

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 653**

51 Int. Cl.:  
**B60L 11/12** (2006.01)  
**B60L 7/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **98121924 .9**  
96 Fecha de presentación: **18.11.1998**  
97 Número de publicación de la solicitud: **0917981**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.05.1999**

54 Título: **Vehículo eléctrico con frenado regenerativo de eficiencia variable que depende del estado de carga de la batería**

30 Prioridad:  
**21.11.1997 US 66736**  
**20.03.1998 US 44676**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**17.10.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**17.10.2012**

73 Titular/es:  
**BAE SYSTEMS CONTROLS, INC.**  
**600 MAIN STREET**  
**JOHNSON CITY, NY 13790, US**

72 Inventor/es:  
**Lyons, Arthur Paull y**  
**Grewe, Timothy Michael**

74 Agente/Representante:  
**Ungría López, Javier**

ES 2 388 653 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

Vehículo eléctrico con frenado regenerativo de eficiencia variable que depende del estado de carga de la batería

- 5 La presente invención se refiere a un aparato y método para hacer simples y efectivos el funcionamiento y las características de funcionamiento de los vehículos eléctricos híbridos.

Se considera ampliamente que los vehículos eléctricos híbridos están entre los más prácticos de los vehículos poco contaminantes. Un vehículo eléctrico híbrido incluye una batería de "tracción" eléctrica que proporciona potencia eléctrica para un motor de tracción eléctrica, el cual, a su vez, acciona las ruedas del vehículo. El aspecto "híbrido" de un vehículo eléctrico híbrido se encuentra en el uso de una fuente de energía eléctrica secundaria o suplementaria para recargar la batería de tracción durante el funcionamiento del vehículo. Esta fuente de energía eléctrica secundaria puede ser unos paneles solares, una célula de combustible, un generador accionado por un motor de combustión interna o, en general, cualquier otra fuente de energía eléctrica. Cuando un motor de combustión interna se usa como la fuente secundaria de potencia eléctrica, éste es comúnmente un motor relativamente pequeño que usa poco combustible y produce poca contaminación. Una ventaja concomitante es que un motor de combustión interna pequeño de este tipo puede accionarse dentro de un intervalo de RPM limitado, de tal modo que los controles de contaminación del motor pueden optimizarse. Las expresiones "primaria" y "secundaria", cuando se usan para describir las fuentes de energía eléctrica, se refieren meramente a la forma en la que se distribuye la energía durante el funcionamiento, y no son de una importancia fundamental para la invención. Un vehículo de accionamiento eléctrico simple alimentado sólo por baterías eléctricas tiene las desventajas de que las baterías pueden llegar a agotarse mientras que el vehículo se encuentra lejos de una estación de carga de batería, e incluso cuando un vehículo de este tipo vuelve con éxito a su depósito después de un uso diario, las baterías han de recargarse a continuación. El vehículo eléctrico híbrido tiene la ventaja significativa sobre un vehículo de alimentación eléctrica simple de que el vehículo eléctrico híbrido recarga sus propias baterías durante el funcionamiento y, de este modo, en condiciones ordinarias no debería requerir la carga de batería externa alguna. Por lo tanto, el vehículo eléctrico híbrido puede usarse de forma muy similar a la de un vehículo alimentado por motores de combustión interna ordinario, requiriendo sólo el reabastecimiento del combustible. Otra ventaja importante del vehículo eléctrico híbrido es su buen consumo de combustible por kilómetro. La ventaja en el consumo de combustible por kilómetro surge del uso del frenado dinámico regenerativo, el cual convierte la energía cinética del movimiento en potencia eléctrica durante al menos una parte del frenado, y devuelve la energía a la batería. Se ha encontrado que las pérdidas por frenado representan una cantidad cercana a la mitad de todas las pérdidas por fricción que experimenta un vehículo en un marco de tránsito urbano. La recuperación de este 50 % de energía, y la devolución del mismo a las baterías para su uso adicional, permite el uso de un generador eléctrico accionado por combustible "secundario" mucho más pequeño de lo que sería el caso si no se usara el frenado regenerativo. A su vez, la fuente eléctrica secundaria más pequeña da como resultado el uso de menos combustible por unidad de tiempo o por kilómetro. Otra ventaja más de un vehículo eléctrico híbrido es que, en muchas condiciones, la potencia que se encuentra disponible para acelerar el vehículo es la suma de la potencia máxima que puede suministrarse por las baterías más la potencia máxima que puede generarse por el generador eléctrico secundario. Cuando el generador eléctrico es un motor de combustión interna alimentado por diésel, la combinación de la potencia de batería y la potencia diésel puede dar como resultado una fuerza motriz total que es bastante sustancial, a pesar del buen consumo de combustible por kilómetro.

La solicitud de patente europea EP 0 782 941 A1 da a conocer un método para ajustar la distribución de potencia eléctrica en un circuito de alimentación de tensión en corriente continua en un vehículo a motor que incluye varios elementos eléctricos capaces de consumir y / o de producir potencia en el circuito de alimentación. Uno de dichos elementos eléctricos es un conjunto de accionamiento eléctrico capaz de accionar al menos una rueda de accionamiento del vehículo. El método se caracteriza por que, en un modo de accionamiento, el conjunto de accionamiento se define como un elemento de equilibrado de potencia, que intercambia una potencia ajustada con el circuito de alimentación. Se determina una tensión deseada del circuito de alimentación, se supervisa continuamente una tensión de circuito de alimentación efectiva y se ajusta dicha potencia ajustada de elemento de equilibrado con el fin de mantener dicha tensión efectiva al nivel de dicha tensión deseada. El conjunto de accionamiento se usa como un elemento de equilibrado e incluye un convertidor de CA/CC. El convertidor de CA/CC se ajusta para variar la tensión, la corriente y / o la frecuencia de alimentación en el circuito de alimentación. Una unidad de seguridad como un elemento eléctrico consume los excedentes de potencia a una potencia determinada cuando se usa el conjunto de accionamiento para un frenado eléctrico.

La solicitud de patente de RU GB 2 224 272 A da a conocer un circuito de accionamiento de motor de CA. Una tensión de potencial de CC se aplica a través de los arrollamientos de estátor para bloquear el rotor, dando lugar de este modo al frenado.

A pesar de que los vehículos eléctricos híbridos son económica y ambientalmente ventajosos, éstos han de ser en cierta medida "a prueba de fallos", ya que éstos han de ser similares a los vehículos impulsados por combustión interna convencionales, en su funcionamiento y en sus respuestas a las entradas de un operador, con el fin de lograr una aceptación extendida.

De acuerdo con un aspecto de la invención, un método para hacer que funcione un vehículo eléctrico que incluye un motor de tracción conectado para accionar al menos una rueda de accionamiento del vehículo, y para convertir el movimiento del vehículo en energía eléctrica durante el frenado, incluye la etapa de devolución de sustancialmente la totalidad de la energía a partir del motor de tracción a las baterías durante el frenado, a una eficiencia máxima del motor de tracción accionado como un generador, cuando las baterías se encuentran en una condición de primera carga que es menor que la carga plena. Las etapas adicionales incluyen ajustar la eficiencia del motor de tracción a un nivel entre la eficiencia máxima y la eficiencia cero, para devolver menos de la totalidad de la energía disponible a partir del motor de tracción a las baterías durante el frenado cuando las baterías se encuentran en un nivel de carga entre la condición de primera carga y la condición de carga plena, y ajustar la eficiencia del motor de tracción a tan cerca de una eficiencia cero como pueda ser posible o conveniente, para devolver la mínima cantidad de la energía a partir del motor de tracción a las baterías cuando las baterías alcanzan la condición de carga plena. En una versión particular del presente aspecto de la invención, las etapas de ajuste de la eficiencia del motor de tracción accionado como un generador incluye la etapa de cambiar la frecuencia de deslizamiento del motor de tracción. En otra versión particular del presente aspecto de la invención, la etapa de ajuste de la eficiencia del motor de tracción accionado como un generador incluye la etapa de cambiar la corriente en un arrollamiento inductor o un arrollamiento de tipo arrollamiento inductor del motor de tracción. En otra versión particular más del presente aspecto de la invención, la etapa de ajuste de la eficiencia del motor de tracción accionado como un generador incluye la etapa de pasar una corriente continua a través de un arrollamiento del motor de tracción.

la figura 1 es un diagrama de bloques simplificado de un vehículo eléctrico de acuerdo con un aspecto de la invención, que incluye un controlador de mando que realiza el control de acuerdo con la invención, y que incluye también un controlador de potencia;

la figura 2 es un diagrama de bloques simplificado que ilustra parte de las funciones que se realizan dentro del controlador de potencia de la figura 1;

las figuras 3a y 3b son unas representaciones gráficas simplificadas de regeneración de energía para la batería de tracción frente al estado de carga de la batería de tracción y la tracción debido a la regeneración frente al estado de carga de la batería de tracción, respectivamente;

la figura 4 es un diagrama de flujo simplificado que ilustra el flujo lógico en el controlador de mando de las figuras 1 y 2 para proporcionar los funcionamientos que se ilustran en las figuras 3a y 3b;

la figura 5 ilustra una representación gráfica simplificada de la distribución del suministro de la potencia de tracción al motor de tracción del vehículo de la figura 1 como una función de la carga de la batería de tracción;

la figura 6 es un diagrama de flujo simplificado que ilustra el flujo lógico en el controlador de mando de las figuras 1 y 2 para proporcionar los funcionamientos que se ilustran en la figura 5;

la figura 7a es una representación gráfica de la potencia de motor o de generador frente a la velocidad, con el par motor como un parámetro, y la figura 7b es una representación de cómo se controla la potencia del motor/ generador; y

la figura 8 es un diagrama de bloques simplificado que ilustra ciertos circuitos o disposiciones de control para controlar la cantidad de potencia eléctrica que se genera por la fuente de alimentación auxiliar en respuesta al estado de carga de la batería de tracción.

En la figura 1, un vehículo eléctrico 10 incluye al menos una rueda de accionamiento 12 conectada a un motor de tracción eléctrica de tensión en corriente alterna 40, el cual, en una realización de la invención, es un motor de corriente alterna trifásico. El motor 40 es, preferiblemente, un motor-generador, tal como se conoce, de tal modo que la energía cinética del movimiento puede traducirse en energía eléctrica durante el frenado dinámico. Un controlador de potencia 14 se conecta mediante unas trayectorias de manejo de potencia al motor de tracción 40, a una batería de tracción que se ilustra como 20, y a una fuente auxiliar de energía eléctrica que se ilustra como un bloque 16. Tal como se ilustra en el bloque 16, la fuente auxiliar puede incluir un motor de combustión interna tal como un motor diésel 18 que acciona un generador eléctrico 22, o ésta puede incluir una célula de combustible 24. Un controlador de mando que se ilustra como un bloque 50 se conecta por medio de unas trayectorias de información al controlador de potencia 14, la fuente auxiliar 16 y al motor de tracción 40, para controlar el funcionamiento del controlador de potencia 14, la fuente auxiliar 16 y el motor de tracción 40 de acuerdo con unas leyes de control adecuadas.

Uno de los tipos más comunes y menos caros de baterías que es capaz de almacenar una potencia relativamente alta incluye la batería de plomo/ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> común. Este tipo de batería es adecuado para su uso en un vehículo eléctrico, si se tiene cierto cuidado en evitar la aplicación de una corriente de carga a la misma cuando la batería se encuentra en carga plena, para evitar el desprendimiento de gas del electrolito y una generación de calor no deseada, y si puede evitarse la sulfatación.

En la figura 1, los visualizadores y controles de operador del vehículo 10 se ilustran como un bloque 30. El bloque 30 se ilustra conectado por una trayectoria de datos bidireccional 31 al bloque de control de mando 50, para aplicar unas instrucciones de accionamiento al controlador de mando 50, las cuales puede convertir a continuación el controlador de mando 50 en unas instrucciones adecuadas para los varios elementos de potencia, tales como el controlador de potencia 14, la fuente auxiliar 16 y el motor de tracción 40. El bloque 30 se ilustra también conectado por una trayectoria 32 a los frenos por fricción 36a y 36b, para un control directo de los frenos por fricción mediante

un sistema de frenado hidráulico convencional conectado a un pedal de freno.

La figura 2 representa la interconexión de parte de los elementos del controlador de potencia 14 de la figura 1 con otros elementos de la figura 1. Más particularmente, el controlador de potencia 14 incluye una disposición de rectificador 26 conectada a la fuente auxiliar 16, para convertir (si es necesario) la salida de corriente alterna de la fuente auxiliar 16 en tensión en corriente continua. El controlador de potencia 14 incluye también un sistema de control de propulsión bidireccional, el cual incluye además un inversor de CC a CA 28 acoplado mediante unas conexiones de potencia a la batería 20, a la disposición de rectificador 26 y al motor de tracción 40. Los funcionamientos del inversor 28, la fuente auxiliar 16 y el motor de tracción 40 se controlan, tal como se menciona anteriormente, mediante el controlador de mando 50. Ha de observarse que, además del inversor de CC a CA 28, el sistema de control de propulsión incluye unos sensores de tensión y de corriente, para detectar los varios parámetros de funcionamiento del motor/ generador, la batería, y la fuente eléctrica auxiliar.

Durante el funcionamiento básico de la disposición de las figuras 1 y 2, el controlador de mando (50) controla los conmutadores individuales (que no se ilustran) del inversor 28 con unas instrucciones moduladas por anchura de impulsos, las cuales dan como resultado la generación, en la puerta 28m del inversor 28, que se acopla al motor de tracción 40, de una aproximación de una tensión en corriente alterna que tiene una frecuencia y una magnitud seleccionadas. En una realización preferida de la invención, el inversor es uno de tipo control de campo orientado (FOC, field oriented command) y el motor de tracción es, de forma similar, un motor de inducción de FOC. La frecuencia y la magnitud de la excitación de corriente alterna indicada al motor de tracción 40 se seleccionan para accionar el motor con una corriente de tracción seleccionada a una velocidad de motor seleccionada. En general, el motor de tracción 40 produce una fuerza contraelectromotriz, que aumenta al aumentar velocidad de motor, y el inversor ha de producir (bajo el control del controlador de mando 50) una tensión en corriente alterna que aumenta de magnitud al aumentar la frecuencia de la tensión en corriente alterna con el fin de mantener la misma corriente de excitación de motor de tracción. El motor gira a una frecuencia consistente con la frecuencia indicada de la salida de inversor. Asimismo, durante el funcionamiento básico de un vehículo eléctrico tal como el de las figuras 1 y 2, puede realizarse tanto un frenado dinámico como un frenado por fricción. El frenado dinámico se prefiere en gran medida, debido a que la energía (cinética) inherente en el movimiento del vehículo vuelve a captarse, al funcionar el motor de tracción como un generador eléctrico, a medida que se frena el vehículo. Durante aquellos intervalos en los que tiene lugar un frenado dinámico, el inversor de CC a CA 28 de la figura 2, que funciona en una segunda dirección, o de regeneración, convierte la tensión en corriente alterna que se produce mediante el motor de tracción 40 en una tensión en corriente continua, la cual carga la batería de tracción 20. Además, cuando el vehículo eléctrico es un vehículo eléctrico híbrido, que incluye la fuente eléctrica auxiliar 16, la fuente auxiliar puede accionarse durante el funcionamiento del vehículo para volver a llenar las baterías y/o para proporcionar parte de la energía de tracción, dependiendo de las instrucciones del controlador de mando 50.

Se ha observado que, cuando un vehículo eléctrico se acciona en un modo normal usando un frenado dinámico, y las baterías están plenamente cargadas, el frenado dinámico tiende a impulsar una corriente de carga a través de la batería ya cargada. Las características de una batería de plomo-ácido son tales que, en esta situación de aplicación de una corriente de carga a una batería plenamente cargada, la tensión de la batería tiende a elevarse de forma marcada, como desde un valor plenamente cargado de corriente nula de 13 voltios, en una batería de 12 voltios nominales, hasta una cantidad cercana a 16 voltios, proporcionando de este modo una indicación al controlador de mando de que está teniendo lugar una condición de sobrecarga. Si el controlador de mando desacopla la energía que se genera por el frenado dinámico a partir de la batería, como ha de hacer éste con el fin de proteger la batería, la tensión de la batería cae inmediatamente hasta su valor plenamente cargado de corriente nula. Esto, a su vez, permite que el frenado dinámico controlador comience otra vez a proporcionar energía a la batería hasta que surta efecto el control de sobretensión. Esto da como resultado la aplicación periódica del frenado dinámico a una tasa de impulsos que se establece por las características de bucle del controlador de mando, y produce una vibración de frenado perceptible, así como tiende a sobrecargar la batería durante partes del intervalo de impulsos. Tanto la sobrecarga como la vibración son poco deseables.

Las figuras 3a y 3b ilustran de forma conjunta una ley de control de acuerdo con un aspecto de la invención, que permite una regeneración o devolución plena a las baterías de tracción de energía que se obtiene a partir del frenado dinámico durante aquellos intervalos en los que las baterías de tracción se encuentran en un estado de carga menor que una cantidad de carga particular, cantidad de carga particular que es menor que la carga plena, y que, a unos niveles de carga de la batería de tracción que se encuentran entre la carga particular y la carga plena, disminuye de forma gradual la proporción de la energía regenerada que se obtiene a partir del frenado dinámico de una forma que es sensible a, o una función de, el estado de carga existente entonces en relación con la diferencia en carga entre la carga predeterminada y la carga plena. En una realización de la invención, la relación es monótona, y la relación puede ser lineal. En la figura 3a, la representación gráfica 310 representa la cantidad de regeneración como una función del estado de carga de la batería de tracción conforme a una ley de control de acuerdo con un aspecto de la invención. Más particularmente, la representación gráfica 310 define una parte 312 que es constante a un valor de regeneración de frenado dinámico que representa un 100 % de regeneración, o tan cerca de un 100 % como es convenientemente posible. En carga plena, la cantidad de regeneración de la energía que se obtiene a partir del frenado dinámico se reduce a casi cero, o tan cerca de cero como es convenientemente posible. La ley de control que se representa mediante la representación gráfica 310 incluye además una segunda

parte 314, que desciende de forma monótona desde un 100 % de regeneración a un nivel de carga de la batería de tracción predeterminado que se denomina “primera carga” hasta una regeneración cero en carga plena de la batería de tracción. El efecto sobre el frenado o la tracción regenerativa del vehículo como una función de la condición de carga de la batería de tracción se ilustra mediante una representación gráfica 320 en la figura 3b. En la figura 3b, la representación gráfica 320 incluye una primera parte 322, la cual se extiende a un valor constante que representa la tracción regenerativa máxima desde unos niveles de carga baja hasta el “primer” nivel de carga de la batería de tracción. Una segunda parte 324 de la representación gráfica 320 representa las rampas de tracción regenerativa que descienden de forma monótona desde un 100 % en el “primer” nivel de carga hasta un 0 % en carga plena. A pesar de que las partes 314 y 324 de las representaciones gráficas 310 y 320, respectivamente, se ilustran como rampas lineales, es suficiente para los fines de control que las partes 314 y 324 sean monótonas. Esta reducción monótona en el frenado dinámico no debería ser perceptible para el conductor del automóvil, debido a que el estado de carga de la batería de tracción cambia lentamente y, por lo tanto, la cantidad de frenado regenerativo cambia lentamente. Debido a que el frenado regenerativo cambia lentamente, los frenos por fricción asumen de forma gradual cualquier déficit entre el frenado dinámico y la fuerza de frenado deseada. Esto, a su vez, debería reducir la vibración, lo que es evidente cuando la ley de control simplemente protege la batería de tracción frente a una sobrecarga, deteniendo simplemente la regeneración cuando las baterías se encuentran en carga plena.

La figura 4 es un diagrama de flujo simplificado que ilustra dicha parte 400 de las leyes de control que controlan el procesador de control 50 de la figura 1, lo que da como resultado el tipo de comportamiento que se representa mediante las figuras 3a y 3b. En la figura 4, la lógica se inicia en un bloque de INICIO 410, y avanza hasta un bloque 412, que representa la supervisión de los parámetros del conjunto de baterías de tracción (20 de la figura 1) tal como la temperatura, la tensión y la corriente, e indicando también el tiempo. Las muestras de estos parámetros pueden tomarse a unos intervalos de muestreo frecuentes, tal como en cada iteración de la lógica a través del bucle de la figura 4. Desde el bloque lógico 412, la lógica fluye hasta un bloque 414, que representa una estimación del estado de carga de la batería de tracción, determinando la cantidad de carga que se ha introducido en la batería, y restando la cantidad de carga que ha dejado la batería. La medida de esta carga es el amperio-hora (3.600 coulombios). Una vez que se realiza una estimación del estado de carga de la batería de tracción, la lógica fluye hasta un bloque de decisión 416, el cual compara el estado de carga estimado actual o del presente momento de la batería de tracción con el valor de carga predeterminado que se representa mediante el nivel de “primera carga” de las figuras 3a y 3b; tal como se menciona anteriormente, este nivel de carga es menor que la carga plena. Si el bloque de decisión 416 determina que el nivel de carga estimada de la batería de tracción es menor que el nivel de primera carga, la lógica abandona el bloque de decisión 416 mediante la salida SÍ, y avanza hasta un bloque adicional 418, que representa permitir que se use una energía o potencia de frenado regenerativo pleno. La acción que se adopta en el bloque 418 puede ser, por ejemplo, el ajuste de la corriente de campo en el motor de tracción (que funciona en su modo de generador) durante el frenado con el fin de maximizar la salida eléctrica del motor de tracción. Ha de observarse que algunos tipos de motor/ generadores no tienen un arrollamiento inductor diferenciado, sino que en su lugar tienen unas pluralidades de arrollamientos en los que un arrollamiento tiene su corriente deseada inducida o instada por una corriente controlada en otro arrollamiento; para los fines de la invención, la forma en la que se genera la corriente de campo es irrelevante, es suficiente que ésta se genere en la cantidad deseada. Desde el bloque 418, la lógica fluye de vuelta al bloque 412 para comenzar otra iteración alrededor del bucle. Cuando el vehículo eléctrico híbrido se acciona en este estado, a menudo la batería de tracción se cargará más plenamente debido a la inyección continua de energía (por la acción del generador/ motor de combustión interna auxiliar) en el sistema de almacenamiento de energía que incluye la batería de tracción y el movimiento del vehículo.

Finalmente, el estado de carga de la batería de tracción superará el nivel de “primera carga” que se ilustra en las figuras 3a y 3b. En ese momento, cambiarán las iteraciones de la lógica del controlador 50 de la figura 1 alrededor de la parte de su lógica programada previamente, que se representa mediante el bucle lógico 400 de la figura 4, debido a que el flujo lógico ya no se dirigirá desde la salida SÍ del bloque de decisión 416, sino que en su lugar se dirigirá hacia la salida NO. Desde la salida NO del bloque de decisión 416, la lógica fluye hasta un bloque adicional 420, que representa la reducción de la magnitud de la potencia o energía regenerativa disponible en forma de energía cinética del vehículo, en una relación o proporción inversa a la cantidad de carga del presente momento en relación con la diferencia entre la carga plena y el nivel de primera carga de las figuras 3a y 3b. Por lo tanto, si el estado de carga actual se encuentra a un 70 % de la distancia entre la primera carga y la carga plena, tal como se ilustra mediante  $C_c$  en las figuras 3a y 3b, la cantidad de la energía de movimiento que se permite recuperar y acoplar a la batería es de un 30 %. Cuando el nivel de carga actual alcanza un 100 %, la regeneración admisible es de un 0 %. Tal como se menciona anteriormente, el control del acoplamiento de la energía o potencia a partir del motor de tracción que actúa como un generador puede conseguirse simplemente ajustando el par motor de mando de la excitación en un motor de corriente alterna de control de campo orientado. En una realización real de la invención, el par motor se reduce de forma proporcional a la velocidad, con el fin de controlar la cantidad de potencia que se produce mediante el motor, que actúa como un generador, la cual se devuelve a la batería de tracción.

Tal como se ha descrito hasta el momento, la lógica de la figura 4 controla la regeneración de acuerdo con el estado de carga de la batería de tracción. Esto quiere decir que la fuerza de desaceleración que actúa sobre el vehículo al actuar el motor de tracción como un generador se reduce durante el frenado. Una de las ventajas de un vehículo eléctrico que usa el frenado regenerativo es que no se requiere que los frenos por fricción realicen la totalidad del frenado, y de este modo su diseño y construcción pueden ser tales que se aprovechen del menor uso, como por

ejemplo fabricando éstos de una construcción más ligera. Tal como se ha descrito hasta el momento en conjunción con la lógica de la figura 4, el frenado dinámico se reduce en ciertas condiciones de carga de la batería de tracción. Con el fin de proporcionar un frenado adicional durante las ocasiones en las que se reduce el frenado regenerativo, de acuerdo con otro aspecto de la invención, la lógica fluye desde el bloque 420 de la figura 4 hasta un bloque  
 5 adicional 422, que representa la reducción de la eficiencia del motor de tracción que actúa como un generador. Esta reducción de la eficiencia del motor de tracción que actúa como un generador puede conseguirse mediante el ajuste de o bien el deslizamiento o bien la corriente en el arrollamiento inductor, o preferiblemente de ambos. Desde el bloque 422 de la figura 4, la lógica vuelve al bloque 412, para comenzar otra iteración “alrededor del bucle” o a través de la lógica 400.

Tal como se ha descrito hasta el momento, la vibración o comportamiento desigual que resulta de la protección de la batería plenamente cargada frente a una carga adicional. Un efecto similar tiene lugar tras la aceleración con una batería casi descargada. Durante la aceleración del vehículo 10 de la figura 1, tanto la batería de tracción 20 como la fuente eléctrica auxiliar o secundaria 16 (el generador/ motor de combustión interna) se encuentran disponibles  
 15 como fuentes de energía eléctrica para el motor de tracción 40. Por consiguiente, el motor de tracción 40 puede proporcionar potencia a una tasa que es la suma de la potencia máxima que puede extraerse a partir de la batería de tracción 20 junto con la potencia máxima que puede proporcionar la fuente auxiliar 16. Esto es conveniente para el funcionamiento en una ciudad, en el que las ráfagas de aceleración pueden requerir una potencia significativa. No obstante, en algunas condiciones, los controles de protección de la batería de tracción, si éstos simplemente dejan de extraer potencia a partir de la batería de tracción cuando la batería alcanza un estado de carga que se considera que es un estado descargado, darán también lugar a una forma de vibración. Esta forma de vibración tiene lugar si el vehículo está desplazándose cuesta arriba durante un largo periodo de tiempo, tal como al cruzar la Gran  
 20 Divisoria. Si la tasa de utilización de energía al hacer que el vehículo ascienda a lo largo de la carretera supera la tasa de entrega de energía por la fuente auxiliar 16, las baterías se descargarán de forma continua, y finalmente alcanzarán el nivel de carga que se considera que es el nivel “descargado”. Si, en ese momento, el controlador de batería de tracción fuera simplemente a cortar la batería de tracción con respecto al circuito del motor de tracción, la cantidad de corriente disponible para el motor de tracción se reduciría súbitamente hasta el nivel que proporciona la fuente auxiliar 16, con un consiguiente cambio abrupto en la potencia de tracción, y el vehículo experimentaría una súbita reducción en la velocidad. La eliminación de la descarga de la batería de tracción al motor de tracción, no obstante, permite que la tensión de la batería se eleve de forma abrupta hasta su tensión de carga nula. Si el controlador interpreta esta elevación en la tensión como una indicación de que la batería de tracción tiene carga utilizable, éste puede volver a conectar la batería de tracción al motor de tracción, proporcionando de este modo otra vez una potencia de tracción adicional a partir de la batería de tracción, pero dando lugar a que la tensión de la batería de tracción caiga. Los expertos en la técnica reconocerán esto como una condición de oscilación, que puede  
 25 dar lugar a que el vehículo “realice explosiones” o traquetee repetidamente durante el ascenso.

Ha de observarse en este punto que una batería “plenamente” descargada, en el contexto de una batería de tracción en la que se desea una larga duración, aún contiene una carga sustancial, debido a que la duración de tales baterías se reduce de forma drástica si la profundidad de la descarga es demasiado grande; por lo tanto, una batería  
 40 descargada para los fines de análisis de los vehículos de accionamiento eléctrico es una en la que las baterías se encuentran en un estado de carga que se considera que es la condición de descarga plena, pero que aún contiene una carga sustancial. En un vehículo eléctrico híbrido, la fuente de energía auxiliar proporciona energía de forma continua, que puede usarse para cargar las baterías de tracción si la demanda de tracción es menor que la salida de la fuente de energía auxiliar. Las leyes de control permiten que tanto la fuente de energía auxiliar como las baterías de tracción proporcionen energía al motor de tracción. Cuando la demanda del motor de tracción supera la salida de la fuente auxiliar, la corriente se extrae a partir de la batería de tracción, lo que da lugar a que su tensión caiga. Si la batería de tracción está cerca de una condición de descarga plena, la caída de tensión debido a esta extracción de corriente puede ser tal como para desencadenar la protección de la batería, deteniendo el drenaje de corriente con respecto a la batería. La eliminación del drenaje de corriente mediante las leyes de control, a su vez, da lugar a que el vehículo se alimente únicamente por la fuente auxiliar, y permite que la tensión de la batería de tracción se eleve. Cuando la batería de tracción se eleva, las leyes de control dejan de reconocer la batería como en descarga, y se permite de nuevo el drenaje de corriente con respecto a la batería de tracción. El proceso de acoplar y desacoplar repetidamente la batería de tracción al motor de tracción constituye una oscilación del sistema de control. Esta oscilación da como resultado una fuerza de tracción que varía a la tasa de oscilación del sistema de control, y que  
 50 puede ser perceptible para el operador del vehículo.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, el controlador 50 controla la cantidad de potencia que puede extraerse a partir de la batería de tracción en respuesta al estado de carga de la batería de tracción. Esto evita la situación de “explosiones” que se describe anteriormente, y permite una disminución suave en la velocidad con la que el vehículo  
 60 puede ascender una montaña a medida que la carga de la batería disminuye. La figura 5 ilustra una representación gráfica 500 que representa el resultado del control de acuerdo con el presente aspecto de la invención. En la figura 5, la potencia de tracción disponible para el vehículo se representa frente al estado o nivel de carga de la batería de tracción. La representación gráfica 500 incluye una parte 510, que representa la salida continua de la fuente auxiliar de energía o potencia eléctrica, que es un nivel relativamente bajo. La parte de representación gráfica 510 se extiende desde un nivel menor que la condición de descarga nominal hasta un nivel de carga designado como “punto de carga baja”, que es la condición descargada nominal de la batería de tracción. En una zona de  
 65

funcionamiento que se representa mediante la parte de representación gráfica 512, la potencia de tracción disponible para el vehículo se encuentra a un nivel relativamente alto, que representa la suma de la potencia de batería y auxiliar. Este nivel de potencia máxima que se representa mediante la parte de representación gráfica 512 se extiende desde una condición de carga que se denomina como “primera carga” hasta la condición de carga plena. Entre la condición de “carga baja” de la batería de tracción y la condición de “primera carga”, la cantidad de potencia de tracción depende del estado de carga de la batería de tracción, tal como se sugiere por la parte de representación gráfica 514. El efecto de este tipo de control es permitir el funcionamiento a potencia de tracción plena durante un periodo de tiempo, hasta que la batería de tracción se descarga parcialmente hasta el “primer” nivel. Cuando la batería de tracción cae justo por debajo del primer nivel, la cantidad de potencia de batería que se encuentra disponible para el motor de tracción se disminuye ligeramente, en una cantidad que se espera que no sea apreciable. Esta ligera disminución de potencia en un punto justo por debajo del nivel de primera carga de la figura 5 reduce en cierta medida la tasa de descarga de la batería de tracción. Si la pendiente de subida es larga, la batería de tracción puede descargarse adicionalmente. Cuando la batería de tracción se descarga adicionalmente en la zona entre las condiciones de carga “baja” y “primera” de la figura 5, relativamente menos de la potencia de batería se encuentra disponible para el motor de tracción, lo que da como resultado una ralentización adicional del vehículo. Para las pendientes de subida más largas, la batería de tracción alcanzará por último la condición de carga “baja” que se considera que está nominalmente descargada. Cuando se alcanza este nivel, no se extrae más energía a partir de la batería de tracción, y, en general, el estado de carga de la batería de tracción no puede extenderse por debajo del nivel de carga “baja” hasta la parte de representación gráfica 510, a menos que exista algún otro drenaje en la batería de tracción, tal como una anulación de emergencia de la protección de la batería en unas condiciones de peligro inminente para el vehículo o sus ocupantes. Con un control como el representado en la figura 5, no existe una transición abrupta en la potencia de tracción en punto alguno a lo largo de la curva de control. Cuando la carga de la batería se encuentra justo por encima del punto de carga “bajo”, y está realizando la transición a pleno funcionamiento a partir de la fuente eléctrica auxiliar, la cantidad de potencia de tracción que se proporciona por la batería de tracción ya es muy pequeña, y la transición debería ser imperceptible para el conductor del vehículo.

La figura 6 es un diagrama de flujo simplificado, el cual ilustra dicha parte 600 de la lógica del controlador 50 de la figura 1 que proporciona el control de acuerdo con la representación gráfica 500 de la figura 5. En la figura 6, la lógica comienza en un bloque de INICIO 610, y avanza hasta un bloque 612, que representa la lectura de las características de la batería, de forma muy similar a la del bloque 412 de la figura 4. Desde el bloque 512 de la figura 5, la lógica fluye hasta un bloque 614, que representa una estimación del estado de carga, también tal como se ha descrito de forma general en la figura 4. El bloque de decisión 616 de la figura 6 determina si el estado de carga actual se encuentra por encima del “primer” punto de carga de la figura 5, y encamina la lógica por medio de la salida SÍ del bloque de decisión 616 si el estado de carga es mayor que el “primer” punto de carga. Desde la salida SÍ del bloque de decisión 616, la lógica fluye hasta un bloque 618, que representa el hacer una potencia de tracción plena disponible para el motor de tracción. Esto se lleva a cabo eliminando los límites de potencia, tal como se ha descrito en conjunción con las figuras 7a y 7b, en el software que controla el inversor, observando que la fuente auxiliar sólo es una fuente, mientras que la batería y el motor/ generador pueden ser fuentes o cargas, dependiendo del funcionamiento del inversor. Desde el bloque 618, la lógica fluye de vuelta al bloque 612, para comenzar otra iteración a través de la lógica de la figura 6. En general, cuando se comienza con una batería de tracción casi plenamente cargada, la lógica iterará alrededor del bucle que incluye los bloques 612, 614, 616 y 618 de la figura 6 durante tanto tiempo como la carga de la batería de tracción supere la carga que se representa mediante el “primer” nivel de carga en la figura 5.

En un ascenso prolongado, la carga de la batería de tracción puede caer finalmente a un valor igual o menor que el “primer” punto de carga de la figura 5, y en la siguiente iteración a través de la lógica de la figura 6, la lógica 6 abandonará el bloque de decisión 616 mediante la salida NO, y avanzará hasta un bloque 620. El bloque 620 representa la reducción en la cantidad de potencia disponible para el motor de tracción a partir de la batería de tracción en una cantidad que depende de la magnitud de la carga actual de la batería de tracción en relación con la diferencia en carga entre los estados de carga “primera” y “baja” de la figura 5. Por ejemplo, si el nivel de carga del presente momento de la batería de tracción cae por debajo de la “primera” condición de carga de la figura 5 a un nivel representado en la figura 5 como “carga actual”, que es de 9/10 de la distancia entre los niveles de carga representados mediante los niveles de carga “baja” y “primera”, el controlador 50 controla la cantidad de potencia disponible para el motor de tracción a partir de la batería de tracción para que sea de un 90 % de la componente que suministra la batería de la potencia plena que se representa mediante la parte de representación gráfica 512. Expresado de otra forma, debido a que el estado de carga actual que se indica en la figura 5 como “carga actual” es de un 90 % de esa componente de la potencia de tracción plena designada como atribuible a la batería, la potencia de batería que se proporciona al motor de tracción se reduce a un 90 % de la potencia de batería. Naturalmente, no existe el requisito de que la parte de representación gráfica 514 de la figura 5 sea una rampa lineal tal como se ilustra, pero el sistema de control se simplifica si la parte de representación gráfica 514 es al menos monótona. Desde el bloque 620 de la figura 6, la lógica fluye hasta un bloque de decisión 622, el cual compara la demanda de potencia de motor de tracción con la potencia a partir de la fuente auxiliar de energía eléctrica. Si la demanda de potencia de tracción supera la potencia a partir de la fuente auxiliar de electricidad, las baterías se están descargando, y la lógica abandona el bloque de decisión 622 mediante la salida SÍ. Desde la salida SÍ del bloque de decisión 622, la lógica fluye hasta un bloque 624, que representa aumentar la potencia disponible desde la fuente auxiliar hasta su valor máximo. Desde el bloque 624, la lógica fluye hasta un bloque de decisión 626. El bloque de

decisión 626 compara el estado de carga actual de la batería de tracción con el punto de carga “bajo” de la figura 5. Si el estado de carga se encuentra por debajo del punto de carga “bajo”, lo que indica que la batería de tracción no debería descargarse adicionalmente con el fin de evitar dañar la batería de tracción, la lógica abandona el bloque de decisión 626 mediante la salida SÍ, y avanza hasta un bloque lógico 628. El bloque 628 representa la limitación de la potencia de motor de tracción, mediante un control FOC, a la cantidad de potencia conocida disponible a partir de la fuente auxiliar de energía eléctrica, que se determina fácilmente como el producto de la tensión multiplicada por la corriente. Desde el bloque 628, la lógica fluye por medio de una trayectoria de lógica 630 de vuelta al bloque 612 por medio de una trayectoria de lógica 630, para comenzar otra iteración a través de la lógica de la figura 6. Si, cuando el bloque de decisión 626 examina el estado de carga de la batería de tracción, el estado de carga actual es mayor que el punto de carga “bajo” de la figura 5, la lógica abandona el bloque de decisión 626 mediante la salida NO, y avanza a lo largo de la trayectoria de lógica 630 de vuelta al bloque 612, sin pasar por el bloque 628. Por lo tanto, cuando existe una carga utilizable significativa en la batería de tracción, la lógica de la figura 6 permite su uso. Si, durante el tránsito de la lógica a través de la figura 6, el bloque de decisión 622 determina que la potencia de tracción no es mayor que la potencia que se produce mediante la fuente auxiliar 16, la lógica abandona el bloque de decisión 622 mediante la salida NO, y avanza por medio de la trayectoria de lógica 630 hasta el bloque 612, para comenzar otra iteración; esta trayectoria evita el aumento de la potencia de la fuente auxiliar 16 al máximo.

La figura 7a ilustra una representación gráfica paramétrica simplificada 710a, 710b, 710c,... , 710N de la potencia de motor (o de generador) frente a la velocidad. En la figura 7a, las representaciones gráficas 710a, 710b, 710c,... , 710N tienen una parte en pendiente 712 en común. La potencia para un motor o generador es el producto del par motor multiplicado por la velocidad. Por consiguiente, a una velocidad cero, la potencia es cero, con independencia del par motor. A medida que la velocidad aumenta a un par motor constante, la potencia aumenta, tal como se sugiere por la parte 712 de las representaciones gráficas de la figura 7a, hasta una velocidad  $\omega_{base}$ . Por encima de las frecuencias de  $\omega_{base}$ , el diseño del motor/ generador es tal que no puede manejarse más potencia, por razones térmicas o de otro tipo. Por consiguiente, al par motor máximo, la potencia del motor/ generador está limitada mediante las leyes de control del inversor para encontrarse sobre la representación gráfica 710a. Si el par motor es en cierta medida menor que el par motor máximo, la potencia máxima se obtiene a una velocidad de motor ligeramente más baja que omega sub base, que se representa mediante la representación gráfica 710b. La representación gráfica 710c representa una magnitud aún más baja de par motor, y la representación gráfica inferior, 710N, representa el par motor más bajo que puede sostener sistema de control cuantificado. El sistema de control limitará el par motor que se produce mediante el motor a un valor limitante, dependiendo de la velocidad, para evitar que el motor funcione por encima de los límites de potencia máxima deseada. El límite de par motor limitante se determina simplemente dividiendo la potencia máxima por la velocidad de motor actual

$$\text{límite de par motor} = P_{max} / \text{velocidad}$$

y el límite resultante sobre el par motor da lugar a que la representación gráfica de la potencia se limite a un valor no mayor que el que se representa en la figura 7a mediante la representación gráfica 710a y la parte de representación gráfica 712. Si la potencia ha de limitarse a un valor menor que  $P_{max}$ , la representación gráfica de la potencia que el motor sigue se corresponderá con una de las representaciones gráficas 710b, 710c,... , 710N de la figura 7a. La figura 7b es un diagrama de bloques simplificado que ilustra la relación de la instrucción de par motor y el limitador de potencia. En la figura 7b, la instrucción de par motor se aplica a un bloque de limitador 714, que ajusta la magnitud de la instrucción de par motor (Instr. de Par motor Limitada), que llega a al inversor 28 del control de campo orientado (FOC, field oriented control) de una forma que limita la potencia para encontrarse por debajo de una curva 716. La curva 716 es una representación gráfica del par motor frente a la velocidad, que se determina dividiendo la potencia  $P$  seleccionada o ajustada por la velocidad de motor. Por lo tanto, el inversor de FOC puede controlar la potencia del motor mediante el control del par motor indicado, a la vista de la velocidad de motor. El par motor en cuestión puede ser un par motor de tracción o de accionamiento, o éste puede ser un par motor de desaceleración o de frenado. Cuando se desea el control de la potencia que fluye a las baterías a partir del motor, que actúa como un generador, las instrucciones de FOC adecuadas dan como resultado la aplicación del límite.

En la figura 8, el par motor o instrucción de par motor deseado se obtiene a partir de un acelerador eléctrico (que no se ilustra) y se aplica por medio de una trayectoria 810 a una primera puerta de entrada de un multiplicador 812, el cual recibe la velocidad de vehículo detectada (o la velocidad de motor de tracción, si el vehículo está equipado con marchas cambiables) a partir de los sensores (que no se ilustran) en su segunda puerta de entrada 814. El multiplicador 812 toma el producto de la velocidad de motor y el par motor indicado, para producir una señal que representa la potencia indicada que va a aplicarse al motor de tracción. Un bloque 816 multiplica la potencia indicada por una constante  $k$ , si es necesario, para convertir la señal en una representación  $P_c$  de la potencia de motor de tracción indicada en vatios. La señal  $P_c$  que representa la potencia indicada en vatios se aplica desde el bloque 816 hasta un bloque adicional 818, que representa la división de la potencia indicada en vatios por la tensión de la batería de tracción, para obtener una señal que representa la corriente de motor de tracción indicada ( $I_c = P/E$ ). La tensión de la batería de tracción es un indicador aceptable de la tensión del motor de tracción, debido a que todas las tensiones en el sistema tienden hacia la tensión de la batería. La señal que representa la corriente indicada  $I_c$  se porta por una trayectoria de señal 819 hasta una parte del controlador de mando 50 de la figura 1 para el control del inversor de FOC 28 y el motor de tracción 40, de una forma que produce la corriente de motor deseada. La señal que representa la corriente indicada  $I_c$  se aplica también a partir de la salida de bloque 818 por medio de un circuito

de multiplicación que se ilustra como un bloque 820 a un generador de señal de error 822. El fin del circuito de multiplicación 820 se explica a continuación, pero su acción da como resultado la conversión de la corriente de motor indicada  $I_c$  para dar la corriente de generador indicada  $I_G$ . El generador de señal de error 822 genera una señal de error restando una señal de realimentación a partir de una trayectoria de señal 824, que representa la corriente de salida detectada del generador/ motor de combustión interna (generador), con respecto a la corriente de generador indicada  $I_G$ . La señal de error que se produce mediante el generador de señal de error 822 se aplica a un filtro de compensación de lazo, que puede ser un integrador simple, para producir una señal que representa la velocidad indicada de la fuente auxiliar 16 de energía eléctrica, más específicamente el motor diésel 18. El motor diésel 18 acciona el generador eléctrico 22, para producir una tensión de salida en corriente alterna para la aplicación por medio de unos conductores de potencia 832 al inversor 28 de la figura 1. Una disposición de detección de corriente que se ilustra como un círculo 834 se acopla a los conductores de salida 832 para detectar la corriente de generador. Los bloques 822, 826, 18, 22, y 824 de la figura 8 constituyen de forma conjunta un lazo de realimentación cerrado que tiende a hacer la corriente de salida del generador 22 igual a la magnitud indicada por la señal de control  $I_G$  aplicada al generador de error. El compensador de lazo 826 se selecciona para evitar que la velocidad del motor diésel cambie con demasiada rapidez, lo que podría dar como resultado, de forma poco deseable, un aumento en la emisión de agentes contaminantes,

Tal como se ha descrito hasta el momento, la disposición de la figura 8 produce una señal  $I_c$  para regir la corriente de motor de tracción para el control del movimiento del vehículo, y también produce una señal  $I_G$  que rige la corriente del generador auxiliar 22. En la figura 8, una señal que representa un estado de carga deseado (SOC) de la batería de tracción se recibe en la puerta de entrada no inversora de un circuito sumador 850. Una señal que representa el estado de carga actual se recibe en la puerta de entrada inversora del circuito sumador 850 a partir de un estado de carga de la batería (SOC) que determina el bloque 852. El bloque de SOC 852 recibe unas señales que representan la tensión de la batería, la temperatura de la batería y las corrientes de la batería. En general, el estado de carga de una batería es simplemente la integral de tiempo del resultado neto de las corrientes de entrada y de salida. El bloque de SOC 852 integra los amperios de corriente netos para producir amperios-hora (3.600 coulombios) de carga. El circuito sumador 850 produce, en una trayectoria de señal 854, una señal de error que representa la diferencia entre el estado de carga deseado o indicado de la batería de tracción y su estado de carga real, para identificar de este modo un exceso o defecto instantáneo de la carga. La señal de error se aplica a un filtro de compensación de lazo 856, el cual integra la señal de error, para producir una señal de error integrada. La señal de error integrada cambia lentamente como una función del tiempo. La señal de error integrada actúa sobre el bloque 820 por medio de un limitador 858. Más particularmente, la señal de error integrada, cuando se aplica al bloque de multiplicación 820, selecciona el factor de escala por el que la corriente de motor indicada  $I_c$  se multiplica para convertir ésta en la corriente de generador indicada. El limitador 858 limita meramente la señal de error integrada desde el bloque 856, de tal modo que el intervalo de factores de escala del bloque de multiplicación 820 está limitado al intervalo entre cero y uno (unidad). Por lo tanto, la corriente de generador indicada  $I_G$  nunca puede ser mayor que la corriente de motor de tracción indicada  $I_c$ , pero puede ser menor, de acuerdo con el factor de escala que se indica mediante la señal integrada limitada a partir del limitador 858, y la corriente de generador indicada  $I_G$  puede ser tan baja como corriente cero.

El estado de carga deseado de la batería de tracción es un nivel de carga que es menor que la carga plena, de tal modo que puede aplicarse un frenado regenerativo sin peligro de dañar la batería de tracción debido a una sobrecarga. Por lo tanto, el punto de ajuste del SOC deseado es una carga menor que la carga plena. El funcionamiento de la disposición de la figura 8 puede entenderse asumiendo que el estado normal de la salida del integrador en el filtro de compensación de lazo 856 es 0,5 "voltios", a medio camino entre el máximo de 1,0 voltio y el mínimo 0,0 voltios que permite el limitador 858. El valor de la señal de error integrada (según se limita por el limitador 858) puede verse como un factor de multiplicación por el que el circuito de multiplicación 820 multiplica la corriente de motor de tracción indicada, de tal modo que una señal de error integrada que tiene un valor de 1,0 da lugar a que la corriente de motor de tracción indicada  $I_c$  se transmita a plena amplitud por el generador de señal de error 822, mientras que un valor de 0,5 daría como resultado que la magnitud de la corriente de generador indicada  $I_G$  fuera exactamente la mitad de la magnitud de la corriente de motor de tracción indicada  $I_c$ . Durante el funcionamiento del vehículo bajo el control de la disposición de la figura 8, debido a que la batería de tracción supera el estado de carga deseado, el generador de señal de error 850 sustrae un gran valor de señal que representa un estado de carga elevada con respecto al valor de punto de ajuste, produciendo de este modo una señal de error o diferencia que tiene una polaridad negativa. El integrador en el filtro de compensación de lazo 856 integra la señal de polaridad negativa, que tiende a "reducir" o a hacer negativa la señal integrada neta en la salida del filtro de compensación de lazo 856 lejos de su valor "normal" de 0,5 voltios, haciendo que posiblemente descienda hacia 0,3 voltios, a modo de ejemplo. Debido a que un valor de 0,3 voltios de la señal de error integrada se encuentra dentro del intervalo permitido del limitador 858, la señal de error integrada simplemente fluye a través del limitador 858, para controlar el circuito de multiplicación 820 de una forma que da lugar a que la corriente de motor de tracción indicada  $I_c$  se multiplique por 0,3, en lugar del 0,5 "normal", para producir la corriente de generador indicada  $I_G$ . Por lo tanto, un estado de carga de la batería mayor que el punto de ajuste deseado da como resultado la reducción de la salida promedio del generador. De la misma forma, si el estado de carga de la batería de tracción es más bajo que el punto de ajuste deseado, la señal aplicada a partir del bloque 852 de la figura 8 a la puerta de entrada inversora del generador de señal de error 850 se vuelve más pequeña en magnitud que la señal que representa el SOC deseado, lo que da como resultado un valor positivo de la señal de error en la salida del generador de señal de error

850. El integrador asociado con el filtro de lazo 856 integra su señal de entrada positiva para producir una señal de salida integrada que tiende a aumentar por encima de su valor "normal" de 0,5 voltios, hasta un valor de, por ejemplo, 0,8 voltios. Debido a que este valor se encuentra dentro de los valores aceptables para el limitador 858, la señal de error integrada de 0,8 voltios se aplica al circuito de multiplicación 820 sin cambios. La tensión de error integrada de 0,8 voltios da lugar a que el circuito de multiplicación 820 multiplique la señal que representa la corriente de motor de tracción indicada  $I_c$  por 0,8, de tal modo que la corriente de generador indicada  $I_G$  es mayor que anteriormente. El efecto neto de la disminución en carga de la batería de tracción hasta un valor por debajo del punto de ajuste es la disminución de la potencia de salida promedio a partir del generador 22, lo que debería tender a disminuir el nivel de carga de la batería de tracción. Los expertos en la técnica entenderán que el valor "normal" de la señal de error integrada al que se hace referencia anteriormente no existe en realidad, y se usa sólo para ayudar a entender el funcionamiento del sistema de control.

Por lo tanto, de acuerdo con un aspecto de la invención, un método (las figuras 3a, 3b, 4) para hacer que funcione un vehículo eléctrico (10) que incluye un motor de tracción (40) conectado para accionar al menos una rueda de accionamiento (12) del vehículo (10), y para convertir el movimiento del vehículo (10) en energía eléctrica durante el frenado, incluye la etapa (312, 418) de devolución de sustancialmente la totalidad de la energía (potencia regenerativa plena) a partir del motor de tracción (40) a las baterías durante el frenado, a una eficiencia máxima del motor de tracción (40) accionado como un generador, cuando las baterías (20) se encuentran en una condición de primera carga (entre el nivel de carga baja y el de primera carga de la figura 3b) que es menor que la condición de carga plena). Las etapas adicionales (324, 422) incluyen ajustar la eficiencia  $\eta$  del motor de tracción (40) a un nivel intermedio (entre un  $\eta$  máximo y un  $\eta$  significativamente reducido), que se encuentra entre la eficiencia máxima y la eficiencia cero, para devolver menos de la totalidad de la energía disponible a partir del motor de tracción (40) a las baterías (20) durante el frenado cuando las baterías se encuentran en un nivel de carga ( $C_c$ ) que se encuentra entre la condición de primera carga y la condición de carga plena, y ajustar la eficiencia del motor de tracción (40) a tan cerca de una eficiencia cero como pueda ser posible o conveniente (posiblemente, una eficiencia tan baja como un 80 %), para devolver la mínima cantidad de la energía a partir del motor de tracción (40) a las baterías (20) cuando las baterías (20) alcanzan la condición de carga plena. En una versión particular del presente aspecto de la invención, la etapa (422) de ajuste de la eficiencia del motor de tracción (40) accionado como un generador incluye la etapa de cambiar la frecuencia de deslizamiento del motor de tracción. En otra versión particular del presente aspecto de la invención, la etapa de ajuste de la eficiencia del motor de tracción (40) accionado como un generador incluye la etapa de cambiar la corriente en un arrollamiento inductor (40f) del motor de tracción (40). En otra versión particular más del presente aspecto de la invención, la etapa de ajuste de la eficiencia del motor de tracción (40) accionado como un generador incluye la etapa de pasar una corriente continua a través de un arrollamiento (40a, 40b, 40c; 40f) del motor de tracción (40).

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para hacer que funcione un vehículo eléctrico (10) que incluye un motor de tracción (40) conectado para accionar al menos una rueda de accionamiento (12) de dicho vehículo (10), y para convertir el movimiento de dicho vehículo (10) en energía eléctrica durante el frenado, comprendiendo dicho método las etapas de:
- 5
- devolver sustancialmente la totalidad de la energía a partir de dicho motor de tracción (40) a dichas baterías (20) durante el frenado, a una eficiencia máxima de dicho motor de tracción (40) accionado como un generador, cuando dichas baterías (20) se encuentran en una condición de primera carga que es menor que la carga plena;
- 10
- caracterizado por**
- ajustar la eficiencia de dicho motor de tracción (40) a un nivel entre dicha eficiencia máxima y la eficiencia cero, para devolver menos de la totalidad de dicha energía a partir de dicho motor de tracción (40) a dichas baterías (20) durante el frenado cuando dichas baterías (20) se encuentran en un nivel de carga entre dicha condición de primera carga y dicha condición de carga plena; y
- 15
- ajustar la eficiencia de dicho motor de tracción (40) a una eficiencia baja seleccionada, para devolver la mínima cantidad de dicha energía a partir de dicho motor de tracción (40) a dichas baterías (20) cuando dichas baterías (20) alcanzan dicha condición de carga plena.
- 20
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dichas etapas de ajuste de la eficiencia de dicho motor de tracción (40) accionado como un generador incluye la etapa de cambiar la frecuencia de deslizamiento de dicho motor de tracción.
- 25
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dichas etapas de ajuste de la eficiencia de dicho motor de tracción (40) accionado como un generador incluye la etapa de cambiar la corriente de campo en dicho motor de tracción (40).
- 30
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dichas etapas de ajuste de la eficiencia de dicho motor de tracción (40) accionado como un generador incluye la etapa de pasar una corriente continua a través de un arrollamiento de dicho motor de tracción (40).

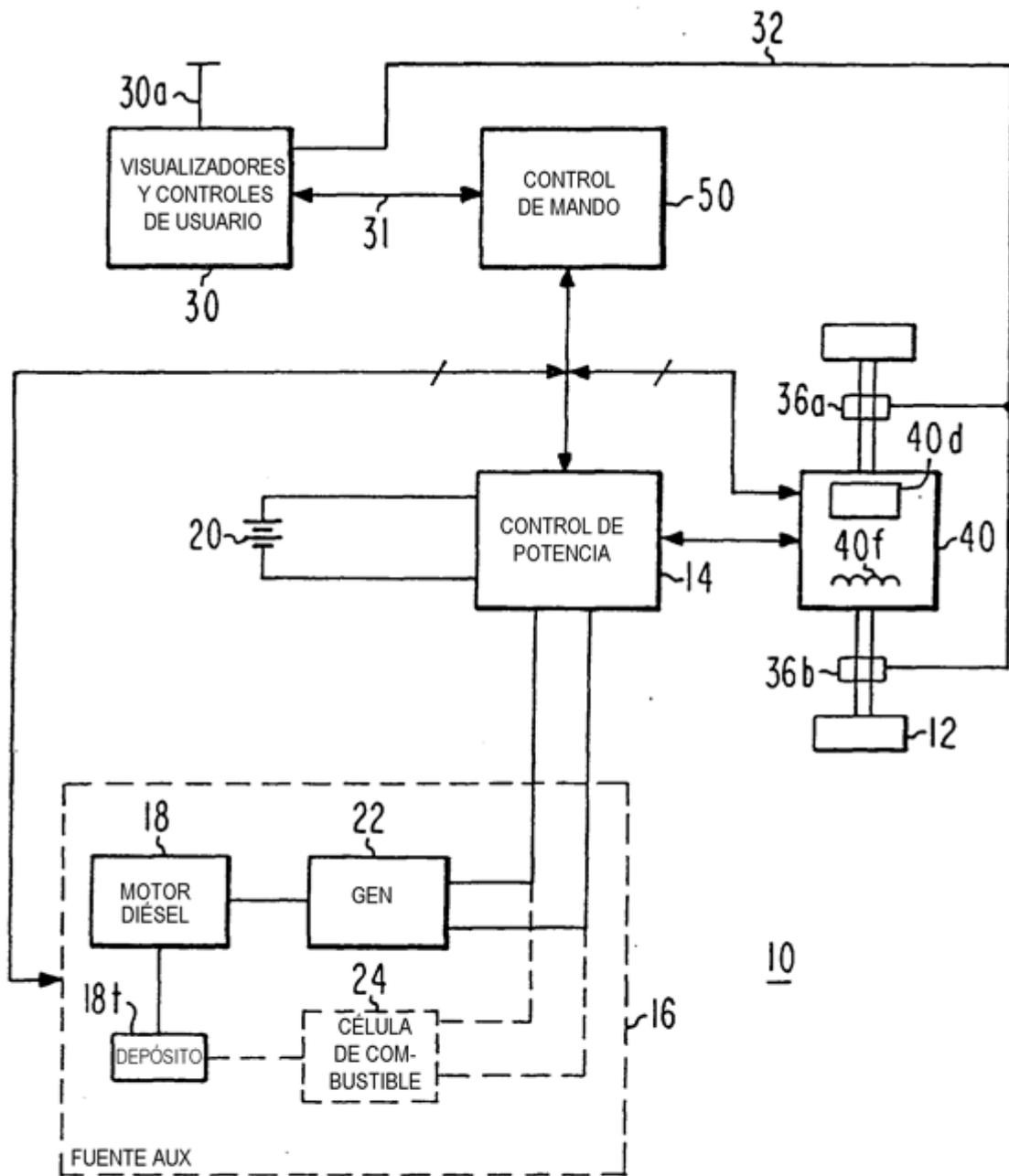
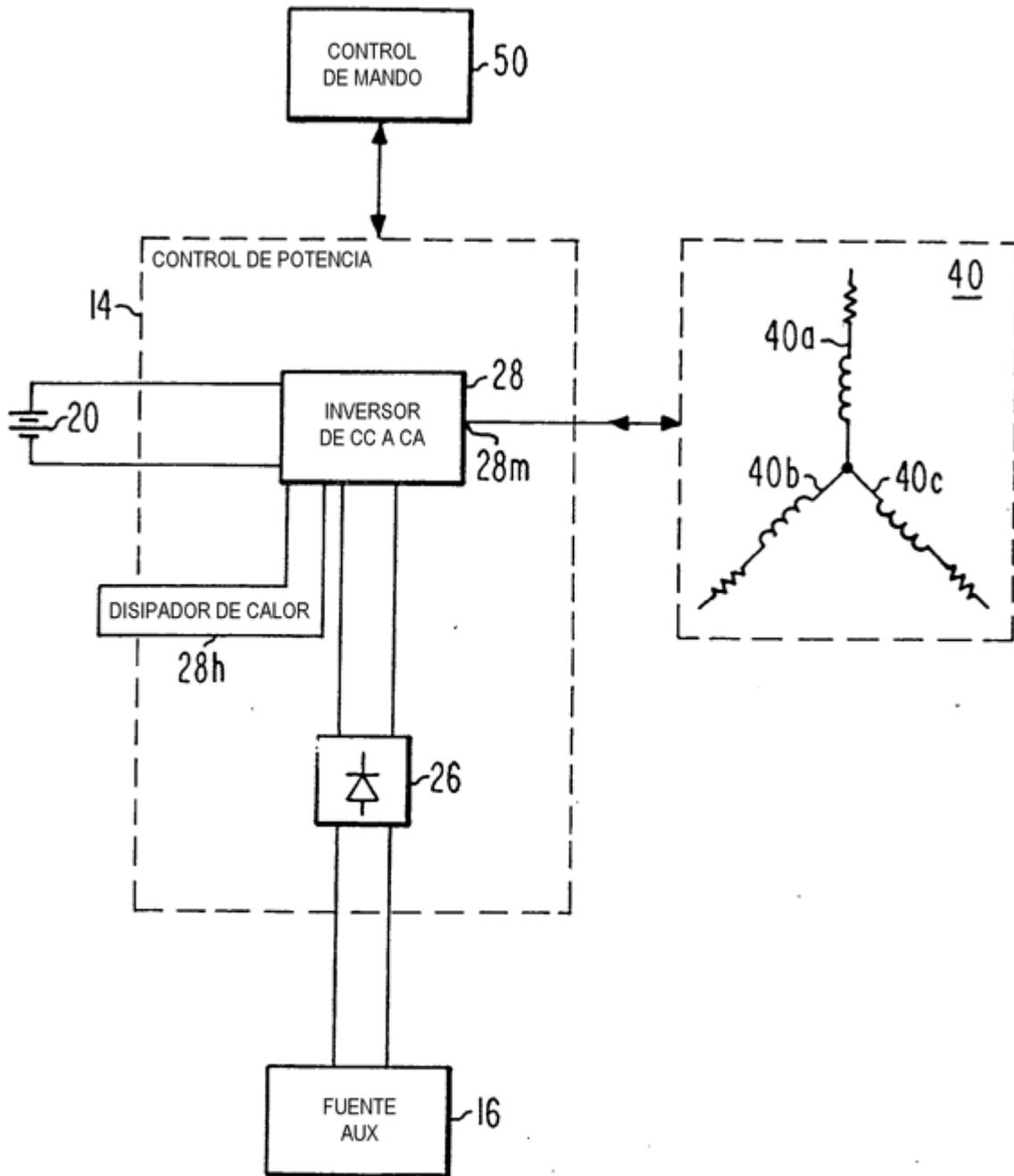
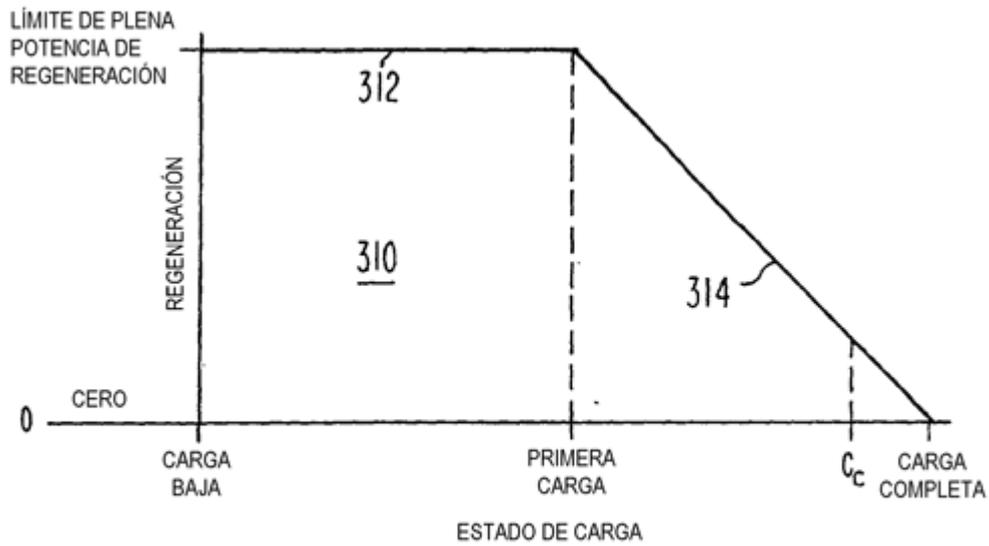


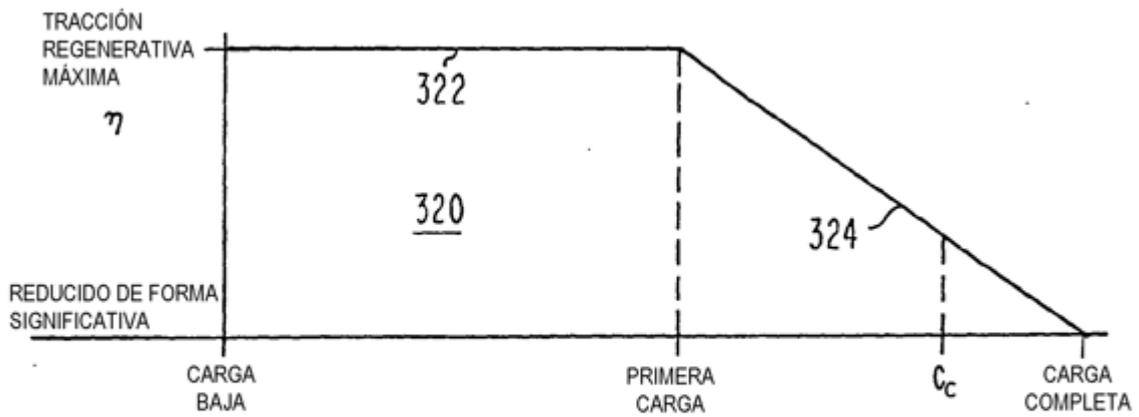
Fig. 1



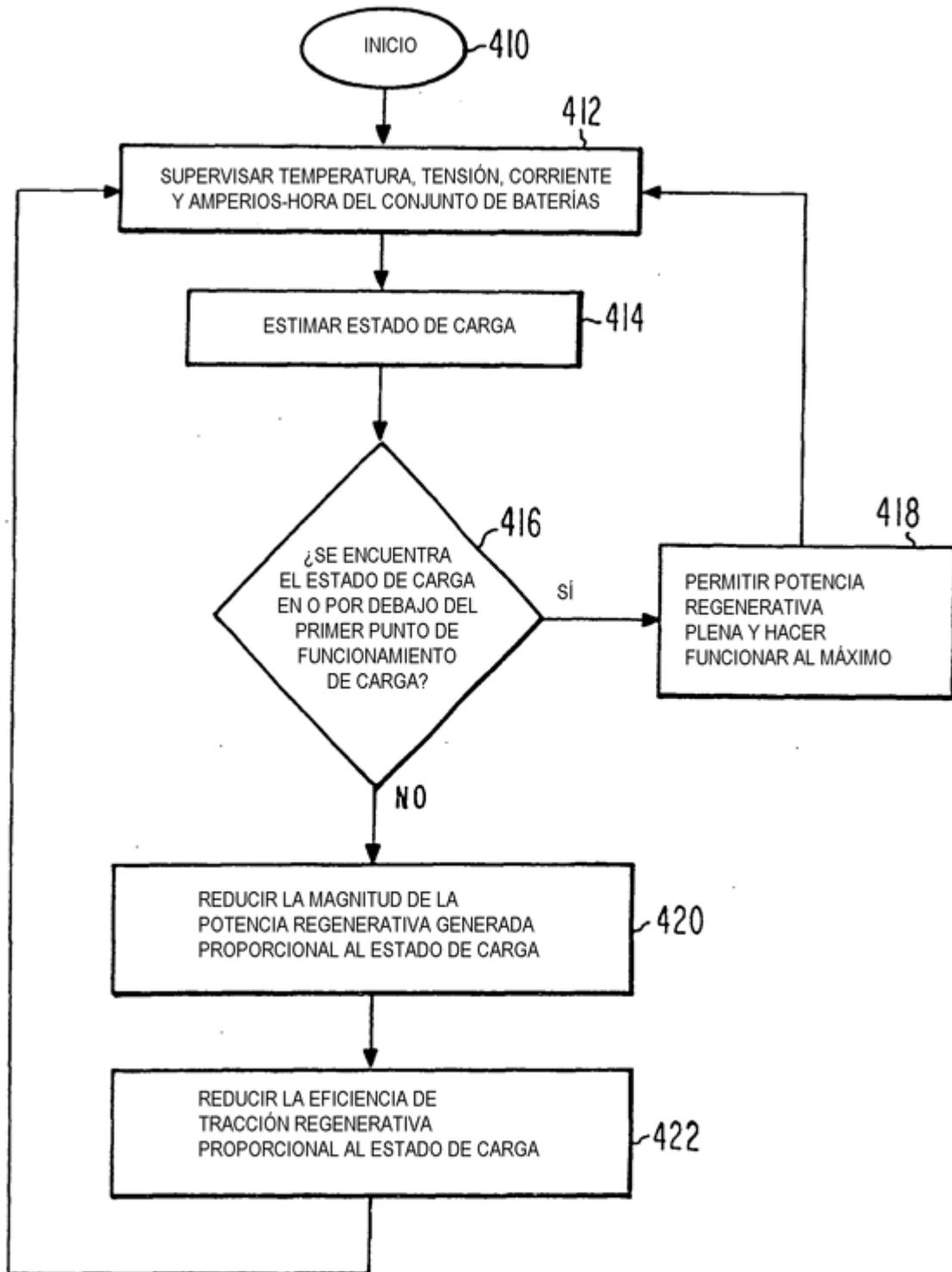
*Fig. 2*



*Fig. 3a*



*Fig. 3b*



*Fig. 4*

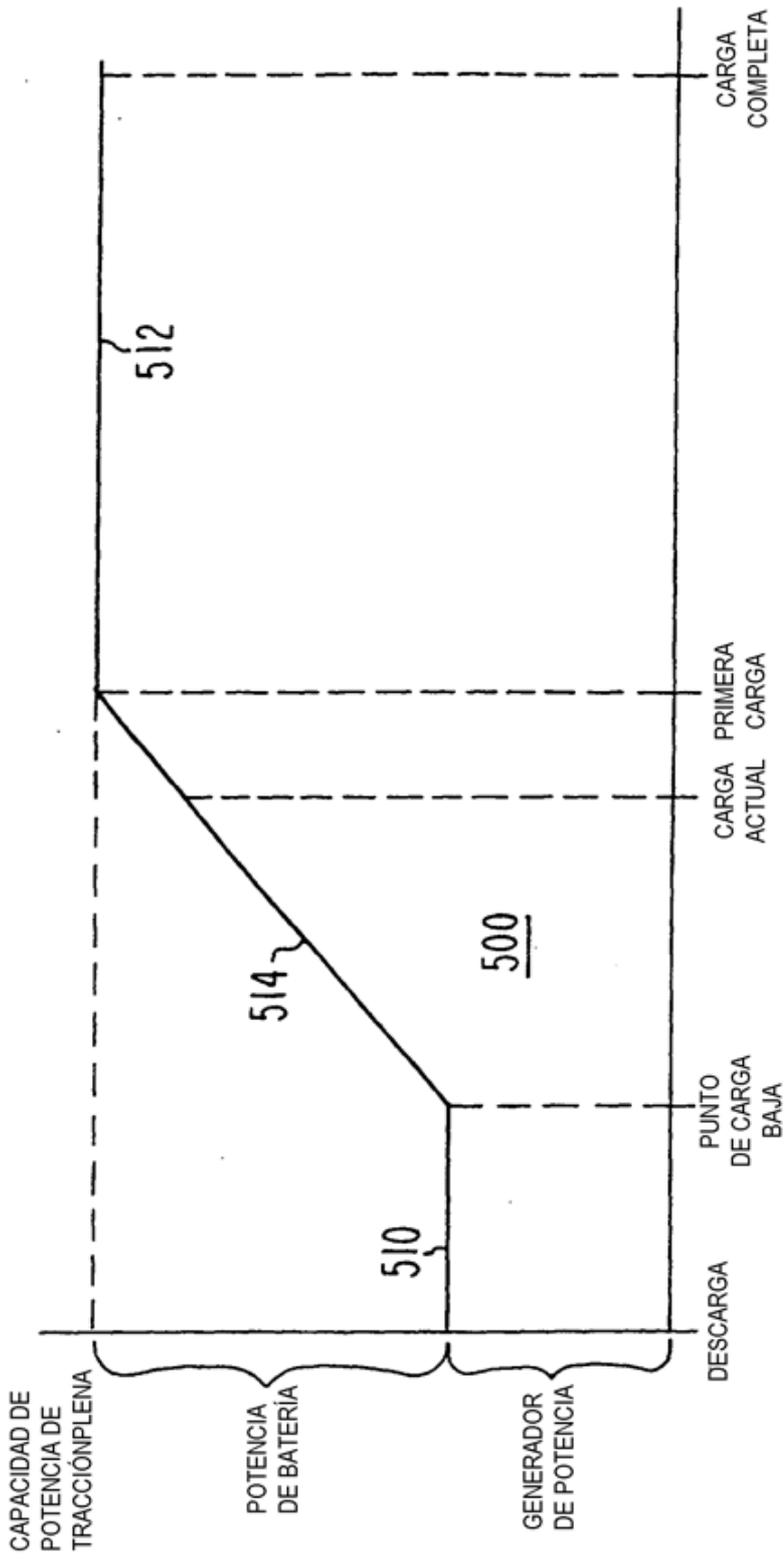


Fig.5

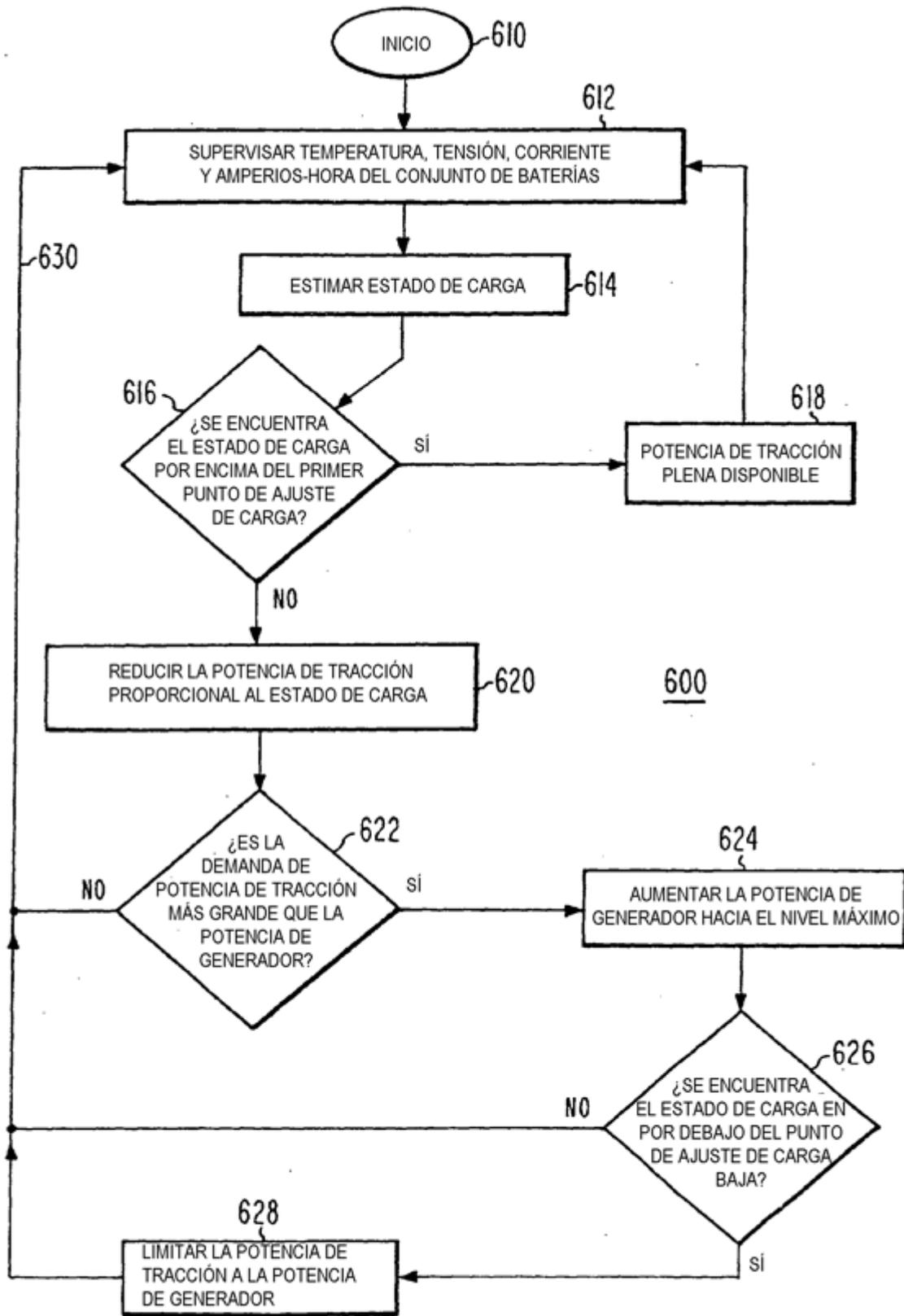
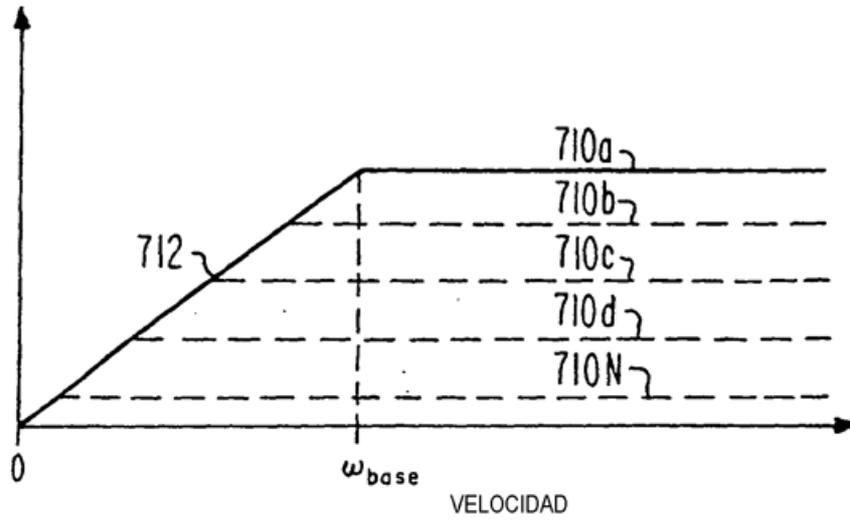
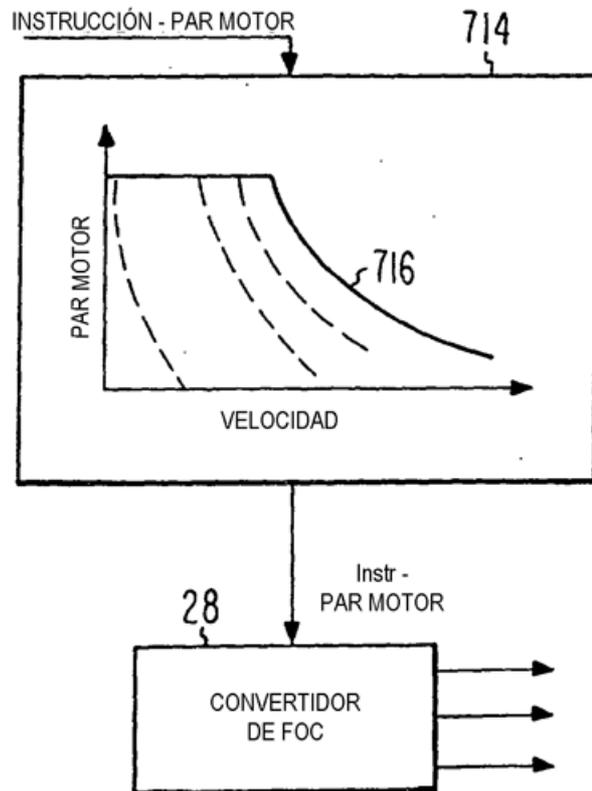


Fig. 6



*Fig. 7a*



*Fig. 7b*

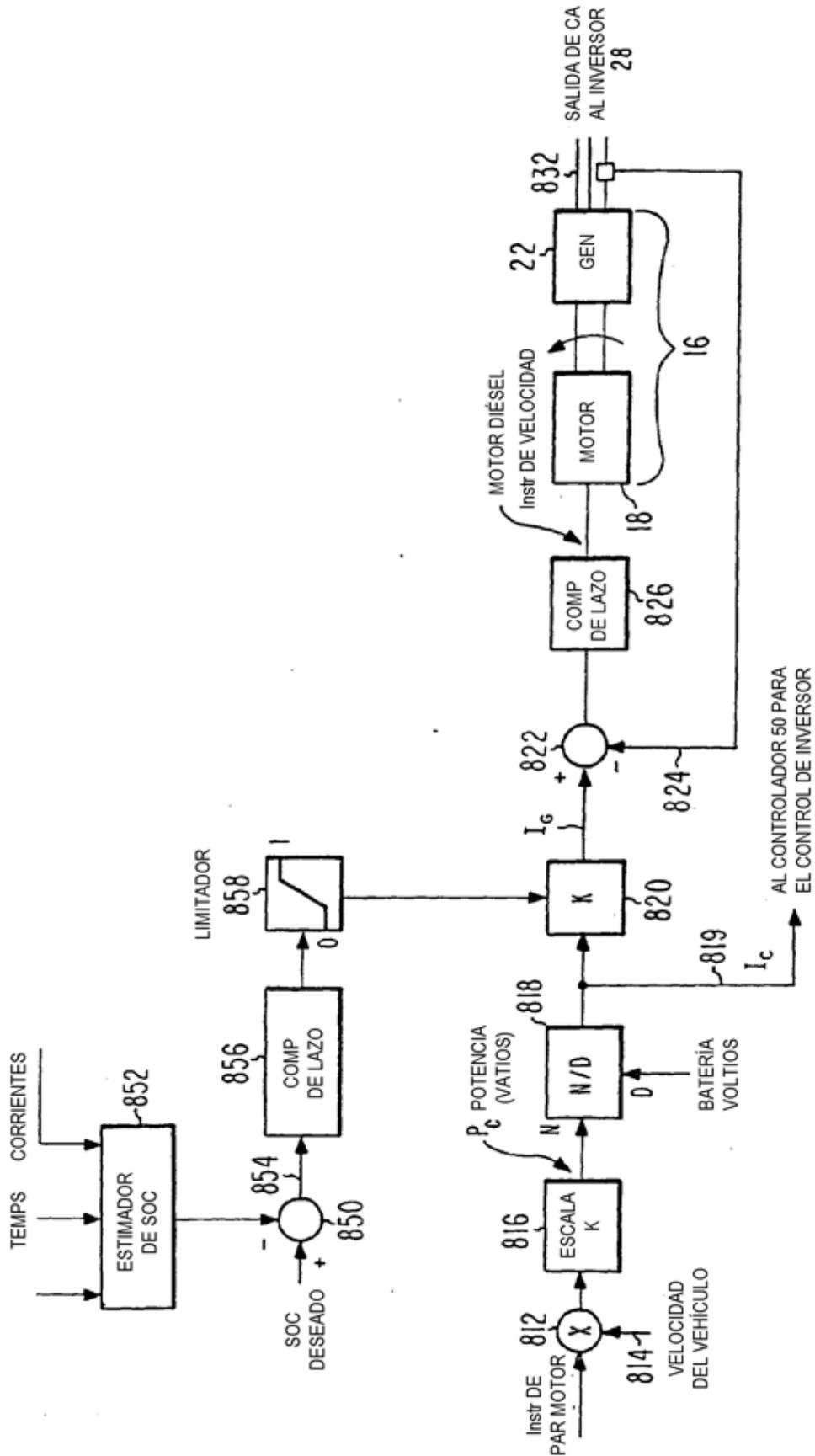


Fig. 8