

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 039**

51 Int. Cl.:

H01M 10/44 (2006.01)

H01M 10/48 (2006.01)

H01M 16/00 (2006.01)

H01M (2006.01)

H01M (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.10.2010 PCT/US2010/053239**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.04.2011 WO11049975**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.10.2010 E 10773202 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 2491612**

54 Título: **Método de gestión del estado de carga de una batería**

30 Prioridad:

19.10.2009 US 253013 P

10.11.2009 US 259813 P

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

01.12.2017

73 Titular/es:

NUVERA FUEL CELLS, LLC (100.0%)

129 Concord Road, Building 1

Billerica, MA 01821, US

72 Inventor/es:

QUET, PIERRE-FRANÇOIS

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 645 039 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método de gestión del estado de carga de una batería

5 Los vehículos eléctricos alimentados por baterías, tales como carretillas elevadoras y carritos de golf, se usan frecuentemente en operaciones de fabricación, almacenamiento y venta para transporte y/o elevación de personas y productos. Sin embargo, estos vehículos eléctricos pueden tener inconvenientes. Por ejemplo, una carretilla elevadora debe recargarse cada seis a ocho horas, requiriendo espacio de almacén para baterías de repuesto y equipo de carga. Más aún, el rendimiento del vehículo disminuye progresivamente cuando las baterías van descargándose.

10 Por el contrario, los vehículos eléctricos alimentados con células de combustible pueden rellenarse rápidamente, mantienen su rendimiento a lo largo de un turno, y permiten ahorros de costes eliminando la necesidad de reservar valioso espacio de almacén para almacenamiento de las baterías y el equipo de carga. El sistema de células de combustible híbrido descrito en el presente documento puede dirigirse a al menos uno de estos beneficios.

15 Un sistema de célula de combustible híbrido usado en el presente documento se refiere a un sistema que comprende una célula de combustible y una batería. El término "batería" usado en el presente documento se refiere ampliamente a un dispositivo que puede almacenar y dispensar repetidamente energía eléctrica, incluyendo pero sin limitarse a baterías químicas (por ejemplo, una batería de plomo-ácido, una batería de ion de litio, una batería níquel-metal hidruro, una batería de níquel-cadmio) y ultra condensadores.

20 En el sistema de alimentación híbrido, la célula de combustible suministra alimentación a los motores y a la batería durante la operación normal. La batería amortigua la demanda eléctrica, suplementando a la alimentación de la célula de combustible en picos de carga y absorbiendo energía de regeneración. Para carritos elevadores, por ejemplo, la gestión del estado de carga ("EdC") de esta batería es importante, dado que la batería debería contener suficiente energía para satisfacer la demanda eléctrica de picos de los motores de tracción y elevación, pero debe también no estar completamente cargada de modo que pueda aceptar energía de regeneración cuando el vehículo se somete a eventos regenerativos, tales como frenado o descenso de una carga. Si el EdC de la batería es demasiado alto durante eventos de regeneración, la tensión de la batería puede elevarse hasta un nivel inseguro que podría dañar la batería, los motores, o los controladores de motores, provocando de ese modo fallos del sistema y paradas.

30 La gestión del EdC de la batería requiere típicamente una estimación del EdC, dado que la medición directa del EdC es frecuentemente poco práctica. Es conocido en la técnica el uso de un método de integración de corriente (también denominado contaje de Coulomb) para obtener una estimación del EdC de una batería. Sin embargo, este método padece de derivas a largo plazo que convierten a la estimación del EdC en imprecisa al cabo del tiempo. El documento JP 2005 005009 A describe un método de gestión del estado de carga de una batería secundaria en un sistema híbrido de alimentación eléctrica, en el que el estado actual de carga se calcula usando la tensión y la corriente de la batería.

35 La presente divulgación proporciona un método que usa la tensión de la batería y la corriente de la batería para obtener una estimación del EdC. El estimador en esta divulgación es un observador de Luenberger basado en un modelo deducido de un circuito equivalente eléctrico de la batería. En ciertas realizaciones, la estimación del EdC se usa a continuación por un regulador que ajusta la alimentación de la célula de combustible para mantener el EdC en un nivel de modo que la batería tenga suficiente energía almacenada para suministrar a los motores de tracción y elevación, y suficiente capacidad de reserva para aceptar energía de regeneración desde estos motores.

45 En consecuencia, la presente invención se dirige a un método para la gestión del estado de carga de una batería en un sistema de alimentación eléctrica híbrido que comprende una batería y una célula de combustible de acuerdo con la reivindicación 1. El método comprende: definir un punto de consigna; estimar el estado actual de carga de la batería usando la corriente de la batería y la tensión de la batería; y regular el estado de carga de la batería mediante la manipulación de una corriente de la célula de combustible suministrada desde la célula de combustible a la batería basándose en la diferencia entre el punto de consigna y el estado de carga actual estimado de la batería. Esta realización puede mantener el estado de carga de la batería en el punto de consigna.

Breve descripción de los dibujos

50 La FIG. 1 es un esquema de una realización de un sistema de célula de combustible híbrido para su uso en una carretilla elevadora.

La FIG. 2 es un circuito equivalente usado para modelizar la batería.

La FIG. 3 es un diagrama de flujo que muestra la estimación y control del EdC de la batería.

La FIG. 4 es una tabla con valores de parámetros de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

La FIG. 5 y la FIG. 6 muestran datos experimentales a partir de una ejecución simulada del sistema de alimentación híbrido que tiene un control del EdC de la batería.

Descripción detallada

5 La Figura 1 ilustra un sistema de célula de combustible híbrido para su uso en una carretilla elevadora. Conectados en paralelo sobre el mismo conductor eléctrico (también llamado "Bus") están el paquete de baterías, la pila de células de combustible en serie con un convertidor CC/CC, los componentes de los sistemas auxiliares (SA), el motor de tracción, y el motor de elevación. Los SA comprenden típicamente un compresor de aire, una bomba de agua, un ventilador, una unidad de control electrónico, y válvulas usadas para suministro de hidrógeno, purga de agua y purga de nitrógeno. Los SA consumen una corriente de I_{SA} a una tensión V_{BUS} . La pila de célula de combustible genera una corriente I_{CCComb} a una tensión que corresponde a la curva de polarización de la célula de combustible específica. El convertidor CC/CC regula la tensión de la célula de combustible a la tensión del bus V_{BUS} , generando una corriente $I_{CC/CC}$. La corriente del motor de tracción $I_{Tracción}$ es positiva si la carretilla está acelerando, y negativa si la carretilla está frenando. La corriente del motor de elevación $I_{Elevación}$ es positiva si la carretilla está elevando una carga, y negativa si está descendiendo una carga. La corriente de carga I_{Carga} es la combinación de la corriente de los motores de tracción y de elevación:

$$I_{Carga} = I_{Tracción} + I_{Elevación}$$

La corriente de la batería $I_{Batería}$ es igual a la corriente de carga más la corriente de los SA menos la corriente de salida del CC/CC:

$$20 \quad I_{Batería} = I_{Carga} + I_{SA} - I_{CC/CC} \quad (1)$$

La tensión de la batería V_{BUS} se pone a disposición de la unidad de control de la célula de combustible híbrida o bien mediante medición de tensión directa o bien detectada por el convertidor de CC/CC y a continuación comunicada a la unidad de control. La corriente de la batería $I_{batería}$ puede o bien medirse directamente o bien puede calcularse de acuerdo con la ecuación (1) basándose en los valores medidos o estimados para I_{Carga} , I_{SA} , e $I_{CC/CC}$.

25 La Figura 2 muestra un circuito equivalente usado para modelizar la batería.

C_c es un gran condensador que modeliza la capacidad de la batería y se elige de modo que el EdC = 1 para una batería totalmente cargada:

$$C_c = \text{Amperios-hora nominales de la batería} * 3600$$

La capacidad de la batería se ajusta entonces para tener en cuenta la ineficiencia de descarga y carga de la batería:

$$30 \quad C_c(I_b) = 3600 * \text{Amperios-hora nominales de la batería} * e^{-\text{Coef de descarga} * I_{batería}(k)} \quad \text{si } I_{batería} \geq 0,$$

$$C_c(I_b) = 3600 * (\text{Amperios-hora nominales de la batería} - \text{Coef de carga} * I_{batería}(k)) \quad \text{si } I_{batería} < 0,$$

el condensador C_c se conecta en paralelo con una fuente de corriente con la corriente $I_{batería}(k)$, para modelizar la descarga y carga de la batería.

35 La tensión de batería V_{BUS} se modeliza como la salida de un circuito que tiene una fuente de tensión correspondiente a la tensión en circuito abierto V_{ca} de la batería en serie con una resistencia R_{Serie} que modeliza la impedancia de la batería.

La tensión a circuito abierto de la batería se supone que tiene una relación lineal con el EdC:

$$V_{ca} = V_{caPendiente} * \hat{EdC}(k-1) + V_{caDesplaz}.$$

En consecuencia, el modelo de la batería es

$$40 \quad \begin{cases} \dot{EdC} = -\frac{I_{batería}}{C_c(I_b)} \\ V_{Bus} = V_{ca} - R_{Serie} I_{batería} \end{cases} \quad (2)$$

en la que el símbolo del punto indica la derivada respecto al tiempo.

El modelo de la batería podría incluir también una resistencia colocada en paralelo con C_c para modelizar la autodescarga de la batería, o tener una relación no lineal entre E_{dC} y V_{ca} , o tener una red de resistencias y condensadores añadida a la impedancia en serie para modelizar más precisamente transitorios en la tensión de batería.

La Figura 3 es un diagrama de flujo de la estimación y regulación del E_{dC} . Elaborando sobre el modelo de batería mostrado en las ecuaciones (2), un observador Luenberger da una estimación del E_{dC} basándose en la tensión y la corriente de batería medidas o calculadas V_{bus} e $I_{batería}$:

$$\dot{E}_{dC} = -\frac{I_{batería}}{C_c} + L(V_{bus} - \hat{V}_{bus}) \quad (3)$$

en la que $V_{bus} = V_{ca} - R_{Serie} I_{batería}$, siendo $V_{ca} = V_{caPendiente} * E_{dC} + V_{caDesplaz}$, y en donde el símbolo de sombrero denota una estimación de la variable correspondiente.

El observador Luenberger es conocido en la técnica, y la ganancia del observador L puede calcularse usando varios métodos incluyendo colocación de polos y filtrado Kalman. Un diseño de filtrado Kalman asumiría una estructura de proceso y ruido de medición en la dinámica del sistema, y daría la ganancia L que minimizaría la covarianza del error en estado estable del estado del sistema.

El observador conocido en la ecuación (3) necesita discretizarse para ser implementado en la unidad de control digital del sistema de célula de combustible híbrido. Suponiendo un tiempo de muestreo T_s para el algoritmo de estimación, y una aproximación de Euler de la derivada del tiempo de E_{dC} (es decir $\dot{E}_{dC} \approx \frac{E_{dC}(k) - E_{dC}(k-1)}{T_s}$), se obtiene la siguiente implementación discreta del observador:

$$E_{dC}(k) = E_{dC}(k-1) + T_s \left[-\frac{I_{batería}(k)}{C_c(I_b)} + L(V_{bus}(k) - V_{ca} + R_{Serie} I_{batería}(k)) \right]$$

que también puede expresarse como sigue:

$$E_{dC}(k) = E_{dC}(k-1) + T_s \left[-\frac{I_{batería}(k)}{C_c(I_b)} + L(V_{bus}(k) - V_{caPendiente} * E_{dC}(k-1) - V_{caDesplaz} + R_{Serie} I_{batería}(k)) \right]$$

La estimación del E_{dC} se fuerza a entre 0 y 1:

$$E_{dC}(k) = \max\{0; \min\{1; E_{dC}(k)\}\}.$$

La estimación del E_{dC} tiene su valor inicial igual a un valor registrado de la estimación tomado durante la parada previa del sistema. Si se usa la carretilla elevadora en un modo de bajo consumo de energía, o no operada activamente, se activará un mecanismo de parada del sistema por un valor de umbral de E_{dC} alto y se cortará la corriente eléctrica desde la célula de combustible, impidiendo así que se sobrecarguen las baterías. Por otro lado, un mecanismo de detección de carga que detecte una carga eléctrica que extraiga energía de la batería hasta un valor de umbral (por ejemplo, $I_{Carga} = 20$ amperios y superior) permitirá la recarga de la batería mediante el re arranque del sistema de célula de combustible.

La estimación del E_{dC} se regula hasta un valor de punto de consigna deseado (E_{dCPC}) mediante la manipulación de la corriente de la célula de combustible I_{CComb} . En la presente realización, se usa un controlador proporcional para la regulación del E_{dC} , pero pueden usarse otras técnicas de control incluyendo pero sin limitarse a proporcional-integral, proporcional-integral-derivada, regulador cuadrático lineal, otros métodos de control clásicos, modernos, no lineales, robustos, óptimos, estocásticos, adaptativos, inteligentes. El controlador proporcional puede expresarse como sigue:

$$I_{CComb}(k) = (E_{dCPC} - E_{dC}(k)) * K_{EdC reg}$$

en la que la ganancia de control $K_{EdC reg}$ puede elegirse como $K_{EdC reg} = \frac{C_c}{E_{dC} \text{ Constante de tiempo de control}}$ para conseguir la dinámica en bucle cerrado del E_{dC} que tiene aproximadamente una constante de tiempo de E_{dC}

Constante de tiempo segundos.

El punto de consigna de la corriente de la célula de combustible $I_{CComb}(k)$ se fuerza entonces a entre un valor mínimo $I_{CComb\ min}$ y un valor máximo $I_{CComb\ máx}$ para maximizar la durabilidad de la pila de la célula de combustible;

$$I_{CComb}(k) = \max\{I_{CComb\ min}; \min\{I_{CComb\ máx}; I_{CComb}(k)\}.$$

- 5 El EdC también puede regularse mediante la manipulación de la corriente de salida del CC/CC $I_{CC/CC}$ en lugar de manipular la corriente de la célula de combustible I_{CComb} .

10 La Figura 5 y la Figura 6 muestran datos recogidos a partir del sistema de alimentación híbrido célula de combustible-batería bajo diversas condiciones de carga simuladas mediante una carga electrónica Dynaload. La Figura 5 muestra la corriente de carga I_{Carga} y la tensión del bus V_{bus} mientras que la Figura 6 muestra la estimación del estado de carga EdC y la corriente de la célula de combustible I_{CComb} . Por ejemplo, puede verse a partir de la Figura 6 que el estado de carga se mantiene con éxito dentro del 5 % de su punto de consigna del 90 %.

15 Los métodos divulgados en el presente documento pueden aplicarse, por ejemplo, en una carretilla elevadora hibridizada. Sin embargo, los métodos son aplicables a una variedad de aplicaciones que implican un sistema de alimentación híbrido de célula de combustible-batería, incluyendo unidades de potencia auxiliar, sistemas de potencia de reserva, generadores portátiles, y plantas de alimentación de célula combustible en vehículos de pasajeros.

REIVINDICACIONES

1. Un método de gestión del estado de carga de una batería en un sistema híbrido de alimentación eléctrica que comprende una célula de combustible, comprendiendo el método:

definir un punto de consigna;

5 calcular un estado de carga actual estimado de la batería usando la corriente de la batería y la tensión de batería, en el que el estado de carga actual estimado de la batería se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E\hat{d}C(k) = E\hat{d}C(k - 1) + T_s \left[-\frac{I_{bater\acute{a}}(k)}{C_c(I_b)} + L(V_{bus}(k) - V_{ca} + R_{Serie} I_{bater\acute{a}}(k)) \right]$$

en la que

10 $E\hat{d}C(k)$ es el estado actual estimado de la carga de la batería; $E\hat{d}C(k-1)$ es un estado previamente estimado de la carga de la batería; T_s es el tiempo transcurrido en segundos desde que se calculó el estado de carga de la batería previamente estimado; $I_{bater\acute{a}}(k)$ es la corriente de la batería; L es la ganancia del observador; $V_{bus}(k)$ es la tensión de batería; V_{ca} es una tensión en circuito abierto de la batería; R_{Serie} es un valor de resistencia elegido para modelizar la impedancia de la batería; y $C_c(I_b)$ se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación cuando $I_{bater\acute{a}}(k)$ es mayor que o igual a cero:

15
$$C_c(I_b) = 3600 * \text{Amperios-hora nominales de la batería} * e^{-\text{Coef de descarga} * I_{bater\acute{a}}(k)}$$

y $C_c(I_b)$ se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación cuando $I_{bater\acute{a}}(k)$ es menor que cero:

$$C_c(I_b) = 3600 * (\text{Amperios-hora nominales de la batería} - \text{Coef de carga} * I_{bater\acute{a}}(k));$$

y

20 regular el estado de carga de la batería mediante la manipulación de una corriente de célula de combustible suministrada desde la célula de combustible a la batería basándose en la diferencia entre el punto de consigna y el estado actual estimado de carga de la batería.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la regulación del estado de carga de la batería regula efectivamente el estado de carga de la batería dentro de un intervalo seleccionado, preferiblemente dentro del 5 % del punto de consigna.

25 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la regulación del estado de carga de la batería regula efectivamente el estado de carga de la batería en el punto de consigna.

4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el estado de carga de la batería se regula mediante una técnica de control elegida entre control proporcional, control proporcional-integral, control proporcional-integral-derivado, y control cuadrático lineal.

30 5. El método de la reivindicación 1, en el que la corriente de la célula de combustible se fija un valor definido por la ecuación siguiente:

$$I_{CComb}(k) = (EdC_{PC} - EdC(k)) * K_{EdC\ reg}$$

en la que $I_{CComb}(k)$ es la corriente de la célula de combustible, EdC_{PC} es el punto de consigna, $EdC(k)$ es el estado de carga actual estimado de la batería y $K_{EdC\ reg}$ es la ganancia de control.

35 6. El método de la reivindicación 5, en el que la ganancia de control, $K_{EdC\ reg}$ se define de acuerdo con la siguiente ecuación

$$K_{EdC\ reg} = \frac{C_c}{EdC\ Constante\ de\ tiempo\ de\ control}$$

en la que

$C_c = \text{Amperios-hora nominales de la batería} * 3600 \text{ faradios};$

y E_{dC} constante de tiempo de control es una constante de tiempo en segundos.

7. El método de la reivindicación 6, en el que la corriente de la célula de combustible calculada se fuerza a entre un valor de corriente de célula de combustible mínimo y un valor de corriente de célula de combustible máximo.

5 8. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la tensión a circuito abierto de la batería se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{ca} = V_{ca}PENDIENTE * E_{dC}(k-1) + V_{ca}DESPLAZ$$

en la que $V_{ca}PENDIENTE$ y $V_{ca}DESPLAZ$ son ambas constantes asociadas con la batería

10 9. El método de la reivindicación 1, en el que la ganancia del observador se calcula usando un método elegido de entre colocación de polos o filtrado Kalman.

10. El método acuerdo con la reivindicación 1, que comprende adicionalmente forzar el estado de carga actual estimado calculado de la batería a un valor entre 0 y 1.

15 11. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el estado de carga de la batería se regula mediante la colocación del sistema de la célula de combustible en vacío cuando el estado de carga actual estimado de la batería es mayor que un umbral de valor de carga de estado alto.

12. El método de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende adicionalmente supervisar una carga eléctrica que extrae potencia de la batería mientras el sistema está en vacío y reanunciar el sistema de célula de combustible cuando se detecta una carga eléctrica que extrae potencia de la batería en o por encima de un valor umbral.

20 13. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la corriente de la batería se mide directamente o en el que se calcula la corriente de la batería.

14. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la tensión de la batería se mide directamente o en el que la tensión de la batería se detecta mediante un convertidor CC/CC conectado en serie con la célula de combustible.

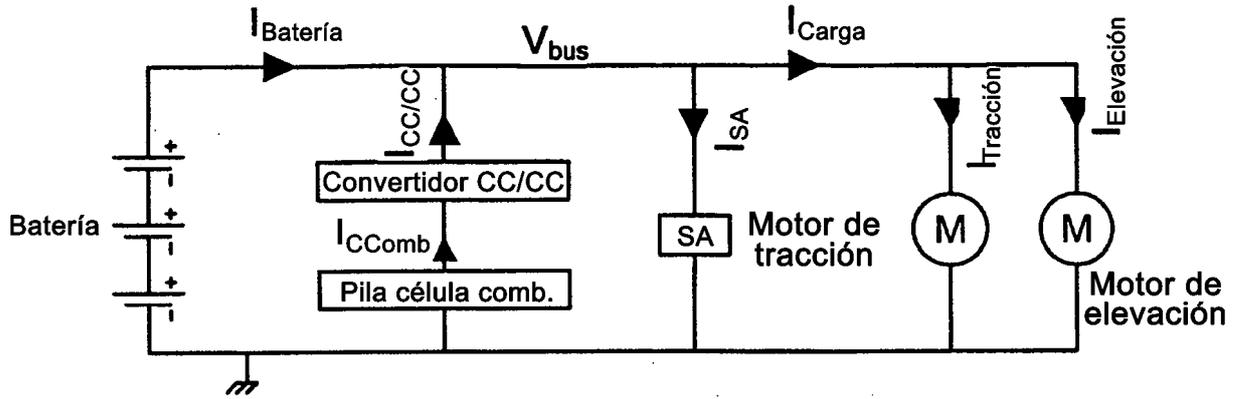


Figura 1

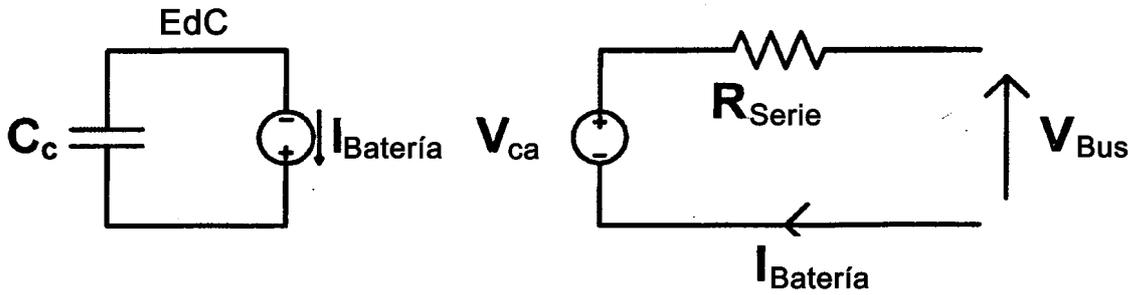
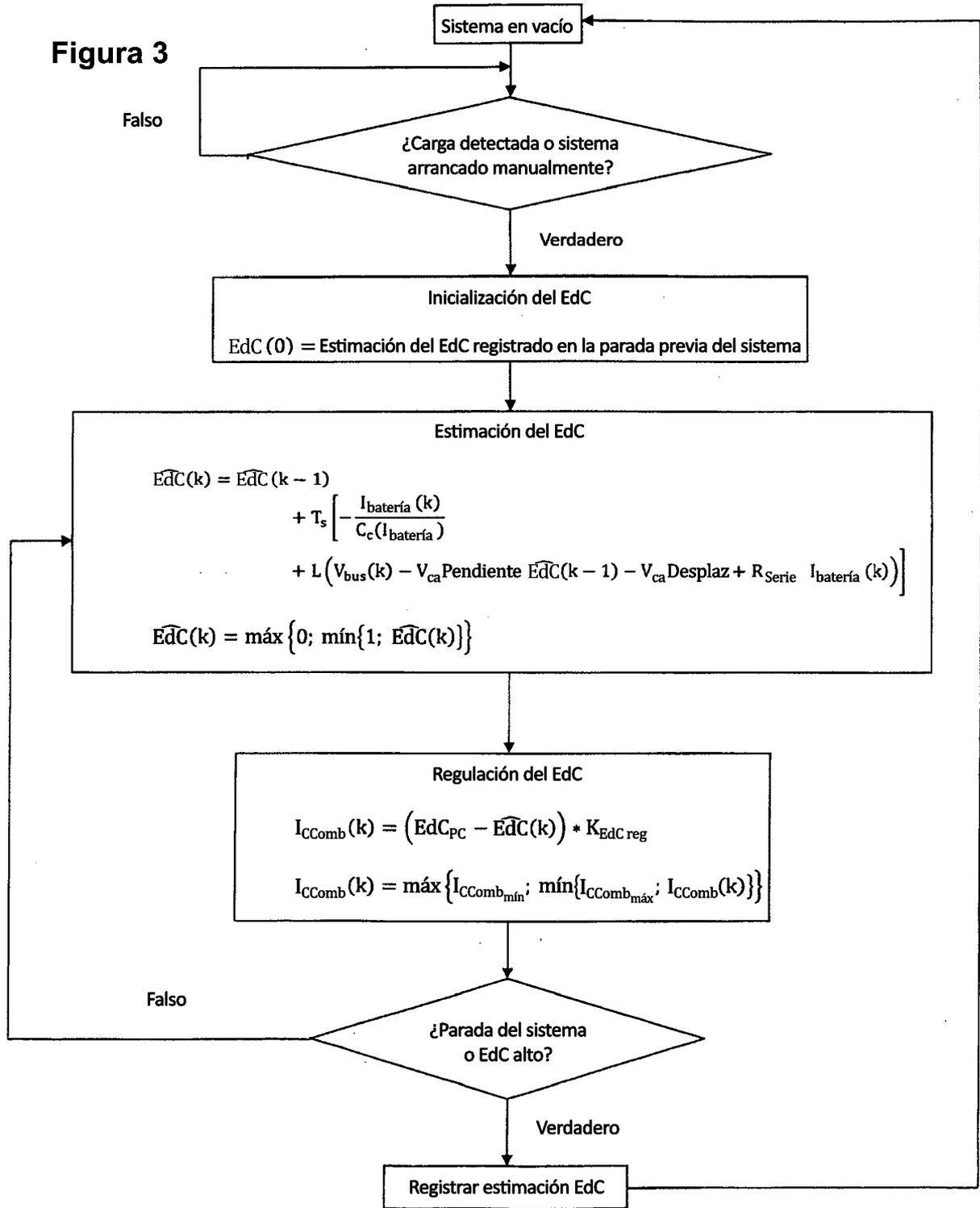


Figura 2

Figura 3



Parámetro	Valor
A-h nominales batería	97 A-h
Coef. de descarga	0,003
Coef. de carga	0,4
V_{ca} Desplaz	35,3 V
V_{ca} Pendiente	3,12 V
R_{Serie}	0,02 Ω
L	0,001
T_s	0,2 s
EdC _{PC}	90 %
Const. tiempo ctrl. EdC	50 s
$I_{CComb_{mín}}$	50 A
$I_{CComb_{máx}}$	220 A

Figura 4

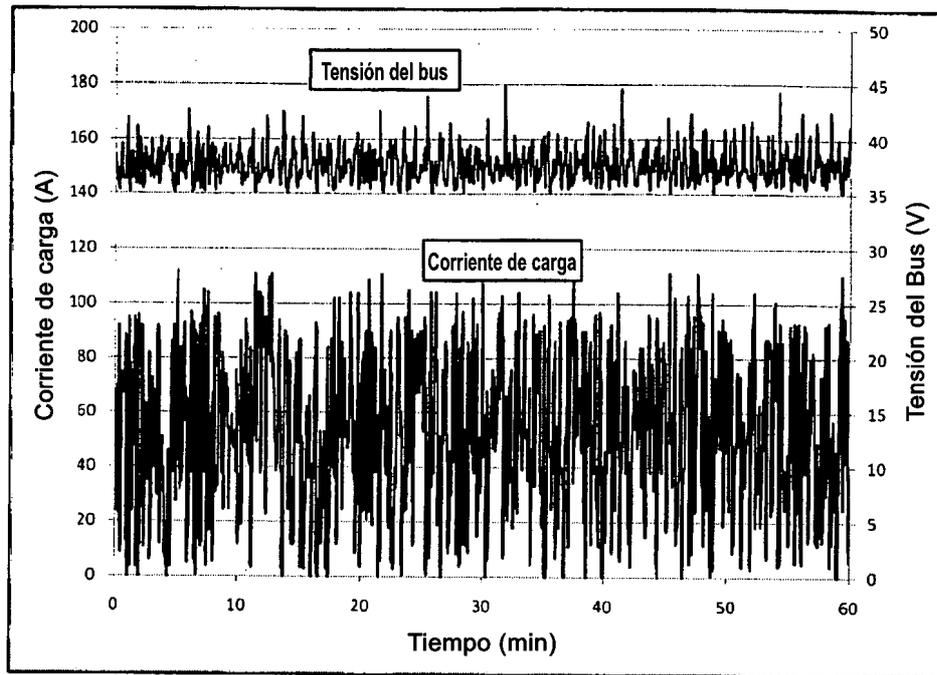


Figura 5

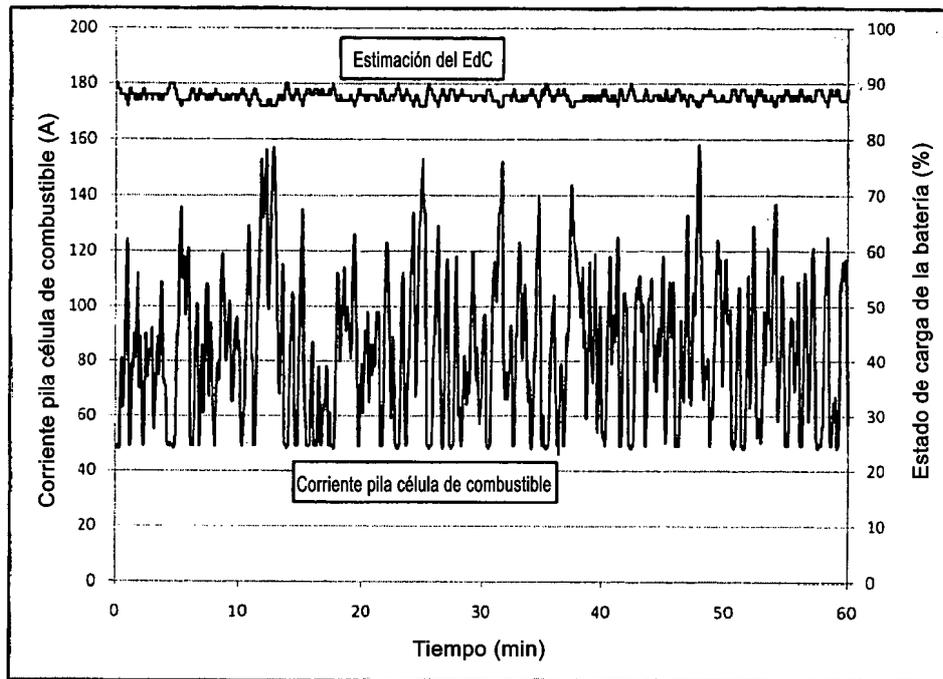


Figura 6