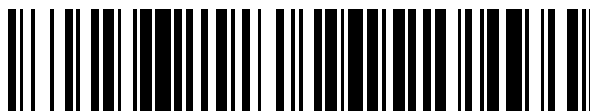


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 474 440**

51 Int. Cl.:

**C25B 1/02** (2006.01)  
**C25B 15/02** (2006.01)  
**F03D 9/00** (2006.01)  
**F03D 9/02** (2006.01)  
**H02J 3/00** (2006.01)  
**H02J 15/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.04.2010 E 10722723 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014 EP 2565296**

54 Título: **Sistema de producción de hidrógeno para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en energías renovables, y un procedimiento de regulación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**09.07.2014**

73 Titular/es:

**INGETEAM POWER TECHNOLOGY, S.A. (50.0%)**  
**Parque Tecnológico de Bizkaia, Edificio 106, 2a planta**  
**48170 Zamudio (Bizkaia), ES y**  
**ACCIONA ENERGÍA, S.A. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**PÉREZ BARBÁCHANO, JAVIER;**  
**GUELBENZU MICHELENA, EUGENIO;**  
**SANCHIS GÚRPIDE, PABLO;**  
**URSÚA RUBIO, ALFREDO;**  
**MARROYO PALOMO, LUIS y**  
**SÁNCHEZ MAYAYO, ISRAEL**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 474 440 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema de producción de hidrógeno para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en energías renovables, y un procedimiento de regulación

5

### OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención pertenece al campo de las energías renovables, y más concretamente, a sistemas de producción de hidrógeno para la regulación de potencia en centrales eléctricas.

10

El objeto principal de la presente invención es un sistema de producción de hidrógeno conectado a una o varias centrales eléctricas basadas en recursos renovables no gestionables, tales como parques eólicos y plantas fotovoltaicas, con el objetivo de proporcionar servicios de regulación de potencia para evitar pérdidas de energía y optimizar el tamaño del sistema de producción de hidrógeno. Asimismo, otro objeto de la invención es un procedimiento de regulación de la potencia entregada a la red eléctrica general.

15

### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los sistemas eólicos de producción de energía eléctrica tienen por objeto convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica y, en el caso de sistemas eólicos conectados a una red eléctrica, verterla a la misma para su posterior transporte, distribución y utilización.

20

En redes eléctricas con baja penetración de sistemas eólicos, los sistemas de regulación que los operadores de dichas redes aplican al resto de unidades de generación (centrales eléctricas convencionales) son en general suficientes para contrarrestar las fluctuaciones existentes en la potencia eléctrica inyectada por los parques eólicos en la red. Estas fluctuaciones se producen, obviamente, por las variaciones propias de los recursos eólicos. Sin embargo, conforme aumenta la penetración de los sistemas eólicos en la red, los operadores de la red requieren de dichos sistemas para participar en las operaciones de regulación de la red, como en el caso de las centrales eléctricas convencionales.

25

Lo anteriormente expuesto es válido igualmente para cualquier sistema de generación renovable que dependa de un recurso no gestionable, como es el caso de los sistemas fotovoltaicos y el recurso solar. Aunque en el texto de la invención se alude prioritariamente a los sistemas eólicos, debe entenderse en todo momento que es extensible a sistemas de generación renovables con recursos energéticos no gestionables.

30

El mantenimiento del equilibrio entre la potencia activa, generada y consumida en las redes eléctricas actuales se realiza a través del mantenimiento de la frecuencia del sistema en su valor nominal (50 Hz en Europa, 60 Hz en Estados Unidos). Cuando la potencia generada en el sistema excede la consumida, la frecuencia del sistema aumenta con respecto a su valor nominal al acelerarse los ejes mecánicos de los alternadores síncronos de las centrales. Por el contrario, cuando la potencia generada es menor que la consumida, la frecuencia disminuye, ya que los ejes de los alternadores síncronos se frenan reduciendo su velocidad. Con objeto de compensar estos desvíos de frecuencia, además de los correspondientes a la potencia activa, las centrales convencionales llevan implementados reguladores de potencia que responden a variaciones en el valor de la frecuencia de acuerdo con diversos procedimientos de regulación de la frecuencia del sistema, tal como las regulaciones primaria, secundaria y terciaria.

40

La regulación primaria permite restablecer el equilibrio entre las potencias activas generada y consumida en la red. La actuación combinada de todas las unidades de generación eléctrica en una red interconectada permite la compensación rápida de desfases entre potencias consumidas y generadas en cualquier punto de la red. En la mayoría de las redes eléctricas, la legislación obliga a las centrales convencionales a establecer una determinada capacidad de regulación primaria. Esta regulación consiste en la incorporación de un controlador que permite aumentar o disminuir el valor de referencia de potencia de la central de forma proporcional, y en sentido opuesto, a la variación de frecuencia de la red, en base a una característica denominada estatismo. Esta característica es una línea recta descendiente sobre un plano de coordenadas en el que el eje horizontal se determina por la variación de frecuencia con respecto a su valor nominal, en términos porcentuales respecto de este valor, y el eje vertical por la variación de potencia con que la central eléctrica debe responder en cada momento ante las correspondientes variaciones de frecuencia, también expresada dicha variación de potencia en términos porcentuales respecto a la potencia nominal de la central. De este modo, el estatismo se determina al establecer el operador el valor máximo de la variación de frecuencia ante la que las centrales deben actuar, así como la máxima variación de potencia con la que deben responder, con respecto al valor nominal de potencia, en un momento determinado. La regulación primaria debe darse en tiempos de respuesta pequeños, del orden de segundos.

50

55

La regulación secundaria permite el restablecimiento de la frecuencia de la red eléctrica a su valor nominal. Mediante dicha regulación, que habitualmente es opcional y retribuida, el operador del sistema asigna nuevos valores de potencia generada a las centrales eléctricas, dentro de unas bandas de regulación que las compañías eléctricas propietarias de las centrales habrán negociado previamente. De este modo, las centrales eléctricas modifican su consigna de potencia hasta que la frecuencia del sistema vuelve a su valor nominal en régimen estacionario. A diferencia de la regulación primaria, la regulación secundaria actúa con tiempos de respuesta del orden de minutos.

Finalmente, la regulación terciaria, también retribuida, permite al operador de la red eléctrica disponer de una mayor o menor capacidad de generación eléctrica con objeto de hacer frente a posibles desvíos entre las predicciones de potencia consumida y la generación eléctrica prevista. La regulación terciaria supone en la práctica un cambio en la consigna de potencia programada de las centrales, de modo que su horizonte de actuación alcanza valores cercanos a una o varias horas.

El constante aumento de la generación eléctrica de origen eólico, y asimismo de otras fuentes renovables cuyo recurso no es gestionable, representa en la actualidad un importante desafío en una operación de la red eléctrica, cuyos protocolos de actuación se han desarrollado a lo largo de los años para un sistema basado en energías convencionales gestionables. Aún asumiendo la inevitable variabilidad del consumo eléctrico, los métodos estadísticos son capaces hoy en día de prever correctamente la demanda que va a producirse con antelación diaria y horaria. De este modo, los protocolos de operación han permitido que el margen de variabilidad de la demanda sea gestionado eficazmente mediante centrales convencionales a través de los distintos servicios de regulación y operación.

En la actualidad, la incorporación masiva de las centrales de generación renovables basadas en recursos no gestionables (principalmente parques eólicos) a la cobertura de la demanda eléctrica añade una incertidumbre adicional a la operación de la red, tal como la variabilidad imprevista de dichos recursos.

A modo de ejemplo, cabe citar el dato de que en España, según información de la empresa encargada de la operación de la red eléctrica española, Red Eléctrica de España, en la madrugada del 30 de diciembre de 2009, la generación de los parques eólicos supuso el 54,1% de la generación total, es decir, más de la mitad de la demanda eléctrica fue cubierta con un recurso renovable no gestionable. Este grado de cobertura supuso un hito en la penetración de la energía eólica y fue soportado con éxito por la operación de la red gracias a la participación en la misma de las centrales de bombeo y a la reducción al mínimo técnico de la producción de las centrales térmicas. A pesar de ello, la baja demanda en ese momento obligó al operador a emitir una orden de recorte de la producción eólica de 600 MW durante varias horas. En situaciones similares producidas los meses anteriores, los órdenes de recorte fueron mayores, especialmente en aquellos casos en que no se dispuso de suficiente capacidad de bombeo hidráulico.

El ejemplo anterior ilustra el hecho de que los protocolos de operación actuales, incluso con la nueva tecnología asociada a la operación de la red (creación de centros de control de las energías renovables, establecimiento de conexiones y comunicación con los centros de control de generación, instalación de requerimientos técnicos para conexión y comunicación, etc.), están llegando al límite en la integración de energías renovables, lo que requerirá servicios de regulación de potencia incluso en el caso de las centrales de generación eléctrica basadas en recursos renovables no gestionables, incluyendo los parques eólicos, con objeto de poder asegurar la estabilidad de la red conforme se vayan incorporando a la misma más centrales basadas en energías renovables.

En lo que respecta al servicio de regulación primaria, y tomando como ejemplo representativo de central de energía renovable un parque eólico, se han propuesto diversas técnicas para realizar este servicio utilizando únicamente los aerogeneradores del parque. Para que los aerogeneradores de un parque eólico puedan prestar el servicio de regulación primaria, deben funcionar como máximo a un valor de potencia igual a la diferencia entre la potencia máxima que en cada momento podrían obtener del viento y la máxima variación de potencia fijada por la legislación para la regulación primaria (1,5% de la potencia nominal en España). Esto garantiza que, en caso de que la frecuencia de la red disminuya hasta el valor mínimo indicado en la legislación y/o protocolos de operación del operador, el aerogenerador dispondrá de la capacidad de potencia para aumentar ésta hasta la máxima variación de potencia que se ha mencionado anteriormente. El problema técnico que esto conlleva es que este procedimiento supone una pérdida constante (denominada "vertido") de energía eólica, ya que el aerogenerador trabaja en régimen permanente prácticamente siempre por debajo de la potencia máxima extraíble con objeto de mantener el margen de variación de potencia para el cumplimiento de regulación primaria.

Existen documentos de patente que desvelan sistemas de producción de hidrógeno alimentados con energía eólica, tal es el caso de las patentes: WO2006097494, EP1596052, US20070216165, US20060125241 y DE10055973. El

documento US 5592028 desvela una estación eléctrica basada en energías renovables que comprende uno o más parques eólicos en combinación con celdas de electrólisis.

- Con respecto a la producción de hidrógeno, existen fundamentalmente dos tipos de tecnologías de electrolizadores de agua: los de tipo alcalino y los de membrana polimérica (PEM). Los primeros están desarrollados tecnológicamente y alcanzan potencias muy superiores. Un electrolizador descompone, mediante el aporte de energía eléctrica, una molécula de agua para generar hidrógeno y oxígeno. El análisis termodinámico del sistema refleja que existe un mínimo aporte de energía para que esta reacción electroquímica se produzca de forma sostenida en el tiempo. A su vez, la generación de hidrógeno y oxígeno en las unidades de electrólisis debe ser separada y canalizada hacia el exterior, evitando la mezcla, potencialmente explosiva, de ambos gases. En valores bajos de producción, la generación de gases se ralentiza, aumentando con ello el riesgo de aparición de mezclas explosivas. Por otra parte, la pureza de los gases producidos depende, entre otros factores, del punto de operación del sistema de electrólisis, empeorando cuando dicho punto de operación es bajo.
- 15 A su vez, los electrolizadores actuales pueden estar formados por una o varias unidades de electrólisis. En caso de incluir varias unidades, la operación de las mismas se realiza siempre de forma conjunta.

- Por todo ello, los electrolizadores actuales, tanto si están formados por una o varias unidades de electrólisis, tienen un límite inferior en su margen de funcionamiento por debajo del cual el fabricante no permite la operación de las mismas. Este límite garantiza tanto la seguridad en el funcionamiento del sistema de electrólisis como el mantenimiento de pureza en el gas producido. Aunque el límite varía en función de los fabricantes, un intervalo representativo de las tecnologías actuales alcalinas podría situar el límite entre el 15% y el 40% de la potencia nominal del sistema de electrólisis. Esta región en la que el sistema de electrólisis no puede funcionar representa una "banda muerta" (BM) para el sistema.
- 25 Para que el servicio de regulación primaria de un parque eólico se realice conjuntamente por los aerogeneradores y un sistema de electrólisis, el tamaño de éste último estará determinado tanto por la banda de la regulación primaria impuesta por el operador de la red, como por su margen operativo aceptable, es decir, el intervalo de potencia por encima del límite inferior de operación del sistema de electrólisis o banda muerta. Esto obliga a sobredimensionar de manera considerable el tamaño del sistema de hidrógeno con objeto de poder cumplir el servicio de regulación primaria y evitar pérdidas de energía eólica, con el gran coste económico que dicho sobredimensionamiento conlleva. Todo ello es igualmente válido para cualquier otro tipo de servicio de regulación que implique variaciones en la potencia inyectada en la red.

### **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

- 35 La presente invención resuelve los inconvenientes que se han mencionado anteriormente proporcionando un sistema de producción de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1 conectado a una o varias centrales eléctricas basadas en recursos renovables no gestionables, tales como los parques eólicos, mediante el cual es posible realizar servicios de regulación de la potencia entregada a la red eléctrica general, para el control de la frecuencia de red en su valor nominal, siendo preferentemente servicios de regulación primaria, evitando pérdidas de energía en dichas centrales eléctricas y optimizando el rendimiento de las mismas.

- Dicho sistema de producción de hidrógeno destaca fundamentalmente por estar constituido a partir de una configuración jerarquizada de unidades de electrólisis, operadas de forma independiente, cuya principal característica es que el valor de la banda muerta "BM" del sistema es considerablemente menor que la de los sistemas de producción de hidrógeno existentes actualmente.

- Esta configuración jerarquizada permite optimizar el margen de funcionamiento del sistema de producción de hidrógeno y evita tener que sobredimensionar dicho sistema para cumplir los requisitos de regulación de potencia establecidos por la ley en cada país. Para ello, las unidades de electrólisis que configuran el sistema presentan valores de potencia operativa que se calculan de acuerdo con un algoritmo específico, permitiendo minimizar el tamaño global del sistema de producción de hidrógeno ajustándolo a los requisitos de los servicios de regulación, y consiguiendo una importante reducción del tamaño del sistema en comparación con las alternativas existentes.

- 55 En el sistema de producción de hidrógeno propuesto, el control es independiente para cada una de las unidades de electrólisis que lo forman. Mediante el ajuste controlado e independiente de cada unidad, es posible operar de tal manera que la banda muerta resultante para el sistema de producción sea igual a la banda muerta de la unidad de electrólisis de menor tamaño, prácticamente despreciable al aplicar el algoritmo que se ha mencionado anteriormente, y de forma continua en todo el margen de funcionamiento del sistema, es decir, desde la potencia

nominal del sistema hasta el límite inferior, cercano a cero, correspondiente a la banda muerta que se ha mencionado anteriormente.

5 Tanto el parque eólico como el sistema de producción de hidrógeno incorporan electrónica de potencia y sistemas de control y supervisión. En el caso del parque eólico, la electrónica de potencia se sitúa principalmente en los aerogeneradores, mientras que el control y supervisión se realizan de forma coordinada entre éstos y el propio parque. En el caso de las unidades de electrólisis, éstas también llevan electrónica de potencia y control. Dichos sistemas de control y supervisión pueden tener múltiples realizaciones, siendo preferiblemente un sistema industrial de tipo autómatas programable con un microcontrolador y una interfaz de usuario, accionado bien de forma manual o  
10 de forma remota.

Además, un sistema de supervisión global permite calcular constantemente el punto de operación tanto de los aerogeneradores como de las unidades de electrólisis.

15 La descripción de la invención se centra a continuación en el servicio de regulación primaria, aunque es igualmente válida para la realización de otros servicios de regulación, tales como secundaria y terciaria, así como para apoyo de regulación de potencia reactiva en el punto de conexión a la red eléctrica dentro del margen de potencia aparente no utilizado por la regulación de potencia activa.

20 El sistema de producción de hidrógeno, de forma independiente o de forma coordinada con el parque o agregación de parques, adapta su producción para regular la potencia inyectada por el sistema de generación eléctrica renovable en el punto de conexión de la red, de tal manera que permita al parque cumplir, entre otros, los requisitos de regulación primaria de la misma.

25 A continuación se incide en el concepto de configuración jerarquizada para aclarar este término. Supóngase que inicialmente el sistema de producción de hidrógeno se compone de una única unidad de electrólisis, denominada  $E_1$  (unidad de electrólisis inicial). Ahora,  $E_1$  se divide en dos unidades de diferente tamaño, la unidad mayor denominada  $E_{2l}$  (subíndice l, "large (mayor)") y la unidad menor  $E_{2s}$  (subíndice s, "small (menor)"). Si la menor se elige con una potencia igual a la banda muerta de la mayor, el resultado es un sistema de producción de hidrógeno  
30 sin discontinuidad en todo el margen de operación y con una banda muerta resultante (BM) inferior a la existente con  $E_1$ . Por lo tanto, se trata de un reparto de potencia óptimo dependiente del valor de banda muerta de la tecnología utilizada.

A partir de aquí, la unidad de electrólisis de menor potencia ( $E_{ns}$ , en general) se puede volver a separar en 2  
35 unidades con el mismo reparto de potencia y asegurando que  $E_{ns}$  sea siempre igual o superior a la banda muerta  $E_{nl}$ , o lo que es lo mismo, que  $E_{ns}$  sea siempre igual o superior al producto de la banda muerta, como un porcentaje, de la tecnología seleccionada por la potencia nominal de  $E_{nl}$ . El sistema final estará formado por  $n$  unidades de electrólisis, a saber, las unidades de mayor tamaño de las sucesivas divisiones (desde  $E_{2l}$  hasta  $E_{nl}$ ) y la unidad menor en la última división ( $E_{ns}$ ).

40 Las ecuaciones de potencia que deben cumplir las unidades de electrólisis determinadas en las sucesivas divisiones en función de la banda muerta (BM, en este caso expresada como un decimal) de la tecnología seleccionada son:

$$\left. \begin{array}{l} \text{mín } E_{ns} \\ E_{2s} + E_{2l} = E_1 \\ BM \cdot E_{2l} \leq E_{2s} \end{array} \right\} \begin{array}{l} E_{2l} = \frac{E_1}{1 + BM} \quad \dots \quad E_{nl} = \frac{E_1}{(1 + BM)^{n-1}} \\ E_{2s} = \frac{BM}{1 + BM} E_1 \quad \dots \quad E_{ns} = \frac{(BM)^{n-1}}{(1 + BM)^{n-1}} E_1 \end{array}$$

45 El resultado de todo este proceso es la reducción de la banda muerta del sistema ( $BM_n$ ) a través de la minimización del tamaño de las unidades de electrólisis. Con esta estrategia de reparto de potencias, el tamaño de la banda muerta del sistema ( $BM_n$ ), en función del número de divisiones  $n$  y del límite impuesto por la tecnología de electrólisis elegida (BM), se calcula de la siguiente manera:

50

$$\left. \begin{array}{l} BM \cdot E_{2s} = BM_2 \cdot E_1 \\ BM \cdot E_{3s} = BM_3 \cdot E_1 \end{array} \right\} BM_n = \frac{BM \cdot E_{ns}}{E_1} = \frac{(BM)^n}{(1 + BM)^{n-1}}$$

- Dichas unidades de electrólisis pueden ser distintos electrolizadores, de la misma o diferente tecnología, y asimismo "apilamientos" de un mismo electrolizador. Las unidades de electrólisis, controladas de forma independiente, se configuran jerárquicamente de modo que el margen de funcionamiento del subsistema se maximiza, alcanzando el menor tamaño y coste posible. Asimismo, el sistema de producción eléctrica renovable puede consistir en una agregación de parques eólicos, conectados en el mismo o en distinto punto de la red eléctrica pero gestionados de forma coordinada con el sistema de producción de hidrógeno que es el objeto de la presente invención, que igualmente, puede estar conectado a la red eléctrica en un punto de conexión distinto del parque eólico o agregación de parques.
- 10 Se ha previsto que el sistema de producción de hidrógeno objeto de invención pueda estar apoyado por bancos de baterías, o cualquier otro sistema de almacenamiento, que se encarguen de la regulación de potencia en bandas concretas de los intervalos de frecuencia de la red.
- 15 También puede estar apoyado por sistemas de pilas de combustible, motores de combustión de hidrógeno conectados a generadores eléctricos rotativos, o cualquier otro sistema equivalente. Además, se contempla la posibilidad de incorporar un sistema de almacenamiento de hidrógeno, de modo que el hidrógeno producido por el sistema de producción de hidrógeno se consuma posteriormente en cualquiera de estos sistemas.
- 20 Asimismo, el sistema de producción de hidrógeno de la presente invención puede comprender un sistema de almacenamiento energético basado en volantes de inercia o bancos de condensadores, o una combinación de éstos con el sistema de baterías.

El sistema desvelado en el presente documento es aplicable a todo tipo de parques eólicos conectados a la red, y asimismo para agregaciones de parques con gestión coordinada, parques fotovoltaicos o agrupación de los mismos, y en general, para cualesquiera sistemas de generación eléctrica renovable conectados en el mismo o en distinto punto de conexión a la red y gestionados de forma coordinada. Del mismo modo, la configuración jerarquizada de unidades de electrólisis desvelada en el presente documento puede aplicarse a cualquier sistema de producción de hidrógeno, esté o no interconectado a un sistema de generación eléctrica.

30

### **DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

Para complementar esta descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en los que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

- La figura 1 muestra una vista esquemática del sistema de producción de hidrógeno para regulación de potencia de un parque eólico conectado a la red eléctrica;
- 40 la figura 2 muestra una vista esquemática en la que se representa el servicio de regulación primaria proporcionado únicamente por el sistema de producción de hidrógeno;
- la figura 3 muestra un esquema de la división de un sistema de producción de hidrógeno en 3 unidades de electrólisis;
- la figura 4 muestra una división en 3 unidades de electrólisis de un sistema de producción de hidrógeno de 6,5 MW de potencia nominal total;
- 45 la figura 5 muestra una gráfica que corresponde a la operación en regulación primaria de un sistema de producción de hidrógeno sin división en varias unidades;
- la figura 6 muestra una gráfica correspondiente a la operación en regulación primaria de un sistema de producción de hidrógeno con división en varias unidades de electrólisis;
- la figura 7 muestra una vista esquemática de un servicio de regulación primaria proporcionado conjuntamente por un sistema de producción de hidrógeno y un parque eólico;
- 50 la figura 8 muestra una gráfica correspondiente a la operación de un sistema de producción de hidrógeno para regulación primaria realizada conjuntamente por un parque eólico y dicho sistema de producción de hidrógeno, estando éste último configurado jerárquicamente en varias unidades de electrólisis operadas de forma independiente; y
- la figura 9 muestra una vista esquemática de otra posible instalación general que incorpora adicionalmente un sistema de baterías.
- 55

### **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

De acuerdo con una realización preferente de la invención mostrada en la figura 1, el sistema de producción de hidrógeno (4) se encuentra vinculado a un parque eólico (2) conectado a la red eléctrica (3), estando dicho parque eólico (2) formado por una serie de aerogeneradores (1), mientras que el sistema de producción de hidrógeno (4) está estructurado de forma jerarquizada en tres unidades de electrólisis (5), de forma que sus potencias nominales permitan maximizar el margen de operación requerido para poder realizar conjuntamente los servicios de regulación primaria. Dicho servicio de regulación primaria puede realizarse mediante el sistema de producción de hidrógeno (4), o de forma conjunta entre el parque eólico (2) y dicho sistema de producción de hidrógeno (4).

10 Tanto el parque eólico (2) como el sistema de producción de hidrógeno (4) incorporan electrónica de potencia y sistemas de control y supervisión. En el caso del parque eólico (2), la electrónica de potencia y su control asociado se sitúan en los aerogeneradores (1). En el caso de las unidades de electrólisis (5), éstas también llevan electrónica de potencia y control propios con objeto de ser gestionadas de forma independiente. Además, un sistema de supervisión global permite calcular constantemente el punto de operación tanto de los aerogeneradores (1) como de las unidades de electrólisis (5).

Cada aerogenerador (1) tiene un valor máximo de potencia ( $P_{Wmáx}$ ) que dicho aerogenerador (1) puede extraer del recurso eólico y convertirlo en energía eléctrica. La electrónica de potencia, el sistema de supervisión y control y los sistemas electromecánicos que incorporan los aerogeneradores (1), permiten situar el punto de funcionamiento en ese valor.

De acuerdo con una primera realización preferente, mostrada en la figura 2, la regulación primaria se proporciona únicamente por el sistema de producción de hidrógeno (4), con bandas de regulación, a modo de ejemplo, de entre 49,8 Hz y 50,2 Hz, alrededor de una frecuencia nominal de 50 Hz. Los aerogeneradores (1) del parque eólico (2) permanecen funcionando a la máxima potencia disponible en cada momento ( $P_{Wmáx}$ ), gobernados por los sistemas de control del parque, situación ilustrada en la figura 2 con la indicación de "P<sub>Wmáx</sub> al 100%" para el parque eólico (2).

En cuanto al sistema de producción de hidrógeno (4), su margen de funcionamiento es igual a la suma de las bandas de regulación primaria de inyección y retirada, establecidas por el operador de la red eléctrica (3) y conocidas de antemano. Mientras el servicio de regulación primaria no sea requerido, el sistema de producción de hidrógeno (4) opera al 50% de su margen de operación, es decir, desde el límite inferior de operación, determinado por su banda muerta, hasta su potencia nominal (máximo posible para el sistema). En esa situación, la potencia inyectada a la red (3) es la diferencia entre la máxima potencia eléctrica generada por los aerogeneradores (1) ( $P_{Wmáx}$ ) y la potencia consumida por el sistema de producción de hidrógeno (4), que, como se ha indicado, es el 50% de su rango de potencia disponible.

35 Cuando se requiere regulación primaria a subir, es decir, debe ser inyectada potencia eléctrica en la red (3), lo cual ocurre cuando la frecuencia disminuye por debajo de su valor de consigna, el sistema de producción de hidrógeno (4) disminuye su potencia, situación representada en la figura 2 por la flecha descendente. Por el contrario, cuando se requiere regulación primaria de retirada, es decir, cuando debe reducirse la potencia entregada a la red (3), el sistema de producción de hidrógeno (4) aumenta su potencia, situación representada en la figura 2 por la flecha ascendente.

La figura 3 muestra la división de una unidad de electrólisis ( $E_1$ ) en 3 unidades ( $E_{2l}$ ,  $E_{3l}$  y  $E_{3s}$ ). Más concretamente, la figura 4 representa un ejemplo con valores reales basados en un sistema de producción de hidrógeno (4) de 6,5 MW de potencia nominal total ( $P_{H2n}$ ) y una tecnología de electrólisis con una banda muerta del 20% respecto a su potencia nominal. Aplicando la invención propuesta con  $n = 3$ , la potencia nominal  $P_{H2n}$  del sistema de electrólisis se dividiría en este caso en tres unidades  $E_{2l}$ ,  $E_{3l}$  y  $E_{3s}$ , con potencias nominales de 5,4 MW, 913 KW y 187 KW.

$$E_{2l} = \frac{E_1}{1 + BM} = \frac{E_1}{1 + 0,2} \approx 0,83 \cdot E_1 \quad E_{2s} = \frac{BM}{1 + BM} E_1 = \frac{0,2 \cdot E_1}{1 + 0,2} \approx 0,17 \cdot E_1$$

$$E_{2l} = 0,83 \cdot 6,5 \text{ MW} = 5,4 \text{ MW} \quad E_{2s} = 0,17 \cdot 6,5 \text{ MW} = 1,1 \text{ MW}$$

50 Por lo tanto, con una división en sólo tres unidades ( $n = 3$ ) se reduce la BM del 20% al 0,58% de  $P_{H2n}$ . Este cálculo se muestra en la siguiente ecuación, en la que  $BM_n$  indica la BM final del sistema de producción de hidrógeno habiendo realizado  $n$  divisiones (en el ejemplo  $n = 3$ )

$$BM_n = \frac{BM \cdot E_{ns}}{E_i} = \frac{38 \text{ kW}}{6500 \text{ kW}} = 0,58 \%$$

Por tanto, mediante el sistema jerarquizado de unidades de electrólisis (5), la potencia nominal de electrólisis total se reduce considerablemente y se optimiza el sistema.

5

Tal y como se puede observar en la figura 5, suponiendo unas bandas de regulación del 1,5% de la potencia nominal del parque eólico (2) ( $P_{Wn}$ ), tanto de inyección como de retirada, y un valor para esta potencia nominal  $P_{Wn}$  de 50 MW, un sistema de producción de hidrógeno (4) que sólo estuviera formado por una unidad de electrólisis, o en su caso por varias unidades pero operadas de forma conjunta de tal modo que en la práctica se comporten como una sola, y que perteneciera a una tecnología con una banda muerta característica (BM) del 20%, requeriría una potencia nominal total de electrólisis de 1,875 MW, siendo el margen de operación, en función de las necesidades de regulación primaria, el mostrado en dicha figura 5 para una regulación entre 49,8 Hz y 50,2 Hz.

Por el contrario, y tal y como se muestra en la figura 6, mediante la aplicación de la presente invención al sistema de producción de hidrógeno (4) con una división en tres unidades de electrólisis (5) de la misma tecnología, tal y como se ha expuesto en el ejemplo anterior, la potencia nominal total requerida disminuiría hasta aproximadamente 1,5 MW (en este caso se supone despreciable la banda muerta del 0,58% obtenida para esta configuración), lo que supone una reducción del 25% en el tamaño.

De acuerdo con otra realización preferente mostrada en la figura 7, el servicio de regulación primaria se realiza de forma conjunta entre el parque eólico (2) y el sistema de producción de hidrógeno (4). En este caso, los aerogeneradores (1) del parque eólico (2) operan, mientras no se requiera el servicio de regulación primaria, a una potencia igual a la máxima eólica disponible ( $P_{Wm\acute{a}x}$ ), calculada por el sistema de supervisión del parque. A su vez, el sistema de producción de hidrógeno (4) se mantiene a su potencia nominal ( $P_{H2n}$ ). En ese momento, la potencia total inyectada en la red eléctrica (3) es la resta de ambas potencias  $P_{Wm\acute{a}x}$  y  $P_{H2n}$ . Cuando se requiere regulación primaria de inyección, es decir, debe inyectarse potencia ante una disminución de la frecuencia de la red (3), el sistema de producción de hidrógeno (4) modifica su punto de funcionamiento disminuyendo la potencia consumida por debajo de su valor nominal, liberando así la potencia generada por el parque eólico (2) que se inyecta a la red (3). El parque eólico (2) permanece funcionando, en esta situación, en su potencia máxima ( $P_{Wm\acute{a}x}$ ). Por el contrario, cuando se requiere regulación primaria de retirada y, por lo tanto, debe reducirse la potencia inyectada en la red (3), es el parque eólico (2) el que disminuye su potencia, permaneciendo el sistema de producción de hidrógeno (4) en su potencia nominal.

Manteniendo las bandas de regulación que, a modo de ejemplo, se han supuesto anteriormente, consistentes en el 1,5% de la potencia nominal del parque eólico (2) ( $P_{Wn}$ ), tanto de inyección como de retirada, y el valor utilizado para esta potencia nominal  $P_{Wn}$  (50 MW), el sistema de producción de hidrógeno (4), configurado de forma jerarquizada de acuerdo con lo descrito en el presente documento y, por lo tanto, con banda muerta despreciable, requeriría una potencia nominal total de 0,75 MW (1,5% de 50 MW), actuando de la forma indicada en la figura 8 para la banda de regulación entre 49,8 y 50 Hz. De nuevo, se aprecia la ventaja de la invención propuesta frente a un sistema convencional de electrólisis formado por una única unidad de electrólisis o por varias operadas de forma conjunta, que requeriría una potencia nominal de 0,9375 MW para una tecnología con una banda muerta del 20%.

Finalmente, en otra realización preferente de la presente invención, representada en la figura 9, se dispone adicionalmente de un sistema de baterías (6) que permite apoyar el servicio de regulación primaria realizando la regulación de parte de las bandas de frecuencia. El sistema de baterías (6) queda conectado al mismo punto de conexión que los restantes elementos (parque eólico (2), sistema de producción de hidrógeno (4) y red eléctrica (3)) y su consumo o generación de energía se controla mediante el sistema de supervisión global. El sistema de baterías (6) puede dar apoyo tanto si la regulación primaria la realiza únicamente el sistema de producción de hidrógeno (4), como si se realiza conjuntamente entre el parque eólico (2) y el sistema de producción de hidrógeno (4).

Suponiendo el primer caso (regulación primaria en la que no interviene el parque eólico (2)), el consumo, o carga de las baterías (6), se realiza cuando se requiere regulación de retirada, es decir, cuando se debe reducir la potencia inyectada en red (3) como consecuencia de un aumento de la frecuencia de la misma, y la generación eléctrica, o descarga de las baterías (6), se realiza cuando se requiere una regulación de inyección, es decir, cuando se debe inyectar potencia en red (3) ante una caída de la frecuencia.

55

En función del intervalo de frecuencias, dentro de las bandas de regulación, en que actúa el sistema de baterías (6), pueden darse distintas realizaciones. En primer lugar, el sistema de baterías (6) puede utilizarse para regular las



frecuencias extremas del margen de regulación primaria. En los sistemas eléctricos actuales, la frecuencia de la red (3) oscila alrededor de su valor nominal en un margen considerablemente inferior al fijado por los límites de la regulación primaria. Dado que los sistemas de electrólisis son costosos, puede utilizarse el sistema de baterías (6) para cubrir las frecuencias extremas y realizar la regulación primaria en frecuencias cercanas a la frecuencia nominal con el sistema de producción de hidrógeno (4), reduciendo así su tamaño.

En otra realización preferente, el sistema de baterías (6) puede utilizarse para regular el intervalo de frecuencias alrededor de la frecuencia nominal, dejando para el sistema de producción de hidrógeno (4) la regulación de las frecuencias externas a dicho intervalo. Esta realización resulta ventajosa cuando la rapidez de respuesta de la tecnología de electrólisis utilizada no es suficiente, o no es la adecuada, para cumplir los requisitos de respuesta de regulación primaria que indique la normativa aplicable o el operador de la red (3). Al cubrir el sistema de baterías (6) el intervalo central de frecuencias, la rapidez de respuesta recae fundamentalmente en dicho sistema, mientras que la actuación del sistema de producción de hidrógeno (4) puede programarse con antelación conforme se observa que la frecuencia de la red (3) se aleja del valor nominal y se acerca a los extremos de las bandas de regulación.

En otra realización preferente, puede incluirse un sistema de pilas de combustible que realice la regulación primaria en la banda de inyección, es decir, cuando la frecuencia de la red (3) cae por debajo de la frecuencia nominal y se debe inyectar más potencia en la red (3). En ese momento, el sistema de pilas de combustibles se activa generando energía eléctrica que se inyecta en la red (3). En esta realización, el sistema de producción de hidrógeno (4) realiza la regulación de retirada, es decir, consumiendo potencia cuando la potencia inyectada en red (3) debe disminuirse ante aumentos de la frecuencia. Eventualmente, el hidrógeno producido mediante el sistema de producción de hidrógeno (4) puede almacenarse y usarse posteriormente por el sistema de pilas de combustible. Este último también puede reemplazarse por un sistema formado por motor de combustión de hidrógeno y generador eléctrico, así como por una combinación de ambos o por cualquier otro sistema equivalente.

En otra realización preferente, el conjunto formado por el parque eólico (2) (o agrupación de parques, o en general sistemas de generación eléctrica renovable) y el sistema de producción de hidrógeno (4), puede operarse de modo que sea parcialmente gestionable, realizando parte del servicio de regulación de potencia. En este caso, el parque eólico (2) se opera para que genere en todo momento la máxima potencia eólica disponible ( $P_{Wm\acute{a}x}$ ), mientras que el sistema de producción de hidrógeno (4) permanece apagado mientras no se requiera ningún servicio de regulación de potencia. En el momento en que se requiere el servicio de regulación de potencia de retirada, es decir, debe reducirse la potencia inyectada en red (3) ante un aumento en su frecuencia, el sistema de producción de hidrógeno (4), formado por la configuración jerarquizada de unidades de electrólisis (5) que se ha descrito anteriormente, se opera de modo que consume la potencia necesaria para que la potencia de salida del conjunto (parque eólico (2) y sistema de producción de hidrógeno (4)) para que se reduzca hasta el valor requerido por el servicio de regulación.

Igualmente, es posible otra realización, en la misma línea marcada por la realización anterior, en la que el parque eólico (2) permanece generando la máxima potencia eólica disponible en cada momento ( $P_{Wm\acute{a}x}$ ) y el sistema de producción de hidrógeno (4) se opera, en condiciones normales, de forma que consuma la potencia nominal ( $P_{H2n}$ ). En el momento en que se requiere el servicio de regulación de potencia de inyección, es decir, debe aumentarse la potencia inyectada en la red (3) por el conjunto ante una disminución de la frecuencia, el sistema de producción de hidrógeno (4) reduce la producción de hidrógeno, junto con la potencia consumida, de modo que el conjunto aumenta la potencia inyectada en la red (3) hasta llegar al valor requerido por el servicio de regulación. De nuevo, al igual que en la realización anterior, el conjunto formado por el parque eólico (2) y el sistema de producción de hidrógeno (4) resulta ser parcialmente gestionable.

Como ya se ha mencionado en varias ocasiones, la presente invención no sólo permite la regulación primaria de un parque eólico (2) conectado a la red (3) a través de un sistema jerarquizado de unidades de electrólisis (5), sino que también es de aplicación a aquellos servicios de regulación, tales como la secundaria o terciaria, que requieran la modificación de la potencia inyectada por el parque eólico (2) en la red (3) en base a perfiles de potencia dependientes de la regulación de potencia activa en la red eléctrica (3).

En otra realización preferida, la electrónica de potencia instalada tanto en las centrales eléctricas renovables, como en el sistema de producción de hidrógeno (4), se usa para apoyar la regulación de potencia reactiva intercambiada con la red (3) en el punto de conexión a la misma, en el intervalo de potencia aparente no usado por la potencia activa generada por las centrales o consumida por el sistema de producción de hidrógeno (4).

Como se sabe, los equipos de electrónica de potencia se diseñan y dimensionan para que soporten unos determinados valores de corriente y tensión eléctricas. Éstos determinan la máxima potencia aparente del equipo, que puede

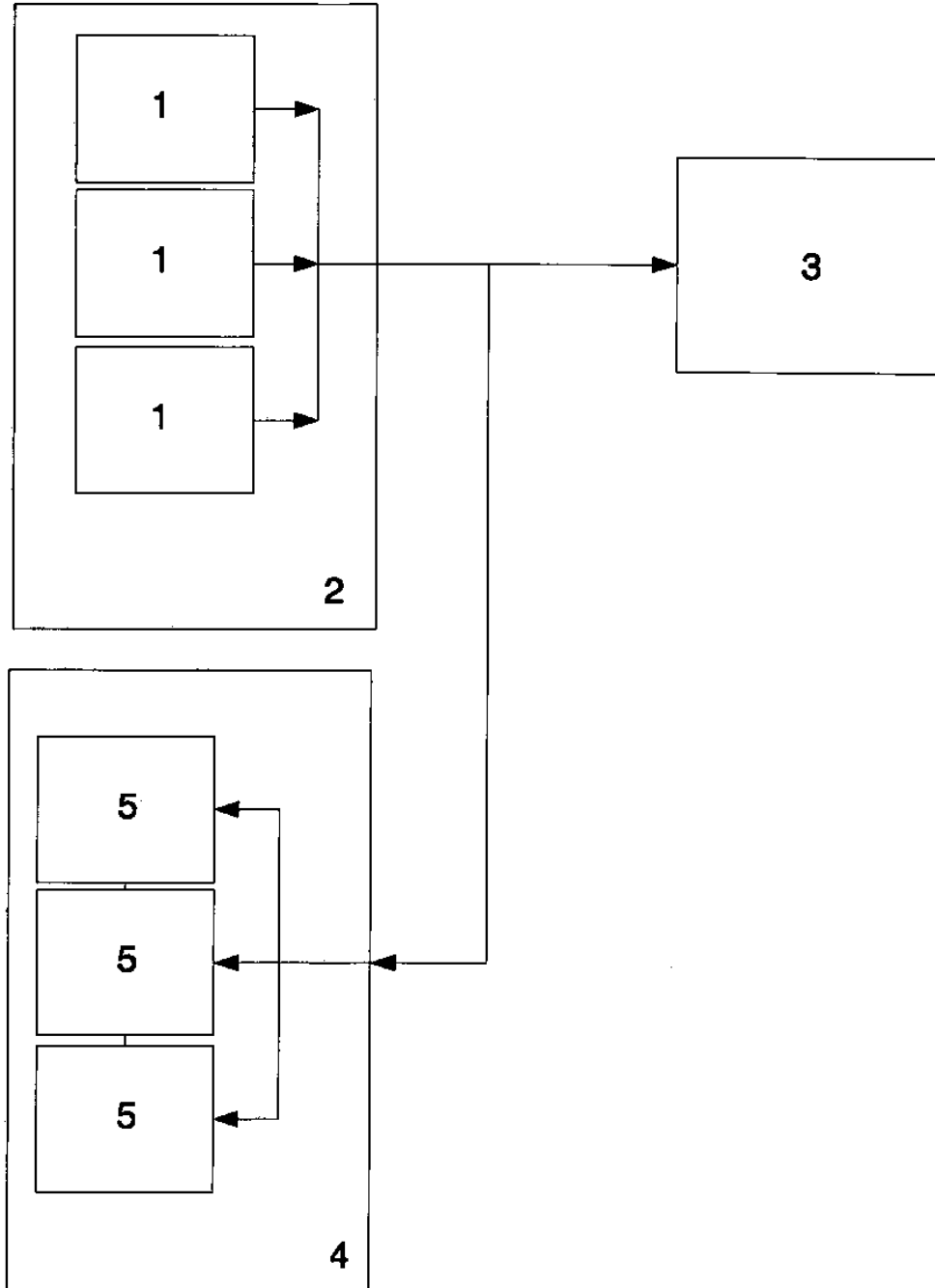
- denominarse potencia aparente nominal. La potencia aparente es el resultado de la suma vectorial de las potencias activa y reactiva en un sistema eléctrico. De este modo, cuando la potencia activa que fluye a través de la electrónica de potencia no es máxima, como ocurre en múltiples ocasiones en las realizaciones preferentes descritas en el presente documento, existe la capacidad de dar potencia reactiva hasta el límite marcado por la potencia aparente. En esos momentos, la electrónica de potencia se opera para que, además de dar la potencia activa requerida en función de la realización y de los requisitos de operación de la red, realice la regulación de potencia reactiva requerida de forma parcial o total en función de si la potencia aparente máxima, y los valores máximos de tensión y corriente soportados por los semiconductores, se alcanzan o no, respectivamente.
- 5
- 10 En conclusión, la presente invención mejora la capacidad de regulación de potencia en parques eólicos (2) a través de la utilización de un sistema de producción de hidrógeno (4) formado por una configuración jerarquizada de unidades de electrólisis (5) que permite reducir hasta niveles despreciables la banda muerta de dicho sistema de producción de hidrógeno (4). Las diferentes realizaciones de la presente invención permiten la conversión de las centrales eléctricas basadas en recursos renovables no gestionables, en centrales eléctricas con gestión de los servicios de regulación de potencia.
- 15

## REIVINDICACIONES

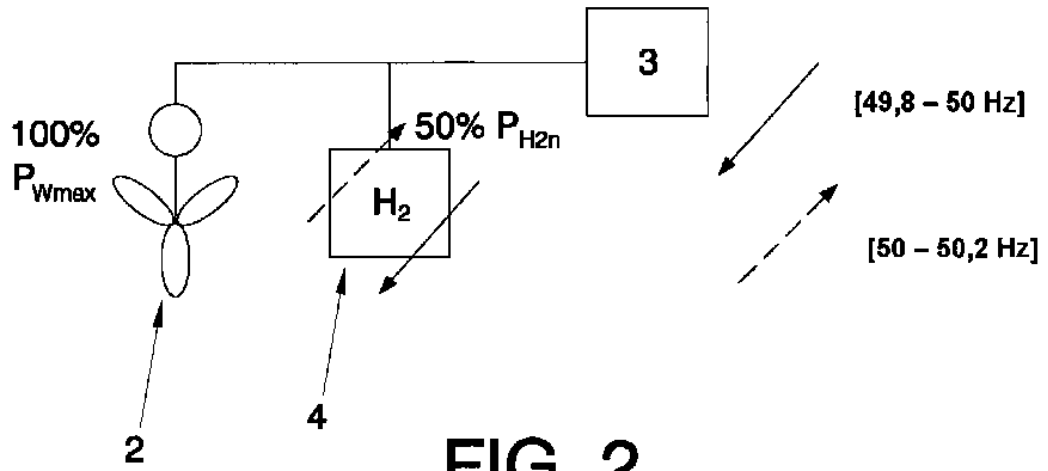
1. Un sistema de producción de hidrógeno (4) para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables, **caracterizado porque** comprende al menos dos unidades de electrólisis (5) controladas de forma independiente, y dispuestas en una configuración jerarquizada con valores de potencia descendientes de tal manera que, para una unidad cualquiera del sistema de producción de hidrógeno (4), la suma de los valores de potencia de las unidades de electrólisis menores (5) es siempre mayor o igual que la banda muerta (DB) de dicha unidad, siendo dicha banda muerta (DB) la región en la que las unidades de electrólisis (5) no pueden operar, permitiendo reducir hasta niveles despreciables la banda muerta (DB) de dicho sistema de producción de hidrógeno (4), y evitando la pérdida o vertido de energía producida en dichas centrales de energías renovables conectadas a la red eléctrica (3).
2. Un sistema de producción de hidrógeno (4) para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables de acuerdo con reivindicación 1, **caracterizado porque** la central eléctrica basada en fuentes de energía renovables comprende uno o más parques eólicos (2) coordinados entre sí, y formados a su vez por una serie de aerogeneradores (1).
3. Un sistema de producción de hidrógeno (4) para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables de acuerdo con reivindicación 1, **caracterizado porque** la central eléctrica basada en fuentes de energías renovable comprende uno o varios parques fotovoltaicos.
4. Un sistema de producción de hidrógeno (4) para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables de acuerdo con reivindicación 1, **caracterizado porque** comprende adicionalmente un sistema de baterías (6) para dar apoyo al sistema de producción de hidrógeno (4) en la regulación de potencia.
5. Un sistema de producción de hidrógeno (4) para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables de acuerdo con reivindicación 1, **caracterizado porque** comprende adicionalmente un sistema de pilas de combustible encargado de generar energía eléctrica e inyectarla en la red en el intervalo de frecuencias de red inferiores a la frecuencia nominal, mientras que el sistema de producción de hidrógeno (4) se encarga de consumir energía eléctrica en el intervalo de frecuencias de red superiores a la frecuencia nominal.
6. Sistema de producción de hidrógeno (4) para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables de acuerdo con reivindicación 5, **caracterizado porque** comprende adicionalmente un sistema de almacenamiento de hidrógeno, de modo que el hidrógeno producido por el sistema de producción de hidrógeno (4) se consume posteriormente por el sistema de pilas de combustible.
7. Un sistema de producción de hidrógeno (4) para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables de acuerdo con reivindicación 1, **caracterizado porque** comprende adicionalmente un sistema formado por motor de combustión de hidrógeno con un generador eléctrico acoplado al mismo, o por una combinación de ambos sistemas.
8. Un sistema de producción de hidrógeno (4) para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables de acuerdo con reivindicación 4, **caracterizado porque** comprende adicionalmente un sistema de almacenamiento energético basado en volantes de inercia o bancos de condensadores, o una combinación de éstos con el sistema de baterías (6).
9. Un sistema de producción de hidrógeno (4) para la regulación de potencia en centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables de acuerdo con reivindicación 1, **caracterizado porque** tanto el sistema de producción de hidrógeno (4) como dichas centrales eléctricas incorporan electrónica de potencia que regula la potencia reactiva generada o consumida en el punto de conexión a la red.
10. Un procedimiento de regulación de potencia entregada a la red (3) para el control de la frecuencia de red (3) en su valor nominal, mediante el sistema de producción de hidrógeno (4) que se ha descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** el control de la frecuencia de red (3) se realiza únicamente mediante el sistema de producción de hidrógeno (4).
11. Un procedimiento de regulación de potencia de acuerdo con reivindicación 10, **caracterizado porque** los aerogeneradores (1) del parque eólico (2) permanecen funcionando a la máxima potencia disponible en cada momento, y las unidades de electrólisis (5) operan al 50% de su margen de operación, mientras el servicio de regulación primaria

no sea requerido.

12. Un procedimiento de regulación de potencia de acuerdo con reivindicación 10, **caracterizado porque** cuando se requiere la regulación primaria de inyección, es decir, debe inyectarse potencia eléctrica en la red (3), lo cual ocurre cuando la frecuencia disminuye por debajo de su valor de consigna, el sistema de producción de hidrógeno (4) disminuye su potencia.
13. Un procedimiento de regulación de potencia de acuerdo con reivindicación 10, **caracterizado porque** cuando se requiere la regulación primaria de retirada, es decir, cuando debe reducirse la potencia entregada a la red (3), lo cual ocurre cuando la frecuencia aumenta por encima de su valor de consigna, el sistema de producción de hidrógeno (4) aumenta su potencia.
14. Un procedimiento de regulación de potencia entregada a la red (3) para el control de la frecuencia de red (3) en su valor nominal, mediante el sistema de producción de hidrógeno (4) que se ha descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 9, caracterizado porque el control de la frecuencia de red (3) se realiza **de forma conjunta** entre el parque eólico (2) y el sistema de producción de hidrógeno (4).
15. Un procedimiento de regulación de potencia de acuerdo con reivindicación 14, **caracterizado porque** los aerogeneradores (1) del parque eólico (2) permanecen funcionando a la máxima potencia disponible en cada momento, y las unidades de electrólisis (5) operan al 100% de su margen de operación, mientras el servicio de regulación primaria no sea requerido.
16. Un procedimiento de regulación de potencia de acuerdo con reivindicación 14, **caracterizado porque** cuando se requiere regulación primaria de inyección, el sistema de producción de hidrógeno (4) modifica su punto de funcionamiento, disminuyendo la potencia consumida por debajo de su valor nominal, liberando así potencia del parque eólico (2) que se inyecta en la red (3), permaneciendo el parque eólico (2) en su potencia máxima.
17. Un procedimiento de regulación de potencia de acuerdo con reivindicación 14, **caracterizado porque** cuando se requiere regulación primaria de retirada, es el parque eólico (2) el que disminuye su potencia, permaneciendo el sistema de producción de hidrógeno (4) en su potencia nominal.
18. Un procedimiento de regulación de potencia de acuerdo con reivindicaciones 10 ó 14, **caracterizado porque** el sistema de baterías (6) actúa en un intervalo de frecuencias próximo a la frecuencia nominal del sistema, mientras que el sistema de producción de hidrógeno (4), con una dinámica más lenta, actúa en los valores de frecuencia externos al margen operativo del sistema de baterías (6), para la banda de regulación de frecuencia global establecida por la normativa de regulación primaria.
19. Un procedimiento de regulación de potencia de acuerdo con reivindicación 10 ó 14, **caracterizado porque** el sistema de producción de hidrógeno (4) actúa en un intervalo de frecuencias próximo a la frecuencia nominal del sistema, y el sistema de baterías (6) actúa en los valores de frecuencia externos al margen operativo del sistema de producción de hidrógeno (4), para la banda de regulación de frecuencia global establecida por la normativa de regulación primaria.
20. Un procedimiento de regulación de potencia de acuerdo con reivindicaciones 10 ó 14, **caracterizado porque** también pueden proporcionarse servicios de regulación secundaria y/o terciaria.
21. Un procedimiento de regulación de intercambio de potencia reactiva con la red eléctrica (3) para centrales eléctricas basadas en fuentes de energía renovables, **caracterizado porque** la potencia reactiva se regula mediante electrónica de potencia tanto de dichas centrales como del sistema de producción de hidrógeno (4) que se ha descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.



**FIG. 1**



**FIG. 2**

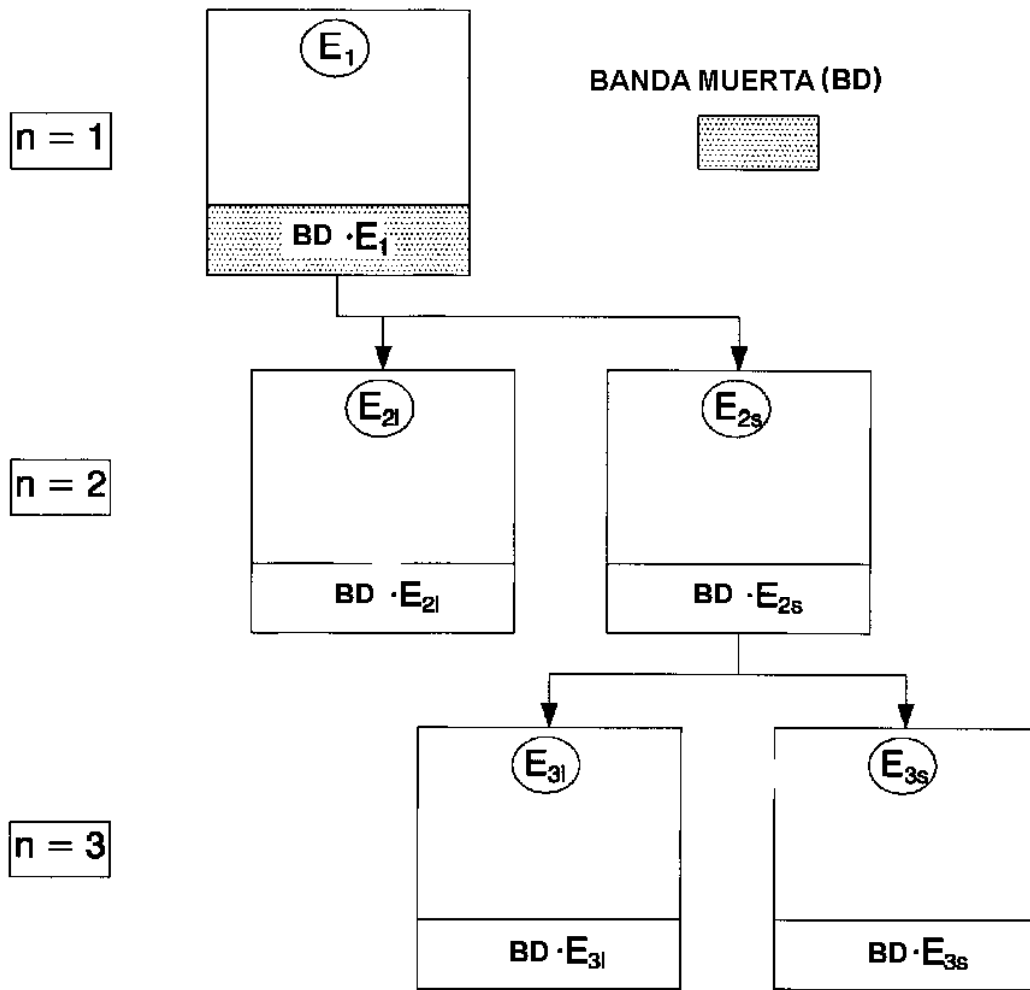
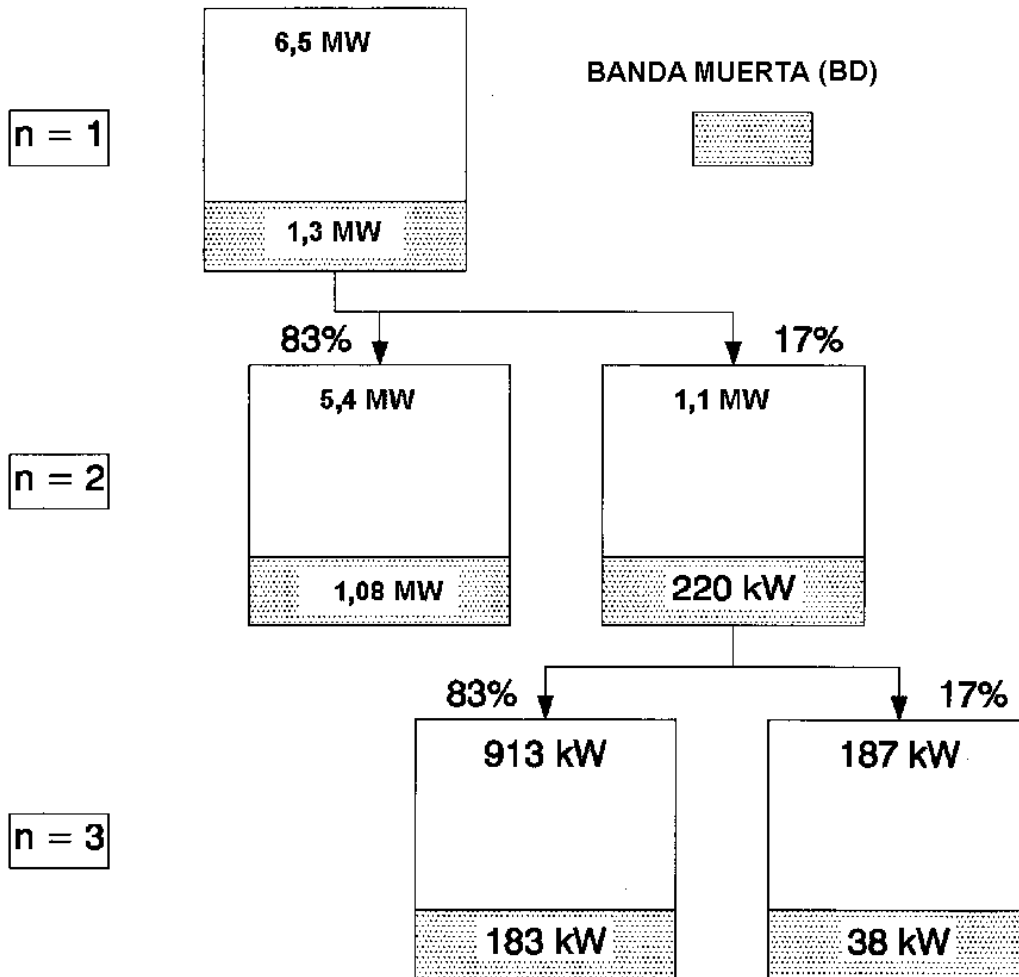
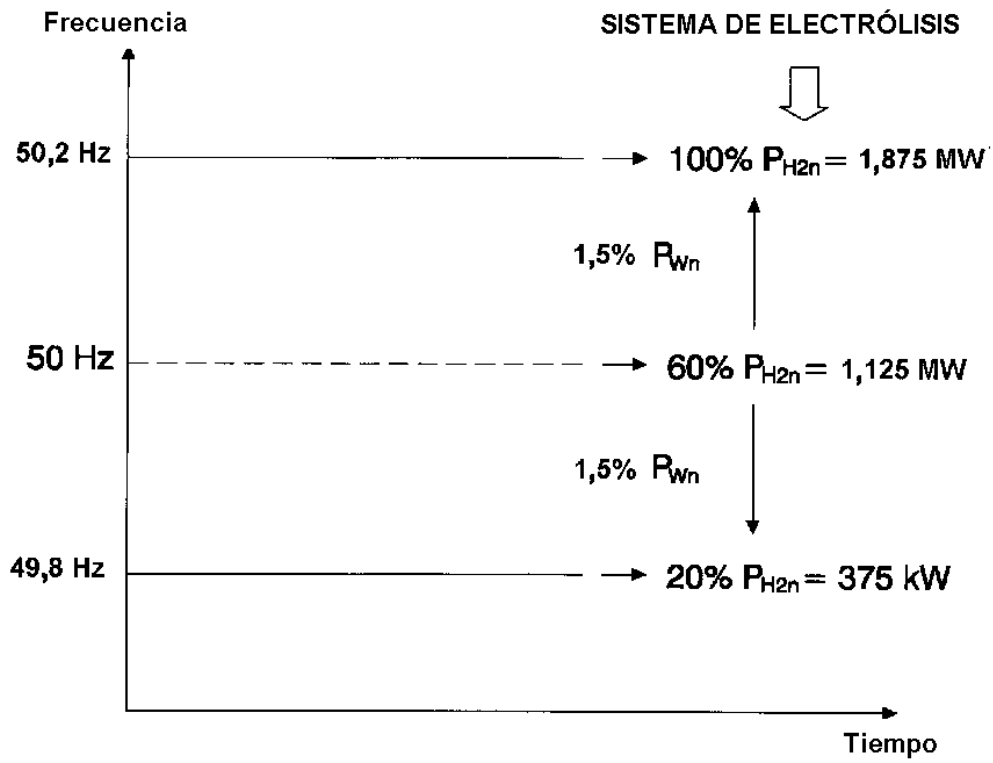


FIG. 3



**FIG. 4**

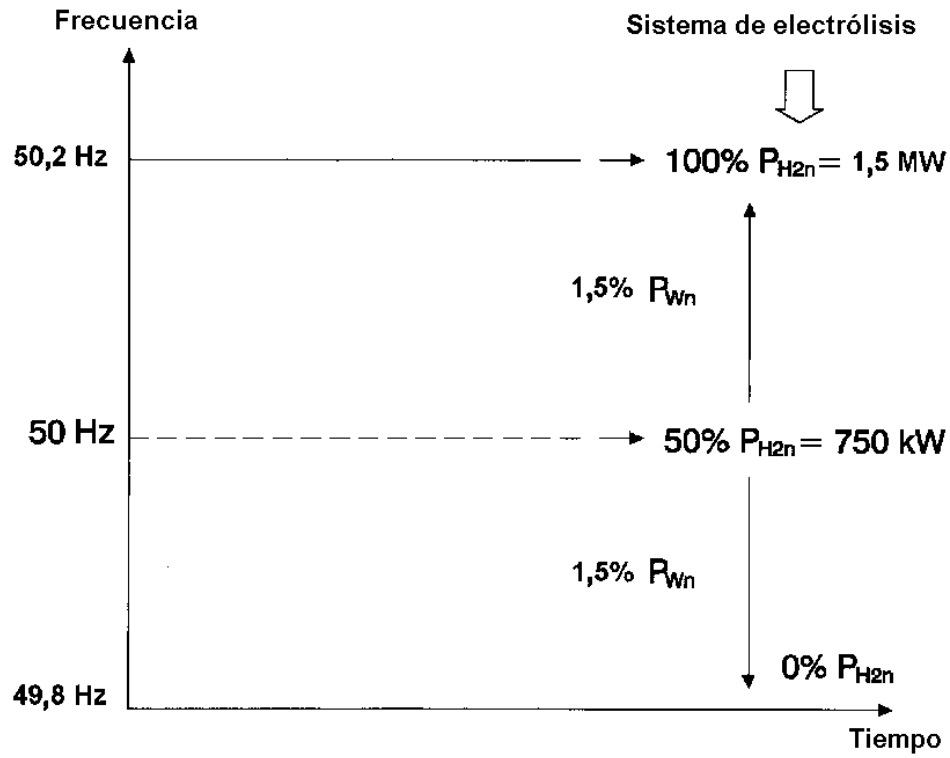




%  $P_{Wn}$  : Porcentaje de potencia nominal del parque eólico

%  $P_{H_2n}$  : Porcentaje de potencia nominal del sistema de producción de hidrógeno.

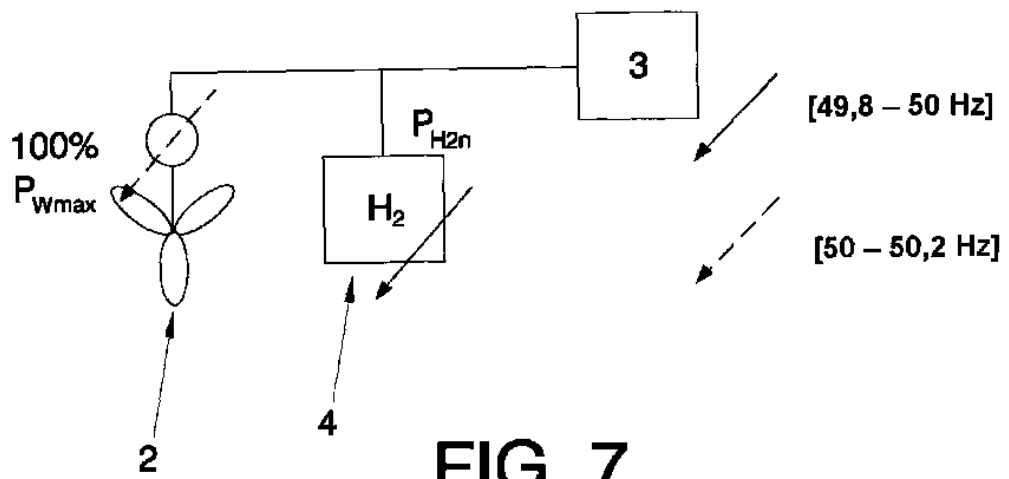
**FIG. 5**



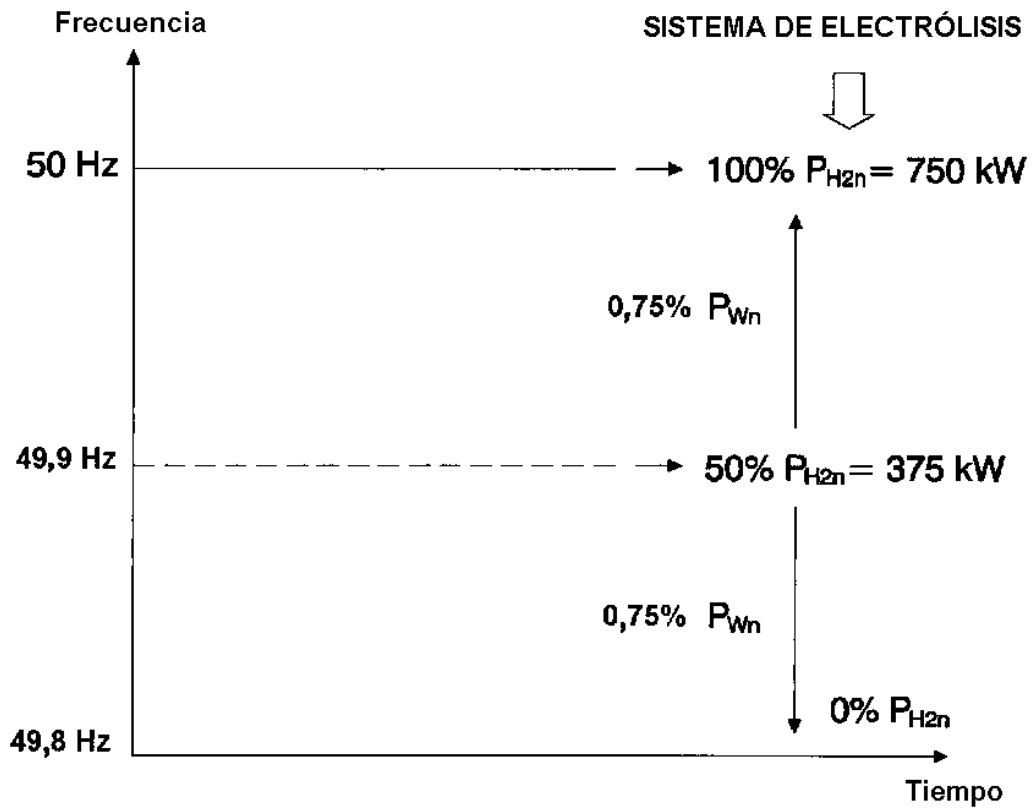
%  $P_{Wn}$  : Porcentaje de potencia nominal del parque eólico

%  $P_{H2n}$  : Porcentaje de potencia nominal del sistema de producción de hidrógeno.

FIG. 6



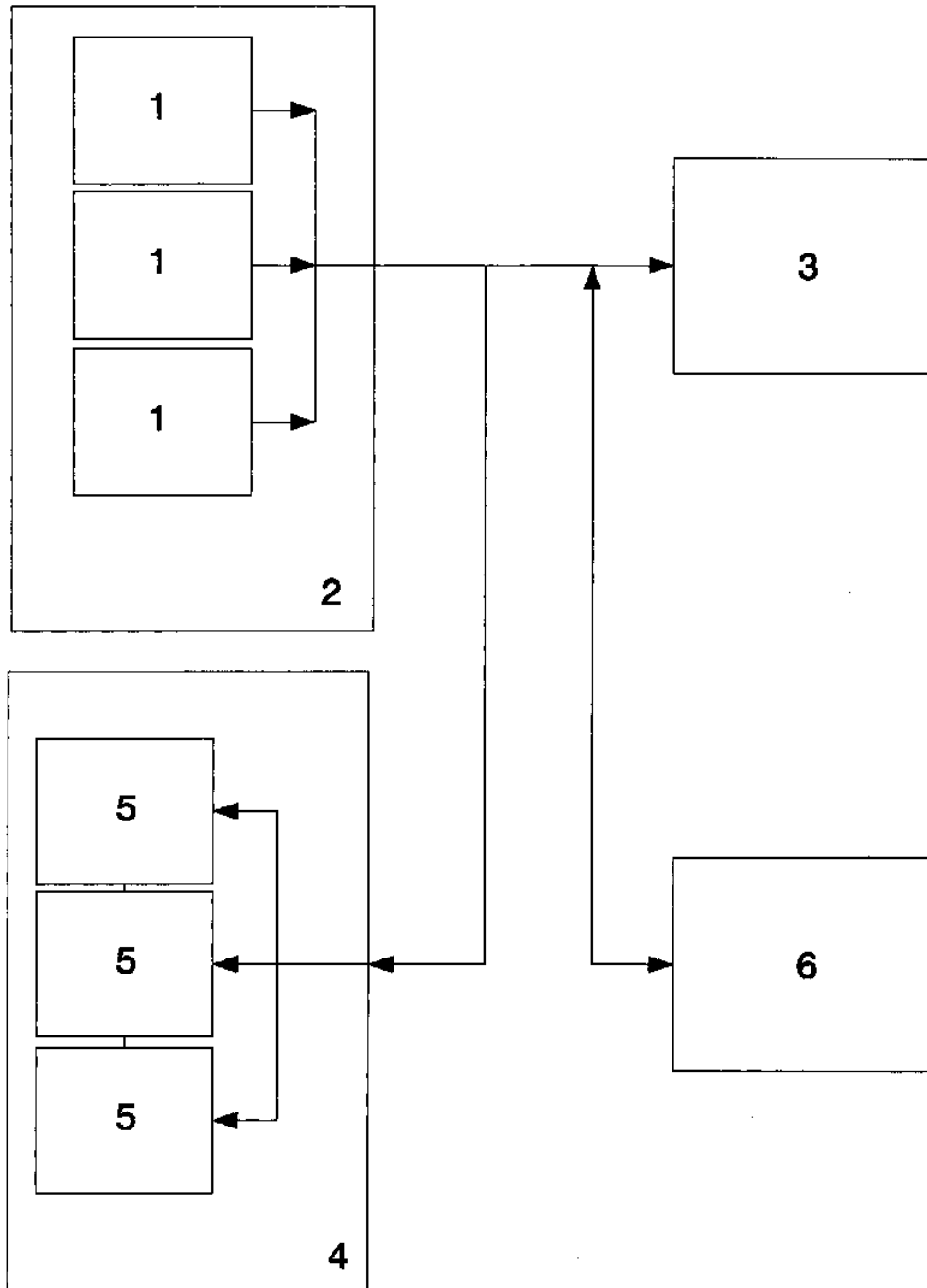
**FIG. 7**



%  $P_{Wn}$  : Porcentaje de potencia nominal del parque eólico

%  $P_{H_2n}$  : Porcentaje de potencia nominal del sistema de producción de hidrógeno.

**FIG. 8**



**FIG. 9**