puede ver con fluctuaciones del viento correlacionadas con una curtosidad de la siguiente manera:

$$\kappa \equiv \frac{\mu_4}{\sigma^4} \approx 5.8, \quad \text{donde } \mu_4 \equiv \overline{(p_d - \overline{p_d})^4}, \quad \sigma_4 \equiv \overline{(p_d - \overline{p_d})^2},$$

35 A este respecto, $\overline{p_d}$ representa el promedio de tiempo del error instantáneo. Esto implica fluctuaciones relativamente grandes del error de predicción instantáneo $p_d(t)$ y revela dos tipos de errores: el error de escala de tiempo e_r , y el error de escalado e_s . Por lo tanto, la solución 1 descrita en la presente memoria se dirige a rectificar el error de escala de tiempo e_r así como a alinear estadísticamente ciertas correlaciones temporales, mejorando por ello el correspondiente error de escalado e_s . La solución 1 descrita en la presente memoria también contempla el uso de diferentes parametrizaciones de uno o más modelos climáticos regionales o modelos meteorológicos para analizar además y considerar las fluctuaciones en los mismos.

45 Se observó que los modelos de predicción de EirGrid fallaron al predecir las variaciones de señal a corto plazo (alta frecuencia) para sus primeros 10 escalones de tiempo de muestreo (2.5 horas), en donde este fallo constituye el error de escala de tiempo e_r . La estructura fractal de las fluctuaciones, a medida que se cuantifican por los exponentes de escalado, también se encontró que era diferente para la señal de potencia generada real y para la señal de potencia de predicción, y esta diferencia es el error de escalado referenciado.

Y, sin embargo, EirGrid conoce la escala de tiempo porque es tanto productor como distribuidor. No obstante, se contempla que la solución 1 descrita en la presente memoria se podría usar por operadores de red que gestionen múltiples fuentes de energía, como las fuentes convencionales (por ejemplo, carbón, gas natural, nuclear, etc.) con fuentes renovables que tienden a fluctuar y/o redes más interconectadas cuando se planifican características importantes tales como las reservas de contingencia. El error dependiente del tiempo de los procesos físicos que se puede determinar usando la solución 1 se podría usar por los operadores de la red para la gestión optimizada de las fuentes de energía primarias y secundarias. Por consiguiente, la solución 1 descrita en la presente memoria es particularmente ventajosa para optimizar la gestión de múltiples fuentes de energía, incluyendo fuentes de energía

renovables fluctuantes, en la medida que muchas redes y proveedores de energía se esfuerzan en reducir la huella de carbono balanceada frente a un aumento de demanda de energía.

De manera similar, la solución 1 descrita en la presente memoria es particularmente ventajosa para medir, de manera precisa, el error referenciado en los mercados al contado de energía donde la energía se comercializa diariamente, y los precios de la energía se establecen por el suministro de energía esperado en intervalos de tiempo predeterminados (por ejemplo, intervalos de aproximadamente 5-10 minutos). Se contempla que la solución 1 descrita en la presente memoria en cuanto al cálculo del error de escalado también puede ser capaz de ser usada por proveedores de energía, operadores de red, clientes, modeladores matemáticos y firmas de consultoría energética, en donde el error de escalado calculado es operable para proporcionar una medida estadística de cómo la estructura de las fluctuaciones está siendo omitida por los modelos.

Específicamente, la solución 1 descrita en la presente memoria es operable para analizar una serie de tiempo dada en múltiples etapas. En una primera etapa, el sistema puede identificar tendencias en la serie, mientras que en la segunda etapa se analizan entonces las fluctuaciones de las tendencias identificadas. En ciertas realizaciones, analizar las tendencias identificadas se centra en las diferencias sistemáticas entre $p_g(t)$ y $p_r(t)$ mientras que se ignoran las diferencias potenciales que pueden resultar, por ejemplo, debido a los nuevos parques eólicos añadidos a una red y/o a la variabilidad estacional de la energía eólica. En lo que respecta a la primera etapa, la identificación de tendencias se puede realizar de manera que la correlación cruzada entre las tendencias de potencia generada y de predicción sea máxima. En el presente ejemplo, se usó una transformada rápida de Fourier (FFT) para cada una de la serie de tiempo, en donde la FFT identificó las tendencias de la etapa 1 invirtiendo la FFT usando solamente las frecuencias con amplitudes máximas.

El número de amplitudes máximas se puede establecer por el requisito de la correlación cruzada más alta entre la tendencia generada $p_g(t)$ y la tendencia de potencia de predicción $p_r(t)$ y cada tendencia también se resta de la serie de tiempo en bruto. Las funciones de autocorrelación también se emplearon durante el ejemplo y sus cálculos para los datos establecidos no revelaron una diferencia medible en el tiempo de disminución característico τ_x . En su lugar, las desviaciones fueron evidentes solamente para el comportamiento a largo plazo que se extendió durante una semana o más cuando ya ha ocurrido una descorrelación exponencial.

Las funciones de autocorrelación para la potencia generada y de predicción presentaron escalado y escalas de tiempo de disminución características casi idénticos que indican una captura precisa de las correlaciones en la potencia generada por los modelos de predicción. No obstante, debido a que es posible que la tendencia de potencia de predicción $p_r(t)$ no capture algunas correlaciones, tales como los componentes de alta frecuencia de la tendencia generada $p_g(t)$, los términos de orden más alto del correlacionador de los dos puntos se contemplan para su uso en el sistema descrito en la presente memoria para capturar la estructura estadística de las fluctuaciones omitidas.

También se determinó que la función de densidad de probabilidad se ejerce a sí misma con un orden creciente n de la función de estructura. Por consiguiente, con el fin de obtener más datos para resolver funciones de estructura de orden más alto, una prueba para resolver la función de estructura de orden más alto primero requiere el planteamiento integrando del momento $(\Delta x)^n \Pi(\Delta x)$ se aproxime a 0 a medida que $|\Delta x|$ se aproxima a infinito, y segundo, un análisis en cuanto a si la función de densidad de probabilidad disminuye más rápido que $1/|\Delta x|^{n+1}$ a medida que $|\Delta x|$ se aproxima a infinito o de otro modo la integral divergiría para un $|\Delta x|$ grande. A este respecto, se concluyó que las dos condiciones no son independientes, dado que la segunda condición es teórica. Además, cuando se analiza la información, incluyendo la segunda condición, los datos insuficientes pueden conducir a ruido y evitar que el integrando converja a cero. Además, la primera condición puede ser dependiente de la finitud de los datos, en donde se concluyó que los datos de EirGrid podrían ser resueltos para funciones de hasta orden $n = 12$.

También se observó que las funciones de estructura de orden par tienen solamente valores positivos, de manera que tienden a converger más rápido que las de orden impar. Por consiguiente, la función de estructura de orden n se calculó usando el valor absoluto de las diferencias, en donde se supuso la resta de la media promedio en el tiempo. Mientras que se aseguraba la misma tasa de convergencia para las estadísticas de orden par e impar, todos los datos también se recopilaban en el cuadrante positivo, permitiendo una visualización relativamente fácil. Además, se determinó que la solución 1 descrita en la presente memoria es capaz de incorporar cualquier prueba futura y más fuerte de escalado anómalo a medida que se desarrollen nuevas o lleguen a ser posibles a través del cálculo de funciones de estructura de orden fraccional.

Los resultados de este análisis se representan en las FIGS. 6-7 que trazan las funciones de estructura S de orden $n = 1-10$ para el valor absoluto de las diferencias de señal de la potencia generada P_G (S_G // FIG. 6) y de la potencia de predicción P_F (S_F // FIG. 7). En ambas FIGS. 6 y 7, las funciones de estructura se representan en los círculos sólidos y su ley de potencia se ajusta mediante las líneas negras y continuas, en donde la potencia respectiva se traza frente a τ en la escala log-log en el escalado autosimilar presentado. Se observa un escalado autosimilar o de ley de potencia para las funciones de estructura de potencia generadas durante 1.4 décadas y también se observa la escalado sobre el mismo rango temporal para las funciones de estructura de potencia de predicción de orden $n = 1$ y 2. Para $n > 2$, por ejemplo, no se observó escalado para las escalas de tiempo $\tau \leq 10$. En contraste, el escalado se restaura sobre un rango limitado de escalas de tiempo entre 10 y 40. Con estas fluctuaciones en mente, se

determinó una descorrelación exponencial a lo largo de un escalón de tiempo de 15 minutos como se puede ver en la FIG. 6. En particular, la FIG. 6 muestra cómo una descorrelación exponencial disminuye en $1.04e^{(-t/80.94)}$ a lo largo del escalón de tiempo t muestreado de 15 minutos según los datos de EirGrid. Dado que todos los protocolos de inversión de tendencia sufren de tener una escala de tiempo de inversión de tendencia a propósito, se probaron escalados para la dependencia del procedimiento de inversión de tendencia variando el número de amplitudes máximas. Ignorando la condición para la correlación cruzada pico entre la potencia generada $p_g(t)$ y la potencia de predicción $p_f(t)$, el número de amplitudes máximas que contribuyen a las tendencias fue variado y los escalados fueron invariantes hasta la inclusión de 15 amplitudes máximas a la tendencia, más allá de lo cual, los coeficientes para los ajustes polinómicos comenzaron a variar en el segundo decimal.

Habiendo averiguado la robustez de las cinco amplitudes máximas en las que la correlación cruzada alcanza pico, una segunda fuente de error de medición de escalado se centró en la variabilidad estadística. Dado que los escalados se analizaron hasta $\tau = 100$ puntos de datos, las series de tiempo de inversión de tendencias se dividieron en ocho ventanas independientes (cada una con 21912 puntos de datos), y las funciones de estructura S fueron recalculadas para cada ventana.

La variación en la derivada logarítmica para las ocho mediciones independientes se definió de la siguiente manera,

variación $\zeta_{|n|}^X = \frac{d \log(S_{|n|}^X(\tau))}{d \log \tau}$, en donde la variación ζ se tomó como la posible dispersión en la estimación de escalado proporcionando un intervalo de confianza para los ajustes polinómicos. Como se muestra en las FIGS. 8-9

y se describe más particularmente a continuación, se encontró que la dispersión era $\zeta_{|n|}^X \pm 0.01$ tanto en el valor

medido de $\zeta_{|n|}^X$ así como los ajustes polinómicos correspondientes para cada uno de los coeficientes polinómicos para cada uno de los ocho conjuntos de datos independientes. A través de este análisis, se reveló que los ajustes polinómicos eran significativos solamente para el orden lineal para la variación de potencia generada $\zeta_{|n|}^{FG}$ y para

la variación de potencia de predicción $\zeta_{|n|}^{FG}$. El coeficiente polinómico de orden cuadrático para la variación $\zeta_{|n|}^F$, a pesar de ser mayor que la dispersión de ± 0.01 , no fue útil debido a los términos cuadráticos correspondientes para $\zeta_{|n|}^G$ y $\zeta_{|n|}^F$ que es más pequeño que la magnitud de dispersión.

La FIG. 8 es una representación gráfica de una escala log-log de funciones de estructuración cruzada: $X_{|n|}^{FG}(\tau)$ versus τ (círculos sólidos). En aquellos tiempos menores de 10, no se presenta el escalado, mientras que los tiempos entre 10 y 40 se muestran con el escalado restaurado. Las líneas continuas representadas son ajustes de la ley de potencia a los datos dentro del régimen de escalado. En contraste, la FIG. 9 representa el exponente de

escalado $\zeta_{|n|}^X$ frente al orden de la función de estructura n para la potencia generada G en los círculos sólidos, la potencia de predicción F en los cuadrados sólidos y las funciones de estructura cruzada FG en los triángulos sólidos.

La línea continua en la FIG. 9 representa $\zeta_{|n|}^G$, la línea discontinua representa $\zeta_{|n|}^F$, y la línea discontinua más larga representa $\zeta_{|n|}^{FG}$.

A pesar de observar cualitativamente una desviación cuadrática para $\zeta_{|n|}^X$ en la FIG. 9, se atribuyó poca importancia dado que el componente multifractal de los escalados es minúsculo. En la medida que se aplica a la teoría de turbulencia para la generación de energía eólica, se rastreó la fuente del comportamiento multifractal para las fluctuaciones intermitentes que pueden surgir a partir de dos fuentes en el contexto atmosférico.

Una fluctuación intermitente conocida como intermitencia interna ocurre en las pequeñas escalas de flujo turbulento. Estas fluctuaciones intermitentes se reflejarían de manera natural en la energía generada en las escalas de aerogeneradores y parques que se encuentran dentro de escala integral de la turbulencia atmosférica. No obstante, cuando se añade junta la potencia generada por parques eólicos geográficamente distantes, la intermitencia interna debería suavizarse dado que no se espera que los parques estén correlacionados simultáneamente. En su lugar, los parques eólicos geográficamente distantes pueden experimentar un retardo de tiempo debido al movimiento de un sistema o sistemas meteorológicos. Además, no se esperaba que el intervalo de muestreo de 15 minutos para los datos de EirGrid resolviera los efectos causados por la intermitencia interna ya que tales efectos ocurren en escalas de tiempo mucho más cortas.

Una segunda fluctuación intermitente se conoce como intermitencia externa y ocurre en el borde de cualquier flujo libre y surge en el contexto atmosférico debido al acoplamiento entre la turbulencia y un sistema meteorológico en movimiento conjunto. La intermitencia externa también se puede experimentar en forma de ráfagas de viento. La intermitencia externa puede ser de mayor relevancia en la presente solución, en la medida que puede tanto acoplar parques distribuidos a través del sistema meteorológico, así como ocurrir en escalas de tiempo más largas que el intervalo de muestreo de 15 minutos para los datos de EirGrid. El escalado casi fractal de la variación de potencia

generada ζ_{in}^G de la FIG. 9 indica que tanto la intermitencia interna como la externa están siendo suavizadas hasta el punto de hacer que las fluctuaciones de potencia a nivel de la red sean casi mono-fractales.

De este modo, el análisis demuestra la importancia de las correlaciones temporales en la energía eólica y su papel en la estimación de los errores de predicción. Para capturar las correlaciones a corto plazo omitidas por la predicción, se introdujo una predicción modificada en base a la predicción original compleja con un núcleo de memoria que disminuye exponencialmente derivado a partir de la serie de tiempo de potencia generada. La potencia

de predicción modificada se dio de la siguiente manera $\int_0^t P_f(\tau) e^{-\gamma(t-\tau)} d\tau$. Se seleccionó la duración de memoria ($1/\gamma$) con el fin de minimizar la diferencia relativa entre las funciones de estructura de la potencia generada y de predicción respectivas. Se encontró que la γ óptima varía con el orden de la función de estructura. Por ejemplo, cuando n es menor que 4, la predicción modificada de memoria no mostró ninguna mejora entre S_{in}^G y S_{in}^F . Por el contrario, la predicción modificada presentó una mejor concordancia entre S_{in}^G y S_{in}^F y S cuando n era mayor o igual que 4.

Se observa que otra información durante este análisis permaneció desconocida, incluyendo los modelos de predicción que pueden haber sido empleados, el número de parques eólicos que alimentan la red EirGrid en un momento dado, su ubicación respectiva, la fecha de comisión o la fecha de cortes programados y no programados. Independientemente, la solución descrita en la presente memoria predice un error en el espacio de generación de energía eólica al comprender que los aerogeneradores y los parques eólicos en una red particular están acoplados a través de la turbulencia atmosférica. Además, ciertas realizaciones del sistema descrito en la presente memoria incluyen soluciones donde los aerogeneradores y los parques respectivos de la red están acoplados a través de la velocidad media del viento de uno o más sistemas meteorológicos.

Volviendo a la FIG. 11, se ilustra un diagrama de bloques con un sistema informático 100 ejemplar sobre el cual se pueden implementar una o más realizaciones de la solución 1 descrita en la presente memoria y/o metodologías relacionadas. Ejemplos del sistema 100 pueden incluir lógica, uno o más componentes, circuitos (por ejemplo, módulos), mecanismos y similares.

Se entiende que los circuitos son entidades tangibles configuradas para realizar ciertas operaciones. En ciertas realizaciones, los circuitos del sistema 100 pueden estar dispuestos (por ejemplo, internamente o con respecto a entidades externas tales como otros circuitos) de una manera especificada y predeterminada. Uno o más sistemas informáticos (por ejemplo, un sistema informático autónomo, cliente o servidor) y/o uno o más procesadores de hardware (procesadores) del sistema 100 se pueden configurar por software (por ejemplo, instrucciones, una parte de la aplicación o una aplicación) como un circuito que opera para realizar ciertas operaciones como se describe en la presente memoria.

Por ejemplo, en una realización, el software que comprende instrucciones que incorpora la solución 1 del sistema 100 puede residir (1) en un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio o (2) en una señal de transmisión. El software, cuando se ejecuta por el hardware subyacente del circuito, puede hacer que el circuito realice ciertas operaciones. Un circuito en esta realización se puede implementar mecánicamente o electrónicamente. Del mismo modo, un circuito puede comprender circuitería o lógica dedicada que está configurada específicamente para realizar una o más técnicas tales como las tratadas anteriormente, tal como incluir un procesador de propósito especial, una agrupación de puertas programables en campo (FPGA) o un circuito integrado de aplicaciones específicas (ASIC).

En un ejemplo no limitante, un circuito puede comprender lógica programable (por ejemplo, circuitería, que se abarca dentro de un procesador de propósito general u otro procesador programable) que puede ser configurada temporalmente (por ejemplo, mediante software) para realizar ciertas operaciones asociadas con solución 1 descrita anteriormente. Se apreciará que la decisión de implementar un circuito mecánicamente (por ejemplo, en circuitería dedicada y configurada permanentemente) o en circuitería configurada temporalmente (por ejemplo, configurada por software) puede ser conducida por consideraciones de coste y de tiempo.

Por consiguiente, el término "circuito", como se ha descrito, se entiende que abarca una entidad tangible, ya sea una entidad que está construida físicamente, configurada permanentemente (por ejemplo, cableada) o configurada (por ejemplo, programada) temporalmente (por ejemplo, transitoriamente) para operar de una manera específica o para realizar operaciones específicas. En un ejemplo, dada una pluralidad de circuitos configurados temporalmente, cada uno de los circuitos no necesita ser configurado o instanciado en ninguna instancia en el tiempo. Por ejemplo, donde los circuitos comprenden un procesador de propósito general configurado a través de software, el procesador de propósito general se puede configurar como circuitos diferentes respectivos en diferentes momentos. El software, por consiguiente, puede configurar un procesador, por ejemplo, para constituir un circuito particular en una instancia de tiempo y para constituir un circuito diferente en una instancia diferente de tiempo.

En ciertas realizaciones, los circuitos pueden proporcionar información y recibir información de otros circuitos. En este ejemplo, se puede considerar los circuitos como que están acoplados de manera comunicativa a uno o más de otros circuitos. Donde existen múltiples de tales circuitos contemporáneamente, las comunicaciones se pueden

lograr a través de la transmisión de señales (por ejemplo, a través de circuitos y buses apropiados) que conectan los circuitos. En realizaciones en las que se configuran o instancian múltiples circuitos en diferentes momentos, las comunicaciones entre tales circuitos se pueden lograr, por ejemplo, a través del almacenamiento y de la recuperación de información en estructuras de memoria a las que tienen acceso los múltiples circuitos. Por ejemplo, un circuito puede realizar una operación y almacenar la salida de esa operación en un dispositivo de memoria al que está acoplado de manera comunicativa. Un circuito adicional puede entonces, en un tiempo posterior, acceder al dispositivo de memoria para recuperar y procesar la salida almacenada. En un ejemplo, los circuitos se pueden configurar para iniciar o recibir comunicaciones con dispositivos de entrada o salida y pueden operar sobre un recurso (por ejemplo, una recopilación de información).

Las diversas operaciones de ejemplos de métodos del sistema 100 descrito se pueden realizar, al menos parcialmente, mediante uno o más procesadores (por ejemplo, el procesador 102) que están configurados temporalmente (por ejemplo, mediante la incorporación de instrucciones de software 124 de la solución 1) o configurados permanentemente para realizar las operaciones relevantes. Ya sean configurados temporal o permanentemente, tales procesadores pueden constituir circuitos implementados por procesador que operan para realizar una o más operaciones o funciones. En un ejemplo, los circuitos a los que se hace referencia en la presente memoria pueden comprender circuitos implementados por procesador.

De manera similar, los métodos descritos en la solución 1 se pueden implementar, al menos parcialmente, por procesador. Por ejemplo, al menos algunas de las operaciones de un método se pueden realizar por uno o más procesadores o circuitos implementados por procesador. El rendimiento de ciertas de las operaciones se puede distribuir entre el uno o más procesadores, no solamente residir dentro de una única máquina, sino desplegadas a lo largo de una serie de máquinas. En un ejemplo, el procesador o los procesadores se pueden situar en una única ubicación (por ejemplo, dentro de un entorno doméstico, un entorno de oficina o como una granja de servidores), mientras que en otros ejemplos los procesadores se pueden distribuir a lo largo de una serie de ubicaciones.

El uno o más procesadores 102 también puede operar para soportar el rendimiento de las operaciones relevantes en un entorno de "computación en la nube" o como un "software como servicio" (SaaS). Por ejemplo, al menos algunas de las operaciones se pueden realizar por un grupo de ordenadores (como ejemplos de máquinas que incluyen procesadores), y estas operaciones que son accesibles a través de una red (por ejemplo, Internet) y a través de una o más interfaces apropiadas (por ejemplo, Interfaces de Programa de Aplicación (API)).

Los ejemplos (por ejemplo, aparatos, sistemas o métodos relacionados) se pueden implementar en circuitería electrónica digital, en hardware informático, en microprogramas, en software o en cualquier combinación de los mismos. Los ejemplos se pueden implementar usando un producto de programa de ordenador (por ejemplo, un programa de ordenador, incorporado de manera tangible en un portador de información o en un medio legible por ordenador, para la ejecución por, o para controlar la operación de, un aparato de procesamiento de datos tal como un procesador programable, un ordenador o múltiples ordenadores).

Un programa de ordenador que incorpora algunos o todos los procesos descritos anteriormente en la solución 1 se puede reflejar en las instrucciones 124 y se puede escribir en cualquier forma de lenguaje de programación, incluyendo los lenguajes compilados o interpretados, y se puede desplegar de cualquier forma, incluso como un programa autónomo o como un módulo de software, subrutina u otra unidad adecuada para su uso en un entorno informático. Un programa de ordenador se puede desplegar para ser ejecutado en un ordenador o en múltiples ordenadores en un emplazamiento o se puede distribuir en múltiples emplazamientos e interconectar a través de una red de comunicación.

En ciertas realizaciones, las operaciones ejemplares de las instrucciones 124 se pueden realizar por uno o más procesadores programables 102 que ejecutan un programa de ordenador para realizar funciones operando sobre datos de entrada y generando una salida. También se pueden realizar ejemplos de operaciones del método, y se puede implementar el aparato de ejemplo como circuitería lógica de propósito especial (por ejemplo, una agrupación de puertas programables en campo (FPGA) o un circuito integrado de aplicaciones específicas (ASIC)).

El sistema informático 100 puede incluir clientes y servidores que comprenden información de energía tal como datos de potencia generada, datos de potencia de predicción, datos meteorológicos como el viento, la luz solar, o similares, u otros datos que incluyen datos específicamente relacionados con energía renovable. Un cliente y un servidor generalmente están remotos uno de otro y generalmente interactúan a través de una red de comunicación 126. La relación del cliente y del servidor surge en virtud de los programas de ordenador que se ejecutan en los ordenadores respectivos y que tienen una relación cliente-servidor entre sí. En las realizaciones que despliegan un sistema informático programable, se apreciará que las arquitecturas tanto de hardware como de software requieren consideración. Específicamente, se apreciará que la opción de si implementar cierta funcionalidad en hardware configurado permanentemente (por ejemplo, un ASIC), en hardware configurado temporalmente (por ejemplo, una combinación de software y un procesador programable), o una combinación de hardware configurado permanente y temporalmente puede ser una opción de diseño. A continuación, se exponen las arquitecturas de hardware (por ejemplo, el sistema 100) y de software que se pueden desplegar en los ejemplos.

En ciertas realizaciones, el sistema 100 puede operar como un dispositivo autónomo o el sistema 100 se puede conectar (por ejemplo, en red) a otras máquinas. En un despliegue en red, el sistema 100 puede operar en calidad o bien de servidor o bien de máquina cliente en entornos de red servidor-cliente. El sistema 100 puede actuar como una máquina igual en entornos de red entre iguales (u otros distribuidos). El sistema 100 puede ser un ordenador personal (PC), una tableta, un receptor multimedia digital (STB), un Asistente Digital Personal (PDA), un teléfono móvil, un aparato web, un encaminador, un conmutador o un puente de red, o cualquier máquina capaz de ejecutar instrucciones (secuenciales o de otro modo) que especifiquen acciones a ser tomadas (por ejemplo, realizadas) por el sistema 100.

Además, aunque solamente se ilustra un único sistema 100 en la FIG. 11, el término “sistema” también se asumirá que incluye cualquier colección de máquinas o de sistemas que ejecutan, de manera individual o conjunta, un conjunto (o múltiples conjuntos) de instrucciones para realizar una o más de las metodologías tratadas en la presente memoria. El sistema (por ejemplo, sistema informático) 100 ejemplar puede incluir un procesador 102 (por ejemplo, una unidad central de procesamiento (CPU), una unidad de procesamiento de gráficos (GPU) o ambas), una memoria principal 104 y una memoria estática 106, algunos de los cuales o todos pueden comunicarse unos con otros a través de un bus 108. El sistema 100 puede incluir además una unidad de visualización 110, un dispositivo de entrada alfanumérico 112 (por ejemplo, un teclado) y un dispositivo de navegación de interfaz de usuario (UI) 114 (por ejemplo, un ratón). En un ejemplo, la unidad de visualización 110, el dispositivo de entrada 117 y el dispositivo de navegación de UI 114 pueden ser un visualizador de pantalla táctil. El sistema 100 puede incluir adicionalmente un dispositivo de almacenamiento (por ejemplo, unidad de disco) 116, un dispositivo de generación de señal 118 (por ejemplo, un altavoz), un dispositivo de interfaz de red 120 y uno o más dispositivos de entrada 112 operables para transmitir información con servidores de información externos a través de la red para acceder a información tal como datos de potencia generada, datos de potencia de predicción, datos meteorológicos, datos del viento, datos de la luz solar y similares.

El dispositivo de almacenamiento 116 puede incluir un medio legible por ordenador no transitorio 122 en el que se almacena uno o más conjuntos de estructuras de datos o de instrucciones 124 (por ejemplo, software) que se incorporan o utilizan por una cualquiera o más de las metodologías o funciones descritas con respecto a la solución 1. Las instrucciones 124 también pueden residir, completamente o al menos parcialmente, dentro de la memoria principal 104, dentro de la memoria estática 106, o dentro del procesador 102 durante la ejecución de las mismas por el sistema 100. En un ejemplo, una o cualquier combinación del procesador 102, la memoria principal 104, la memoria estática 106 o el dispositivo de almacenamiento 116 pueden constituir medios legibles por ordenador.

Mientras que el medio 122 se ilustra como un único medio, el término “medio legible por ordenador” puede incluir un único medio o múltiples medios (por ejemplo, una base de datos centralizada o distribuida, y/o cachés y servidores asociados) que están configurados para almacenar las una o más instrucciones 124. El término “medio legible por ordenador” también se puede asumir que incluye cualquier medio tangible que sea capaz de almacenar, codificar o transportar instrucciones para su ejecución por el sistema 100 y que haga que el sistema 100 realice una cualquiera o más de las metodologías de la presente descripción o que sea capaz de almacenar, codificar o transportar estructuras de datos utilizadas o asociadas con tales instrucciones.

El término “medio legible por ordenador” se puede asumir, por consiguiente, que incluye, pero no se limita a, memorias de estado sólido y medios ópticos y magnéticos. Ejemplos específicos de medios legibles por ordenador pueden incluir memoria no volátil, incluyendo, a modo de ejemplo, dispositivos de memoria de semiconductores (por ejemplo, Memoria de Solo Lectura Programable Eléctricamente (EPROM), Memoria de Solo Lectura Programable y Borrable Eléctricamente (EEPROM)) y dispositivos de memoria instantánea; discos magnéticos tales como discos duros internos y discos extraíbles; discos magneto ópticos; y discos CD-ROM y DVD-ROM.

Las instrucciones 124 se pueden transmitir o recibir además sobre una red de comunicaciones 126 usando un medio de transmisión a través del dispositivo de interfaz de red 120 utilizando uno cualquiera de una serie de protocolos de transferencia (por ejemplo, retransmisión de tramas, IP, TCP, UDP, HTTP, etc.). Ejemplos de redes de comunicación pueden incluir una red de área local (LAN), una red de área extensa (WAN), una red de paquetes de datos (por ejemplo, Internet), redes de telefonía móvil (por ejemplo, redes celulares), redes de Servicio Telefónico Convencional (POTS) y redes de datos inalámbricas (por ejemplo, la familia de estándares IEEE 802.11 conocida como WiFi^(R), la familia de estándares IEEE 802.16 conocida como WiMax^(R), redes entre iguales (P2P), entre otras. El término “medio de transmisión” se debe asumir que incluye cualquier medio intangible que sea capaz de almacenar, codificar o transportar instrucciones para su ejecución por la máquina, e incluye señales de comunicaciones digitales o analógicas u otro medio intangible para facilitar la comunicación de tal software.

Volviendo a la FIG. 12, se proporciona una visión general esquemática de la solución 1, en donde la solución 1 podría ser un programa tal como las instrucciones 124 para hacer que el sistema 100 ejecute uno o más procesos para gestionar la producción de energía en una red particular en base a una cantidad física tal como el viento en el sistema EirGrid. Por ejemplo, el primer proceso 10 puede incluir uno o más pasos, incluyendo un paso de orden (1-1) que fija n a un número entero igual a 1 o mayor. Un paso de orden (1-2) también se puede incluir en el proceso 10 que hace un cálculo mostrado en una fórmula (1) con respecto a una cantidad física, $P_G(t)$, $P_G(t)$ que se representa como una función del tiempo t y de un valor predicho de la cantidad física, $P_F(t+\tau)$, en un tiempo $t+\tau$ cuando un tiempo fijo τ pasa del tiempo t según la siguiente función: $(|P_F(t+\tau) - P_G(t)|)^n \dots (1)$. Se ha de entender que la función

$P_G(t)$ puede corresponder a la potencia generada para una red en particular, mientras que la función $P_F(t)$ puede corresponder a la potencia de predicción en cuanto a una fuente de energía renovable particular tal como el viento.

El proceso 10 puede incluir la ejecución de un paso de orden (1-3) que calcula un primer valor promedio como un valor promedio de la fórmula (1) cuando el tiempo t se varía durante un período fijo. También se puede ejecutar un paso de orden (1-4) que calcula un primer valor promedio cuando se varía τ . Un paso de orden (1-5) se puede ejecutar por el programa que realiza del paso de orden (1-1) al paso de orden (1-4) al menos una vez para el número entero que es diferente del número entero n en el paso de orden (1-1). También se puede ejecutar un paso de orden (1-6) que calcula un error de escalado de tiempo según un valor numérico del número entero n desde el primer valor promedio calculado en el paso de orden (1-4) y el primer valor promedio calculado en el paso de orden (1-5).

La solución 1 de la FIG. 12 también puede incluir un segundo proceso 20 que incluye un paso de orden (2-1) que fija n al número entero igual o mayor que 1. El proceso 20 también puede incluir un paso de orden (2-2) que hace un cálculo mostrado en la fórmula (2) con respecto a la cantidad física, $P_G(t)$ representada como la función del tiempo t y de la cantidad física, $P_G(t+\tau)$ en el tiempo $t+\tau$ cuando el tiempo fijo τ pasa del tiempo t , $(|P_G(t+\tau) - P_G(t)|)^n \dots (2)$. También se puede incluir un paso de orden (2-3) en el proceso 20 que calcula un segundo valor promedio como el valor promedio de la fórmula (2) cuando el tiempo t se varía durante el período fijo.

Se puede incluir un paso de orden (2-4) en el proceso 20 que calcula un segundo valor promedio cuando se varía el tiempo τ . También se puede incluir un paso de orden (2-5) que hace una evaluación para determinar si el segundo valor promedio es proporcional a τ^A y calcula A cuando es proporcional. También se puede incluir un paso de orden (2-6) que realiza del paso de orden (2-1) al paso de orden (2-5) al menos una vez para el número entero que es diferente del número entero n en el paso de orden (2-1). También se puede incluir un paso de orden (2-7) que calcule una pendiente A cuando la relación entre la A calculada en el paso de orden (2-5) y el paso de orden (2-6) y el número entero n sea aproximada como una línea lineal.

La solución 1 de la FIG. 12 que se puede incorporar en las instrucciones 124 también puede incluir un tercer proceso 30 que incluye un paso de orden (3-1) que realiza del paso de orden (1-1) al paso de orden (1-4) del primer proceso 10. También se puede incluir un paso de orden (3-2) en el proceso 30 que determina si el primer valor promedio es proporcional a τ^B y calcula B cuando es proporcional. También se puede incluir un paso de orden (3-3) en el proceso 30 que realiza el paso de orden (3-1) y el paso de orden (3-2) al menos una vez para el número entero que es diferente del número entero n en el paso de orden (3-1). Se puede incluir un paso de orden (3-4) que calcule una pendiente B cuando la relación entre la B calculada en el paso de orden (3-2) y el paso de orden (3-3) y el número entero n sea aproximada como una línea lineal.

La solución 1 de la FIG. 12 que se puede incorporar en las instrucciones 124 también puede incluir un cuarto proceso 40 que tiene un paso de orden (4-1) que calcula un error de escalado a partir de una diferencia entre la pendiente A calculada en el paso de orden (2-7) y la pendiente B calculada en el paso de orden (3-4). Este error de escalado entonces se puede introducir en una variedad de sistemas de operador de red para una estimación precisa de la generación de potencia de predicción para una fuente de energía particular. En ciertas realizaciones, las cantidades físicas P_G y/o P_F descritas anteriormente con respecto a los procesos 10 a 40 se pueden derivar a partir de una fuerza del viento usada para la generación de energía eólica, la luz solar usada para la producción de energía solar o la rotación de cualquier turbina de energía renovable girada por energía que ocurre naturalmente (por ejemplo, turbinas hidráulicas hechas rotar por el flujo de agua). La solución 1 de la FIG. 12 se puede ejecutar siendo descargada desde un servidor o siendo accedida localmente en un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio local.

Finalmente, se puede incluir un quinto proceso 50 en la solución 1 de la FIG. 12 para analizar el error de escalado de tiempo y el error de escalado. Esta información analizada se puede usar entonces para determinar un valor predicho de las cantidades físicas $P_F(t)$ y $P_G(t)$ usadas en la red de energía. Como se ha indicado, el proceso físico usado para calcular las cantidades físicas $P_F(t)$ y $P_G(t)$ podría ser cualquier fuente de energía renovable, tal como la fuerza del viento, la luz solar y similares.

Volviendo a la FIG. 13, se proporciona una visión general esquemática de la solución 1' similar a la solución 1 de la FIG. 12. Por consiguiente, la solución 1' podría ser un programa tal como las instrucciones 124 para hacer que el sistema 100 ejecute uno o más procesos para gestionar la producción de energía en una red particular en base a una cantidad física tal como el viento en el sistema EirGrid. Un primer proceso 10' puede incluir un módulo para introducir un conjunto de datos definido por una tendencia de potencia generada identificada $P_G(t)$ y por una tendencia de potencia de predicción identificada $P_F(t)$ de la red de energía a lo largo de un período de tiempo. También se puede incluir un segundo proceso 20' en la solución 1' para producir una estructura estadística, en donde la estructura estadística se puede producir comparando las tendencias $P_G(t)$ y $P_F(t)$ y analizando el conjunto de datos para identificar las variaciones del error temporal definidas por las fluctuaciones temporales correlacionadas descritas previamente.

También se puede incluir un tercer proceso 30' en la solución 1' para calcular un error de predicción dependiente del tiempo definido por los errores de escalado de tiempo y de escalado tratados previamente en base a la estructura

estadística derivada del proceso físico (por ejemplo, el viento). Finalmente, se puede incluir un cuarto proceso 40' en la solución 1' para analizar el error de predicción dependiente del tiempo para determinar un valor predicho de las fluctuaciones de energía del proceso físico asociado con las tendencias $P_G(t)$ y $P_F(t)$ para optimizar la gestión de la energía que fluye en un particular.

A menos que se especifique claramente lo contrario, no hay ningún requisito para cualquier actividad o elemento particular descrito o ilustrado, para cualquier secuencia particular o para tales actividades, para cualquier tamaño particular, velocidad, material, duración, contorno, dimensión o frecuencia, o para cualquier interrelación en particular de tales elementos. Además, cualquier actividad se puede repetir, cualquier actividad se puede realizar por múltiples entidades y/o cualquier elemento se puede duplicar. Además, cualquier acto o elemento puede ser excluido, la secuencia de actividades puede variar y/o la interrelación de elementos puede variar.

Los sistemas y los métodos descritos en la presente memoria son independientes de un modelo y/o un sistema específico con componentes físicos requeridos. El sistema y el método descritos en la presente memoria funcionarán ventajosamente para cualquier señal cuyas fluctuaciones posean una estructura estadística, que a su vez puede ser explotada para cuantificar el error de predicción. El sistema y el método descritos en la presente memoria ventajosamente no dependen de la tasa de muestreo de la señal particular y, en su lugar, se pueden aplicar más allá de la energía eólica a cualquier fuente de energía renovable que posea fluctuaciones correlacionadas temporalmente.

Se debería apreciar que cualquiera de los componentes, procesos y pasos a los que se hace referencia se pueden formar de manera integral o separada unos con otros en un único medio de almacenamiento legible por ordenador o interconectar, directa o indirectamente, sobre una o más redes, según sea necesario o requerido. Además, se pueden implementar funciones o estructuras redundantes de los componentes o módulos. Cualquiera de las características descritas en la presente memoria y sus componentes tratados en la presente memoria pueden asumir todas las formas para proporcionar y satisfacer las demandas ambientales, estructurales y con los requisitos operacionales. Además, las ubicaciones y alineaciones de los diversos componentes pueden variar según se desee o se requiera.

Las configuraciones específicas se pueden variar según especificaciones de diseño particulares o restricciones que requieran un sistema o un método construido según los principios de la tecnología descrita. Tales cambios se pretende que estén abarcados dentro del alcance de la tecnología descrita. Las realizaciones descritas actualmente, por lo tanto, se consideran en todos los aspectos que son ilustrativas y no restrictivas. El alcance de la presente solución está indicado por las reivindicaciones adjuntas, más que por la descripción precedente, y todos los cambios que entran dentro del significado y del rango de equivalentes de los mismos se pretende que estén abarcados en las mismas.

Las definiciones de las palabras o elementos de las siguientes reivindicaciones están, por lo tanto, definidas en esta especificación no solamente para incluir la combinación de elementos que se exponen literalmente. También se contempla que se pueda hacer una sustitución equivalente de dos o más elementos por uno cualquiera de los elementos en las reivindicaciones a continuación, o que un único elemento se pueda sustituir por dos o más elementos en una reivindicación. Aunque los elementos se pueden describir anteriormente como que actúan en ciertas combinaciones e incluso reivindicar inicialmente como tales, se ha de entender expresamente que uno o más elementos de una combinación reivindicada en algunos casos se puede escindir de la combinación y que la combinación reivindicada se puede dirigir a una subcombinación o variación de una subcombinación o subcombinaciones.

Lo que se ha descrito anteriormente incluye ejemplos de una o más realizaciones. Por supuesto, no es posible describir todas las combinaciones imaginables de componentes o metodologías con propósitos de describir las realizaciones antes mencionadas, pero un experto en la técnica puede reconocer que son posibles muchas combinaciones y permutaciones adicionales de las diversas realizaciones.

Referencias

Las siguientes referencias de patentes, publicaciones y de bibliografía no de patente que se enumeran a continuación pueden utilizar los aspectos descritos en las siguientes referencias, solicitudes, publicaciones y patentes y que se incorporan por este medio por referencia en la presente memoria en su totalidad (y que no se admite que sean la técnica anterior con respecto a la presente descripción por inclusión en esta sección), incluyendo las siguientes:

MacKay D J C 2009 Sustainable Energy-Without the HotAir (Cambridge: UIT Cambridge); Milan P, Wachter M y Peinke J 2013 Phys. Rev. Lett. 110 138701; Apt J 2007 J. Power Sources 169 369; Calif R, Schmitt F G y Huang Y 2014 Geophys. Res. Abstr. 16 15443; Wiser R, Yang Z, Hand M, Hohmeyer O, Infield D, Jensen P H, Nikolaev V, O'Malley M, Sinden G y Zervos A 2011 Wind energy IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (Cambridge: Cambridge University Press); Jacobson M Z y Delucchi M A 2009 Sci. Am. 301 58; Katzenstein W, Fertig E y Apt J 2010 Energy Policy 38 4400;

- <http://eirgrid.com/operations/systemperformancedata/windgeneration/>; Asociación de Energía Eólica Irlandesa (<http://iwea.com/faqs>); Muzy J F, Baile R y Poggi P 2010 Phys. Rev. E 81 056308; Lovejoy S, Schertzer D y Stanway J D 2001 Phys. Rev. Lett. 86 5200; Lueken C, Cohen G E y Apt J 2012 Environ. Sci. Technol. 46 9761; Katzenstein W y Apt J 2012 Energy Policy 51 233; Matos M A y Bessa R J 2011 IEEE Trans. Power Syst. 26 594; Tande J O G 2000 Appl. Energy 65 395; Albadi M H y El-Saadany E F 2010 Electr. Power Syst. Res. 80 627; Fabbri A, Gomez San Roman T, Abbad R y Quezada V H M 2005 IEEE Trans. Power Syst. 20 1440; Parsons B P, Milligan M, Zavadil B, Brooks D, Kirby B, Dragoon K y Caldwell J 2004 Wind Energy 7 87; Costa A, Crespo A, Navarro J, Lizcano G, Madsen H y Feitosa E 2008 Renew. Sustainable Energy Rev. 12 1725; Doherty Rand O'Malley M 2005 IEEE Trans. Power Syst. 20 587; Bludszuweit H, Domínguez-Navarro J A y Llombart A 2008 IEEE Trans. Power Syst. 23 983; Hodge B M y Milligan M 2011 NREL Report No.: NREL/CP-5500-50614; Hodge B M, Ela E G y Milligan M 2012 Wind Eng. 23 509; Hodge B M et al 2012 Wind power forecasting error distributions: an international comparison Tech. Rep National Renewable Energy Laboratory; Wu J, Zhang B, Li Z, Chen Y y Miao X 2014 Electr. Power Energy Syst. 55 100; Madsen H, Pinson P, Kariniotakis G, Nielsen H A y Nielsen T S 2009 Wind Eng. 29 475; Lange M 2005 J. Sol. Energy Eng. 127 177; Katul G G y Chu C R 1994 Phys. Fluids 6 2480; Weber C 2010 Energy Policy 38 3155; Lang S C, Mohrlen J, Jorgensen B, Gallachoir O y McKeogh E 2006 Forecasting total wind power generation on the republic of ireland grid with a multi-scheme ensemble prediction system Proc. Global Wind Energy Conf. GWECAdelaide; Lang S y McKeogh E 2009 Wind Eng. 33 433-48; German TSO Intraday Market: www.epexspot.com/en/product-info/Intraday/germany; Kolmogorov AN 1941 Dokl. Akad. Nauk SSSR 32 16; Frisch U 1995 Turbulence: The Legacy of A. N. Kolmogorov (Cambridge: Cambridge University Press); Bandi M M, Goldburg W I, Cressman J R y Pumir A 2006 Phys. Rev. E 73 026308; Samorodnitsky G y Taqqu M S 1994 Stable Non-Gaussian Random Processes (Nueva York: Chapman and Hill); Anselmet F, Gagne Y, Hopfinger E J y Antonia R A 1984 J. Fluid Mech. 140 63; Anselmet F y Antonia R A 1984 J. Fluid Mech. 140 63; Mandelbrot B y Hudson R L 2004 The Misbehaviour of Markets: A Fractal View of Financial Turbulence (Nueva York: Basic Books); Chen S Y, Dhruva B, Kurien S, Sreenivasan K R y Taylor M A 2005 J. Fluid Mech. 533 183; Larkin J, Bandi M M, Pumir A y Goldburg W I 2009 Phys. Rev. E 80 066301; Calif R, Schmitt R y Huang Y 2013 Physica A 392 4106; Kuznetsov V R, Praskovsky AA y Sabelnikov V A 1992 J. Fluid Mech. 243 595; Billinton R y Allan R 1996 Reliability Evaluation of Power Systems (Nueva York: Plenum); Pesch T, Schrodgers S, Allelein H J y Hake J F 2015 New J. Phys. 17 055011; Bel G y Ashkenazy Y 2013 New J. Phys. 15 053024; y Levy P 1954 Theorie de l'addition des variables aleatoires (Gauthier Villars: Paris).

REIVINDICACIONES

1. Un método de determinación de un error de predicción dependiente del tiempo en una red de energía, el método que comprende:

introducir un conjunto de datos definido por una tendencia de potencia generada identificada y una tendencia de potencia de predicción identificada de la red de energía a lo largo de un período de tiempo, cada una de las tendencias de potencia generada y de predicción identificadas que se basa en un proceso físico;

producir una estructura estadística comparando las tendencias de potencia generada y de predicción identificadas y analizar el conjunto de datos para identificar variaciones de error temporal definidas por fluctuaciones temporales correlacionadas entre la tendencia de potencia generada y la tendencia de potencia de predicción identificadas;

calcular el error de predicción dependiente del tiempo compuesto por un error de escalado de tiempo y un error de escalado en base a la estructura estadística derivada del proceso físico, en donde el error de escalado de tiempo es un error, que está constituido por un fallo de predicción a corto plazo, altas variaciones de la señal de frecuencia de la tendencia de potencia generada, y en donde el error de escalado es una diferencia en los exponentes de escalado entre la tendencia de potencia generada y la tendencia de potencia de predicción identificadas, en donde los exponentes de escalado que representan una estructura fractal de fluctuaciones; y

analizar el error de predicción dependiente del tiempo para determinar un valor predicho de las fluctuaciones de energía del proceso físico asociado con las tendencias de potencia generada y de predicción identificadas usadas para gestionar la red de energía,

en donde cuando las fluctuaciones definidas por la turbulencia presentan un escalado fractal, el método que comprende además: cuantificar las fluctuaciones correlacionadas con un exponente de escalado usando una función de estructura predeterminada, y

en donde la función de estructura predeterminada está definida por $S_n(\tau) = \langle [x(t+\tau) - x(t)]^n \rangle$, en donde cada función variable en el tiempo $x(t)$ en el tiempo t se resta de una señal variable en el tiempo $x(t+\tau)$ en un tiempo posterior $(t+\tau)$ de modo que una diferencia absoluta determine una de la pluralidad de las fluctuaciones correlacionadas.

2. El método de la reivindicación 1, en donde el proceso físico es la energía eólica, en donde la red de energía comprende una pluralidad de parques eólicos distribuidos geográficamente que tienen uno o más aerogeneradores, y en donde el período de tiempo se mide usando una tasa de muestreo $1/\Delta t$.

3. El método de la reivindicación 2, en donde las fluctuaciones correlacionadas se definen por la turbulencia atmosférica, o

en donde las fluctuaciones correlacionadas se definen por la velocidad del viento asociada con uno o con todos los parques eólicos distribuidos geográficamente de la red.

4. El método de la reivindicación 2, que comprende además: utilizar la estructura estadística en un núcleo de memoria para reducir los errores de escala de tiempo y de escalado.

5. El método de la reivindicación 2, en donde las fluctuaciones correlacionadas incluyen datos asociados con aerogeneradores de la pluralidad de parques eólicos distribuidos geográficamente.

6. El método de la reivindicación 2, en donde el análisis de las tendencias identificadas ignora las diferencias entre la pluralidad de parques eólicos distribuidos geográficamente y uno o más parques eólicos adicionales añadidos a la red de energía, o

en donde el análisis de las tendencias identificadas ignora las diferencias entre la variabilidad estacional de la energía eólica.

7. El método de la reivindicación 2, que comprende además: identificar las tendencias de potencia generada y de predicción; y frecuencias de transformada de Fourier inversa que tienen amplitudes máximas, y en donde las tendencias de potencia generada y de predicción se identifican usando una transformada de Fourier rápida.

8. El método de la reivindicación 7, que comprende además:

determinar un número de amplitudes máximas en el dominio de frecuencia después de la transformación de Fourier que contribuye a que se varíen las tendencias identificadas;

analizar el número de amplitudes máximas a través del período de tiempo para dividir el período de tiempo en una pluralidad de ventanas independientes; y

calcular las funciones de estructura para cada ventana para determinar la variación entre las tendencias de potencia generada y de predicción identificadas,

en donde una función de estructura se define por $S_n(\tau) = \langle [x(t+\tau) - x(t)]^n \rangle$, en donde cada función variable en el tiempo $x(t)$ en el tiempo t se resta de una señal variable en el tiempo $x(t+\tau)$ en un tiempo posterior $(t+\tau)$ de modo que una diferencia absoluta determine una de la pluralidad de las fluctuaciones correlacionadas.

9. El método de la reivindicación 8, que comprende además:

introducir una tendencia de potencia de predicción modificada en la estructura estadística en base a la tendencia de potencia de predicción identificada y modificada con un núcleo de memoria que disminuye exponencialmente derivado de la tendencia de potencia generada identificada.

10. El método de la reivindicación 2, que comprende además:

usar una función de autocorrelación entre la tendencia de potencia generada y la tendencia de potencia de predicción identificadas para determinar un tiempo de disminución característico; e

introducir el tiempo de disminución característico en la estructura estadística.

11. El método de la reivindicación 2, que comprende además:

medir las diferencias de velocidad del viento entre una pluralidad de puntos definidos espacialmente y separados por cada parque eólico en una distancia respectiva;

calcular un integrando de las diferencias de velocidad del viento medidas como $(\Delta x)^n \prod (\Delta x)$ y determinar si una función de densidad de probabilidad está disminuyendo más rápido que $|\Delta x|$ se aproxima a infinito; y

determinar una descorrelación exponencial a través de la tasa de muestreo $1/\Delta t$.

12. Un sistema para determinar un error de predicción de una fuente de energía renovable, el sistema que comprende:

una serie de tiempo de potencia generada para la generación de potencia derivada de la fuente de energía renovable;

una serie de tiempo de potencia de predicción para la energía de predicción a ser derivada de la fuente de energía renovable;

un sistema informático que comprende:

un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende una memoria y un programa en la memoria para hacer que un ordenador ejecute al menos los siguientes pasos:

introducir un conjunto de datos definido por una tendencia de potencia generada identificada y por una tendencia de potencia de predicción identificada de una red de energía a lo largo de un período de tiempo, cada una de las tendencias de potencia generada y de predicción identificadas que se basa en un proceso físico asociado con la fuente de energía renovable;

producir una estructura estadística comparando las tendencias de potencia generada y de predicción identificadas y analizar el conjunto de datos para identificar variaciones de error temporal definidas por las fluctuaciones temporales correlacionadas entre la tendencia de potencia generada y la tendencia de potencia de predicción identificadas; y

calcular un error de predicción dependiente del tiempo compuesto por un error de escalado de tiempo y de un error de escalado en base a la estructura estadística derivada del proceso físico, en donde el error de escalado de tiempo es un error, que está constituido por la falta de predicción a corto plazo, las altas variaciones de la señal de frecuencia de la tendencia de potencia generada, y en donde el error de escalado es una diferencia en los exponentes de escalado entre la tendencia de potencia generada y la tendencia de potencia de predicción identificadas,

en donde los exponentes de escalado que representan una estructura fractal de las fluctuaciones; y

un procesador acoplado operativamente al medio de almacenamiento legible por ordenador para ejecutar el programa;

en donde el programa está adaptado de manera que las fluctuaciones temporales correlacionadas se analicen para cuantificar el error de predicción dependiente del tiempo de las fluctuaciones de energía del proceso físico

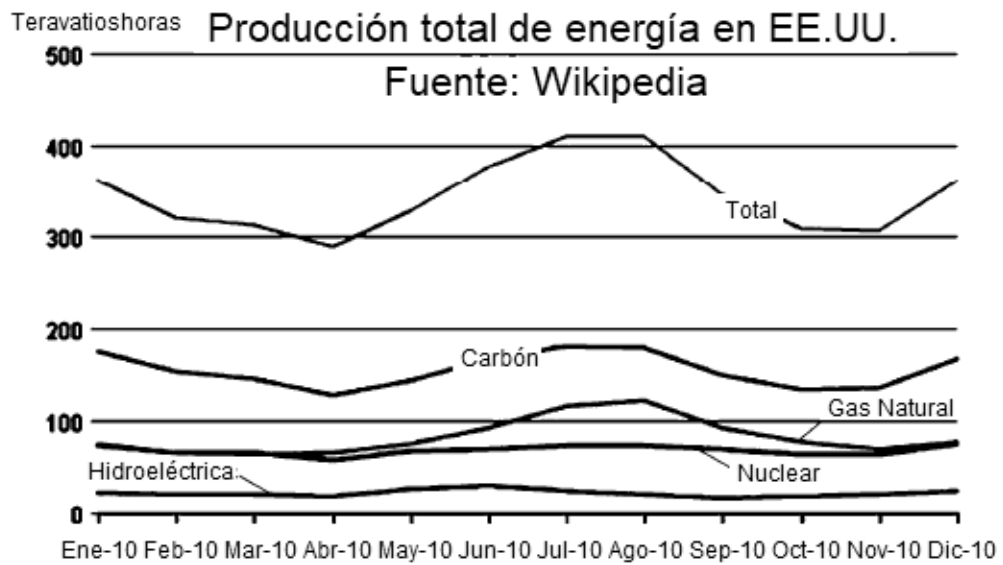
definido por las desviaciones entre (a) los componentes de alta frecuencia de las series de tiempo de potencia de predicción y generada y (b) error de escalado,

5 en donde cuando las fluctuaciones definidas por la turbulencia presentan un escalado fractal, el método que comprende además: cuantificar las fluctuaciones correlacionadas con un exponente de escalado usando una función de estructura predeterminada, y

en donde la función de estructura predeterminada está definida por $S_n(\tau) = \langle [|x(t+\tau) - x(t)|]^n \rangle$, en donde cada función variable en el tiempo $x(t)$ en el tiempo t se resta de una señal variable en el tiempo $x(t+\tau)$ en un tiempo posterior $(t+\tau)$ de modo que el valor absoluto de la diferencia determine una de la pluralidad de fluctuaciones correlacionadas.

10

[Fig. 1]

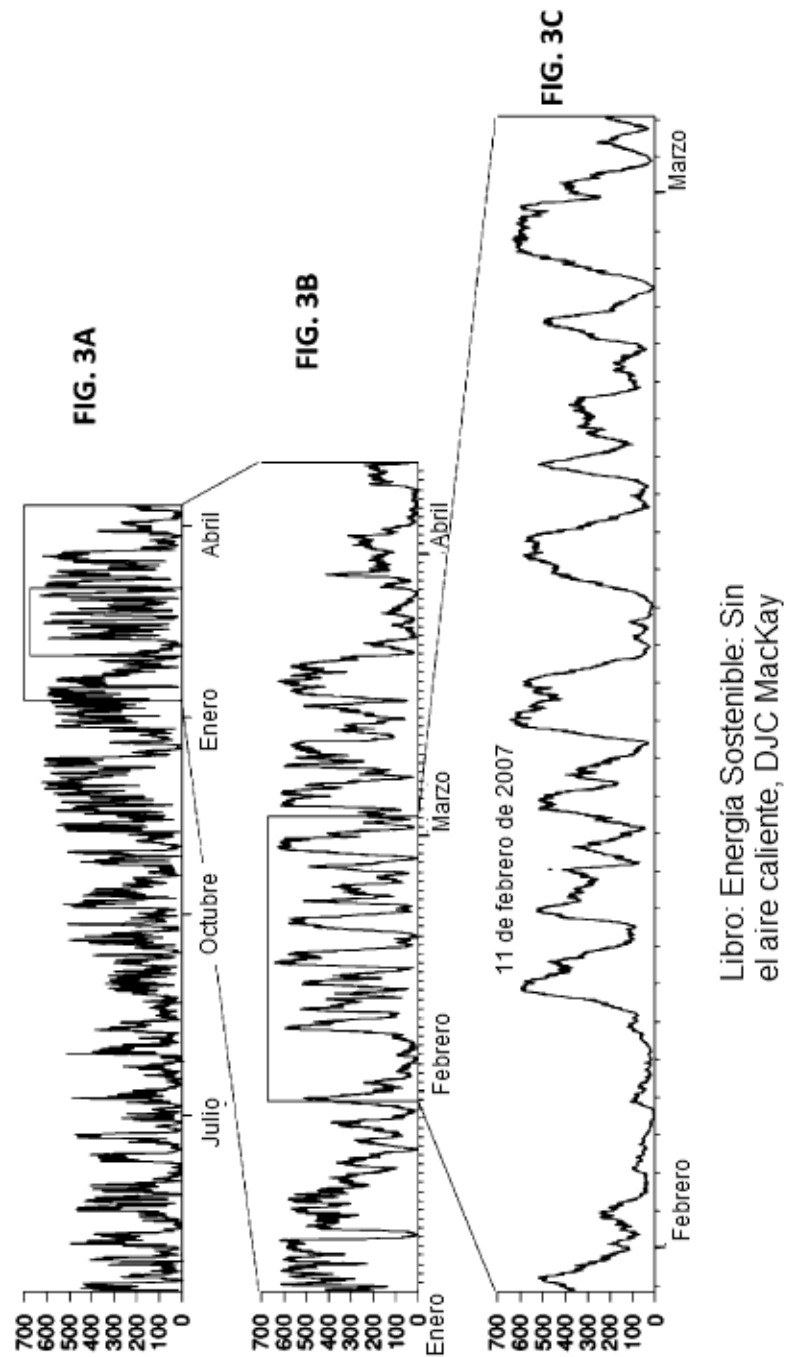


[Fig. 2]

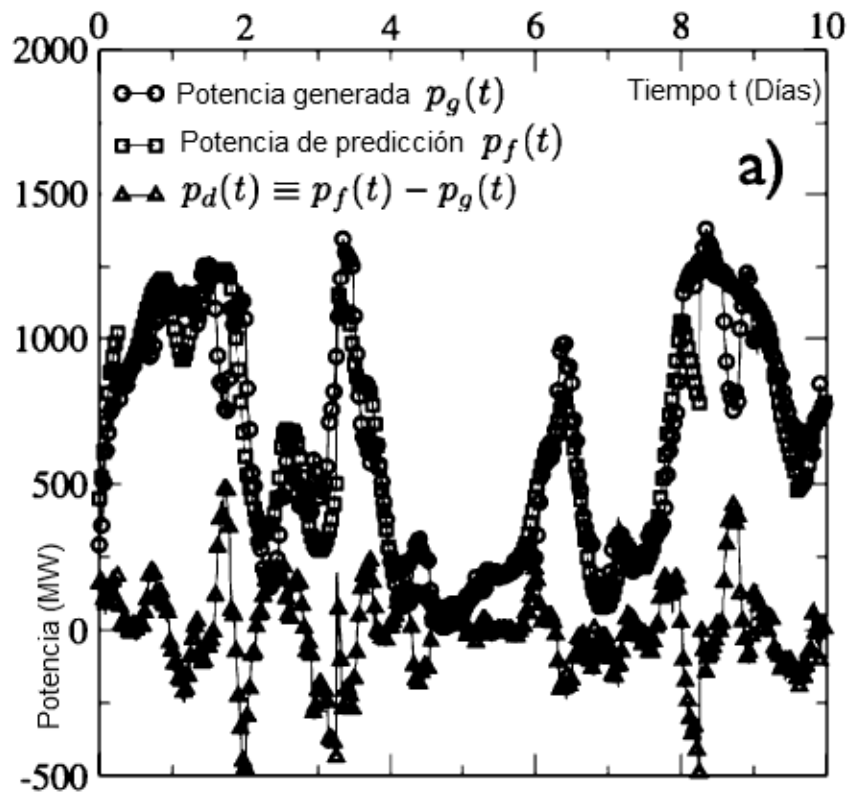


Libro: Energía Sostenible: Sin el aire caliente, DJC MacKay

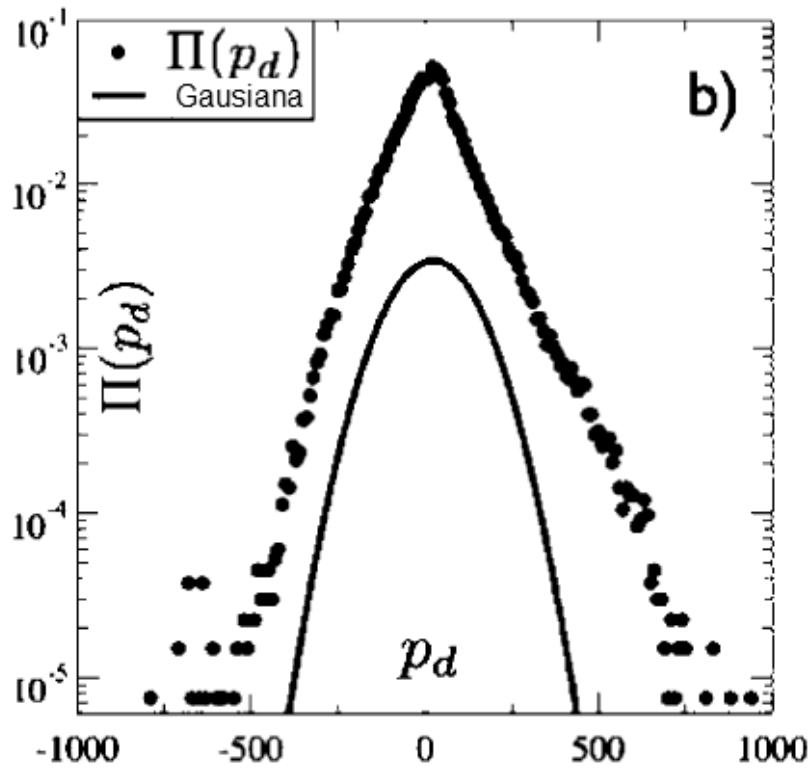
[Fig. 3]



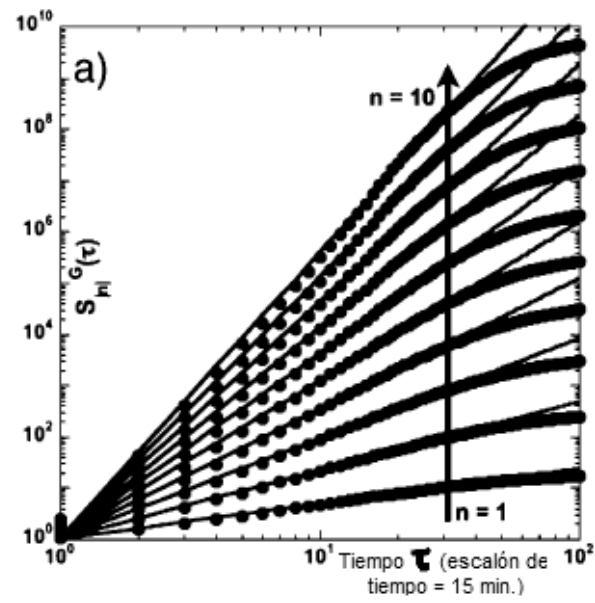
[Fig. 4]



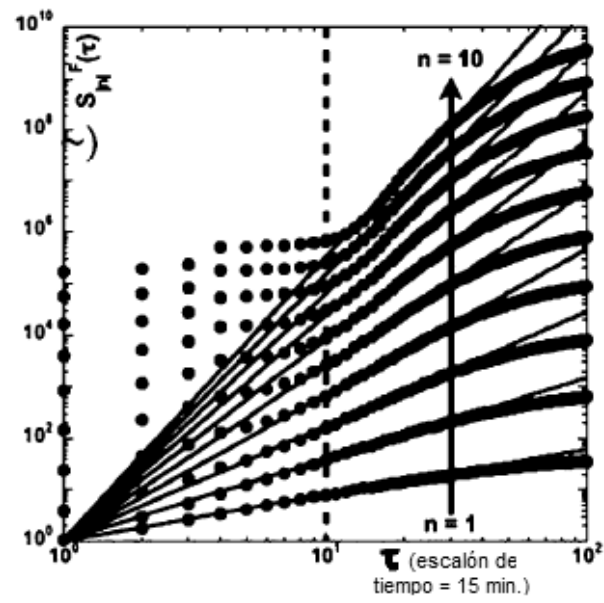
[Fig. 5]



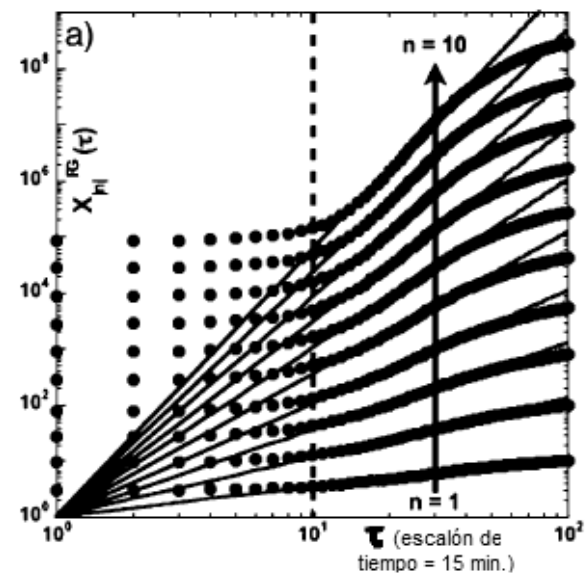
[Fig. 6]



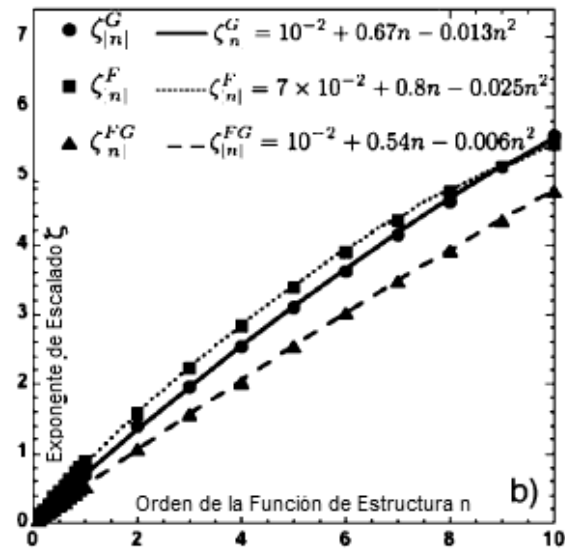
[Fig. 7]



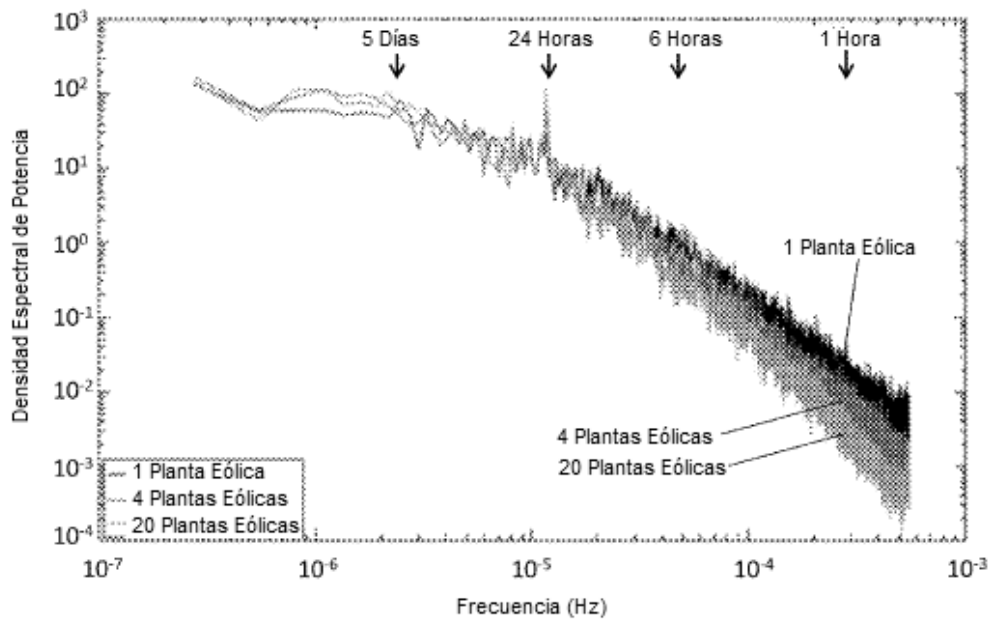
[Fig. 8]



[Fig. 9]

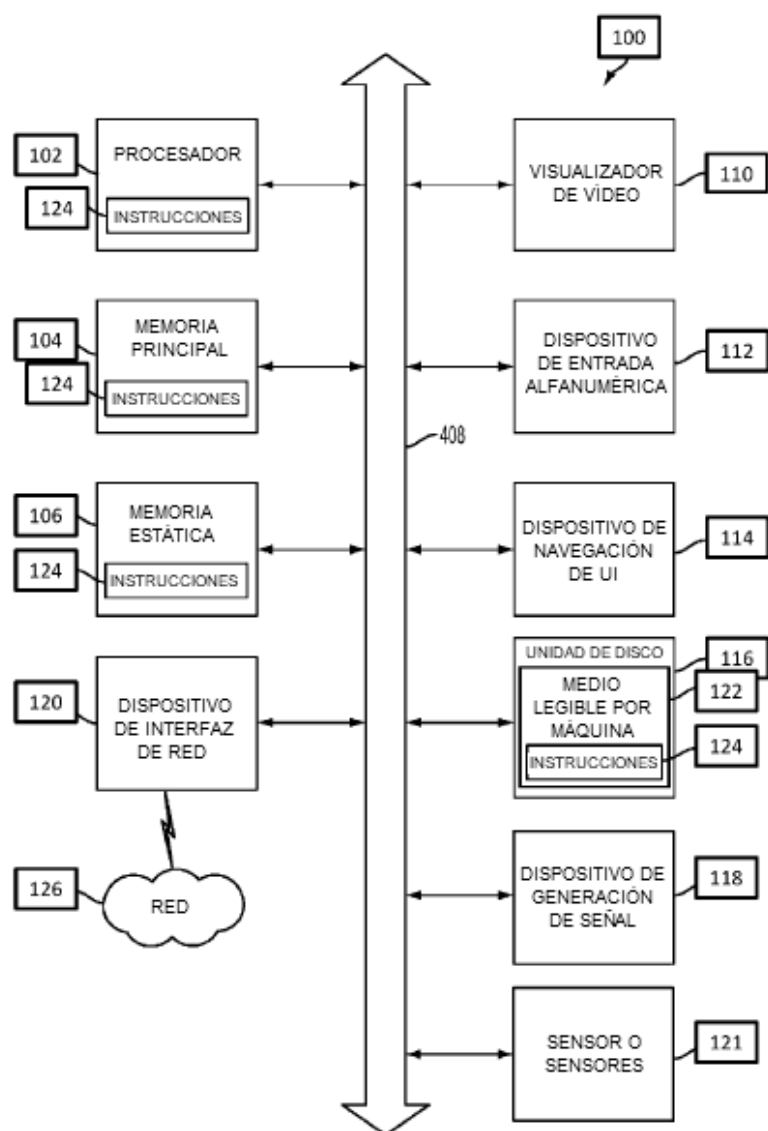


[Fig. 10]

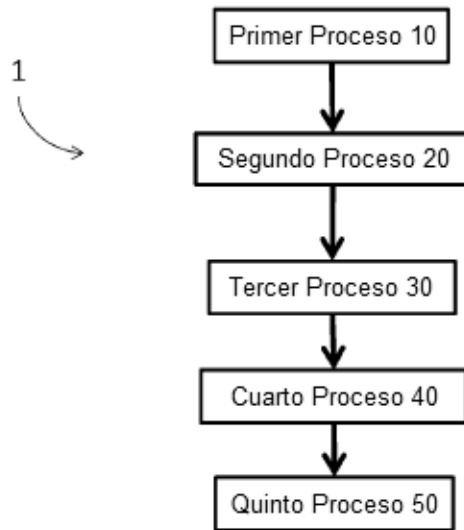


Katzenstein W, Fertig E y Apt J Política de Energía 2010 38 4400

[Fig. 11]



[Fig. 12]



[Fig. 13]

