

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 750**

51 Int. Cl.:

H01M 10/46 (2006.01)

H01M 10/48 (2006.01)

F03D 9/11 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.08.2011 PCT/DK2011/050319**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.03.2012 WO12028147**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.08.2011 E 11758110 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2016 EP 2612025**

54 Título: **Método e implementación de un estimador rápido en tiempo real de la vida útil restante de una batería para aplicaciones de energía eólica**

30 Prioridad:

31.08.2010 US 872581

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

16.03.2017

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**HOFFMAN, JASON;
ZHANG, JIANHUI y
VIASSOLO, DANIEL**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 605 750 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

Método e implementación de un estimador rápido en tiempo real de la vida útil restante de una batería para aplicaciones de energía eólica

5 **Antecedentes**

10 La presente solicitud se refiere en general a la generación de energía eléctrica y, más específicamente, a la estimación de la vida útil de batería consumida y/o vida útil de batería restante de una batería usada en una aplicación de energía eólica.

15 Un sistema de energía eólica o granja eólica a escala comercial incluye un grupo de turbinas eólicas que funcionan colectivamente como una planta de generación para producir energía eléctrica sin el consumo de combustibles fósiles. La producción de energía eólica a partir de una turbina eólica o granja eólica particular es menos consistente que la producción de energía a partir de plantas de generación que queman combustibles fósiles. Como resultado, la energía procedente de las turbinas eólicas que funcionan en condiciones nominales en una granja eólica puede no satisfacer los requisitos de producción de la planta de generación eléctrica. Por ejemplo, la energía desde la planta de generación eléctrica puede no seguir las previsiones de energía debido a errores de previsión. Como otro ejemplo, la tasa de producción de energía de una planta de generación eléctrica puede estar fuera de un rango deseado debido a ráfagas de viento. Un enfoque convencional para tratar con estas y otras situaciones similares es usar controles para gestionar la operación de la granja eólica, tales como utilizar el control de paso de las palas del rotor para incrementar o disminuir la energía producida por las turbinas eólicas individuales.

25 Los sistemas tradicionales de energía eólica a escala comercial no son fuentes de electricidad que puedan conectarse o desconectarse cíclicamente a petición de los operadores de la red eléctrica. Por esa razón, una granja eólica puede incluir un dispositivo de almacenamiento de energía, tal como una o más baterías recargables, que están vinculadas con la red eléctrica y que pueden ayudar a satisfacer los requisitos de producción de energía para la planta de generación eléctrica. Cuando hay picos de demanda de energía, las turbinas eólicas de la granja eólica introducirán su energía directamente a la red. Cuando la demanda de energía disminuye, el exceso de energía de las turbinas eólicas puede almacenarse en dispositivos de almacenamiento de energía y descargarse posteriormente a demanda para aliviar cualquier déficit en los requerimientos de producción de la planta de generación eléctrica.

35 El patrón de los ciclos de carga y descarga para generadores intermitentes, tales como las turbinas eólicas, puede ser irregular. En cualquier caso, una batería que experimente como promedio una única carga y descarga diaria durante veinte años en una granja eólica acumulará aproximadamente 7.300 ciclos. Como resultado, las baterías candidatas usadas en granjas eólicas deben caracterizarse por largos tiempos de vida útil. La vida útil de la batería depende tanto de la profundidad de la descarga como de la tasa de descarga, así como de otros factores tales como la temperatura, estrategia de carga, etc.

40 Una estimación precisa de la vida útil restante de la batería (VRB) puede ser importante para baterías usadas en aplicaciones de almacenamiento de energía para energía eólica. Por ejemplo, conocer la VRB puede encontrar un uso en la realización de ajustes apropiados para las estrategias de control de la batería de modo que la vida útil de la batería sea mayor que el tiempo de vida útil de la granja eólica. Como otro ejemplo, conocer la VRB puede ser útil en el contexto de la supervisión y pronóstico de la batería a efectos de planificación de mantenimiento o sustitución de la batería.

50 La estimación de la vida útil de batería restante y el óptimo dimensionamiento de las baterías es un planteamiento difícil. Para determinar la vida útil restante de la batería, primero debe determinarse la vida útil ya consumida de la batería. Típicamente, los fabricantes pueden suministrar datos sobre la vida útil de la batería que indiquen el número proyectado de ciclos hasta el fallo en función de la profundidad de la descarga. Sin embargo, el uso directo de datos de vida útil de batería suministrados por el fabricante puede llevar a grandes errores en la estimación del tiempo de vida útil de la batería, cuando la batería se usa en una granja eólica, debido al patrón altamente irregular de la carga y descarga. Estos grandes errores pueden dar como resultado o bien un coste más elevado del sistema o bien la especificación de una batería infradimensionada proclive a fallos prematuros.

60 Se divulga un método en el documento WO 2008/148148 en donde el sistema de almacenamiento de energía incorpora baterías de flujo de redox de vanadio para almacenar la energía renovable o electricidad fuera de picos desde la red para alimentar una carga durante las horas en las que la electricidad está a un precio elevado, hay baja insolación solar o baja velocidad del viento. El sistema incluye un sistema de control que usa un algoritmo con lógica de control que permite que el sistema de almacenamiento de energía de batería redox de vanadio funcione en modo automático para garantizar un funcionamiento seguro y un tiempo de vida de ciclos máximo. Adicionalmente, el documento EP 1 450 173 divulga un método que incluye la detección de los ciclos de carga y descarga con respecto a su número y profundidad, de modo que para cada ciclo de carga y descarga se determina un valor característico de envejecimiento usando un perfil de envejecimiento característico para el tipo de batería respectivo y sumando los valores característicos de envejecimiento individuales a un valor de envejecimiento para la batería.

Se necesitan técnicas mejoradas para la estimación de la vida útil consumida de batería y, por lo tanto, la vida útil restante de batería de una batería usada para una aplicación de granja eólica.

Breve resumen

5 En una realización de la invención una planta de generación eléctrica incluye una granja eólica con una pluralidad de turbinas eólicas configuradas para generar energía para una red eléctrica, un sistema de almacenamiento de energía, y un controlador acoplado en comunicación con el sistema de almacenamiento de energía y en comunicación con la pluralidad de turbinas eólicas de la granja eólica. El sistema de almacenamiento de energía
10 incluye una batería recargable configurada para cargarse selectivamente por medio de las turbinas eólicas o la red eléctrica y configurada para descargarse selectivamente a la red eléctrica. El controlador está configurado para implementar un primer algoritmo para calcular una primera vida útil de batería consumida por la batería. El controlador está configurado para usar una curva característica de vida de batería de la batería como una primera entrada al primer algoritmo y un estado de perfil de carga como una segunda entrada al primer algoritmo.

15 En otra realización de la invención, se proporciona un método implementado por ordenador para la estimación del tiempo de vida útil de una batería utilizada en una planta de generación eléctrica que incluye una granja eólica. El método incluye el cálculo de una primera vida útil de batería consumida para la batería con un primer algoritmo, el suministro de una curva de vida útil de batería para la batería como una primera entrada al primer algoritmo usado
20 en el cálculo de la primera vida útil de batería consumida, y el suministro de un perfil del estado de carga para la batería como una segunda entrada para el primer algoritmo usado en el cálculo de la primera vida útil de batería consumida.

25 El método puede implementarse como un producto de programa informático en el que las instrucciones para la realización del método se almacenan en un medio de almacenamiento legible por ordenador.

Breve descripción de varias vistas de los dibujos.

30 Los dibujos adjuntos, que se incorporan a, y constituyen una parte de, la presente memoria, incluyen varias realizaciones de la invención y, junto con una descripción general de la invención dada anteriormente y la descripción detallada de las realizaciones dada a continuación, sirve para explicar las realizaciones de la invención.

La FIG. 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica.

35 La FIG. 2 es una vista en perspectiva de una parte de la turbina eólica de la FIG. 1 en la que la góndola está parcialmente abierta para exponer estructuras alojadas en el interior de la góndola.

La FIG. 3 es una vista en diagrama de una planta de generación eléctrica que incluye una granja eólica, un dispositivo de almacenamiento de energía, y un controlador de la planta de generación eléctrica de acuerdo con una realización de la invención.

La FIG. 4 es otra vista en diagrama de una planta de generación eléctrica de la FIG. 3.

40 La FIG. 5 es una vista gráfica del estado de carga en función del tiempo para una batería representativa cuando la batería se carga y descarga durante la operación en una granja eólica.

La FIG. 5A es una vista detallada de una parte de la FIG. 5.

La FIG. 6 es una vista gráfica de los datos de vida útil de la batería para la batería representativa de la FIG. 5.

45 La FIG. 7 es un diagrama de flujo para estimación de vida útil de batería consumida de acuerdo con una realización de la invención.

La FIG. 8 es un diagrama de flujo para estimación de vida útil de batería consumida de acuerdo con otra realización de la invención.

Descripción detallada

50 Con referencia a las FIGS. 1 y 2 y de acuerdo con una realización de la invención, una turbina eólica 10, que se describe como una máquina de eje horizontal, incluye una torre 12, una góndola 14 dispuesta en la cima de la torre 12, y un rotor 16 acoplado operativamente a un generador 20 alojado dentro de la góndola 14. Además del generador 20, la góndola 14 aloja componentes diversos requeridos para convertir la energía eólica en energía
55 eléctrica y varios componentes necesarios para operar, controlar y optimizar el rendimiento de la turbina eólica 10. La torre 12 soporta la carga presentada por la góndola 14, el rotor 16, y otros componentes de la turbina eólica 10 que están alojados dentro de la góndola 14 sobre una cimentación subyacente. La torre 12 de la turbina eólica 10 funciona también para elevar la góndola 14 y rotor 16 a una altura por encima del nivel del suelo o nivel del mar, según sea el caso, en el que se encuentran típicamente corrientes de aire moviéndose más rápido de menor
60 turbulencia.

El rotor 16 incluye un buje central 22 y una pluralidad de palas 24 fijadas al buje central 22 en localizaciones circunferencialmente distribuidas alrededor del buje central 22. En la realización representativa, el rotor 16 incluye una pluralidad de tres palas 24 pero el número puede variar. Las palas 24, que se proyectan radialmente al exterior
65 desde el buje central 22, se configuran para interactuar con corrientes de aire que pasan para producir sustentación aerodinámica que provoca que el buje central 22 gire alrededor de su eje longitudinal. El diseño, construcción y

operación de las palas 24 son familiares para una persona experta en la materia. Por ejemplo, cada una de las palas 24 se conecta al buje central 22 a través de un mecanismo de cambio de paso que permite que la pala cambie de paso bajo el control de un controlador de paso. La góndola 14 y rotor 16 se acoplan mediante un cojinete con la torre 12 y se usa un sistema motorizado de orientación (no mostrado) para mantener el rotor 16 alineado con la dirección del viento.

Un árbol 26 de accionamiento de baja velocidad se acopla mecánicamente en un extremo con el buje central 22 del rotor 16 y se extiende dentro de la góndola 14. El árbol de accionamiento 26 de baja velocidad está soportado giratoriamente por un conjunto de cojinete principal 28 acoplado a la estructura de la góndola 14. El árbol de accionamiento 26 de baja velocidad se acopla a una caja de engranajes 30 que tiene como entrada el eje de accionamiento 26 de baja velocidad, y que tiene como salida el árbol de accionamiento 32 de alta velocidad que se acopla operativamente al generador 20. El generador 20 puede ser cualquier tipo de generador síncrono o generador asíncrono tal como reconocerá un experto en la materia y se entiende que generalmente es una máquina eléctrica giratoria que convierte la energía mecánica en energía eléctrica mediante la creación de un movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor.

El viento que supera un nivel mínimo activa el rotor 16 y provoca que las palas 24 giren en un plano sustancialmente perpendicular a la dirección del viento. El par positivo transferido desde el rotor 16 al generador 20 hace que el generador 20 transforme la energía mecánica en una energía eléctrica de CA de modo que la turbina eólica 10 aprovecha la energía cinética del viento para generar energía. La turbina eólica 10 se caracteriza por una curva de potencia que describe la potencia producida, generada en función de la velocidad del viento y la turbina eólica 10 se opera con reconocimiento de las velocidades del viento de inicio, nominal y de corte.

Con referencia a las FIGS. 3 y 4, una planta de generación eléctrica 40 incluye un parque eólico o granja eólica 42 que contiene un grupo de turbinas eólicas 10a, 10b ubicadas en una localización física común y un sistema de almacenamiento de energía 44, así como un controlador 46 de la planta de generación eléctrica que proporciona un control de supervisión sobre la planta de generación eléctrica 40. La planta de generación eléctrica 40 está eléctricamente conectada con una red eléctrica 48, que puede ser una red eléctrica trifásica. Cada una de las turbinas eólicas 10a, 10b tiene una construcción similar o idéntica a la construcción de la turbina eólica 10 representativa. La granja eólica 42 puede contener turbinas eólicas adicionales (no mostradas) como las turbinas eólicas 10a, 10b representativas de modo que el número total de turbinas eólicas en la granja eólica 42 es arbitrario dentro de lo razonable. En varias realizaciones, la granja eólica 42 puede incluir de diez (10) a un centenar (100), o más, de turbinas eólicas distribuidas a lo largo de decenas de kilómetros cuadrados de área de terreno.

Se configura un convertidor de potencia 34, 35 para recibir una tensión de CA generada por el generador 20 de cada una de las turbinas eólicas 10a, 10b y para suministrar una tensión de CA a la red eléctrica 48. Cada una de las turbinas eólicas 10a, 10b incluye un controlador 36, 38 de turbina eólica que gestiona la operación de los componentes y subsistemas de la turbina eólica. En un aspecto de la gestión de la turbina, cada uno de los controladores 36, 38 de la turbina eólica se pone en comunicación con uno respectivo de los convertidores de potencia 34, 35 y genera señales de control para la salida de potencia que se suministra por los convertidores de potencia 34, 35. En respuesta a las señales de control, cada convertidor de potencia 34, 35 rectifica la tensión de CA desde el generador 20 de la turbina eólica 10a, 10b para obtener una tensión de CC filtrada y a continuación convierte la tensión de CC a una tensión de CA a la frecuencia constante deseada (por ejemplo 50 Hz o 60 Hz) que se entrega como una corriente alterna (CA) trifásica a la red eléctrica 48. Los controladores 36, 38 de la turbina eólica pueden controlar las funciones de otros sub-controladores que controlan localmente partes de cada turbina eólica 10a, 10b, tales como el control de paso sobre las palas 24 del rotor 16.

El sistema de almacenamiento de energía 44 incluye una batería 50, un convertidor de potencia 52, y un controlador 54 de almacenamiento de energía que gestiona la operación del convertidor de potencia 52. La batería 50 se conecta con la red eléctrica 48 y está en una disposición en paralelo con los generadores 20 de las turbinas eólicas 10a, 10b en la granja eólica 42. El controlador 54 de almacenamiento de energía se pone en comunicación con el convertidor de potencia 52 y genera señales de control que se proporcionan como órdenes al convertidor de potencia 52.

En una realización representativa, la batería 50 puede incluir una o más baterías recargables de almacenamiento electroquímico que incluyen, pero sin limitarse a, baterías de sulfuro de sodio, baterías de ion de litio, y baterías redox de vanadio.

El controlador 54 de almacenamiento de energía, en conjunto con los controladores 36, 38 de la turbina eólica, controla la capacidad de la batería 50 para recibir y almacenar energía desde las turbinas eólicas 10a, 10b en una granja eólica 42. El exceso de energía producido por las turbinas eólicas 10a, 10b puede almacenarse en la batería 50. En respuesta a señales de control desde los controladores 36, 38 de la turbina eólica, los convertidores de potencia 34, 35, 52 se configuran para dirigir la energía producida por los generadores 20 de las turbinas eólicas 10a, 10b o desde la red eléctrica 48 a la batería 50.

Con la dirección de las señales de control recibidas desde el controlador 54 de almacenamiento de energía el convertidor de potencia 52 puede dirigirse para descargar energía almacenada de una manera controlada como una tensión de CC desde la batería 50 al convertidor de potencia 52. El convertidor de potencia 52, que es similar a los convertidores de potencia 34, 35, se configura para recibir la salida de tensión de CC desde la batería 50, filtrar la tensión de CC y a continuación convertir la tensión de CC filtrada a una tensión de CA a la frecuencia constante apropiada. La tensión de CA se entrega entonces desde el sistema de almacenamiento de energía 44 como una energía de CA trifásica a la red eléctrica 48.

El controlador 46 de la planta de generación eléctrica está conectado en comunicación con los controladores 36, 38 de la turbina eólica de la granja eólica 42. El viento interactúa con las turbinas eólicas 10a, 10b, como se ha explicado anteriormente, para generar energía eléctrica a partir del par suministrado desde el rotor 16 al generador 20. Se usan señales de control desde el controlador 46 de la planta de generación eléctrica por cada uno de los controladores 36, 38 de turbina eólica para variar dinámicamente las salidas respectivas de las turbinas eólicas 10a, 10b de la granja eólica 42 para cumplir con ciertos requisitos de producción sobre la energía eléctrica generada. En respuesta a una señal de control recibida desde el controlador 46 de la planta de generación eléctrica, cada uno de los controladores 36, 38 de turbina eólica puede, por ejemplo, controlar la orientación de la góndola 14 y del rotor 16, y controlar el paso de las palas 24 para limitar la velocidad de rotación de la turbina eólica 10a, 10b respectiva.

El controlador 46 de la planta de generación eléctrica está conectado en comunicación con el controlador 54 de almacenamiento de energía que da servicio al sistema de almacenamiento de energía 44. Se usan señales de control desde el controlador 46 de la planta de generación eléctrica por el controlador 54 de almacenamiento de energía para regular el funcionamiento de la batería 50 y del convertidor de potencia 52. En particular, las señales de control desde el controlador 46 de la planta de generación eléctrica se usan para regular la descarga de energía desde la batería 50 del sistema de almacenamiento de energía 44, así como la carga de la batería 50 con la energía transferida desde las turbinas eólicas 10a, 10b o desde la red eléctrica 48.

El controlador 46 de la planta de generación eléctrica se configura para controlar una cantidad de la producción de energía eléctrica desde la planta de generación eléctrica 40 a la red eléctrica 48 en un punto de conexión común 62. La producción de energía desde la planta de generación eléctrica 40 incluye típicamente una contribución desde cada una de las turbinas eólicas 10 en la granja eólica 42 y puede incluir una contribución desde el sistema de almacenamiento de energía 44. En una subestación, un transformador incrementa la tensión de la corriente eléctrica que llega desde la granja eólica 42 para su conexión sobre las líneas de transmisión de alta tensión a la red eléctrica 48.

Al menos un sensor 58 mide datos variables en el tiempo desde el sistema de almacenamiento de energía 44 para generar una información de estado variable en el tiempo para los valores que se refieren a la operativa de la batería 50. El al menos un sensor 58 puede supervisar varios parámetros de la batería 50 y puede incluir sensores de tensión, sensores de corriente y/o cualquier otro sensor que detecte datos relevantes para el funcionamiento de la batería 50. Las lecturas desde el al menos un sensor 58 se comunican mediante un flujo de señales al controlador 46 de la planta de generación eléctrica y se correlacionan en el controlador 46 de la planta de generación eléctrica con el estado del sistema de almacenamiento de energía 44.

Continuando con la referencia a las FIGS. 3 y 4, el controlador 46 de la planta de generación eléctrica es un sistema de supervisión y control que puede implementarse usando al menos un procesador 66 seleccionado de entre microprocesadores, microcontroladores, microordenadores, procesadores de señales digitales, unidades de procesamiento central, matrices de puertas programables sobre el terreno, dispositivos lógicos programables, máquinas de estado, circuitos lógicos, circuitos analógicos, circuitos digitales y/o cualesquiera otros dispositivos que manipulen señales (analógicas y/o digitales) basándose en instrucciones operacionales que se almacenan en una memoria 68. La memoria 68 puede ser un dispositivo de memoria único o una pluralidad de dispositivos de memoria que incluyen, pero sin limitarse a, memorias de acceso aleatorio (RAM), memoria volátil, memoria no volátil, memoria de acceso aleatorio estático (SRAM), memoria de acceso aleatorio dinámico (DRAM), memoria flash, memoria caché y/o cualquier otro dispositivo capaz de almacenar información digital. El controlador 46 de la planta de generación eléctrica tiene un dispositivo de almacenamiento masivo 70 que puede incluir una o más unidades de disco duro, unidades de disco flexible u otros discos extraíbles, dispositivos de almacenamiento de acceso directo (DASD), unidades ópticas (por ejemplo, una unidad de CD, una unidad de DVD, etc.) y/o unidades de cinta, entre otros.

El procesador 66 del controlador 46 de la planta de generación eléctrica funciona bajo el control de un sistema operativo, y ejecuta o se basa de otra forma en un código de programa informático implementado en diversas aplicaciones de software, componentes, programas, objetos, módulos, estructuras de datos, etc. informáticos. El código de programa informático que reside en la memoria 68 y se almacena en el dispositivo de almacenamiento masivo 70 incluye también un primer algoritmo estimador 72 de la vida útil de batería restante (VRB) y un segundo algoritmo estimador 74 de la vida útil de batería restante (VRB) que, cuando se ejecuta en el procesador 66, proporciona una estimación rápida, y preferentemente en tiempo real, de la vida útil de batería restante de la batería 50. El código de programa informático comprende típicamente una o más instrucciones que residen en varios momentos en la memoria 68, y que, cuando se leen y ejecutan mediante el procesador 66, hacen que el controlador

46 de la planta de generación eléctrica realice las etapas necesarias para ejecutar etapas o elementos que implementan las diversas realizaciones y aspectos de la invención.

5 Varios códigos de programa descritos en el presente documento, pueden identificarse basándose en la aplicación dentro de la que se implementa en una realización específica de la invención. Sin embargo, se debería apreciar que cualquier nomenclatura de programa particular que sigue se usa meramente por conveniencia, y por ello la invención no debería limitarse solamente a su uso en cualquier aplicación específica identificada y/o implicada en dicha nomenclatura. Adicionalmente, dado el número típicamente interminable de maneras en las que pueden organizarse los programas informáticos en rutinas, procedimientos, métodos, módulos, objetos y similares, así como las diversas maneras en las que puede asignarse la funcionalidad del programa entre varias capas de software que residen dentro de un ordenador típico (por ejemplo, sistemas operativos, librerías, API, aplicaciones, applets, etc.), debe apreciarse que la invención no está limitada a la organización y asignación específica de la funcionalidad del programa descrito en el presente documento.

15 A efectos de gestión de energía y controles de regulación, el controlador 46 de la planta de generación eléctrica puede configurarse con una interfaz 76 de entrada/salida (E/S) para recibir varios tipos de datos de entrada desde fuentes externas a la planta de generación eléctrica 40 a través de una red aplicable 60 tal como, por ejemplo, una red de área local (LAN), una red de área grande (WAN), Internet, una red inalámbrica, etc. que emplee un protocolo de comunicación adecuado. En particular, el controlador 46 de la planta de generación eléctrica puede recibir un punto de consigna global para la producción de potencia desde una fuente externa, tal como un SCADA, sobre la red 60 usando un protocolo de SCADA apropiado.

25 El controlador 46 de la planta de generación eléctrica incluye una interfaz humana - máquina (IHM) 78 que se conecta operativamente al procesador 66 de una manera convencional. La IHM 78 puede incluir dispositivos de salida, tales como pantallas alfanuméricas, una pantalla táctil, y otros indicadores visuales, y dispositivos y controles de entrada, tales como un teclado alfanumérico, un dispositivo puntero, alfombrillas táctiles, pulsadores, botones de control, etc., capaces de aceptar órdenes o entradas desde un operador y comunicar la entrada introducida al procesador 66, y de visualizar información al operador.

30 El controlador 46 de la planta de generación eléctrica incluye una interfaz de sensor 80 que permite al controlador 46 de la planta de generación eléctrica comunicar con el sensor 58. La interfaz del sensor 80 puede ser o puede comprender uno o más convertidores analógico a digital configurados para convertir señales analógicas desde el sensor 58 en señales digitales para su uso por el procesador 66 del controlador 46 de la planta de generación eléctrica.

35 Continuando con la referencia a las FIGS. 3 y 4, el controlador 46 de la planta de generación eléctrica usa los algoritmos 72, 74 del estimador de la VRB para estimar la vida útil de batería consumida para la batería 50 y, a partir de la vida útil de batería consumida, los algoritmos 72, 74 del estimador de la VRB pueden estimar la vida útil de batería restante para la batería 50. La estimación de la vida útil de batería consumida para la batería 50 se basa en información histórica o datos para la batería 50 en la que la información histórica refleja el patrón de uso de ciclos de carga y descarga pasados. La estimación de la vida útil de batería consumida determinada por los algoritmos 72, 74 del estimador de la VRB puede convertirse en la vida útil de batería restante dependiendo de la aplicación proyectada para la batería 50. Como apreciará un experto en la materia, un estimador es una función medible de los datos en forma de ciclos de carga/descarga que se usa para inferir el valor de un parámetro desconocido, en este caso la vida útil de batería consumida de la batería 50, en un modelo estadístico.

50 En cualquier instante del tiempo, la batería 50 se caracteriza por un estado de carga (EDC) que refleja el nivel de carga de la batería 50 o, en otras palabras, la capacidad de carga disponible restante de la batería 50 expresada numéricamente como una fracción de la capacidad de carga nominal. Un EDC de 1,0 indica que la batería 50 está totalmente cargada, un EDC de cero (0) indica que la batería 50 está totalmente descargada, y un EDC (por ejemplo 0,35) entre totalmente descargada y totalmente cargada indica que la batería 50 está solo parcialmente cargada. El EDC para la batería 50 puede determinarse midiendo la tensión de batería con el sensor 58 y convirtiendo la tensión de batería mediante un cálculo usando una curva de descarga conocida de tensión en función del EDC para la batería 50. El EDC puede compensarse para corregir la temperatura y/o corriente de la batería. Alternativamente, el EDC para la batería 50 puede determinarse midiendo la corriente de la batería en función del tiempo y convirtiendo la corriente de la batería con un cálculo que integra la corriente de la batería en el tiempo. El controlador 46 de la planta de generación eléctrica puede usarse para calcular el EDC de la batería 50.

60 La profundidad de la descarga (PDD) es una cantidad alternativa para su uso en la caracterización del estado de carga de la batería 50 y se determina a partir de los cambios en el EDC de la batería 50. La PDD representa la cantidad de capacidad de carga eliminada de la batería 50 cargada y la cantidad de capacidad de carga repuesta a continuación, a la batería 50 cargada expresada numéricamente como una fracción de la capacidad de carga nominal para la batería 50. Una PDD unidad (1) indica que la batería 50 se descarga totalmente y a continuación se carga totalmente, y una PDD entre 0 y 1 indica que la batería 50 solo se carga parcialmente y se descarga parcialmente.

Alternativamente, el EDC y la PDD pueden expresarse en términos de amperios-hora en lugar de la fracción de la capacidad nominal o como un porcentaje. Por ejemplo, la eliminación de 250 amperios-hora de la batería 50 de 1000 amperios-hora nominales y la adición posterior de 250 amperios-ahora a la batería 50 da como resultado una PDD de 0,25 tal como se expresa en el presente documento.

5 Puede determinarse un perfil de EDC a partir de las lecturas de uno o más parámetros supervisados por el al menos un sensor 58. El perfil del EDC es una curva que representa el EDC en función del tiempo y representa los datos históricos que reflejan el patrón de uso para la batería 50.

10 En una realización, se calcula una primera estimación para la vida útil de batería consumida y/o restante para la batería 50 por el procesador 66 del controlador 46 de la planta de generación eléctrica usando el algoritmo 72 estimador de la VRB y un perfil de EDC para la batería 50, y una segunda estimación para la vida útil de batería consumida y/o restante de la batería 50 se calcula mediante el procesador 66 del controlador 46 de la planta de generación eléctrica usando el algoritmo 74 estimador de la VRB y un perfil de EDC para la batería 50. Los cálculos pueden ejecutarse en paralelo y el controlador 46 de la planta de generación eléctrica puede introducir una curva de vida útil de batería característica de la batería 50 a ambos algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB además del perfil del estado de carga. En una realización, la estimación para la vida útil de batería restante de la batería 50 se calcula como una media ponderada de la vida útil de batería consumida y/o restante estimada por el algoritmo 72 estimador de la VRB y la vida útil de batería consumida y/o restante estimada por el algoritmo 74 estimador de la VRB. Matemáticamente, para la realización representativa de estimaciones individuales determinada por los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB, la estimación final para la vida útil de batería restante para la batería 50 viene dada por:

$$VRB = W1 * VRB1 + W2 * VRB2$$

25 en la que VRB es una estimación de datos fusionados, VRB1 es una primera estimación que representa la vida útil de batería consumida y/o restante calculada usando el algoritmo 72 estimador de la VRB, W1 es un coeficiente o ponderación correspondiente en la combinación, VRB2 es la segunda estimación que representa la vida útil de batería consumida y/o restante calculada usando el algoritmo 74 estimador de la VRB, y W2 un coeficiente o ponderación correspondiente en la combinación. La expresión matemática usada para calcular el VRB de la batería 50 es una combinación convexa, que es una combinación lineal de VRB1 y VRB2 determinada por los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB, y en la que los coeficientes W1, W2 no son negativos y suman la unidad (1).

35 Aunque la realización representativa se basa en dos algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB, otras realizaciones no están limitadas a ello. En realizaciones alternativas no cubiertas por la presente invención, W2 puede fijarse igual a cero (0) de modo que la VRB es igual a VRB1 o W1 puede fijarse igual a cero (0) de modo que la VRB sea respectivamente igual a VRB1 o la VRB igual a VRB2. En este caso, se usa un estimador simple para determinar la vida útil de batería restante de la batería 50. En otras realizaciones alternativas, pueden usarse más de dos algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB en la combinación convexa con una ponderación asignada a la estimación individual determinada para cada uno de los algoritmos. Además, el algoritmo matemático usado para calcular la VRB puede diferir de la ecuación para una combinación convexa.

45 El proceso de la FIG. 4 es un método de fusión de datos en el que los datos VRB1, VRB2 producidos por los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB individuales se combinan de una manera que da una mejor estimación, VRB, de la vida útil de batería consumida. La vida útil de batería consumida puede representarse como un número efectivo de ciclos que difiere del número histórico de ciclos para carga y descarga y que está influida por la profundidad de la descarga para cada ciclo individual en el patrón irregular de carga y descarga para la batería 50.

50 Como se ha mencionado anteriormente, los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB pueden estimar también la cantidad de vida útil de batería restante a partir de la estimación de la vida útil de batería consumida. Las estimaciones de vida útil de batería restante en términos de un número de ciclos o un periodo de tiempo están supeditadas a la previsión de las aplicaciones y usos futuros de la batería 50.

55 Con referencia a las FIGS. 5 y 7 de acuerdo con una realización representativa de la invención, el algoritmo 72 estimador de la VRB puede basarse en la premisa del concepto de una PDD equivalente y el uso de una curva de vida útil de batería para la batería 50.

60 La FIG. 7 muestra un diagrama de flujo 100 que ilustra una secuencia de operaciones para el controlador 46 de la planta de generación eléctrica para estimar la vida útil de batería consumida a partir de un perfil del EDC consistente con una realización de la invención. En el bloque 102, se supervisa la tensión y/o corriente de salida de la batería 50 por el sensor 58 en una escala de tiempo dada para lecturas discretas. El controlador 46 de la planta de generación eléctrica recibe las lecturas del sensor a través de la interfaz del sensor 80. En el bloque 104, el procesador 66 del controlador 46 de la planta de generación eléctrica ejecuta el algoritmo 72 estimador de la VRB para calcular el EDC en función del tiempo basándose en los parámetros supervisados. El cálculo del EDC se ejecuta partir del tiempo en que la batería 50 entra en servicio hasta el tiempo actual de evaluación.

- El perfil de EDC resultante de la batería 50 para el periodo de tiempo representativo de su vida útil de servicio se muestra en la FIG. 5. Las variaciones en el EDC a lo largo del tiempo, reflejan un patrón típico de ciclos de carga y descarga para la batería 50 debido a la generación de energía intermitente e irregular por parte de las turbinas eólicas 10a, 10b de la granja eólica 42. El perfil del EDC en la FIG. 5 puede representar una parte de un perfil del EDC acumulado a lo largo de toda su vida útil de servicio para la batería 50, que puede almacenarse y mantenerse mediante el controlador 46 de la planta de generación eléctrica. El algoritmo 72 estimador de la VRB puede emplearse de forma incremental, tal como semanalmente, para calcular los perfiles del EDC incrementales que el controlador 46 de la planta de generación eléctrica almacena y mantiene, como un perfil de EDC acumulado.
- En el bloque 106, el algoritmo 72 estimador de la VRB se usa para calcular un número de ciclos a partir del perfil de EDC acumulado, incluyendo la parte mostrada en la FIG. 5. El algoritmo 72 estimador de la VRB puede ejecutar esta tarea, por ejemplo, semanalmente y almacenar los resultados en una base de datos u otra estructura de almacenamiento de datos del dispositivo de almacenamiento masivo 70. Específicamente, se identifica un cierto número de ciclos para carga y descarga a partir de la curva del perfil de EDC para la batería 50 (bloque 106). Cada ciclo viene determinado por la aparición de un máximo local para el EDC en la curva. Este máximo refleja los puntos de inflexión en la curva por donde la carga de la batería transita a una descarga de batería. En la FIG. 5A, son evidentes ocho (8) máximos en la curva a través del intervalo desde 135 horas a 155 horas. El número de ciclos viene determinado por el número total de máximos en la curva. Alternativamente, cada ciclo puede determinarse a partir del perfil de EDC de una manera diferente. Por ejemplo, cada ciclo se determina por la aparición de un mínimo local para el EDC en la curva. Estos mínimos reflejan puntos de inflexión en la curva por donde la descarga de la batería transita a carga de la batería. Sobre el breve intervalo de la FIG. 5A, son evidentes ocho (8) mínimos en la curva. El número de ciclos viene determinado por el número total de mínimos en la curva a lo largo del intervalo desde 135 horas a 155 horas.
- En el bloque 108, el algoritmo 72 estimador de la VRB se usa para calcular un número de ciclos efectivo a partir de los datos de la curva en el perfil de EDC. Cada ciclo efectivo viene dado por una integral lineal de la curva para cada segmento del perfil de EDC que produce un ciclo efectivo con una PDD del 100 %. Como simple ejemplo numérico, cinco ciclos en la curva con una PDD del 20 % producen un ciclo efectivo. Naturalmente, el patrón real de ciclos de carga/descarga en el perfil del EDC es más complejo que este ejemplo simple. Para el breve intervalo de la FIG. 5A, por ejemplo, el número de ciclos efectivos es aproximadamente igual a tres (3).
- En el bloque 110, el algoritmo 72 estimador de la VRB se usa para calcular una PDD equivalente a partir del número de ciclos efectivos determinados en el bloque 108 y del número de ciclos determinados en el bloque 106. En una realización representativa, la PDD equivalente viene definida por una relación simple del número de ciclos efectivos respecto al número de ciclos o, dicho de otro modo, el cociente determinado a partir del número de ciclos efectivos como el dividendo y el número de ciclos como el divisor. Para el corto intervalo de la FIG. 5A, la PDD equivalente es igual a tres (3) ciclos efectivos dividido por ocho (8) ciclos, o 0,375.
- En el bloque 112, el algoritmo 72 estimador de la VRB introduce una curva de vida útil de batería (FIG. 6) para la batería 50 en la PDD equivalente determinada en el bloque 110 para calcular el número máximo de ciclos para la batería 50. Normalmente la curva de vida útil de batería la suministra o está disponible por medio del vendedor o fabricante de la batería 50. La curva de vida útil de batería se suministra al algoritmo 72 estimador de la VRB como, por ejemplo, una tabla de búsqueda 86 mantenida en la memoria del controlador 46 de la planta de generación eléctrica. El ciclo de vida útil, en función de la PDD para la batería 50, como se muestra en la FIG. 6, indica el número de ciclos, a una profundidad de descarga especificada, a los que puede someterse la batería 50 antes de que falle para cumplir con una capacidad especificada o un criterio de rendimiento eficiente. En particular, los datos de vida útil de batería contenidos en la curva reflejan el número proyectado de ciclos hasta el fallo en función de la profundidad de descarga. Los datos de vida útil de batería se presentan con la suposición de que todos los ciclos de descarga están bajo unas condiciones de temperatura, corriente y profundidad de descarga constantes.
- Para el intervalo de la FIG. 5A, el algoritmo 72 estimador de la VRB introduce la curva de vida útil de batería como una PDD equivalente de 0,375, lo que conduce a aproximadamente 15.000 ciclos de vida útil de batería como el número máximo de ciclos.
- En el bloque 114, el algoritmo 72 estimador de la VRB calcula una vida útil de batería consumida dada por la relación de un número acumulativo de ciclos históricamente experimentados por la batería 50 respecto al número máximo de ciclos. El número acumulativo de ciclos representa el número de ciclos experimentados por la batería 50 (la suma de las iteraciones incrementales del bloque 106) desde la fecha en la que la batería 50 se puso servicio en la planta de generación eléctrica 40. Como se ha mencionado anteriormente, el controlador 46 de la planta de generación eléctrica mantiene y almacena el perfil de EDC acumulado y/o un registro del número total de ciclos experimentados por la batería 50.
- La vida útil de batería restante representa la parte residual de la vida útil de batería para la batería 50 que no se ha consumido por la degradación de la batería a partir de los pasados ciclos de carga/descarga. La conversión de la vida útil de batería consumida en una vida útil de batería restante depende de las previsiones específicas de aplicación para el uso de la batería 50. La vida útil de batería restante determinada mediante este ejercicio

representará un periodo estimado a lo largo del cual se proyecta que la batería 50 sea capaz de funcionar por encima de una capacidad especificada o nivel de rendimiento eficiente.

5 Con referencia a las FIGS. 5, 5A, 6 y 8 y de acuerdo con una realización representativa alternativa de la invención, el algoritmo 74 estimador de la VRB puede basarse en el concepto de la descomposición y la superposición de la PDD en combinación con el uso de una curva estándar de ciclo de vida útil en función de la PDD para la batería 50.

10 La FIG. 8 muestra un diagrama de flujo 200 que ilustra una secuencia de operaciones para el controlador 46 de la planta de generación eléctrica para estimar la vida útil de batería restante partir del perfil de EDC consistente con una realización de la invención. En el bloque 202, se supervisan la tensión y/o corriente de salida de la batería 50 mediante el sensor 58 en una escala de tiempo dada para lecturas discretas. El controlador 46 de la planta de generación eléctrica recibe las lecturas del sensor a través de la interfaz del sensor 80. En el bloque 204, el procesador 66 del controlador 46 de la planta de generación eléctrica ejecuta el algoritmo 74 estimador de la VRB para calcular el perfil de EDC (FIG. 5) basándose en los parámetros supervisados. El perfil de EDC en la FIG. 5 puede representar una parte del perfil de EDC acumulado a lo largo de toda la vida útil de servicio de la batería 50, que puede almacenarse y mantenerse mediante el controlador 46 de la planta de generación eléctrica. El algoritmo 72 estimador de la VRB puede emplearse de un modo incremental, tal como semanalmente, para calcular los perfiles de EDC incrementales que se almacenan y mantienen mediante el controlador 46 de la planta de generación eléctrica.

20 En el bloque 206, el algoritmo 74 estimador de la VRB calcula la PDD para cada ciclo en el perfil de EDC específico. En el bloque 208, el rango de la PDD desde un primer valor numérico (por ejemplo, cero (0)) hasta un segundo valor numérico (por ejemplo, la unidad (1)) se divide en múltiples contenedores o intervalos. Preferentemente, los intervalos son de igual anchura, la anchura del intervalo es un valor dado, y el número de intervalos es razonablemente pequeño. El número de intervalos, anchura del intervalo y el rango de la PDD son entradas al algoritmo 74 estimador de la VRB. En una realización representativa, el número de intervalos puede ser de 10 sobre un rango de PDD de 0 a 1 de modo que la anchura del intervalo sea 0,1.

30 En el bloque 210, se usa el algoritmo 74 estimador de la VRB para contar cuantos ciclos tiene una PDD que se engloban dentro de cada uno de los intervalos. El algoritmo 74 estimador de la VRB identifica cada ciclo en el perfil de EDC y, para cada ciclo, el algoritmo 74 estimador de la VRB determina una PDD a partir de la curva. La PDD se clasifica a continuación por el algoritmo 74 estimador de la VRB en uno de los intervalos asignados en el bloque 206. En esta forma, el intervalo del algoritmo 74 estimador de la VRB construye un histograma que es el número determinado de ciclos en cada intervalo asignado. En el intervalo de la FIG. 5A, cada ciclo tiene una PDD determinada por cada parte adyacente de máximos del EDC (o picos) en la curva y cada EDC mínimo (o depresión) entre estos máximos. Para conjuntos de picos adyacentes (P1, P2) separados por una depresión de intervalo (T), la PDD viene dada por la media del EDC de un pico (P1) menos el EDC de la depresión intermedia (T) y el EDC del siguiente pico (P2) menos el EDC de la depresión intermedia (T). Expresado en forma de una ecuación, la PDD para un ciclo viene dada por $((P1 - T) + (P2 - T)) / 2$.

40 En el bloque 212, el algoritmo 74 estimador de la VRB se usa para introducir la curva de vida útil de batería (FIG. 6) para la batería 50 en una PDD representativa de cada intervalo para calcular el número máximo de ciclos para la batería 50 en la PDD representativa para todos los intervalos. En una realización, la PDD representativa de cada intervalo es el punto medio o centro (es decir, media) del rango de intervalos correspondiente. Por ejemplo, para diez intervalos que cubran el rango de PDD de 0 a 1, un intervalo que se extienda desde una PDD de 0,4 a una PDD de 0,5 tendría una PDD representativa de 0,45 y se introduciría para este intervalo particular una curva de vida útil de batería como una PDD de 0,45.

50 En el bloque 214, el número contado de ciclos en cada intervalo acumulado a lo largo de la vida útil de servicio de la batería 50 se divide por el número máximo de ciclos en la PDD representativa de la entrada dentro de la curva de vida útil de batería correspondiente a cada intervalo particular.

55 En el bloque 216, el algoritmo 74 estimador de la VRB calcula la vida útil de batería consumida sumando los resultados a través de todos los intervalos para calcular el número máximo efectivo de ciclos para todas las PDD.

60 La vida útil de batería restante representa la parte residual de la vida útil de batería para la batería 50 que no se ha consumido por la degradación de batería a partir de los ciclos de carga/descarga pasados. La conversión de la vida útil de batería consumida en una vida útil de batería restante depende de las previsiones de uso de la batería 50 específicas de la aplicación. La vida útil de batería restante determinada mediante este ejercicio representará un período estimado a través del cual se proyecta que la batería 50 sea capaz de funcionar por encima de la capacidad especificada o un nivel de rendimiento eficiente especificado. La vida útil de batería restante puede determinarse mediante la proyección del consumo de vida útil de batería en el futuro basándose en un consumo histórico.

65 Como se ha mencionado anteriormente, las realizaciones específicas de los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB descritos en conexión con las FIGS. 5-8 se usan en cálculos de fusión de datos de la FIG. 4. Alternativamente, los cálculos de fusión de datos de la FIG. 4 pueden usar tipos de algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB diferentes

a los de las realizaciones representativas descritas en conexión con las FIGS. 5-8.

5 Los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB pueden permitir el desarrollo de estrategias de control para la batería 50 que puede implementar el controlador 46 de la planta de generación eléctrica de modo que la vida útil de la batería no se agote antes del tiempo de vida útil de la granja eólica 42. En el contexto de la supervisión y pronóstico de la batería, los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB pueden ser útiles a efectos de planificar el mantenimiento o sustitución de las baterías.

10 Los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB no se basan ni en un modelo físico complejo, tal como el filtro de Kalman, o en un modelo basado en datos, tal como una red neuronal. Con relación a esta última, los modelos físicos basados en física son computacionalmente pesados y necesitan un parametrizado cuidadoso, incluyendo incluso experimentos de laboratorio. Con relación a los modelos antiguos, basados en datos, requieren una formación extensa basándose en datos a partir de simulaciones o experimentos. Por estas razones, los estimadores presentados en el presente documento pueden tener ventaja sobre los modelos físicos y modelos basados en datos.

15 Como apreciará un experto en la materia, las realizaciones de la presente invención pueden realizarse también en un producto de programa informático realizado en al menos un medio de almacenamiento legible por ordenador que tenga un código de programa legible por ordenador no transitorio realizado en el mismo. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser un sistema, aparato o dispositivo electrónico, magnético, óptico, electromagnético, infrarrojo, o de semiconductores, o cualquier combinación adecuada de los mismos, que pueda contener, o almacenar un programa para su uso por o en conexión con un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones. Entre los ejemplos de medios de almacenamiento legibles por ordenador se incluyen, pero sin limitarse a ellos, un disco duro, un disco flexible, una memoria de acceso aleatorio, una memoria solo de lectura, una memoria solo de lectura programable y borrable, una memoria flash, una memoria solo de lectura en disco compacto portátil, un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento magnético, o cualquier combinación adecuada de los mismos. El código de programa informático que contiene instrucciones para dirigir un procesador para que funcione de una manera particular para llevar a cabo operaciones para las realizaciones de la presente invención puede escribirse en uno o más lenguajes de programación orientados a objetos y procedimentales. El código de programa de ordenador puede suministrarse desde un medio de almacenamiento legible por ordenador al procesador de cualquier tipo de ordenador, tal como el procesador 66 del controlador 46 de la planta de generación eléctrica, para producir una máquina con un procesador que ejecute las instrucciones para implementar las funciones/actos de un proceso implementado por ordenador para la recogida de datos de sensor especificada en el presente documento.

20 25 30 35 La vida útil de batería consumida y batería restante pueden estimarse mediante los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB en tiempo real con relación a la operación de la planta de generación eléctrica 40. Tal como se usa en el presente documento, tiempo real se refiere a la determinación de la aparición en un periodo sustancialmente corto y sin un sustancial retardo intencionado después del muestreo del perfil de EDC en cada intervalo de medición.

40 45 Si bien la invención se ha ilustrado con la descripción de varias realizaciones y aunque estas realizaciones se han descrito en considerable detalle, no es la intención del presente solicitante restringir o limitar en forma alguna el alcance de las reivindicaciones adjuntas a dichos detalles. Serán claramente evidentes para los expertos en la materia ventajas y modificaciones adicionales. Por ejemplo, los cálculos mediante los algoritmos 72, 74 estimadores de la VRB pueden ejecutarse sobre un controlador diferente asociado con la planta de generación eléctrica 40 en lugar de específicamente el controlador 46 de la planta de generación eléctrica o los cálculos pueden realizarse mediante un dispositivo de cálculo remoto o local y suministrarse al controlador 46 de la planta de generación eléctrica. La invención en sus aspectos más amplios no está por lo tanto limitada a los detalles específicos, métodos representativos y ejemplos ilustrativos mostrados y descritos.

REIVINDICACIONES

1. Una planta de generación eléctrica (40) conectada con una red eléctrica (48), comprendiendo la planta de generación (40):
- 5 una granja eólica (42) que incluye una pluralidad de turbinas eólicas configuradas para generar energía para la red eléctrica (48);
 un sistema de almacenamiento de energía (44) que incluye una batería recargable (50) configurada para cargarse selectivamente mediante las turbinas eólicas o la red eléctrica (48) y configurada para descargarse selectivamente a la red eléctrica (48); y
 10 un controlador (46) acoplado en comunicación con el sistema de almacenamiento de energía (44) y en comunicación con la pluralidad de turbinas eólicas de la granja eólica (42), estando el controlador (46) configurado para implementar un primer algoritmo (72) para calcular dinámicamente una primera vida útil de batería consumida para la batería (50), estando el controlador (46) configurado para usar una curva de vida útil de batería característica de la batería (50) como una primera entrada al primer algoritmo (72) y un perfil de estado de carga como una segunda entrada para el primer algoritmo (72), estando el controlador (46) configurado para implementar un segundo algoritmo (74) para calcular dinámicamente una segunda vida útil de batería consumida para la batería (50), estando el controlador (46) configurado para usar la curva de vida útil de batería y el perfil del estado de carga en el cálculo de la segunda vida útil de batería consumida, y estando el controlador (46) configurado para combinar computacionalmente la primera vida útil de batería consumida y la segunda vida útil de batería consumida para determinar una vida útil de batería consumida de datos fusionados.
2. La planta de generación eléctrica (40) de la reivindicación 1 en la que el controlador (46) calcula la vida útil de batería consumida de datos fusionados a partir de una combinación convexa de la primera vida útil de batería consumida y la segunda vida útil de batería consumida.
- 25 3. La planta de generación eléctrica (40) de la reivindicación 1 en la que el controlador (46) es un controlador de supervisión para la planta de generación eléctrica.
- 30 4. La planta de generación eléctrica (40) de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente:
- un sensor acoplado en comunicación con el controlador (46), configurado el sensor para supervisar la tensión o corriente de la batería (50) a medida que la batería (50) se carga y descarga selectivamente, y configurado el sensor para comunicar lecturas de la tensión o la corriente al controlador (46),
 35 en la que el controlador (46) está configurado para calcular el perfil de estado de carga a partir de las lecturas recibidas desde el sensor en función del tiempo.
5. Un método implementado por ordenador para la estimación del tiempo de vida útil de una batería (50) instalada en una planta de generación eléctrica (40) que incluye una granja eólica (42), comprendiendo el método:
- 40 calcular una primera vida útil de batería consumida para la batería (50) con un primer algoritmo (72);
 suministrar una curva de vida útil de batería para la batería (50) como una primera entrada al primer algoritmo (72) usado en el cálculo de la primera vida útil de batería consumida; y
 suministrar un perfil de estado de carga para la batería (50) como una segunda entrada al primer algoritmo (72) usado en el cálculo de la primera vida útil de batería consumida y
 45 calcular una segunda vida útil de batería consumida para la batería (50) con un segundo algoritmo (74) que usa la curva de vida útil de batería para la batería (50) y el perfil de estado de carga como entradas; y
 combinar matemáticamente la primera vida útil de batería consumida y la segunda vida útil de batería consumida para determinar una vida útil de batería consumida de datos fusionados.
- 50 6. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5 que comprende adicionalmente:
- cargar periódicamente la batería (50) con energía de la granja eólica (42) o la red eléctrica (48) y descargar la batería (50) a una red eléctrica (48);
 55 supervisar la tensión o corriente de la batería (50) cuando la batería (50) se carga y descarga durante la operación en la planta de generación eléctrica (40); y
 determinar el perfil de estado de carga de la tensión supervisada o la corriente supervisada como una función de tiempo.
- 60 7. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5 que comprende adicionalmente:
- predecir una vida útil de batería restante basándose en la primera vida útil de batería consumida y la segunda vida útil de batería consumida para la batería (50).
- 65 8. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5 en el que la primera vida útil de batería consumida para la batería (50) se calcula con el primer algoritmo (72) en tiempo real, y la segunda vida útil de batería

consumida para la batería (50) se calcula con el segundo algoritmo (74) en tiempo real.

9. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5 que comprende adicionalmente:

5 calcular una segunda vida útil de batería consumida para la batería (50) con un segundo algoritmo (74) que usa la curva de vida útil de batería para la batería (50) y el perfil de estado de carga como entradas; y combinar la primera vida útil de batería consumida y la segunda vida útil de batería consumida en una combinación convexa para determinar una vida útil de batería consumida de datos fusionados.

10 10. El método implementado por ordenador de la reivindicación 9 que comprende adicionalmente:

 predecir una vida útil de batería restante basándose en la primera vida útil de batería consumida y la segunda vida útil de batería consumida para la batería (50).

15 11. El método implementado por ordenador de la reivindicación 9 en el que la primera vida útil de batería consumida para la batería (50) se calcula con el primer algoritmo (72) en tiempo real, y la segunda vida útil de batería consumida para la batería (50) se calcula con el segundo algoritmo (74) en tiempo real.

20 12. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5 en el que el cálculo de la primera vida útil de batería consumida para la batería (50) con el primer algoritmo (72) comprende:

 calcular un número de ciclos a partir del perfil de estado de carga;
 integrar linealmente el perfil de estado de carga para determinar un número de ciclos efectivos con una profundidad de descarga igual a la unidad;

25 dividir el número de ciclos efectivos por el número de ciclos para obtener una profundidad de descarga equivalente; y
 determinar un número máximo de ciclos a partir de la curva de vida útil de batería en la profundidad de descarga equivalente para especificar la primera vida útil de batería consumida.

30 13. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5 el cálculo de la primera vida útil de batería consumida para la batería (50) con el primer algoritmo (72) comprende:

 calcular una profundidad de descarga para cada ciclo en el perfil de estado de carga;
 dividir un rango para la profundidad de descarga en una pluralidad de intervalos;
35 asignar la profundidad de descarga para cada ciclo a uno de los intervalos;
 calcular un número de ciclos en cada intervalo a partir del perfil de profundidad de descarga;
 determinar un número máximo de ciclos de cada intervalo a partir de la curva de vida útil de batería en un valor para la profundidad de descarga dentro de cada intervalo;

40 dividir el número de ciclos en cada uno de los intervalos por el número máximo de ciclos para cada intervalo respectivo para obtener una pluralidad de partes para la primera vida útil de batería; y
 sumar las partes para determinar la primera vida útil de batería consumida.

14. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5 que comprende adicionalmente:

45 predecir una vida útil de batería restante basándose en la primera vida útil de batería consumida para la batería (50).

15. El método implementado por ordenador de la reivindicación 5 en el que la primera vida útil de batería consumida para la batería (50) se calcula con el primer algoritmo (72) en tiempo real.

50 16. Un producto de programa informático que comprende:

 un medio de almacenamiento legible por ordenador; y
 instrucciones de programa para la realización del método de la reivindicación 5,
55 en el que las instrucciones de programa se almacenan en el medio de almacenamiento legible por ordenador.

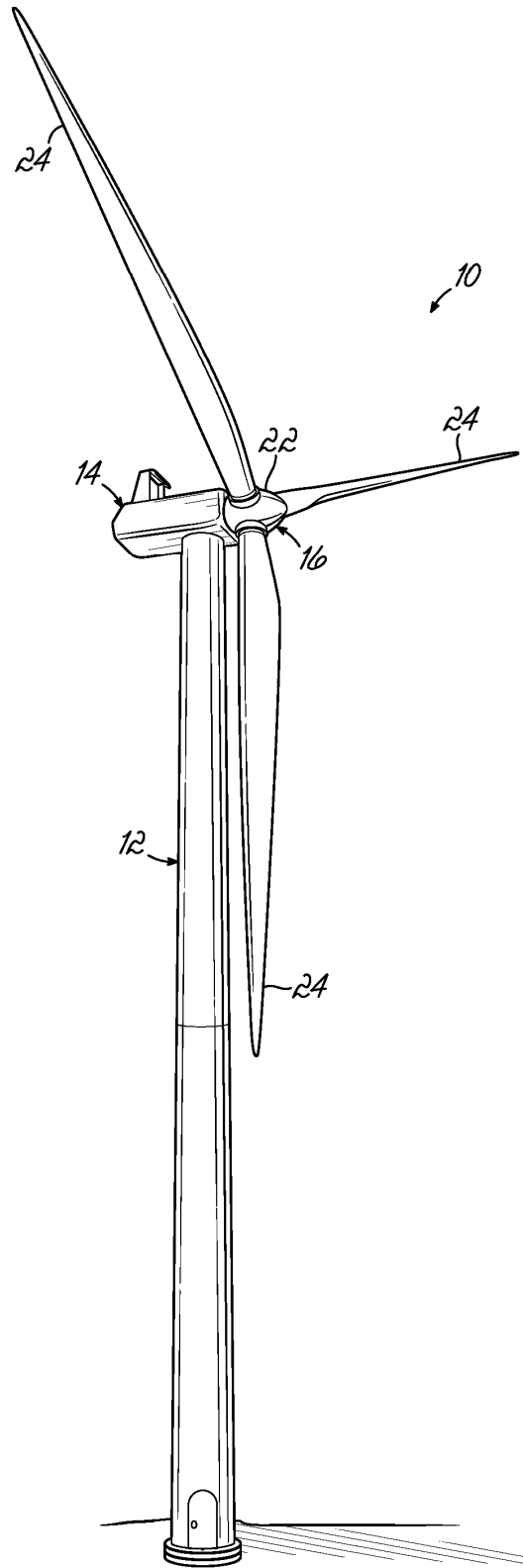


FIG. 1

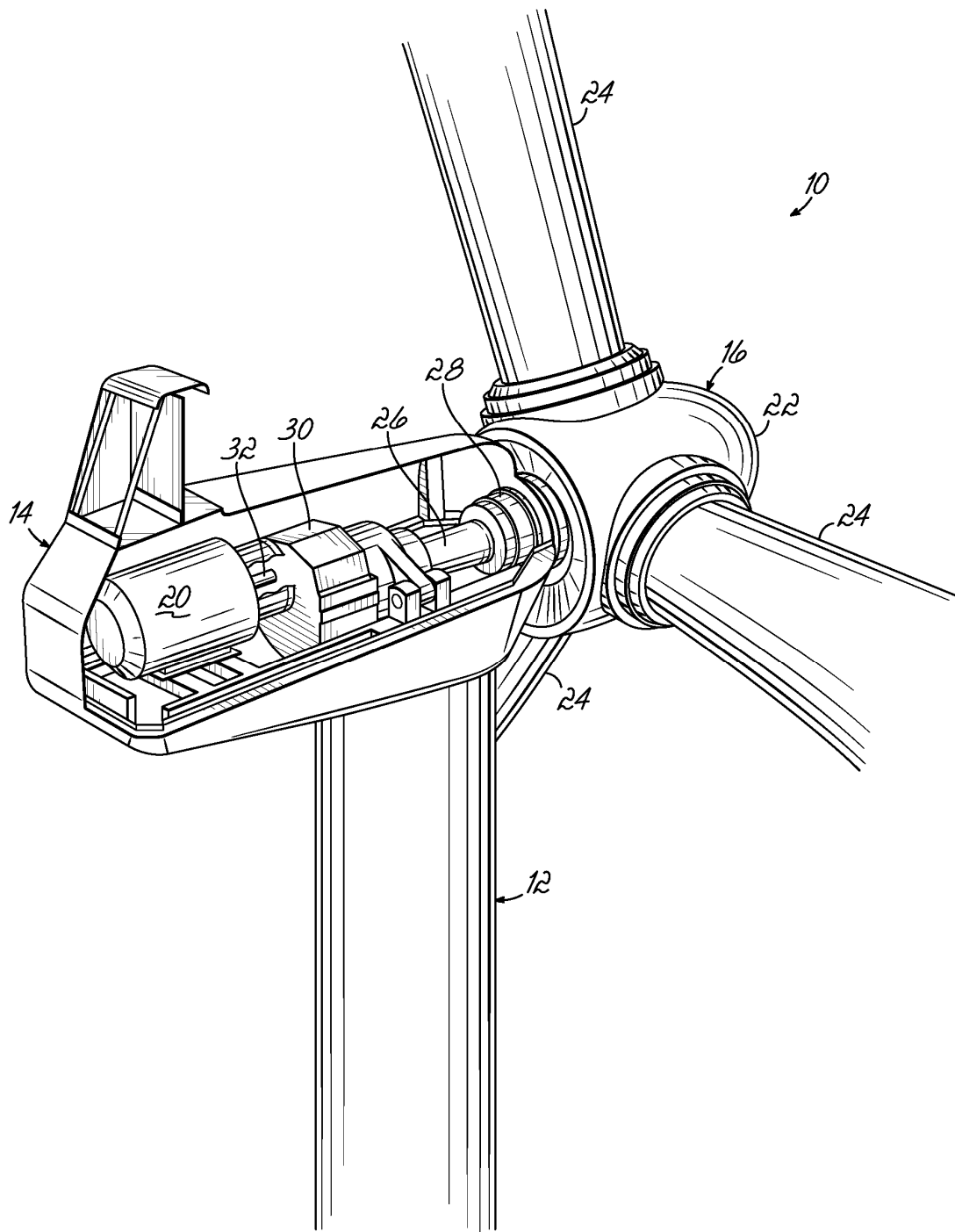


FIG. 2

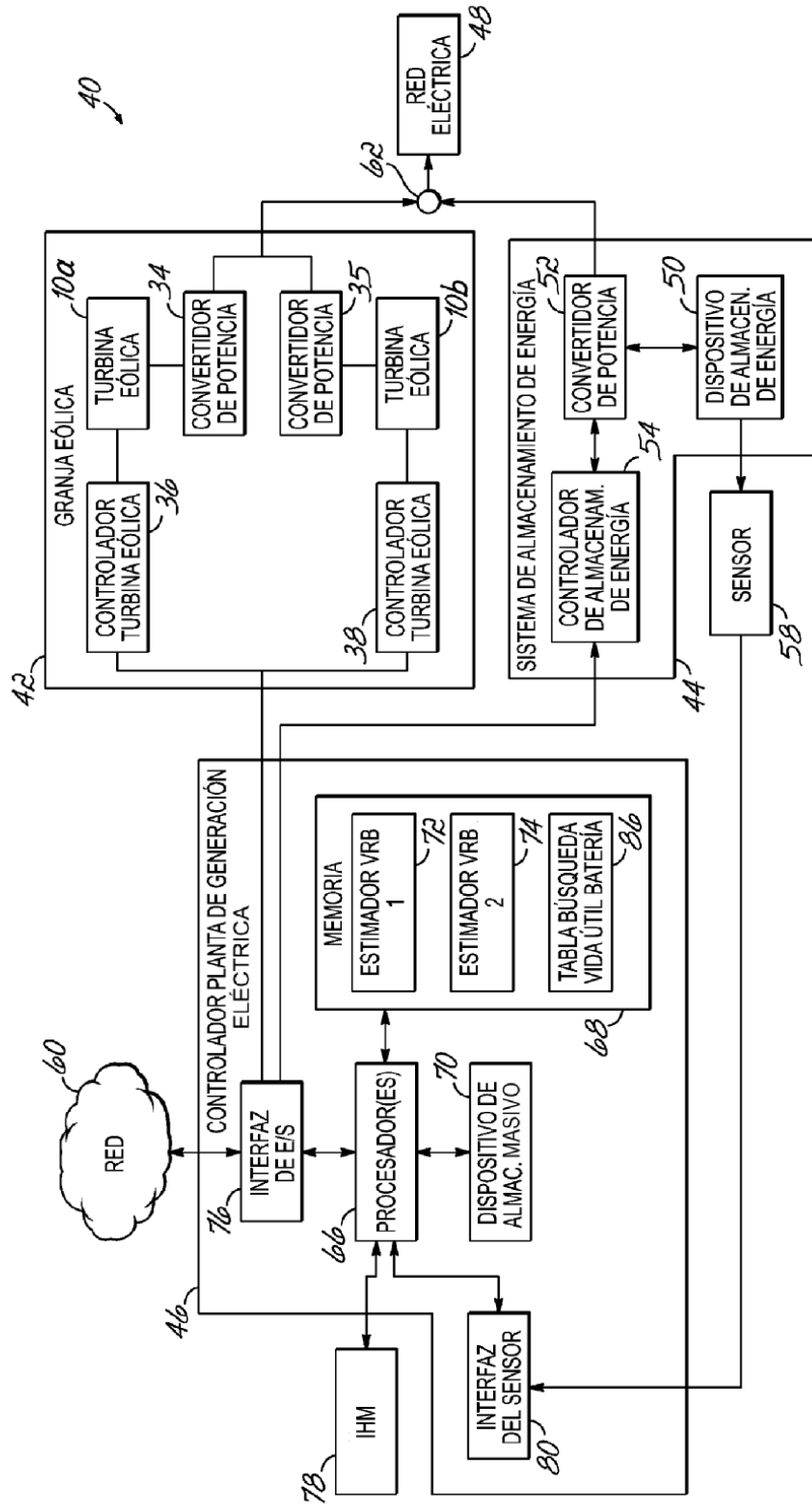


FIG. 3

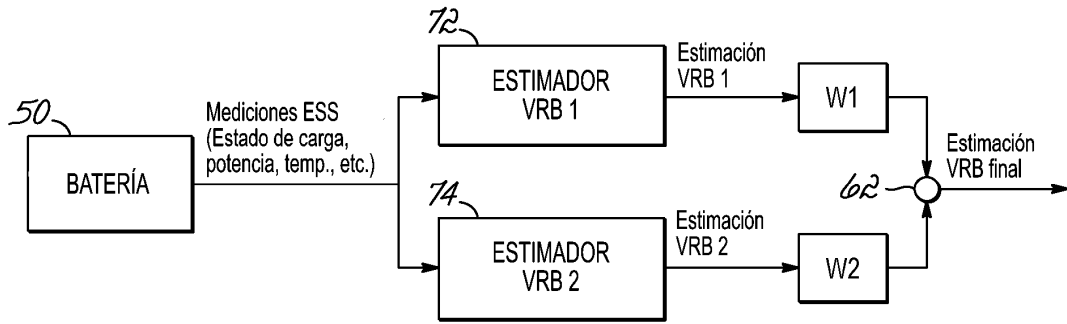


FIG. 4

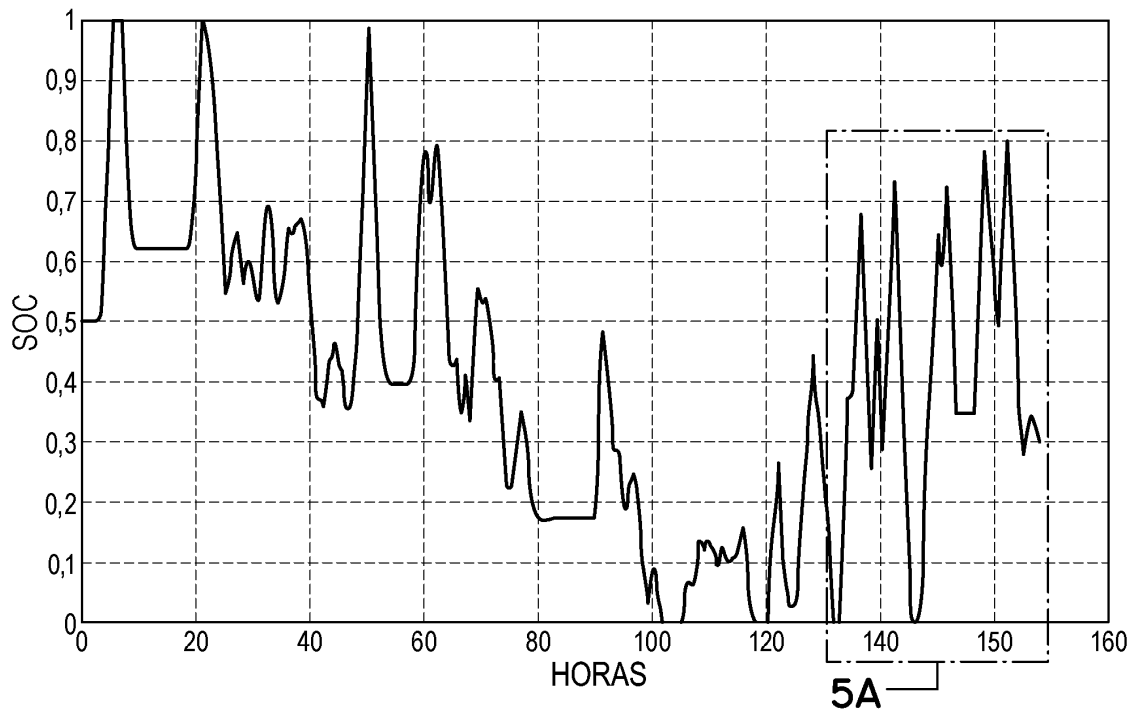


FIG. 5

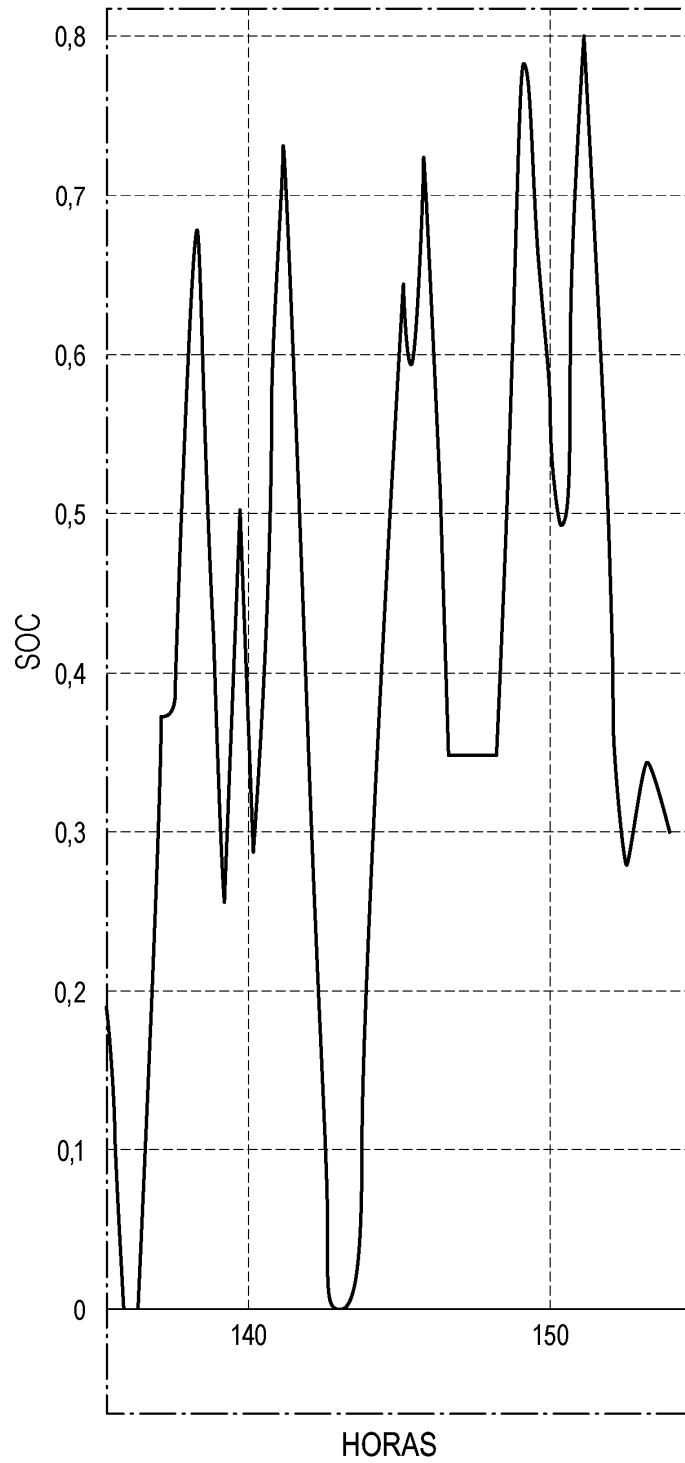


FIG. 5A

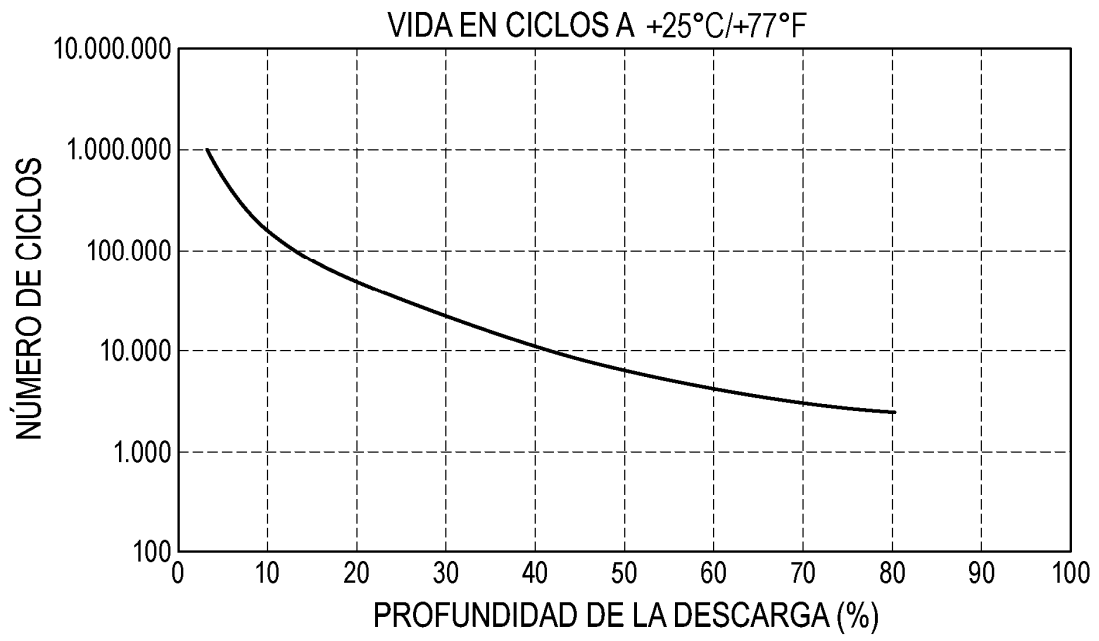


FIG. 6

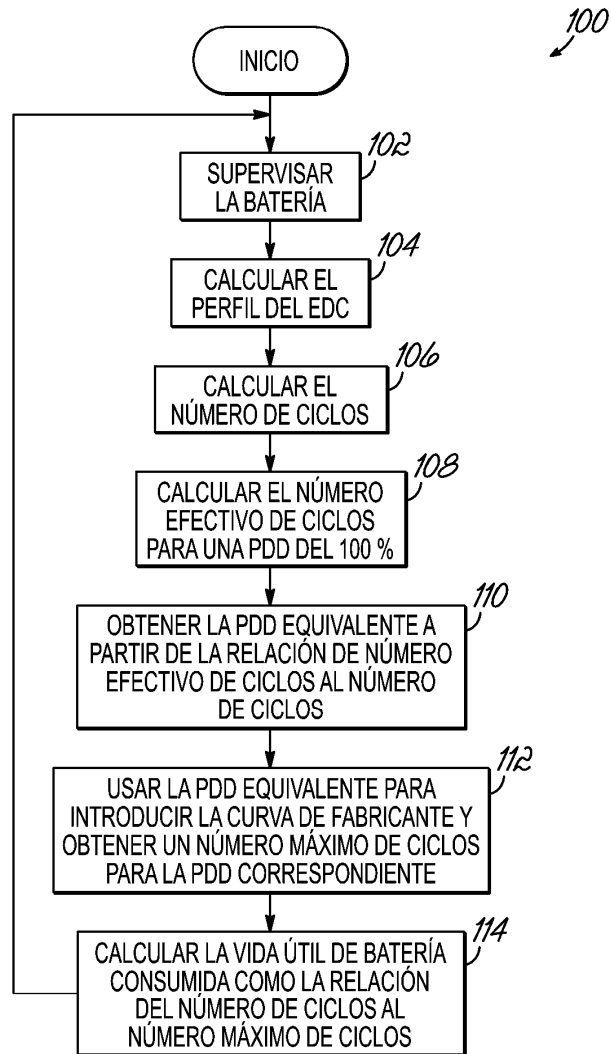


FIG. 7

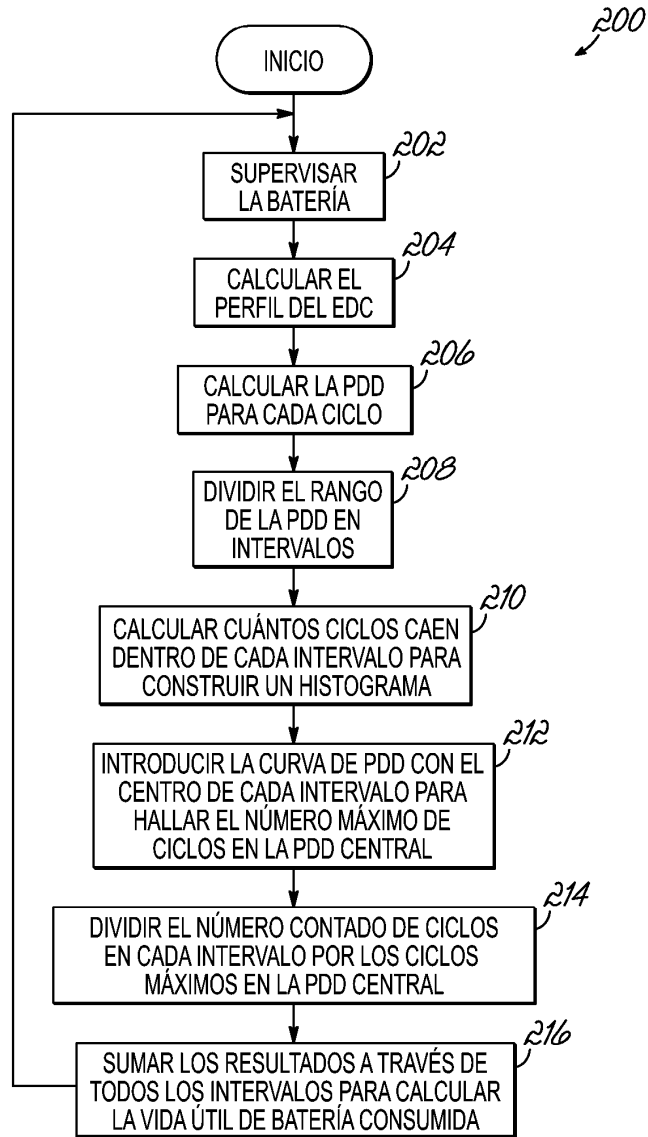


FIG. 8