

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 820 291**

51 Int. Cl.:

**B60L 58/13** (2009.01)

**B60L 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2018** **E 18211058 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020** **EP 3495195**

54 Título: **Procedimiento y sistema de gestión automática de la energía embarcada en un vehículo eléctrico**

30 Prioridad:

**07.12.2017 FR 1761752**

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

**20.04.2021**

73 Titular/es:

**ALSTOM TRANSPORT TECHNOLOGIES (100.0%)**  
**48, rue Albert Dhalenne**  
**93400 Saint-Ouen, FR**

72 Inventor/es:

**MAUNOURY, PATRICE**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 820 291 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 y sistema de gestión automática de la energía embarcada en un vehículo eléctrico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un sistema de gestión automática de la energía embarcada a bordo de un vehículo eléctrico, en particular un sistema de transporte rodante de energía embarcada, tal como un tranvía, un autobús o equivalente.

Los tranvías o autobuses eléctricos se diseñan actualmente con un sistema de energía “embarcada”, almacenada en un sistema de almacenamiento de energía adaptado (tal como baterías, supercondensadores, etc) de manera que puedan circular, con total autonomía, en un tramo entre estaciones, es decir entre dos estaciones de recarga.

10 La energía embarcada en el sistema de almacenamiento de energía se consume ya sea en forma de energía de tracción (para llevar al tranvía a una cierta velocidad, mantenerlo a una velocidad de crucero, o llevarlo a una cierta altura), ya sea en forma de energía de confort (es decir, la energía utilizada para dispositivos auxiliares embarcados a bordo del tranvía y que permiten asegurar un cierto nivel de comodidad a los pasajeros, por ejemplo, dispositivos de iluminación, de calefacción etc).

15 Los sistemas de almacenamiento de energía se dimensionan actualmente para, en modo nominal, poder transportar, con un confort térmico normal, la carga máxima de pasajeros en el tramo entre estaciones de la línea que es el más penalizante en términos de energía de tracción; y, en modo degradado (correspondiente a una avería de una estación de recarga), poder transportar, con un confort térmico reducido, la carga máxima de pasajeros entre dos tramos entre estaciones sucesivos sin recargar el sistema de almacenamiento en la estación de recarga intermedia.

Por ejemplo, el sistema de almacenamiento de energía de un tranvía puede almacenar una energía máxima de 13,5 kWh.

20 Los sistemas de transporte rodante con energía eléctrica embarcada presentan numerosas ventajas (menos infraestructuras en el suelo en la vía férrea, capacidad de recuperación de la energía de frenado,...) pero presentan un riesgo específico de avería por agotamiento de la energía embarcada antes de llegar a una estación de recarga, dicho de otra manera un riesgo de “quedarse sin combustible”.

25 Actualmente se ponen en práctica estrategias de reducción de la energía de confort y/o de la energía de tracción para preservar la autonomía del vehículo eléctrico cuando la energía embarcada que queda en el sistema de almacenamiento de energía desciende por debajo de un umbral crítico predefinido.

30 Estas estrategias están predeterminadas. Por tanto, les falta solidez, en la medida en que no integran las variaciones y riesgos inherentes a la explotación, tales como desaceleraciones debidas al tráfico, incluso paradas intempestivas (en pasos de peatones o cruces, por ejemplo). En consecuencia, estas estrategias predeterminadas pueden fallar en las condiciones habituales de operación.

Además, estas estrategias se definen considerando los casos peores, lo que puede conducir a que se pongan en práctica en ausencia de necesidad real, a pesar de que las condiciones de explotación (carga de pasajeros, condiciones climáticas, etc.) no sean las más penalizantes.

35 Además, para el caso de vehículos eléctricos, se conoce el documento de la patente WO 2010/043833 A1 que divulga un procedimiento de estimación de la autonomía que permite predecir el consumo de energía del vehículo sobre un itinerario que le queda por recorrer; el documento de la patente US2013/166123 A1, que estima la distancia máxima que el vehículo puede recorrer todavía teniendo en cuenta la energía embarcada y la energía previsional, siendo evaluada esta última a partir únicamente de magnitudes en un momento dado (velocidad instantánea del vehículo y potencia instantánea de los auxiliares); el documento EP 2 849 312 A1, que divulga un sistema para optimizar la transferencia de energía de una estación de recarga hacia un vehículo eléctrico con el objetivo de aumentar la vida útil de las baterías del vehículo; y el documento de la patente GB 2 483 454, que divulga la determinación de la posición en un momento dado, el registro o captura de una propuesta de destino y el cálculo de una ruta que une estos puntos, permitiendo la ruta calculada a continuación la evaluación de las necesidades energéticas del vehículo.

45 El objeto de la invención es, por tanto, resolver este problema, en especial proponiendo un sistema y un procedimiento adecuados para gestionar el consumo de energía del sistema de transporte, en particular ajustando su velocidad, para anticipar y evitar que ocurra una situación crítica tal, y permitir alcanzar la siguiente estación de recarga con autonomía, a la vez lo más rápidamente posible y en las mejores condiciones de confort para los pasajeros.

Para ello, la invención tiene por objeto un procedimiento de gestión automática de la energía embarcada por un tranvía y un sistema de gestión automática de la energía embarcada por un tranvía según las reivindicaciones anexadas.

50 La invención y sus ventajas se comprenderán mejor con la lectura de la descripción detallada que va a continuación de un modo de realización particular, el cual se da únicamente a título de ejemplo no limitador, realizándose esta descripción en referencia a los dibujos en anexo, en los cuales:

- la figura 1 es una representación esquemática del sistema según la invención que equipa un tranvía;

- la figura 2 representa, en forma de bloques, el procedimiento según la invención aplicado por el sistema de la figura 1;
  - la figura 3 representa una visualización posible en cabina de las informaciones pertinentes proporcionadas en curso de la puesta en práctica del procedimiento de la figura 2; y
- 5 - la figura 4 representa, para el cálculo de un óptimo velocidad – potencia auxiliar, diferentes curvas de referencia en una gráfica de la energía previsional total frente a la velocidad de consigna.

El procedimiento de gestión automática de la energía embarcada por un vehículo eléctrico con el fin de garantizar el cumplimiento de su misión se apoya en el cálculo de una energía previsional total, denominada  $E_{\text{mis-prev}}$ , definida como una estimación de la energía que será necesario proporcionar para terminar la misión. Esta estimación se hace desde la posición actual del vehículo y se actualiza de manera periódica en el curso del desplazamiento del vehículo.

Dado que la misión de un vehículo consiste en transportar pasajeros entre dos estaciones, desde una estación de recarga de partida hasta una estación de recarga de llegada, se entiende por “terminar su misión” las capacidad del vehículo para alcanzar la estación de recarga de llegada, ya sea según un modo de funcionamiento nominal, que consiste en alcanzar la estación de llegada en un tiempo asignado y con un nivel de confort de los pasajeros predefinido, ya sea según un modo de funcionamiento degradado, que consiste en alcanzar la estación de llegada en un tiempo mayor y/o con un confort de los pasajeros disminuido.

La energía previsional total  $E_{\text{mis-prev}}$  se compara entonces, periódicamente, con una energía disponible embarcada  $E_{\text{emb-dis}}$ , que corresponde a una energía embarcada  $E_{\text{emb}}$  de la cual se sustrae una energía de reserva  $E_{\text{res}}$ . La energía embarcada  $E_{\text{emb}}$  es la energía almacenada en el sistema de almacenamiento de energía del vehículo eléctrico, de manera ventajosa reevaluada periódicamente en función del avance del vehículo y del tiempo que ha pasado desde la partida del mismo. La energía de reserva  $E_{\text{res}}$  corresponde a la energía que permite recorrer el espacio entre estaciones siguiente en caso de disfuncionamiento del sistema de recarga de la estación de llegada.

La comparación de estas dos energías,  $E_{\text{mis-prev}}$  y  $E_{\text{emb-dis}}$  permite evaluar periódicamente la autonomía del vehículo eléctrico, es decir, su capacidad para terminar su misión. Esto permite gestionar el consumo energético del vehículo eléctrico de manera adaptada, en especial ajustando la velocidad de desplazamiento del vehículo eléctrico y/o la potencia auxiliar de alimentación de los dispositivos auxiliares.

En particular, cuando la energía previsional total  $E_{\text{mis-prev}}$  sobrepasa la energía disponible embarcada  $E_{\text{emb-dis}}$ , el procedimiento prevé, de manera ventajosa, la determinación automática de un punto de funcionamiento óptimo en términos de velocidad – potencia auxiliar. Este punto de funcionamiento óptimo se propone al conductor o se aplica de forma automática como consignas al sistema de regulación de la velocidad y/o al sistema de regulación de la potencia auxiliar.

En lo que sigue, tal como se representa en la figura 1, la invención se describirá más particularmente para un vehículo eléctrico del tipo tranvía, 2, equipado con un sistema de almacenamiento de energía, por ejemplo, baterías, 4. Se pueden prever, como variantes, otros tipos de sistemas de almacenamiento, en particular, súpercondensadores.

Las baterías, 4, permiten alimentar en potencia eléctrica un motor de tracción, 6, así como un convertidor, 8, de alimentación de los dispositivos auxiliares.

El tranvía 2 está equipado con un sistema, 10, adecuado para aplicar el procedimiento de gestión automática de la energía embarcada según la invención.

El sistema 10 incluye un calculador, 12, que es un ordenador adecuado para ejecutar las instrucciones de un programa de ordenador.

A partir de los datos de entrada brutos que recibe en su interfaz de entrada / salida desde diversos periféricos, el calculador 12 permite calcular diferentes datos de entrada del procedimiento según la invención. Estos datos de entrada son, por ejemplo, y preferiblemente:

- la energía embarcada  $E_{\text{emb}}$  que corresponde a la energía almacenada por las baterías 4 en un instante dado;
- la posición X del tranvía a lo largo del tramo entre estaciones considerado;
- la velocidad V del tranvía;
- la masa M del tranvía;
- la potencia auxiliar  $P_{\text{aux}}$  de alimentación de los dispositivos auxiliares en un instante dado;
- la localización del tramo entre estaciones en un momento dado.

Más precisamente, la energía embarcada  $E_{emb}$  se mide por ejemplo por medio de un sensor adaptado, 24, asociado a las baterías 4.

5 La posición X es la posición instantánea del tranvía 2 entre las dos estaciones de partida y de llegada que definen los extremos del tramo entre estaciones. Corresponde a la distancia recorrida desde la estación de partida. La posición X se determina por ejemplo a partir de medios odométricos, 22, que equipan el tranvía 2, en particular una rueda fónica que permite medir la distancia recorrida desde la estación de partida, tomada como origen.

La velocidad en un momento dado V es la media en algunos segundos, por ejemplo, tres segundos, de la velocidad instantánea proporcionada por ejemplo por los medios odométricos 22, en particular un taquímetro adecuado para medir la velocidad instantánea del tranvía 2.

10 La masa M es, por ejemplo, el valor proporcionado en el momento en que el tranvía deja la estación de partida por el sub-sistema de frenado, 23, del tranvía 2, que es adecuado para determinar la masa a partir de las señales proporcionadas por sensores de carga adaptada. Por tanto, la masa M tiene en cuenta el número de pasajeros a bordo del tranvía 2.

15 La potencia auxiliar  $P_{aux}$  se determina por ejemplo mediante el valor máximo, en una ventana de tiempo de algunos minutos, por ejemplo seis minutos (tiempo característico del ciclo de los dispositivos auxiliares de climatización), de la media obtenida en algunos segundos, por ejemplo diez segundos, de la potencia auxiliar instantánea consumida en el instante considerado por el conjunto de los dispositivos auxiliares embarcados a bordo del tranvía, en particular, los dispositivos de aire acondicionado y de calefacción de los vehículos del tranvía para el confort de los pasajeros. La potencia auxiliar instantánea se mide por ejemplo con un sensor de potencia adaptado, 28, que equipa el convertidor 8.

20 La localización del tramo entre estaciones en un instante dado se obtiene mediante la interrogación de un sistema de control en el suelo por el calculador 12 en el momento de la parada en estación. Ello se efectúa por ejemplo mediante un enlace sin hilo establecido por un módulo de radiocomunicación, 29, que equipa el tranvía 2.

25 La localización así obtenida permite la interrogación por el calculador 12 de una base de datos embarcada a bordo del tranvía, para determinar las características de la misión en el tramo entre estaciones en curso.

30 Se trata, en particular, de la distancia D que separa las estaciones de los extremos del tramo entre estaciones, de las velocidades de referencia  $V_{ref-i}$  en cada tramo (indexada mediante el enetero i) de los diferentes tramos en los que se divide el espacio entre estaciones, y de un perfil de altitud. El perfil de altitud es, por ejemplo, un diagrama pormenorizado de la altitud Z en función de la posición X, que preferiblemente no incluye más que los puntos de inicio de cambio de pendiente y de fin de cambio de pendiente.

Estas características incluyen también la energía de reserva  $E_{res}$  que hay que prever para permitir al tranvía llegara a la siguiente estación de recarga, en caso de avería del sistema de recarga de la estación de llegada.

El sistema proporciona a la salida varios datos de salida, tales como, por ejemplo y preferiblemente:

- 35
- una energía previsional total  $E_{mis-prev}(X)$  cuando el tranvía se encuentra en la posición X, que corresponde a una estimación de la energía que está previsto consumir para acabar la misión desde la posición X;
  - una energía embarcada disponible  $E_{emb-dis}(X)$  que resulta de la diferencia entre la energía embarcada  $E_{emb}(X)$  y la energía de reserva  $E_{res}$ ;
  - un diagnóstico en tiempo real sobre la capacidad de acabar la misión, fundado sobre la comparación entre la energía previsional total  $E_{mis-prev}(X)$  la energía embarcada disponible  $E_{emb-dis}(X)$ ;
  - 40 - una consigna de potencia auxiliar  $P_{aux}^*$ ;
  - una consigna de velocidad  $V^*$ .

Todos o parte de los datos de salida se presentan en una pantalla 30 situada en la cabina con el fin de informar al conductor 3 del tranvía y ayudarle a realizar las acciones adaptadas. Preferiblemente, todos o parte de los datos de salida se transmiten a un módulo de control 36 del motor de tracción 6 y/o aun módulo de control 38 del convertidor 8.

45 El procedimiento 100 de gestión automática de la energía embarcada se describe ahora en referencia a la figura 2.

En la etapa 110, mientras que el tranvía 2 está parado en la estación de partida, recoge las características de la misión a realizar en el tramo entre estaciones. Las características del tramo entre estaciones se comunican al calculador 12 mediante el enlace suelo-bordo y el módulo de comunicación 29.

50 Después, cuando el tranvía 2 se desplaza en el tramo entre las estaciones de partida y de llegada, se iteran las siguientes etapas periódicamente.

## ES 2 820 291 T3

En la etapa 120, el calculador 12 determina la posición  $X$  respecto de la estación de partida y mide el tiempo  $t$  transcurrido desde la partida de la estación de partida.

En la etapa 130, el calculador 12 estima una potencia auxiliar  $P_{aux}$ , una velocidad de cruceo  $V_{cruc-i}$  para cada tramo  $i$  en el final del tramo entre estaciones y un tiempo  $T$  para terminar la misión y alcanzar la estación de llegada.

- 5 Por ejemplo, en la etapa 132, el calculador 12 determina la potencia auxiliar  $P_{aux}$  a partir de la medida proporcionada por el sensor 28, como se ha indicado previamente.

En la etapa 134, el calculador 12 determina la velocidad  $V$  a partir de la medida proporcionada por el sistema 22, como se ha indicado previamente.

- 10 En la etapa 135, compara la velocidad  $V$  determinada en un determinado instante con la velocidad de referencia  $V_{ref}$  para el tramo entre secciones sobre el cual se halla el tranvía.

Interpreta una desviación pequeña entre la velocidad  $V$  y la velocidad de referencia  $V_{ref-i}$  en el tramo actual  $i$  como una pequeña perturbación y anticipa una vuelta inminente de la velocidad  $V$  a la velocidad de referencia  $V_{ref-i}$ . Por lo tanto, se toma la velocidad de cruceo  $V_{cruc-i}$  igual a la velocidad  $V_{ref-i}$ , no solamente sobre el tramo actual  $i$ , sino también sobre los tramos siguientes  $i+1$ ,  $i+2$ , etc.

- 15 Interpreta una desviación importante entre la velocidad  $V$  y la velocidad de referencia  $V_{ref}$  como el signo de una circulación perturbada por un riesgo y anticipa la continuación del desplazamiento del tranvía a esta velocidad  $V$  reducida en el final del tramo. Por tanto, se toma la velocidad de cruceo  $V_c$  igual a la velocidad  $V$ .

Por último, si la velocidad  $V$  es nula, se prevé utilizar, de manera ventajosa, durante el arranque de nuevo del tranvía tras la parada, una velocidad de cruceo igual a la velocidad de cruceo antes de la parada.

- 20 Más precisamente, el calculador 12 puede gestionar ventajosamente una parada imprevista (por ejemplo, en un paso de peatones o en un cruce). Para hacer esto, el calculador 12 memoriza entonces la velocidad de cruceo antes de la parada y anticipa un nuevo arranque a esta velocidad de cruceo. Así, cuando el tranvía arranca de nuevo, la velocidad de cruceo memorizada se toma en cuenta durante un período de duración predeterminada para poner en práctica el procedimiento, que puede ser función del tiempo de aceleración necesario para alcanzar esta velocidad de cruceo.

- 25 Una vez que acabado el reinicio, el sistema 10 se basa de nuevo en la velocidad  $V$  medida para prever una nueva velocidad de cruceo. De esta manera, durante la fase de aceleración, es posible obtener una evaluación razonable de la energía cinética necesaria para el final de la misión, siendo a priori la velocidad de cruceo utilizada la velocidad de referencia y no la pequeña velocidad del tranvía en el momento en que abandona la parada.

- 30 En la etapa 136, el calculador 12 se apoya en los resultados de la etapa 135 para prever las velocidades de cruceo  $V_{cruc-i}$  en los tramos siguientes del espacio entre estaciones, hasta la estación de llegada.

Si en la etapa 135 se ha constatado una desviación pequeña, el calculador 12 considera que, en los siguientes tramos  $i$ , la velocidad de consigna  $V_{ci}$  del tranvía será la velocidad de referencia  $V_{ref-i}$  asociada a cada uno de estos tramos.

- 35 Si, por el contrario, en la etapa 135 se ha constatado una desviación importante, el calculador 12 considera que, en los tramos  $i$  siguientes, la velocidad de cruceo  $V_{cruc-i}$  inicialmente prevista se reducirá respecto de la velocidad de referencia  $V_{ref-i}$  asociada a cada uno de estos tramos siguientes.

En la etapa 138, el calculador 12 utiliza las velocidades de cruceo  $V_{ci}$  sobre el tramo en el que se encuentra y los tramos siguientes, así como las longitudes de estos tramos, para prever la duración  $T$  de la misión.

Después, en la etapa 140, el calculador 12 estima la energía previsional total  $E_{mis-prev}(X_0)$ , que es la energía que hace falta prever que se debe consumir para terminar la misión, cuando el tranvía se encuentra en la posición  $X_0$ .

- 40 La energía previsional total  $E_{mis-prev}$  se calcula como la suma de una energía de tracción  $E_{trac}$  y de una energía auxiliar  $E_{aux}$ .

- 45 La energía de tracción incluye una componente de energía cinética.  $E_{cin}$  (que corresponde a la energía de tracción a proporcionar para llevar el vehículo a una cierta velocidad), una componente potencial  $E_{pot}$  (que corresponde a la energía a proporcionar para llevar al vehículo a una cierta altura) y una componente de rozamiento o fricción  $E_{fric}$  (que corresponde a la energía a proporcionar para vencer la resistencia al avance).

La energía auxiliar corresponde a la energía a proporcionar a los dispositivos auxiliares de confort para los pasajeros.

Para estas estimaciones, el calculador 12 utiliza los resultados de la etapa 130 ( $P_{aux}$ ,  $V_{cruc-1}$ ,  $V_{cruc-2}$ ,  $V_{cruc-3}$ ,... y  $T$ ) y de la etapa 120 ( $X$ ,  $t$ ), así como las características del tramo entre estaciones (longitud del tramo, perfil de alturas).

- 50 Por ejemplo, la energía cinética previsional se calcula con la masa del vehículo y las velocidades de cruceo  $V_{cruc-i}$  previstas para terminar la misión. Además, este cálculo integra las diferencias de velocidad entre los diferentes tramos y las fases de tracción cuando se acelera, o de frenado cuando se decelera (de forma ventajosa, con recuperación de

- la energía de frenado). Este cálculo de la energía cinética previsional distingue mediante un signo negativo o positivo las contribuciones de estas fases, considera un rendimiento de la tracción y un rendimiento del frenado en caso de frenado eléctrico. De manera ventajosa, se tiene en cuenta la ausencia de recuperación en el frenado por debajo de una velocidad umbral, que es por ejemplo de 13 km/h, umbral por debajo del cual el frenado ya no es eléctrico, sino mecánico por necesidad.
- 5 Por ejemplo, la duración  $T$  prevista para el fin de la misión multiplicada por la potencia auxiliar  $P_{aux}$  permite obtener la energía auxiliar previsional a proporcionar para acabar la misión.
- También, por ejemplo, la energía de fricción se tiene en cuenta en forma de cantidad fija para cada tramo entre estaciones y se asigna prorrateándola en función del avance. Esta simplificación es compatible con la precisión necesaria, en el caso de los tranvías. La componente de fricción se puede calcular con un modelo más específico de resistencia al avance para cualquier sistema de transporte de energía embarcada.
- 10 La energía previsional total  $E_{mis-prev}$  calculada en el punto  $X0$  es la necesaria para el fin de la misión. Se actualiza periódicamente para tener en cuenta el avance del vehículo. En cada actualización, se compara directamente con la energía embarcada disponible  $E_{emb-dis}$ , que también se actualiza periódicamente para tener en cuenta la energía efectivamente consumida para llegar al punto en que se está en un instante dado. Este mecanismo de cálculo y de comparación vuelve a fijar de manera natural la energía total necesaria para la misión como la suma de la energía que se ha consumido ya y de la energía que queda por proporcionar para acabar la misión.
- 15 Como alternativa, la etapa 140 se inhibe en los cinco a diez primeros segundos que siguen a un arranque, el tiempo de dejar al tranvía acelerar para alcanzar una velocidad estabilizada que se puede tomar como velocidad de crucero. Esto permite limitar el riesgo de una sobreevaluación de la energía previsional total  $E_{mis-prev}(X)$ .
- 20 De manera ventajosa, el calculador 12 integra en cada una de las estimaciones energéticas rendimientos energéticos adaptados. Por ejemplo, para proporcionar una energía cinética útil de 1 kWh, será necesario que el motor 6 consuma una energía de 1,08 kWh, teniendo en cuenta un rendimiento de tracción de 0,82, lo que corresponde a una energía embarcada de 1,13 kWh, en el caso de un rendimiento eléctrico de 0,95 de las baterías 4.
- 25 Si se tienen en cuenta las pérdidas eléctricas de esta forma, las pérdidas mecánicas se tienen en cuenta a través de la energía de fricción que engloba todas las formas de resistencia mecánica y aerodinámica al avance del tranvía.
- Se consideran rendimientos fijos para cada tipo de transformación de energía, lo que es compatible con la precisión necesaria de previsión de las energías necesarias para establecer una previsión sobre el fin de la misión.
- 30 El procedimiento 100 incluye una etapa 144 de determinación de la energía disponible embarcada  $E_{emb-dis}(X)$ . Esta energía es la diferencia entre la energía embarcada  $E_{emb}(X)$  y la energía de reserva  $E_{res}$ .
- La energía embarcada  $E_{emb}(X)$  se actualiza preferiblemente de manera periódica. Proviene de la medida proporcionada por el sensor 24 en un instante determinado. Como alternativa, se puede calcular en función del avance a lo largo del tramo entre estaciones.
- 35 Dado que la condición de autonomía del tranvía se define generalmente teniendo en cuenta dos tramos entre estaciones sucesivos, se reserva una energía de reserva  $E_{res}$  para permitir un nuevo arranque desde la estación de llegada y la continuación excepcional del desplazamiento del tranvía sin recarga en la estación de llegada, hasta la próxima estación de recarga. Así, el tranvía 2 será capaz de encadenar dos tramos entre estaciones sin recarga, en caso de avería completa de la recarga en la estación de llegada. Esto significa que el tranvía debe alcanzar la estación de llegada sin haber consumido esta energía de reserva.
- 40 En la etapa 146, las informaciones que se acaban de calcular se muestran en la cabina en la pantalla 30. Por ejemplo, como se ilustra en la figura 3, la pantalla muestra un indicador de nivel 200 que indica, mediante un primer símbolo móvil 210, la energía previsional total  $E_{mis-prev}(X)$  y, mediante un segundo símbolo 220, la energía disponible embarcada  $E_{emb-dis}(X)$ , respecto del nivel 230 de la energía de reserva  $E_{res}$ .
- 45 En la etapa 150, el calculador 12 establece un diagnóstico energético por comparación entre la energía previsional total  $E_{mis-prev}(X)$  y la energía disponible embarcada  $E_{emb-dis}(X)$ .
- Si la energía disponible embarcada  $E_{emb-dis}(X)$  es superior a la energía necesaria para el fin de la misión  $E_{mis-prev}(X)$ , esto significa que las baterías 4 almacenan suficiente energía para terminar la misión, con el régimen en un momento dado en cuanto a velocidad de crucero y de potencia auxiliar.
- Las etapas 120 a 146 se iteran (bucle 101) lo que lleva a la actualización de los valores de  $E_{mis-prev}(X)$  y  $E_{emb-dis}(X)$ .
- 50 Si la energía embarcada disponible total  $E_{mis-prev}(X)$  es inferior o igual a la energía necesaria para el fin de la misión previsional total  $E_{mis-prev}(X)$ , ello significa que la energía almacenada por las baterías 4 es insuficiente para acabar la misión con el régimen existente en un momento dado.

De este modo, en el caso de un diagnóstico indicador de una falta de autonomía, el procedimiento 100 continúa con una etapa 160 de identificación de un par de valores velocidad – potencia auxiliar que permitan terminar la misión.

En el curso de la etapa 160, el calculador 12 emplea un algoritmo de optimización que permite identificar en tiempo real un par óptimo velocidad – potencia auxiliar.

5 Este óptimo es un compromiso. En efecto, una velocidad de crucero más alta solicita más energía de tracción para alcanzar esta velocidad, pero economiza energía de confort acortando el tiempo hasta necesario para que acabe el espacio entre estaciones y, en consecuencia, el tiempo de utilización de los dispositivos auxiliares. A la inversa, una velocidad de crucero más baja solicita menos energía de tracción, pero aumenta el tiempo necesario para alcanzar la estación de llegada y, en consecuencia, supone más energía de confort, a menos que se reduzca la potencia auxiliar.

10 En el modo de realización actualmente previsto, las siguientes restricciones se emplean de manera sucesiva:

La primera restricción es asegurarse de que el tranvía cumple su misión de transporte de pasajeros, alcanzando la estación de llegada. Por lo tanto, es necesario que la energía previsional total sea inferior a la energía disponible.

15 La segunda restricción es asegurarse de que la misión se haga en el tiempo establecido, por ejemplo, de manera conforme con una tabla horaria de circulación del tranvía. Así, una reducción de la velocidad de crucero se preconizará únicamente cuando sea obligatoria. Dicho de otra forma, se prevé comenzar por reducir la energía auxiliar y no reducir la energía de tracción más que si la reducción de la energía auxiliar no permite acabar la misión.

20 La tercera restricción es reducir la energía auxiliar de una manera dirigida a limitar el impacto sobre el confort térmico y visual percibido por los pasajeros. Así, no se preconiza un aligeramiento del nivel de los dispositivos auxiliares más que cuando ello se hace obligatorio para economizar la energía embarcada con el fin de alcanzar con autonomía la estación de llegada.

Se selecciona el punto de funcionamiento óptimo que permite llegar a la estación de llegada lo más rápidamente posible y con el mejor confort posible.

25 En un modo de realización posible, se calculan en primer lugar diferentes curvas de referencia, tales como las representadas en la figura 4. Cada curva da la energía previsional total  $E_{\text{mis-prev}}(X)$  en función de la velocidad de consigna  $V_c$  para un valor dado de la potencia auxiliar  $P_{\text{aux}}$ . Estas curvas se obtienen mediante cálculos similares a los presentados previamente en el texto para estimar la energía previsional total.

Luego, de forma iterativa, se calcula una energía previsional total con una potencia auxiliar de un nivel inferior al nivel en uso. Para hacer esto, el calculador dispone de una tabla de aligeramiento indicando los diferentes niveles discretos de potencia auxiliar, entre una potencia nominal y una potencia mínima.

30 Si esta reducción de potencia auxiliar permite un nuevo diagnóstico energético positivo, entonces el calculador 12 sale de la etapa 160.

Si, por el contrario, este no es el caso, la siguiente iteración del cálculo de la energía pronosticada total se realiza con una velocidad de crucero reducida en un incremento de 5 km/h, por ejemplo.

35 Si esta reducción de la velocidad de crucero permite un nuevo diagnóstico de energía positivo, el ordenador sale de la etapa 160.

Si, por el contrario, no es ese el caso, el cálculo se itera.

Según el peso de las restricciones anteriormente descritas, se pueden encadenar dos otros pasos del cálculo disminuyendo el nivel de potencia auxiliar antes de poner en marcha un paso de reducción de la velocidad de crucero.

40 Así, en la figura 4, para llegar a la próxima estación, el óptimo debe conducir a una energía previsional total inferior a la energía disponible (primera restricción). Si la energía  $E_{\text{emb-dis}}$  es de 10 MJ, esta energía no permite alcanzar la estación siguiente con la potencia auxiliar máxima de 112 kW, cualquiera que sea el valor de la velocidad; lo permite con una potencia auxiliar reducida a 65 kW para un intervalo de velocidad entre 35 y 13 km/h, o con una potencia auxiliar reducida a 30 kW para un intervalo de velocidad entre 43 y 10 km/h. Si la hora de llegada a la estación de llegada impone una velocidad de crucero óptima de 37 km/h (segunda restricción), entonces es necesario que la potencia auxiliar se establezca en 30 kW (tercera restricción).

45 De esta forma, se determina un par óptimo  $C(V_c^*, P_{\text{aux}}^*)$  a la salida de la etapa 160.

Este óptimo corresponde a consignas de velocidad  $V_c^*$  y de potencia auxiliar  $P_{\text{aux}}^*$ .

50 En la etapa 170, estas consignas se muestran como preconizaciones en la pantalla 30, para informar al conductor 3. El conductor realiza las acciones preconizadas si lo desea, teniendo en cuenta en especial otros parámetros de explotación de su vehículo.

Como alternativa, estas consignas se transmiten a sistemas adaptados del tranvía para tenerlos en cuenta de forma automática.

5 Así, un módulo de control 36 puede filtrar las demandas de aceleraciones del conductor y limitar su velocidad a la consigna de velocidad o recomendarle acelerar si su velocidad es demasiado baja. Como alternativa, el módulo de control 36 regula directamente el motor a partir de la consigna de velocidad  $V_c^*$  para modificar la velocidad instantánea del tranvía. Un módulo de control de gestión de los dispositivos auxiliares regulará la potencia instantánea de alimentación de estos dispositivos a partir de la consigna de potencia auxiliar  $P_{aux}^*$ , en especial enviando consignas de limitación de la potencia a los diferentes dispositivos auxiliares, que pueden ir hasta una consigna de parada.

10 Estas consignas se actualizan en tiempo real en función del avance del tren. Para ello, se iteran las etapas 120 a 170 del procedimiento (bucle 102).

En la etapa 180, el calculador 12 detecta, de manera ventajosa, la llegada a la estación gracias al seguimiento de su avance a lo largo del tramo entre estaciones y a la detección de una velocidad nula.

El calculador 12 verifica que la recarga prevista en la estación de llegada es efectiva gracias, por ejemplo, a la evolución de la medida de la energía almacenada por las baterías 4.

15 En caso afirmativo, el calculador 12 detiene la desconexión de los dispositivos auxiliares, si se había realizado una tal desconexión, y reinicializa las consignas de velocidad.

Se ejecutan de nuevo las etapas 110 a 180 (bucle 103) en el tramo entre estaciones siguiente.

20 Por el contrario, si el calculador 12 detecta una parada en estación y una falta de recarga efectiva, actualiza la energía previsional total en función de la necesidad en el nuevo tramo entre estaciones y hace evolucionar el cálculo de la energía disponible embarcada incluyendo en él la energía de reserva que está prevista utilizar en este caso.

En una variante de realización, en lugar de medir la energía embarcada, se prevé calcularla con los mismos principios de cálculo que los de la energía previsional total. Esta variante puede paliar, de manera ventajosa, las imprecisiones de la medida de la energía embarcada por el sistema de almacenamiento de energía.

25 En un segundo modo de realización, el cálculo del óptimo velocidad – potencia auxiliar se puede hacer con una priorización específica, según las preferencias del operador, por ejemplo, considerando en primer lugar el confort y en segundo lugar el tiempo de recorrido.

En una variante en la que el tranvía es adecuado para recuperar la energía cuando se frena, esta energía recuperada se puede almacenar en las baterías, y se tiene en cuenta la energía recuperada en la determinación de la energía disponible embarcada.

30 Esta energía recuperada se puede utilizar directamente para alimentar los dispositivos auxiliares. Se tiene en cuenta entonces la energía recuperada en la estimación de la energía previsional total  $E_{mis-prev}(X)$ .

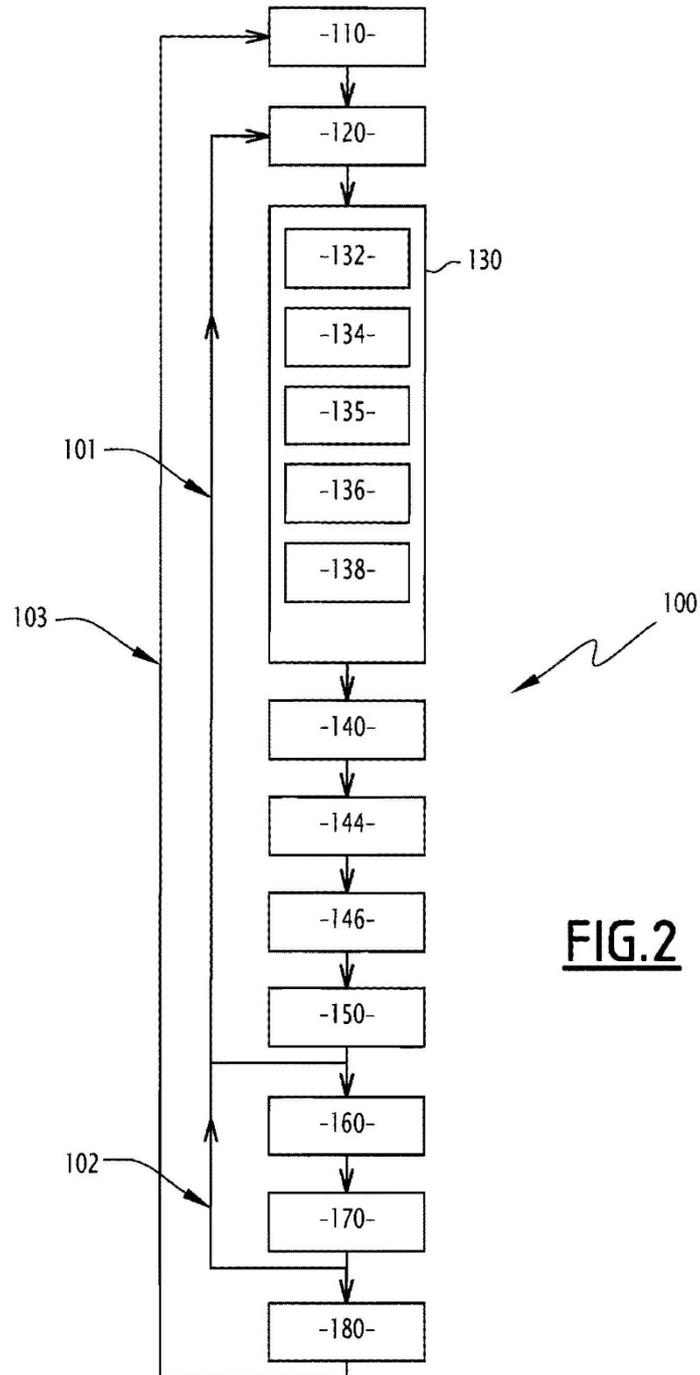
Estos cálculos se harán teniendo en cuenta el rendimiento de recuperación de esta energía de frenado, así como el rendimiento de la parte de tracción y el rendimiento de la parte de almacenamiento y teniendo en cuenta la ausencia de recuperación por debajo de una velocidad umbral que vale por ejemplo 13 km/h.

35

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento (100) de gestión automática de la energía embarcada por un tranvía (2) para una misión de transporte en un tramo entre estaciones entre una estación de recarga de partida y una estación de recarga de llegada, que incluye las etapas que consisten en:
  - 5 - proporcionar (110) características predeterminadas relativas a la misión, las cuales comprenden un perfil de velocidades de referencia;
  - evaluar (132, 134) una posición y una velocidad del tranvía en un momento dado;
  - estimar (135, 136) una velocidad de cruceo del tranvía en una ruta que queda por recorrer para alcanzar la estación de recarga de llegada, en función del perfil de velocidades de referencia, de la velocidad en un momento dado y de la posición en un momento dado;
  - 10 - calcular (140) una energía previsional total ( $E_{\text{mis-prev}}$ ) como estimación de la energía a consumir para alcanzar la estación de recarga de llegada, en función de la posición en un momento dado, de la velocidad de cruceo estimada y de una potencia auxiliar ( $P_{\text{aux}}$ ) proporcionada a los dispositivos auxiliares de confort de los pasajeros del tranvía;
  - 15 - determinar (144) una energía embarcada disponible ( $E_{\text{emb-dis}}$ ) como energía almacenada por un sistema de almacenamiento de energía (4) del tranvía en la posición en un momento dado;
  - mostrar (150) en una pantalla (30) la energía previsional total y la energía embarcada disponible;
  - comparar (160) la energía embarcada disponible ( $E_{\text{emb-dis}}$ ) con la energía previsional total ( $E_{\text{mis-prev}}$ ) y,
  - 20 - cuando la energía previsional total es superior a la energía embarcada disponible, identificar (170) un par de valores óptimo velocidad – potencia auxiliar que permita alcanzar la estación de llegada, siendo identificado el óptimo velocidad –potencia auxiliar de forma que permita en primer lugar alcanzar la estación de llegada, luego alcanzar la estación de llegada según una hora de llegada predeterminada y, por último, alcanzar la estación de llegada con un nivel de confort predeterminado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual el óptimo velocidad – potencia auxiliar se aplica como consigna a un sistema de regulación de la velocidad y/o a un sistema de regulación de la potencia auxiliar.
- 25 3. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el cual el espacio entre estaciones comprende varios tramos y el cálculo de la energía previsional total ( $E_{\text{mis-prev}}$ ) se efectúa previendo una velocidad de cruceo en cada tramo (i) del espacio entre estaciones que queda por recorrer y previendo una potencia auxiliar ( $P_{\text{aux}}$ ) en un momento dado proporcionada los dispositivos auxiliares de confort para los pasajeros como potencia auxiliar sobre los tramos del espacio entre estaciones que queda por recorrer y previendo un tiempo de recorrido de los tramos del espacio entre estaciones que queda por recorrer.
- 30 4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual el espacio entre estaciones comprende varios tramos y el cálculo de la energía previsional total ( $E_{\text{mis-prev}}$ ) se efectúa, además, utilizando un perfil de altura en los tramos del espacio entre estaciones que queda por recorrer.
- 35 5. Procedimiento según la reivindicación 3, en el cual la previsión de la potencia auxiliar se efectúa utilizando el tiempo de recorrido y una medida promediada de la potencia auxiliar.
6. Procedimiento según las reivindicaciones 3 o 5, en el cual el cálculo de la energía previsional total ( $E_{\text{mis-prev}}$ ) se efectúa, además, utilizando las velocidades de cruceo previstas y las desviaciones de velocidad, diferenciando las aceleraciones y las deceleraciones del tranvía.
- 40 7. Procedimiento según las reivindicaciones 1 a 6, en el cual el cálculo de la energía previsional total ( $E_{\text{mis-prev}}$ ) se efectúa a partir de una energía embarcada por el sistema de almacenamiento en un instante dado de la cual se sustrae una energía de reserva, definida como la energía necesaria para atravesar el siguiente tramo entre estaciones.
- 45 8. Sistema (10) de gestión automática de la energía embarcada por un tranvía (2), estando embarcado el sistema a bordo del tranvía, caracterizado por que es adecuado para poner en marcha un procedimiento conforme con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.





**FIG. 2**

