

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 375**

51 Int. Cl.:

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2013** **PCT/ES2013/070675**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2015** **WO15044466**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2013** **E 13802078 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.11.2017** **EP 3054550**

54 Título: **Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.03.2018

73 Titular/es:

ACCIONA ENERGÍA, S.A. (100.0%)
Avenida Ciudad de la Innovación 5
31621 Sarriguren (Navarra), ES

72 Inventor/es:

PADROS, MARÍA ASUNCIÓN;
RABAL, DANIEL;
BERAZALUCE, ÍÑIGO;
CUESTA, DAVID;
MARROYO, LUÍS y
MARCOS, JAVIER

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 657 375 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

Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se puede incluir en el campo técnico de los procedimientos para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía.

El objeto de la presente invención es un procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación renovable intermitente, como por ejemplo una planta solar fotovoltaica que reduce el tamaño del sistemas de almacenamiento de energía necesario para cumplir el requisito de una rampa máxima de fluctuación de potencia, reduciendo por tanto costes de inversión en la planta y/o llevando a cabo un uso racionalizado del sistema de almacenamiento de energía tal que para cumplir una misma rampa máxima de fluctuación se hace un uso menor del sistema de almacenamiento de energía alargando la vida del mismo y reduciendo por tantos costes de operación de planta.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La energía solar fotovoltaica produce en función de la radiación global disponible, que depende, para una determinada ubicación, del día del año y hora del día, pero también de efectos meteorológicos como nubes o aerosoles en la ubicación concreta de los paneles fotovoltaicos.

Por tanto, a lo largo de un día cualquiera, la producción de energía solar fotovoltaica presentará variaciones importantes. Un día soleado, por ejemplo presentará una variación predecible por los distintos niveles de radiación a lo largo del día y por los distintos ángulos que formará el sol durante el día con los paneles solares fotovoltaicos en función del tipo de seguimiento que tengan.

En un día nublado, la producción presentará unas variaciones adicionales que pueden ser mucho más rápidas en función del tamaño de la planta fotovoltaica y la velocidad con la que las nubes se desplacen sobre ella, donde las curvas de potencia serán completamente diferentes para un día despejado, un día con nubes y claros y un día completamente nublado.

La nubosidad es compleja de predecir y rápida en sus efectos por lo que puede producir fluctuaciones en la producción de las plantas fotovoltaicas que crean problemas en la estabilidad del sistema eléctrico. Los operadores de las redes eléctricas han realizado numerosos estudios de los efectos de las fluctuaciones ya que al no poder preverlos tienen que disponer en la red de suficiente capacidad de regulación para absorber los mismos. Las variaciones máximas de potencia en plantas fotovoltaicas pueden llegar incluso al 90% en intervalos de tiempo muy cortos, de menos de un minuto.

En el caso de un parque eólico, el recurso eólico obtenido es también variable en función de las condiciones meteorológicas, con lo que los efectos son similares a los presentes en plantas fotovoltaicas, aunque con dinámicas y horarios distintos.

Uno de los modos de solucionar las fluctuaciones de potencia es regular la producción limitando la velocidad máxima de variación de la potencia, típicamente con el valor de la rampa máxima que puede tener la variación de potencia en cada ciclo de control. Ello requiere predecir las fluctuaciones y adelantarse limitando la producción de la planta. Para predecir las fluctuaciones se requeriría evaluar las modificaciones de los parámetros meteorológicos que las producen con exactitud. La mala predicción de las variables meteorológicas y su efecto en la producción de la planta puede provocar muchas pérdidas en este proceso y justificar la inversión en sistemas de almacenamiento de energía.

El modo en que la normativa trata este problema es imponiendo rampas máximas de variación de potencia a la inyección de energía en la red por las plantas de generación intermitente. De esta manera se puede asegurar que la variación de potencia de una planta, o un conjunto de plantas, no supera la dinámica con que otras plantas en el sistema pueden incrementar o reducir potencia para que en cada instante no se altere el balance de producción y consumo.

Para fijar estos valores se suele tomar como referencia la velocidad de variación de potencia posible para las plantas térmicas, entre el 2,5%-4% de su potencia nominal por minuto, que componen la generación gestionable. De esta manera se asegura que el resto del sistema, si dispone de capacidad suficiente de regulación, puede responder a pérdidas rápidas de potencia en las plantas de generación intermitente de energía. Otra opción es considerar que la

agregación de plantas cercanas producirá una variación en la potencia suma de todas ellas menor que la de cada planta individual, con lo que se puede fijar una rampa máxima para cada planta mayor que la que se puede gestionar con la capacidad de regulación disponible, por ejemplo el 10% de la potencia nominal por minuto.

Las plantas con acumulación de energía pueden controlar la velocidad de variación de su salida mediante la carga o descarga de energía de los sistemas de acumulación. Por ejemplo, a una planta de 1,2MWp se puede añadir un sistema de baterías de 1MW-560kWh con el que se pueden controlar las variaciones de potencia de salida de la planta según una pendiente máxima determinada por el sistema de control.

Se conocen en el estado de la técnica estrategias en plantas de generación solares y eólicas y con diversas tecnologías de acumulación de energía, donde el modo normal de controlar las fluctuaciones de potencia es almacenando el exceso en la acumulación o cediendo el déficit desde la acumulación, de manera que cuando se producen incrementos de potencia, la batería se carga para que la producción que se inyecta en la red no tenga grandes oscilaciones, mientras que cuando se producen caídas de potencia, la batería aporta energía para mantener la producción que se inyecta en la red sin grandes oscilaciones, donde este procedimiento se puede llevar a cabo de diferentes formas obteniendo diferentes resultados.

El modo inmediato de hacerlo, referenciado como rampas, es con un algoritmo de control que en el tiempo de ciclo que se defina, fije un valor de carga o descarga de la batería para que no exista en el ciclo siguiente un valor con una desviación mayor que la permitida por la rampa máxima de fluctuación de potencia. Esto se observa en la Figura 4.

Un ejemplo de limitación de rampa de potencia se divulga en JP2008259357.

Otro modo de control conocido en el estado de la técnica es el denominado de retraso, que define una ventana de tiempo y entrega según lo que estaba ocurriendo en la planta al principio de dicha ventana temporal.

Las distintas estrategias utilizan la batería de modos distintos, de manera que cuando la batería es ciclada con una profundidad menor, redundando en una mayor vida de la batería y viceversa.

Una estrategia de retraso permite dimensionar la batería con un menor tamaño pero se hará un mayor uso de la misma, provocando una menor vida y mayores pérdidas energéticas por el trasiego de energía por la batería, que presenta un rendimiento siempre inferior a la unidad. Por tanto el cálculo económico requiere de ambas consideraciones.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención resuelve el problema técnico planteado, mediante un procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía que reduce el tamaño del sistema de almacenamiento de energía necesario para cumplir el requisito de una rampa máxima de fluctuación de potencia, reduciendo por tanto costes de inversión en la planta y/o llevando a cabo un uso racionalizado del sistema de almacenamiento de energía tal que para cumplir una misma rampa máxima de fluctuación se hace un uso menor del sistemas de almacenamiento de energía alargando la vida del mismo y reduciendo por tantos costes de operación de planta.

En cualquiera de las estrategias mencionadas en el apartado de antecedentes de la invención, como la regulación de la salida de potencia de la planta se realiza utilizando la carga o descarga de un sistema de acumulación de capacidad finita, se debe conseguir llevar el estado de carga del sistema de acumulación (SOC) a un valor definido, un SOC objetivo. De esta manera el sistema de acumulación no llegará a sus valores máximos y mínimos técnicos permitidos, y se asegurará que el sistema de acumulación tiene energía suficiente almacenada y capacidad de carga de energía suficiente para cumplir su funcionalidad. Se denominará algoritmo para el control del estado de carga a la estrategia que cargue el sistema de almacenamiento cuando el SOC baja de un valor determinado y descargue la batería cuando el SOC sube de un valor determinado; o bien como una componente de carga o descarga que depende de la separación entre el SOC en cada instante y el SOC objetivo.

Por tanto el diseño del sistema de acumulación a incorporar a una planta de generación intermitente se realiza determinando primero la estrategia global de operación. Hasta ahora, se han mencionado las estrategias de seguimiento de rampas máximas de fluctuación y el retraso. A partir de las fluctuaciones de recurso solar o eólico previstas y de la estrategia a seguir, se podrá determinar la capacidad de carga y descarga de energía que necesitará el sistema de acumulación asociado a la planta de generación intermitente. Con ello se podrá dimensionar la capacidad energética total del sistema de almacenamiento de energía y un SOC objetivo de modo que la batería pueda dar la capacidad de carga y descarga especificada. Se incluirá alguna estrategia para que durante el funcionamiento el SOC del sistema de almacenamiento no se desvíe en demasía del objetivo de modo que se asegure en el tiempo el cumplimiento de la funcionalidad requerida.

El procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía de la presente invención, que es aplicable por ejemplo a una planta solar fotovoltaica, y donde el sistema de almacenamiento de energía es por ejemplo una batería, comprende una etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia a la inyección de energía en la red por parte de la planta de generación intermitente de energía.

La invención tiene en cuenta que tanto las condiciones para el control de la fluctuación de la potencia de salida de planta, como las condiciones del estado de carga del sistema de acumulación pueden ser dinámicas de manera que varíen en función de otros parámetros. Las relaciones de variación tienen sentido conociendo la aplicación y cómo funcionan las plantas de generación intermitente renovables objeto de esta invención.

La etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia a la inyección de energía en la red por parte de la planta de generación intermitente se lleva a cabo, en el procedimiento de la presente invención, mediante:

una subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC).

Adicionalmente, puede ser llevada a cabo mediante una subetapa de imposición del estado de carga objetivo del sistema de almacenamiento de energía (SOC_{obj}) de manera dinámica en función de la potencia instantánea producida por la planta y/o la previsión de la misma por predicción meteorológica.

Dado que la etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia a la inyección de energía en la red por parte de la planta de generación intermitente se lleva a cabo mediante la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de salida de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC), se asegura que la variación de potencia de una planta, o un conjunto de plantas, no supera la dinámica máxima permitida; fijada para que otras plantas en el sistema pueden incrementar o reducir potencia de modo que en cada instante no se altere el balance de producción y consumo del conjunto del sistema.

De esta manera, si el estado de carga está por debajo de un valor de consigna, las pendientes se modifican para ayudar a que el sistema de almacenamiento de energía se cargue. Si el estado de carga del sistema de almacenamiento de energía es superior al valor de consigna, las pendientes se modifican para ayudar a la descarga del sistema de almacenamiento de energía, siempre cumpliendo con las pendientes máximas permitidas.

Así, se consigue reducir el uso del sistema de almacenamiento de energía (número de ciclos de carga/descarga en el caso de una batería) debido a que mediante el uso de rampas máximas de limitación de la variación de potencia dinámicas en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía se consigue que la batería se aleje lo menos posible del estado de carga fijado como objetivo.

En el caso de que la etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia a la inyección de energía en la red por parte de la planta de generación intermitente se lleva a cabo adicionalmente mediante la subetapa de imposición del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía objetivo (SOC_{obj}) de manera dinámica en función de la potencia instantánea producida por la planta y/o la previsión de la misma por predicción meteorológica, se asegura que si la planta está produciendo una potencia cercana a la nominal se aumentará el SOC objetivo ya que la fluctuación que se puede dar producirá una descarga del sistema de almacenamiento de energía, mientras que si se está produciendo una potencia reducida se reducirá el SOC objetivo.

De esta manera, se dimensiona el sistema de almacenamiento de energía de un modo más óptimo reduciendo el uso del mismo y alargando su vida. La imposición del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía objetivo (SOC_{obj}) de manera dinámica permitirá fundamentalmente reducir el tamaño del sistema de almacenamiento de energía necesario para cumplir una rampa máxima

La combinación de ambas subetapas de imposición alcanza un óptimo en función de la aplicación.

Opcionalmente, la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC), comprende una etapa de filtrado de las rampas dinámicas para que no actúen si la potencia de planta es muy baja o muy cercana a la nominal.

Esto es debido a que en las mencionadas condiciones de potencia producida por la planta, se pueden dar grandes fluctuaciones de potencia en la salida de la planta que pueden llegar a ser del 90%. Esta condición lógicamente nunca se dará si la planta produce el 40 o el 60% de su potencia nominal. Este filtro hará que las rampas dinámicas solamente sean de aplicación dentro de un rango de potencia producida por la planta (preferentemente entre el 30 y el 70% de la potencia nominal) y fuera de ese rango se aplican las limitaciones de rampas máximas.

Además de las dos subetapas descritas anteriormente que permiten llevar a cabo la etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia a la inyección de energía en la red por parte de la planta de generación intermitente, el procedimiento de la presente invención puede comprender una subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía que añade al cálculo una componente de carga o descarga del sistema para no que no haya desviación del SOC objetivo y siempre cumpliendo con la rampa máxima limitante.

Por tanto, este algoritmo añade una componente de carga del sistema de almacenamiento de energía si ésta se encuentra por debajo del SOC objetivo y una componente de descarga si ésta se encuentra por encima del SOC objetivo, pudiendo utilizar una banda muerta o histéresis para limitar las condiciones de activación de este algoritmo a desviaciones suficientemente grandes del SOC objetivo.

Cuando el procedimiento hace uso de la subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga (SOC) del sistema de almacenamiento de energía, si la planta produce más por ejemplo más de un 70% de su valor nominal, el SOC objetivo se aumenta del 50% a un valor entre el 70 y 100%, mientras que si la planta produce de menos del 30% de su valor nominal, el SOC objetivo se reduce del 50% a un valor entre el 0 y el 30%.

En la tabla siguiente se muestran diferentes parámetros entre el procedimiento de la presente invención y los procedimientos de rampa y retraso del estado de la técnica, observándose la mejora en los diferentes parámetros debida a dicho procedimiento para el caso en el que el sistema de almacenamiento de energía sea una batería.

Procedimiento	Rampa dinámica	Rampa	Retraso
Fluctuación máxima(%/600s)	25	25	25
Batería media anual (kWh)	120	240	312
Batería máxima anual (kWh)	500	540	368
Horas uso batería (% horas produc.)	12	11	44

Como se observa en la tabla, mediante el uso de rampas dinámicas se mejora especialmente el uso del sistema de almacenamiento de energía, que en este caso es una batería (reflejado en el parámetro “batería media anual”) y con ello se reducen los ciclos que realiza la batería y se alarga su vida, siendo este un punto crítico ya que las plantas fotovoltaicas se diseñan para operar al menos 25 años. Como se observa en la tabla anterior, la batería máxima anual refleja el tamaño de batería a instalar en una planta por MW fotovoltaico instalado. Cuanto mayor es el número, mayor es la inversión requerida para cumplir requisitos.

Además, en el caso de combinar la rampa dinámica con la estrategia de SOC dinámico se consigue una reducción de la batería máxima anual necesaria, aumentando de nuevo el uso de la batería, con lo que se podría encontrar un óptimo de ambas estrategias en función del proyecto específico. El uso de predicción meteorológica para detectar las condiciones en las que se producirán grandes fluctuaciones de potencia, será útil para aplicar la estrategia de SOC dinámico solamente en estas condiciones y aunar la reducción de tamaño de la batería con el menor número de ciclos de la batería en uso y mayor vida que ello conlleva.

Ambas estrategias, como se ha comentado, se pueden aplicar por separado si lo que se desea es primar uno de los dos resultados.

En determinados casos, el requisito de cumplimiento de rampa máxima se puede transformar en un cumplimiento de escalones de potencia. Si la verificación de las fluctuaciones de potencia se realiza con equipos de medida en planta que miden la producción por ejemplo cada 15 min, el cumplimiento de un requisito de fluctuación de potencia aplicará solamente entre intervalos de 15 min. La rampa en ese momento se convierte en escalones de potencia cada 15 minutos y la estrategia de cumplimiento se puede adaptar a este requisito de modo que se reduzca el uso de la misma.

La estrategia llamada escalón, conocida en el estado de la técnica, se asegura de que la fluctuación es medida en dos momentos temporales separados un cierto valor, por ejemplo los mencionados 15 minutos, pero no en tiempos menores.

La presente invención hace uso de sistemas de almacenamiento de energía, entre los que pueden estar la batería ya citada, superconductores o incluso volantes de inercia, en los que la energía acumulada no es de tipo eléctrico, no estando no obstante limitada a los anteriores.

Las plantas de generación intermitente de energía en las que se puede aplicar el procedimiento de la presente invención son plantas solares fotovoltaicas, plantas de energía eólica o plantas de energía mareomotriz.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando 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 donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra un diagrama de bloques del procedimiento de la invención según un primer modo de realización preferente.

Figura 2.- Muestra un diagrama de bloques del procedimiento de la invención según un segundo modo de realización preferente.

Figura 3.- Muestra un diagrama de bloques del procedimiento de la invención según un tercer modo de realización preferente.

Figura 4.- Muestra una gráfica de la evolución de potencia en una planta de generación intermitente de energía y la etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia a la inyección de energía en la red por parte de la planta de generación intermitente de energía, según el estado de la técnica.

Figura 5.- Muestra una vista gráfica de la pendiente con la que varía la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía, concretamente una batería, de acuerdo al procedimiento de la presente invención. En dicha figura el SOC objetivo es el 50%.

Figura 6.- Muestra una gráfica de la evolución de potencia en una planta de generación intermitente de energía y la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que varía la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC) según el procedimiento de la presente invención.

Figura 7.- Muestra un esquema del uso de rampas dinámicas en función de la potencia producida por la planta en un momento dado según la presente invención.

Figura 8.- Muestra dos ejemplos los requisitos de aplicación de la subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía.

Figura 9.- Muestra los requisitos del SOC de la batería en función de la rampa máxima a la izquierda y de la potencia para el control del SOC a la derecha para una combinación de la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que varía la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC) y de la subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía.

Figura 10.- Muestra varios ejemplos del SOC de la potencia de la planta cuando se ha aplicado el SOC objetivo dinámico en función de la potencia instantánea producida por la planta y/o la previsión de la misma por predicción meteorológica.

Figura 11.- Muestra unas graficas en las que se representa la potencia de la planta a las que se ha aplicado un procedimiento de escalón constante, a la izquierda, y un procedimiento de escalón simple a la derecha, ambos conocidos en el estado de la técnica.

Figura 12.- Muestra unas graficas en las que se representa la potencia de la planta a las que se ha aplicado un procedimiento de escalón constante, a la izquierda, y un procedimiento de escalón simple a la derecha, según el procedimiento de rampa dinámica de la presente invención.

Figura 13.- Muestra una gráfica de la evolución del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía, que en este ejemplo es una batería, tanto teórico como real a lo largo de un día en el que se aplica el procedimiento de rampa dinámica de la presente invención, donde el teórico refleja el SOC objetivo que va variando en función de las condiciones de producción y/o predicción de producción y el real cómo el algoritmo lo va buscando.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Seguidamente se describe, con ayuda de las figuras 1 a 13 anteriormente referidas, una descripción en detalle de

una realización preferente de la invención.

El procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía, que en este ejemplo de realización preferente es una batería, y es aplicable para una planta solar fotovoltaica, comprende una etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia a la inyección de energía en la red por parte de la planta solar fotovoltaica mediante una combinación de las siguientes subetapas:

- una subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC),
- una subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía que añade al cálculo una componente de carga o descarga del sistema para no que no haya desviación del SOC objetivo y siempre cumpliendo con la rampa máxima limitante, y
- una subetapa de imposición del estado de carga objetivo del sistema de almacenamiento de energía (SOC_{obj}) de manera dinámica en función de la potencia instantánea producida por la planta y/o la previsión de la misma por predicción meteorológica.

Con esta combinación de subetapas se alcanza el procedimiento óptimo de control de fluctuaciones de potencia, recogido en el esquema de la Figura 1.

Alternativamente, tal y como se muestra en el esquema de la Figura 3, se contempla un procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia que solamente contiene:

- la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC), y
- la subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía que añade al cálculo una componente de carga o descarga del sistema para no que no haya desviación del SOC objetivo y siempre cumpliendo con la rampa máxima limitante.

Convencionalmente, y mostrado en el esquema de la Figura 2, se contempla un procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia que solamente contiene:

- una subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía que añade al cálculo una componente de carga o descarga del sistema para no que no haya desviación del SOC objetivo y siempre cumpliendo con la rampa máxima limitante, y
- una subetapa de imposición del estado de carga objetivo del sistema de almacenamiento de energía (SOC_{obj}) de manera dinámica en función de la potencia instantánea producida por la planta y/o la previsión de la misma por predicción meteorológica.

La decisión de elegir cualquiera de las alternativas descritas anteriormente se puede llevar a cabo en función de la predicción meteorológica.

La Figura 5 muestra una gráfica de la pendiente con la que varía la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía, concretamente una batería, de acuerdo a la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC),

La Figura 6 muestra una gráfica de la evolución de potencia en una planta de generación intermitente de energía y la etapa de imposición del componente dinámico de la rampa definida según la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC).

Opcionalmente, la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC), comprende una etapa de filtrado de las rampas dinámicas para que no actúen si la potencia de planta es muy baja o muy cercana a la nominal, tal como se muestra en la Figura 7. Esta etapa de filtrado hace que la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC) sea de aplicación solamente dentro de un rango de potencia producida por la planta (por ejemplo tomando como rango inferior entre el 20 y el 40% de la potencia nominal y como rango superior entre el 60 y el 80% de la potencia nominal), aplicándose fuera de ese rango las limitaciones de rampas máximas.

La Figura 8 muestra dos ejemplos de los requisitos de aplicación de la una subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía. A la izquierda se muestra el algoritmo aplicado en escalones y a la derecha el algoritmo aplicado en miles de escalones.

Esta subetapa de imposición del algoritmo añade una componente de carga de la batería si esta se encuentra por debajo del SOC objetivo y una componente de descarga si esta se encuentra por encima del SOC objetivo, pudiendo utilizar una banda muerta o histéresis para limitar las condiciones de activación de este algoritmo a desviaciones suficientemente grandes del SOC objetivo

En la Figura 9 se muestran los requisitos del SOC de la batería en función de la rampa máxima a la izquierda y de la potencia para el control del SOC a la derecha para una combinación de la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC) y de la subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía.

En este ejemplo de realización preferente, se determinan unos valores de SOC óptimos para la planta, mostrados en la Figura 9, denominados SOCref1, entre SOC (50%) y SOCmáx y SOCref2, entre SOC (50%) y SOCmin que definen el óptimo de la rampa dinámica cuando en las mencionadas condiciones de potencia producida por la planta, se dan grandes fluctuaciones de potencia en la salida de la planta que pueden llegar a ser del 90%.

Estos valores SOCref1 y SOCref2 dependen de la rampa máxima exigida como requisito. Si la rampa máxima requerida es muy alta, la batería necesaria para cumplirla será muy pequeña y las variaciones del SOC de la batería provocada por la planta serán rápidas, y viceversa. Esto cambia el óptimo entre la separación de estos valores.

Preferentemente SOCref1 y SOCref2 son valores cercanos pero distintos para evitar un funcionamiento no muy estable del procedimiento y utilizar valores muy distintos diluye el beneficio de la rampa dinámica.

La subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC) para todos los ejemplos descritos anteriormente puede ser un valor constante o bien variable en función de la diferencia entre el SOC del sistema de almacenamiento de energía y su SOC objetivo.

En la Figura 10 se muestran los requisitos del SOC objetivo aplicados a la subetapa de imposición del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía objetivo (SOC_{obj}) de manera dinámica en función de la potencia instantánea producida por la planta y/o la previsión de la misma por predicción meteorológica.

Adicionalmente, el procedimiento puede presentar un tiempo de medida de las fluctuaciones de potencia significativamente mayor que el tiempo del ciclo de control de las mismas, dando lugar a un control por escalones. Debido a que el sistema de control de la planta presentará un tiempo de ciclo en función de la velocidad de cálculo y de la velocidad de las comunicaciones que típicamente puede estar entre 100 ms y 5 sec, y a que sin embargo las redes eléctricas presentan una inercia debido a los generadores síncronos conectados a las mismas y los dispositivos de regulación primaria que pueden ser de minutos, el requisito de cumplimiento de rampas se puede dar en base a medidas cada un determinado número de minutos, por ejemplo 15 min.

En estos casos, se define un plazo temporal para medir la fluctuación de potencia. Para ello se realiza una estrategia llamada escalón, conocida en el estado de la técnica, que define valores en escalones durante el tiempo de medida de la fluctuación donde cualquier fluctuación que no exceda ese escalón no requiere actuación, mientras que valores de fluctuación que excedan el escalón hace cambiar el nivel del escalón objetivo.

En la Figura 11 se muestra la situación de escalón constante y de escalón simple para la situación estática del estado de la técnica.

Como se muestra en dicha figura 11 se pueden construir los escalones de potencia que cumplen en el tiempo determinado con la fluctuación de potencia de modo que la potencia sea constante durante el tiempo entre 2 medidas (15 min por ejemplo), lo denominado escalón constante, con lo que se necesita una menor capacidad de batería, equivalente al área en la curva de potencia entre la de salida de planta y la producida por la planta. También se pueden construir los escalones replicando las fluctuaciones de potencia dentro del tiempo del escalón para reducir aún más el tamaño de batería necesario, lo que se ha llamado escalón simple, que pertenece al estado de la técnica.

A las estrategias llamadas escalón también se pueden aplicar las estrategias antes descritas de rampa dinámica en función del SOC (combinada o no con la función del control del SOC), o SOC dinámico en función de la producción instantánea de la planta. Se aprecia en la Fig 12 el efecto de aplicar las rampas dinámicas a los dos posibles tipos de escalón.

Adicionalmente, en este ejemplo de realización, el procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con batería en plantas de generación intermitente de energía comprende una subetapa de determinación del estado de carga de la batería en función de sistemas de predicción meteorológica a corto plazo. Estos sistemas buscan

predecir típicamente durante un periodo preestablecido de operación de las plantas solares posterior al actual, que preferentemente es de 1 hora, la radiación disponible, y con ello la producción de la planta solar, con precisiones de menos de 1 minuto. Ejemplos de estos sistemas están basados en cámaras de cielo, valores actuales de radiación y viento, y el uso de imágenes de nubosidad de satélite en tiempo real y se pueden utilizar para definir las condiciones existentes en las plantas durante ese periodo.

Con una predicción de este tipo se puede traducir las condiciones futuras de radiación a variaciones previstas de estado de carga de la batería para cumplir con las fluctuaciones de potencia objetivos y adaptar las rampas dinámicas con las que operará la planta de antemano para minimizar la desviación del estado de carga de la batería de la consigna objetivo, tal y como se muestra en la Figura 13.

Un ejemplo de implementación del procedimiento de la presente invención sería el siguiente:

- Rampa dinámica que varía entre 40% y 60% del SOC.
- Control del SOC si SOC batería < 40% → algoritmo de carga continua.
- Control del SOC si SOC batería > 60% → algoritmo de descarga continua.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía que comprende:

una etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia a la inyección de energía en la red por parte de la planta de generación intermitente de energía, caracterizado por que dicha etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia ($SOC_{\text{rampa máxima}}$) se lleva a cabo mediante:

una subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa ($SOC_{\text{rampa dinámica}}$) definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga (SOC) del sistema de almacenamiento de energía.

2.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según reivindicación 1 caracterizado por que la etapa de imposición de una rampa máxima de variación de potencia se lleva a cabo adicionalmente mediante:

una subetapa de imposición del estado de carga objetivo del sistema de almacenamiento de energía (SOC_{obj}) de manera dinámica en función de la potencia instantánea producida por la planta y/o la previsión de la misma por predicción meteorológica.

3.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2 caracterizado por que la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC), comprende una etapa de filtrado de las rampas dinámicas para que no actúen si la potencia de planta es muy baja o muy cercana a la nominal.

4.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 caracterizado por que comprende una subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía que añade al cálculo una componente de carga o descarga del sistema para no que no haya desviación del SOC objetivo y siempre cumpliendo con la rampa máxima limitante.

5.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el procedimiento hace uso de la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga (SOC) del sistema de almacenamiento de energía, si el estado de carga está por debajo de un valor de consigna, las pendientes se modifican para ayudar a que el sistema de almacenamiento de energía se cargue, mientras que si el estado de carga del sistema de almacenamiento de energía es superior al valor de consigna, las pendientes se modifican para ayudar a la descarga del sistema de almacenamiento de energía.

6.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según reivindicación 5 caracterizado por que la subetapa de imposición del componente dinámico de la rampa definido como la pendiente con la que variar la potencia de la planta en cada ciclo de control en función del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía (SOC) es un valor constante o bien variable en función de la diferencia entre el SOC del sistema de almacenamiento de energía y su SOC objetivo.

7.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6 caracterizado por que la etapa de filtrado de las rampas dinámicas fuera del rango está entre el 30 y el 70% de la potencia nominal de la planta.

8.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según reivindicación 4 caracterizado por que la subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía añade una componente de carga del sistema de almacenamiento de energía si ésta se encuentra por debajo del SOC objetivo y una componente de descarga si ésta se encuentra por encima del SOC objetivo.

9.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según reivindicación 8 caracterizado por que la subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía utiliza una banda muerta o histéresis para limitar las condiciones de activación de este algoritmo a desviaciones suficientemente grandes del SOC objetivo.

- 5 10.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según reivindicación 8 caracterizado por que la subetapa de imposición de un algoritmo del control del estado de carga del sistema de almacenamiento de energía aumenta el SOC objetivo del 50% a un valor entre el 70 y 100% si la planta produce más de un 70% de su valor nominal mientras reduce el SOC objetivo del 50% a un valor entre el 0 y el 30% si la planta produce de menos del 30% de su valor nominal.
- 10 11.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que se aplica a un control por escalones.
- 15 12.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el sistema de almacenamiento de energía es uno entre una batería, unos superconductores y unos volantes de inercia.
- 20 13.- Procedimiento para el control de rampas de fluctuación de potencia con sistemas de almacenamiento de energía en plantas de generación intermitente de energía según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que las plantas de generación intermitente de energía son plantas solares fotovoltaicas, plantas de energía eólica o plantas de energía mareomotriz.

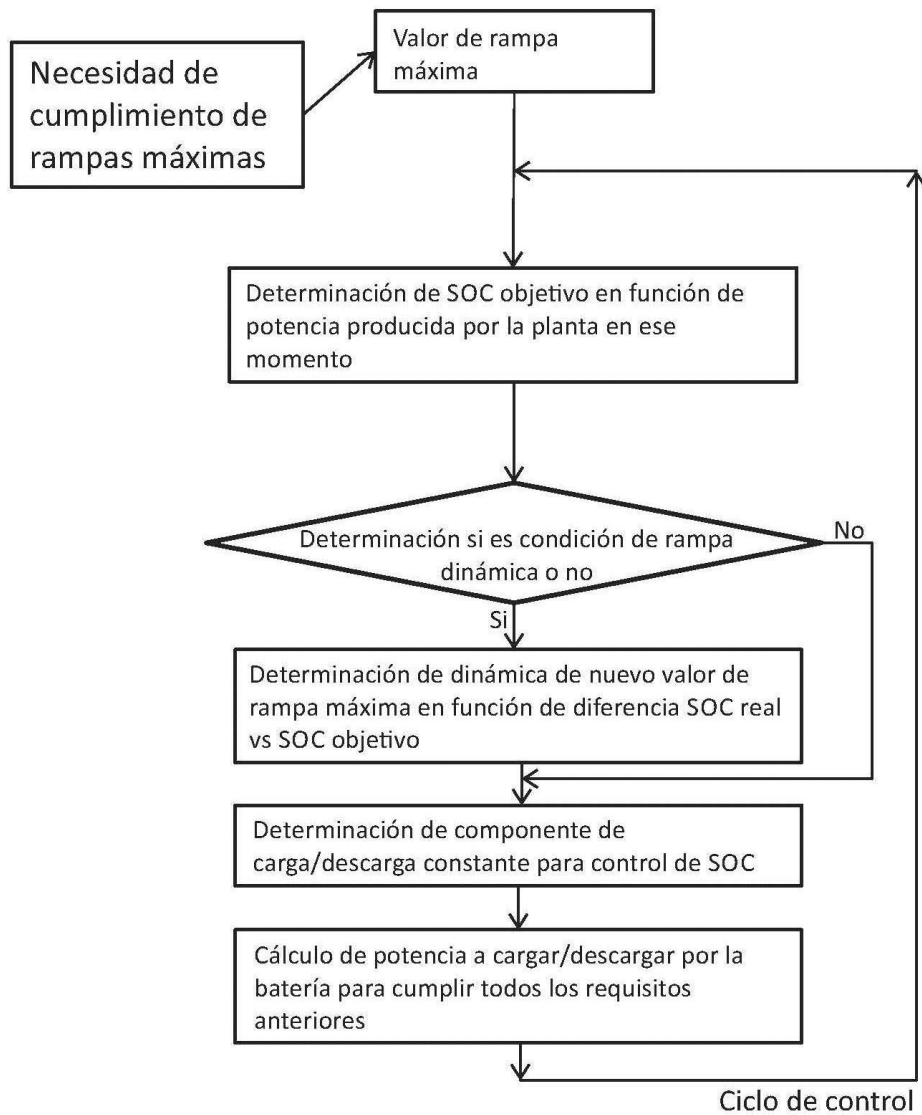


FIG. 1

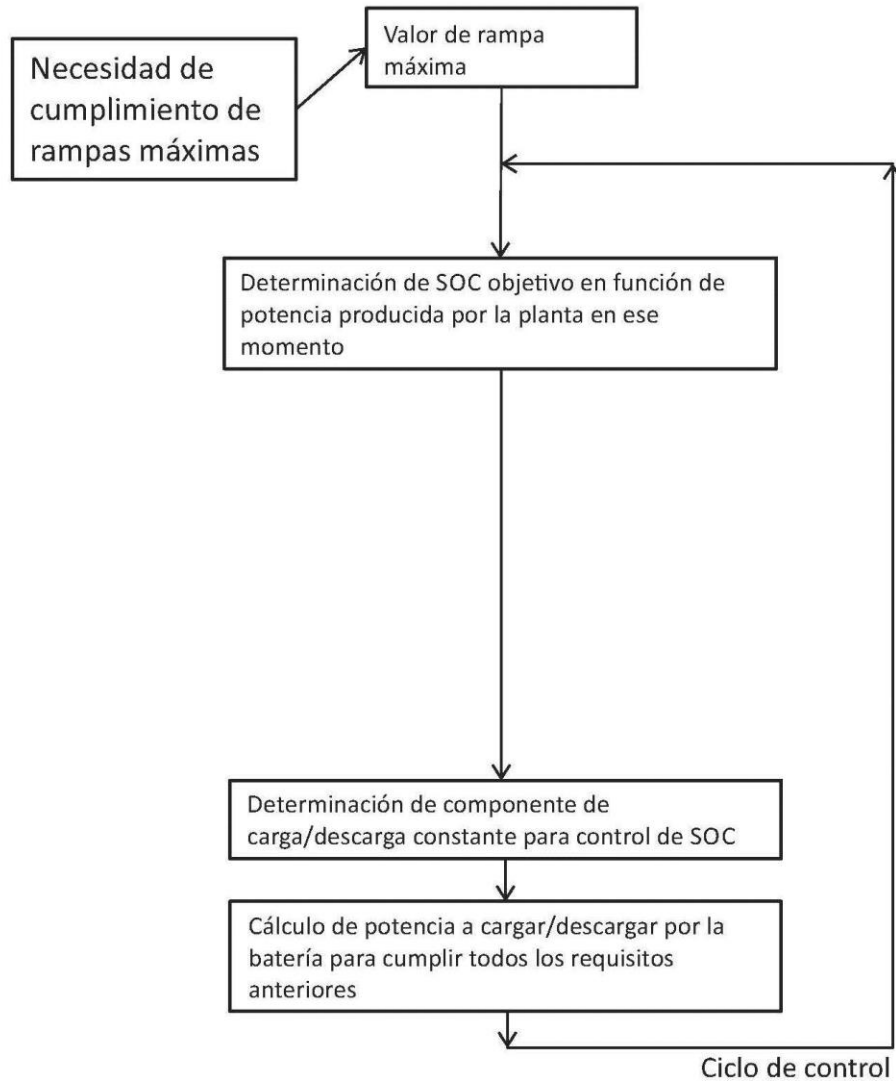


FIG. 2

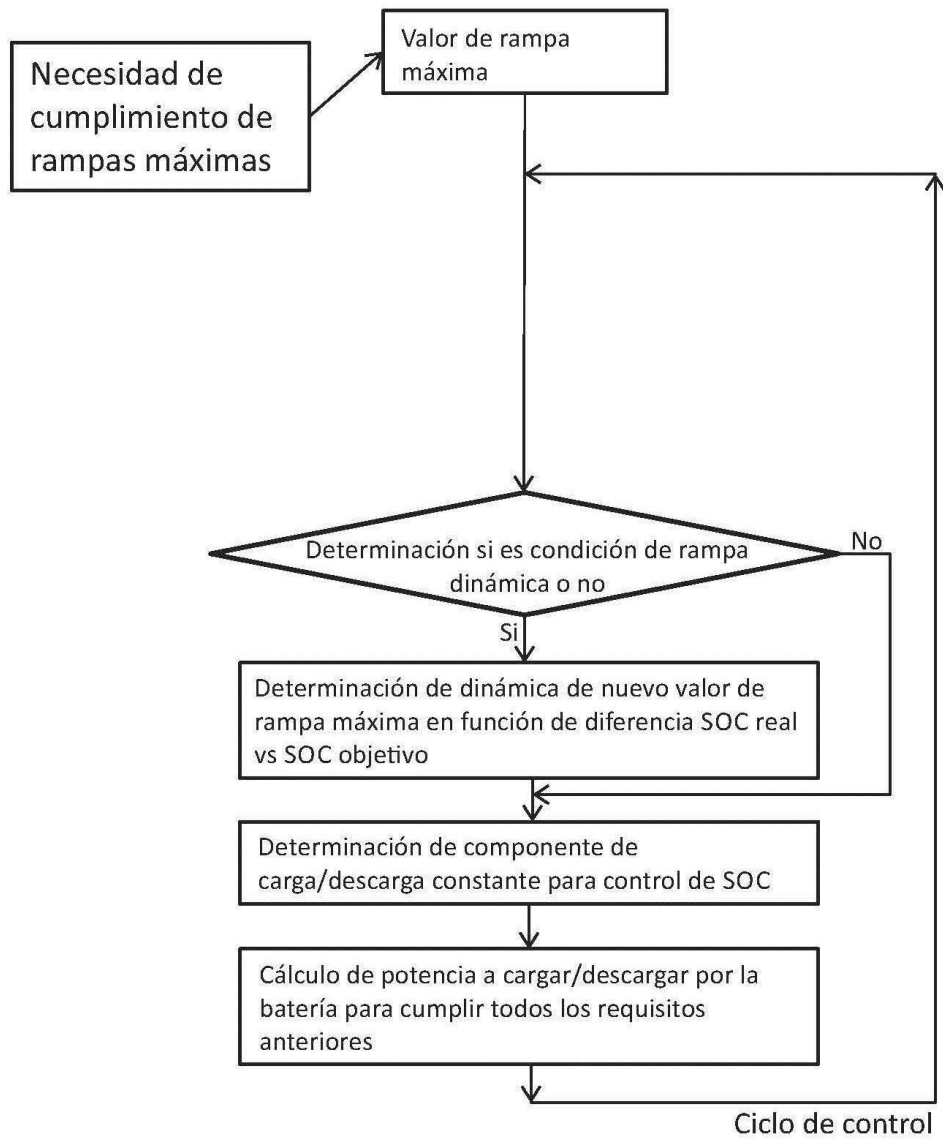


FIG. 3

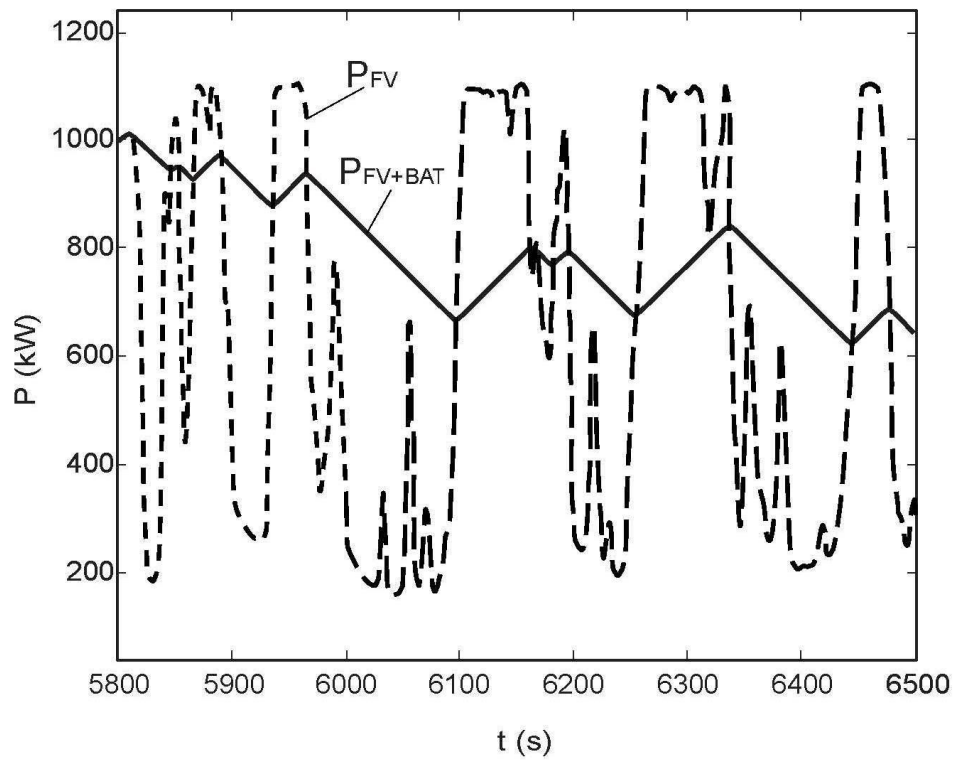


FIG. 4

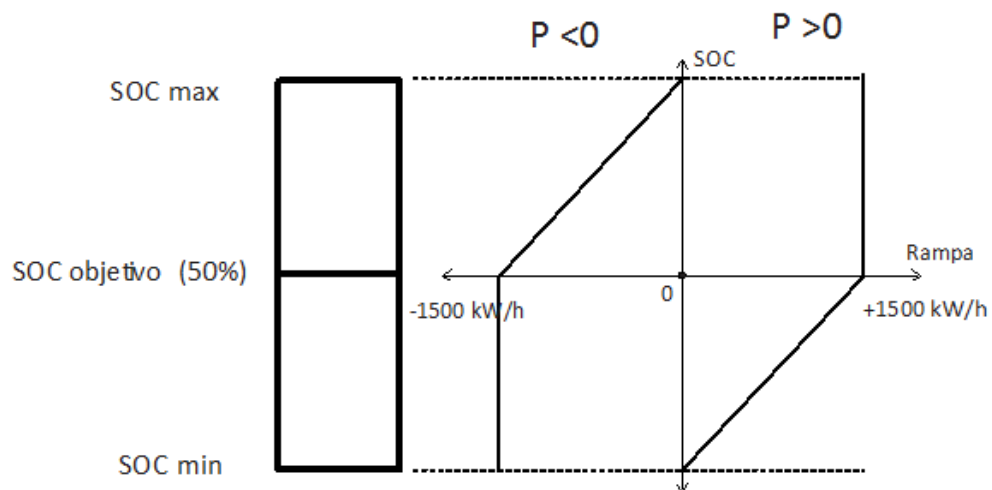


FIG. 5

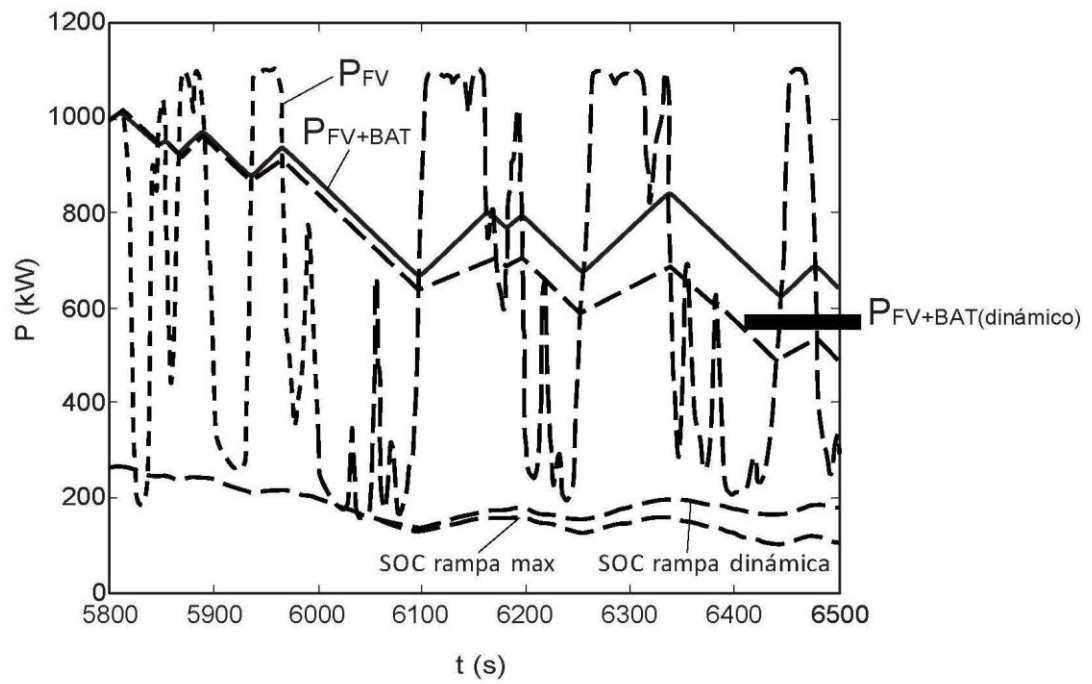


FIG. 6

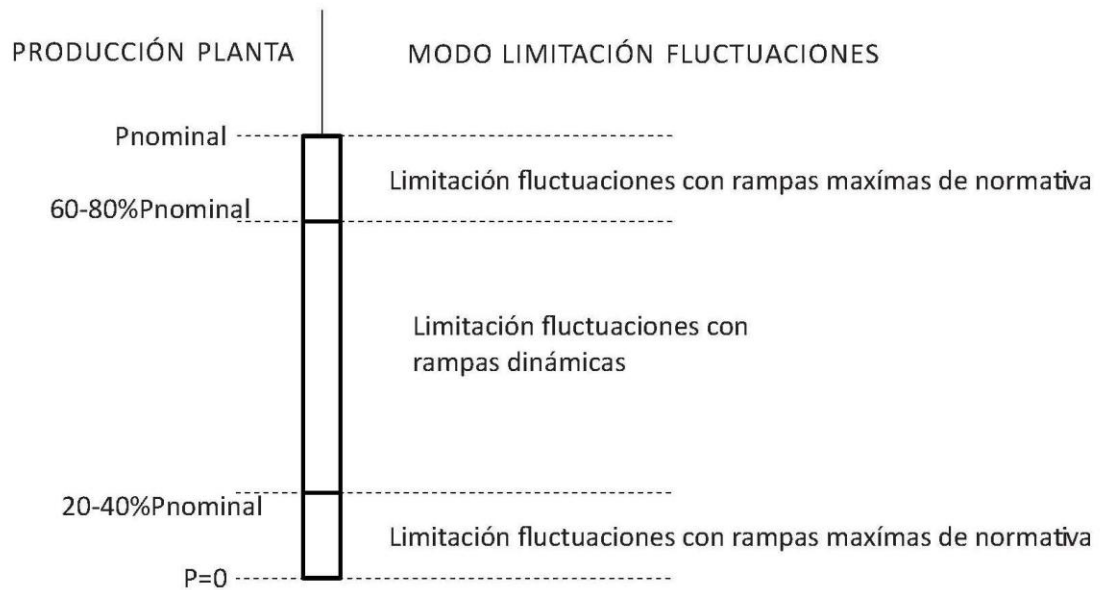


FIG. 7

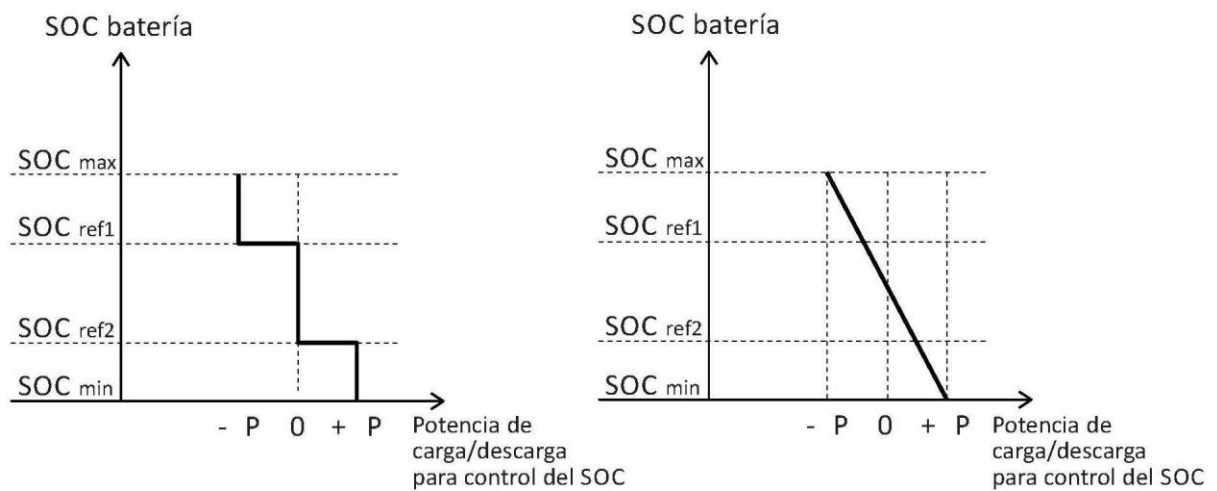


FIG. 8

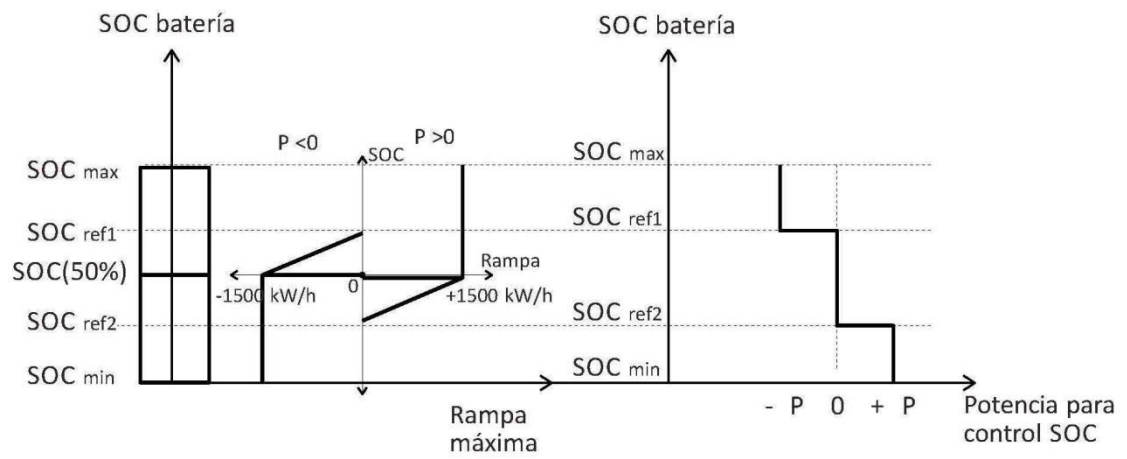


FIG. 9

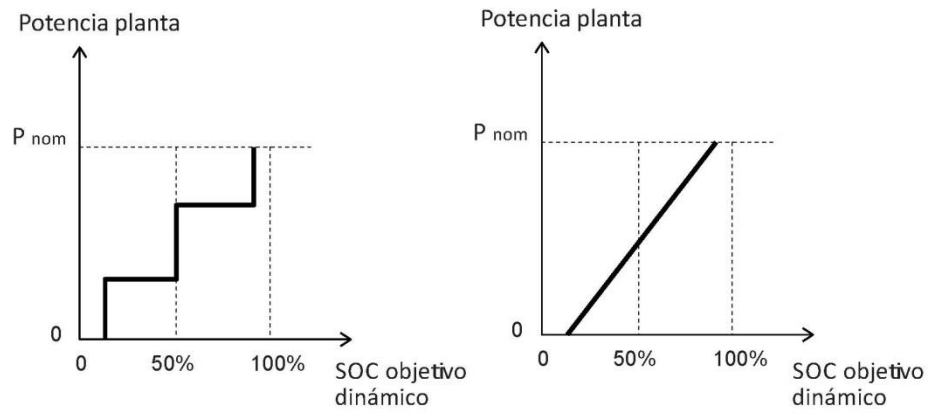


FIG. 10

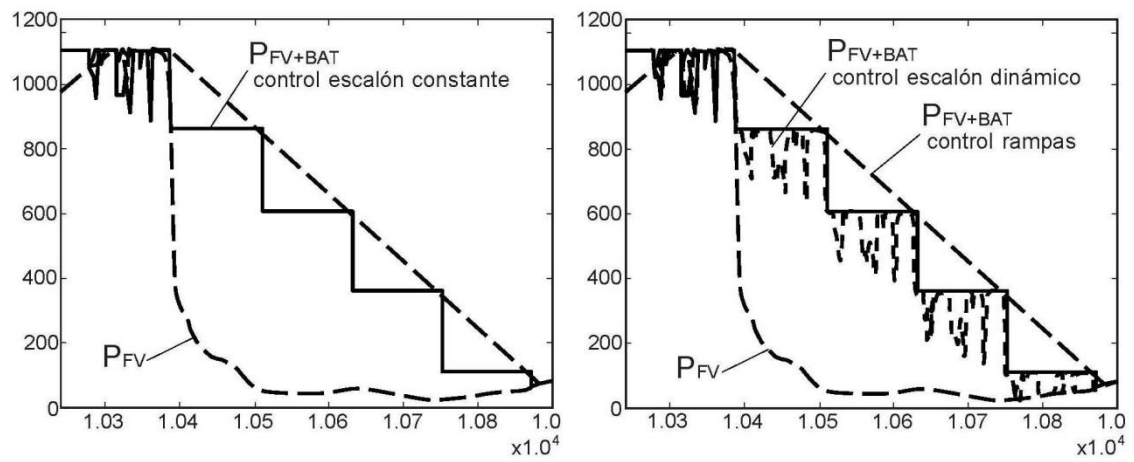


FIG. 11

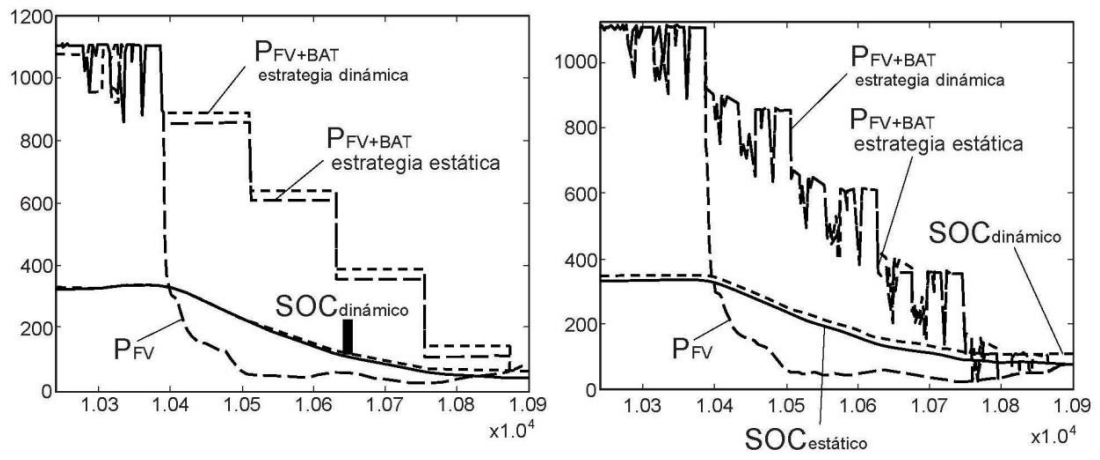


FIG. 12

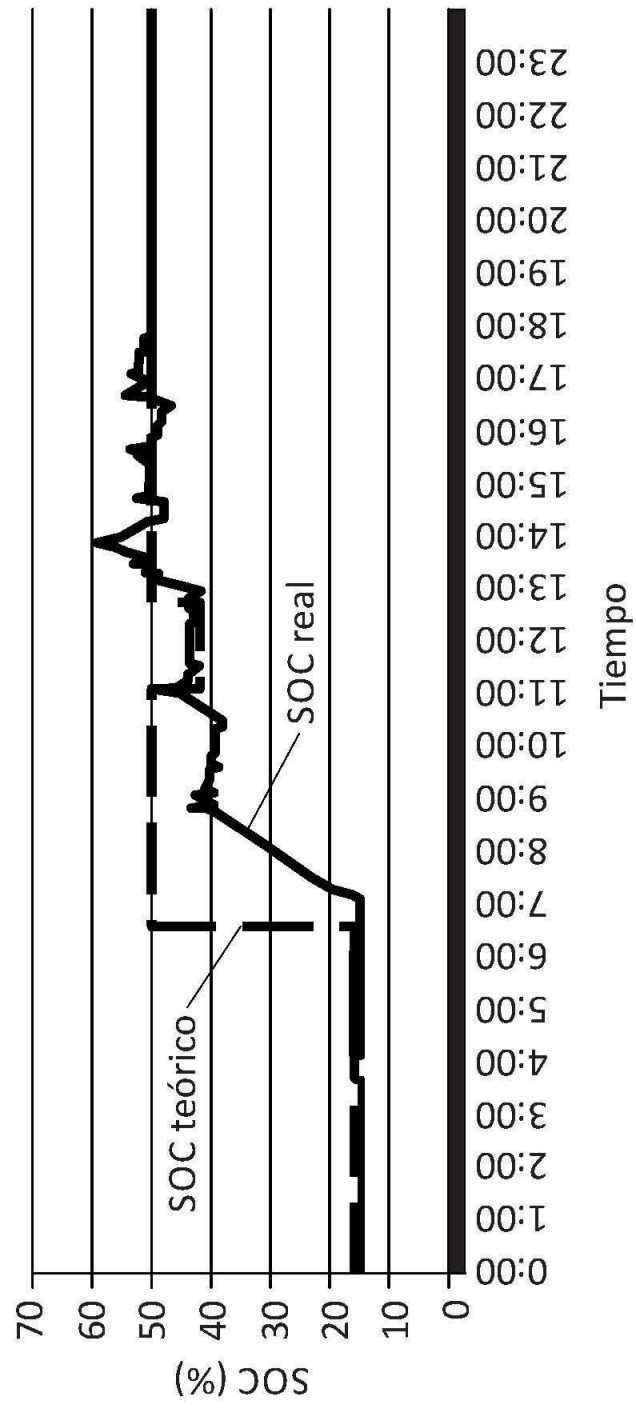


FIG. 13