

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 411**

51 Int. Cl.:

G01R 31/36 (2010.01)

G01R 31/367 (2009.01)

G01R 31/3842 (2009.01)

H02J 7/00 (2006.01)

A61M 5/00 (2006.01)

A61M 5/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.12.2021** **PCT/US2021/065701**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.07.2022** **WO22147263**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.12.2021** **E 21848481 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025** **EP 4272008**

54 Título: **Sistema y métodos para generar alarmas de batería en dispositivos de perfusión**

30 Prioridad:

30.12.2020 US 202063132177 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.04.2025

73 Titular/es:

BAXTER INTERNATIONAL INC. (50.00%)
One Baxter Parkway
Deerfield, Illinois 60015-4633, US y
BAXTER HEALTHCARE SA (50.00%)

72 Inventor/es:

FISCHER, STEVEN WARD;
VOGEL, MATTHEW STEPHEN y
CHEN, YE

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 3 014 411 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y métodos para generar alarmas de batería en dispositivos de perfusión

5 Antecedentes

- En general, en ocasiones, los pacientes médicos requieren un suministro preciso por vía intravenosa ("IV"), ya sea de medicación continua, ya sea de medicación a intervalos periódicos establecidos usando bombas de perfusión. Las bombas de perfusión conocidas proporcionan una perfusión controlada de medicación o fármacos en la que el fluido puede administrarse a una velocidad precisa que mantiene una concentración de medicación/fármaco dentro de un margen terapéutico y fuera de un intervalo innecesario o posiblemente tóxico. Las bombas de perfusión proporcionan un suministro de medicación/fármacos adecuado a un paciente a una velocidad controlable, que no requiere una atención frecuente.
- Las bombas de perfusión pueden facilitar la administración de terapia intravenosa a pacientes tanto dentro como fuera de un entorno clínico. Fuera de un entorno clínico, los médicos han descubierto que, en muchos casos, los pacientes pueden volver a llevar una vida sustancialmente normal, siempre que reciban una administración periódica o continua de medicación por vía intravenosa, fármacos u otros fluidos tales como suero fisiológico. Entre los tipos de terapias que requieren este tipo de administración se encuentra la terapia antibiótica, quimioterapia, terapia de control del dolor, terapia nutricional y varios otros tipos que son conocidos por los expertos en la materia. En muchos casos, los pacientes reciben múltiples terapias diarias. Algunas afecciones médicas requieren la perfusión de fármacos en una solución durante periodos relativamente cortos, tales como de treinta minutos a dos horas. Estas condiciones y otras han promovido colectivamente el desarrollo de bombas de perfusión cada vez más ligeras, portátiles o ambulatorias, que un paciente puede llevar puestas y son capaces de administrar una provisión continua de medicación a una velocidad deseada, o de proporcionar varias dosis de medicación a intervalos programados.
- Las bombas de perfusión conocidas incluyen bombas elastoméricas, que exprimen una solución de unos recipientes flexibles, tales como globos, hacia un tubo intravenoso para su suministro a un paciente. Como alternativa, las bombas de perfusión pueden incluir bombas accionadas por resorte que presurizan unos recipientes o depósitos de solución. Determinados diseños de bomba utilizan cartuchos que contienen compartimentos flexibles que se exprimen mediante unos rodillos de presión para descargar las soluciones. Además, las bombas de perfusión conocidas incluyen bombas peristálticas que tienen actuadores de dedo o un actuador de rodillo que aplican presión en el tubo intravenoso para suministrar fluido desde un recipiente de fluido a un paciente.
- También se conocen bombas de perfusión que utilizan jeringas. Estas bombas de jeringa usan un mecanismo de accionamiento para mover el émbolo de una jeringa para suministrar un fluido a un paciente. Normalmente, estas bombas de perfusión incluyen una carcasa adaptada para recibir un conjunto de jeringa, un mecanismo de accionamiento adaptado para mover el émbolo de la jeringa, y una unidad de control de la bomba que tiene diversos controles de funcionamiento.
- La mayoría de los sistemas de perfusión conocidos usan una batería recargable para proporcionar alimentación cuando el sistema no está enchufado a una alimentación de CA. Estas baterías recargables normalmente incluyen baterías "inteligentes", dado que incluyen un circuito integrado ("CI") de indicador de gas de la batería. El CI indicador de gas de la batería proporciona datos sobre el estado actual de la batería, incluyendo su tensión o su capacidad restante. El CI del indicador de gas de la batería también puede medir la tensión de una celda de la batería, una temperatura y una corriente para determinar la tensión o la capacidad restante de la batería, p. ej., determinando una carga total que entra y sale de la batería, y determinando una impedancia interna de la batería. La impedancia calculada de la batería se puede comparar con los perfiles de impedancia de la batería almacenados en el CI de indicador de gas de la batería para estimar la tensión o la capacidad restante de la batería. Sin embargo, esta estimación de la tensión o la capacidad restante a menudo puede ser errónea, debido a factores desconocidos para el CI del indicador de gas de la batería.
- Asimismo, el software de gestión de alimentación del sistema de perfusión puede usar esta tensión o esta capacidad restante errónea, notificada por el CI del indicador de gas de la batería, para calcular el tiempo de autonomía restante del sistema de perfusión ("tiempo de funcionamiento restante"), que es la cantidad de tiempo que el sistema de perfusión puede seguir suministrando medicación al paciente hasta que la batería se agote totalmente. El valor de tiempo de autonomía restante se puede usar para determinar cuándo deben emitirse alarmas de "baja", "muy baja" y "agotada". Sin embargo, ya que el valor de tensión o de capacidad restante notificado por el CI del indicador de gas de la batería puede ser inherentemente inexacto, el valor de tiempo de autonomía restante también puede ser inexacto. Esto da lugar a situaciones en las que las alarmas de batería que indican niveles bajos de tensión o de capacidad de la batería se emiten en momentos incorrectos, lo que da lugar a situaciones en las que la bomba de perfusión no puede funcionar durante el tiempo necesario después de que se emitan las alarmas de batería. Esto puede dar lugar a resultados clínicos no deseables, tal como una interrupción inesperada de una terapia de perfusión.
- Para compensar estas deficiencias, a menudo se añade un margen de tiempo al valor calculado del tiempo de autonomía restante para garantizar que el sistema de perfusión pueda funcionar durante el tiempo deseado. Sin

embargo, en situaciones más habituales, este margen añadido a menudo puede tener como resultado la desconexión del sistema incluso cuando todavía puede quedar tensión o capacidad en la batería.

Por consiguiente, se desea un método y un sistema más fiables y precisos para detectar y emitir alarmas basándose en la tensión o la capacidad restante de la batería.

El documento US 2009/069749 divulga un sistema de bomba de perfusión que puede emplear una serie de técnicas de gestión de alimentación para evitar el uso de una alimentación sustancialmente excesiva durante el funcionamiento del sistema de accionamiento de la bomba. Por tanto, el sistema de bomba de perfusión puede recurrir al suministro de energía de una manera eficiente que prolonga la vida útil de la fuente de alimentación. Asimismo, el sistema de bomba de perfusión puede configurarse para estimar una cantidad de alimentación restante para hacer operar el sistema de bomba sin necesidad de detectar directamente la carga restante en el dispositivo de fuente de alimentación (p. ej., sin detectar la carga restante de una batería). Como tal, el sistema de bomba de perfusión puede informar fácilmente a un usuario de una cantidad estimada particular de tiempo restante para las operaciones de dispensación de medicamentos.

El documento US 2009/273318 divulga un sistema y un método para estimar el tiempo de recarga de una fuente de alimentación recargable de un dispositivo médico implantable. Una pluralidad de parámetros medidos que se refieren al dispositivo médico implantable y a un dispositivo de carga externo se aplican a un modelo de rendimiento de recarga y se proporciona una estimación a un paciente, quizás antes de la carga. Una vez que ha empezado la carga, se pueden proporcionar estimaciones actualizadas hasta que se complete la carga. Una vez que se ha completado la carga, el modelo se puede actualizar para reflejar cualquier diferencia en el tiempo estimado para completar la carga y el tiempo real necesario para completar la carga. El modelo puede basarse en limitaciones de la velocidad a la que puede transferirse la carga a la fuente de alimentación recargable a lo largo de una pluralidad de intervalos.

El documento US 2012/235485 divulga un dispositivo electrónico portátil, tal como un dispositivo de perfusión de fluidos, que obtiene su alimentación de funcionamiento de una batería primaria y de una batería secundaria. La batería primaria puede ser una batería reemplazable, y la batería secundaria puede ser una batería recargable que puede cargarse con la batería primaria en determinadas condiciones. El dispositivo utiliza un esquema de gestión de la alimentación que realiza transiciones entre la batería primaria y/o la batería secundaria para prolongar la vida útil de la batería primaria. El dispositivo también puede generar un indicador inteligente de duración de la batería que muestra una representación precisa de la vida útil restante de la batería primaria.

El documento US 5.764.034 divulga un método para proporcionar una estimación de la cantidad de tiempo restante en la batería monitorizando no sólo la tensión disponible de la batería, sino también la cantidad de corriente que fluye desde la batería. Se ha descubierto que el muestreo periódico de la tensión de la batería y del consumo de corriente permite monitorizar la batería con precisión. La técnica de muestreo alterna entre el muestreo de la tensión de la batería y el muestreo de consumo de corriente. Se proporciona un circuito eléctrico que permite que se produzca el muestreo rentable. A continuación, se aplica un método a las señales de muestreo mediante un microprocesador que determina la cantidad de tiempo que queda con alimentación de batería. Se puede proporcionar una representación gráfica de la cantidad de tiempo de batería restante.

El documento US 2008/167531 divulga un dispositivo médico implantable que incluye un circuito de control. Una batería recargable está acoplada al circuito de control. Un circuito de monitorización de la batería está acoplado a uno o más de la batería recargable y el circuito de control. Un circuito de telemetría, acoplado al circuito de control, está configurado para transmitir un estado de la batería recargable a un primer dispositivo externo en un primer tiempo y a un segundo dispositivo externo, de un tipo diferente al del primer dispositivo externo, en un segundo tiempo.

El documento US 2016/299196 divulga un método para determinar el tiempo de autonomía restante (Δt_i) de una batería que está suministrando alimentación un aparato. El método comprende las etapas de: durante el funcionamiento del aparato, medir la tensión (U_i) suministrada por la batería en distintos puntos temporales (t_i) para obtener pares de tiempo-tensión (t_i , U_i) y calcular el tiempo de autonomía restante (Δt) de la batería, en donde el cálculo se basa en los pares tiempo-tensión medidos (t_i , U_i) y en una relación entre la tensión medida (U_i), el punto temporal correspondiente (t_i) y el tiempo total de autonomía (T_1) de la batería que puede derivarse de una formulación dependiente del tiempo de la ecuación de Nernst para esta relación.

El documento US 2011/130984 divulga métodos para estimar la vida de servicio restante de la batería de un dispositivo médico implantable (IMD, por sus siglas en inglés de "implantable medical device"). En una realización, se emplea un modelo de descarga característico de la batería. Los sistemas que emplean los métodos pueden incluir un dispositivo externo acoplado al IMD, por ejemplo, a través de un enlace de comunicaciones telemétricas, en donde una primera parte de un medio legible por ordenador incluido en el IMD está programada para proporcionar instrucciones para la medición, o seguimiento, del tiempo y la medición de la tensión de la batería, y una segunda parte del medio legible por ordenador incluido en el dispositivo externo está programada para proporcionar instrucciones para llevar a cabo los cálculos cuando los datos de tensión y tiempo se transfieren por telemetría desde el IMD al dispositivo externo.

Sumario

La presente divulgación proporciona un método y un sistema nuevos e innovadores para detectar la tensión o la capacidad restante de la batería y generar alarmas basándose en la detección. En diversas realizaciones, el dispositivo que utiliza el método y el sistema divulgados para la detección y la emisión de alarmas de tensión o de capacidad restante de la batería es una bomba de perfusión. La bomba de perfusión puede comprender una bomba peristáltica, una bomba de jeringa o una bomba ambulatoria configurada para suministrar un medicamento a un paciente. Debe apreciarse que el dispositivo es, en varias realizaciones, cualquier tipo de dispositivo médico, o cualquier otro dispositivo adecuado que tenga una batería recargable. La invención proporciona un dispositivo de perfusión según la reivindicación 1.

El método divulgado incluye el uso de software ejecutado por un dispositivo de perfusión para monitorizar la tensión o la capacidad restante de la batería y generar alarmas si la tensión o la capacidad restante de la batería cae por debajo de umbrales predeterminados (p. ej., si la tensión o la capacidad restante de la batería indica "batería baja", "batería muy baja", o "batería agotada"). El software puede comprender instrucciones almacenadas en una memoria del dispositivo de perfusión, y puede ser ejecutado por uno o más procesadores del dispositivo de perfusión. Asimismo, el dispositivo de perfusión puede obtener su alimentación de una batería recargable y puede recibir diversos datos de la batería recargable, p. ej., a través de sensores. En una realización, el dispositivo de perfusión puede recibir en tiempo real, a intervalos de tiempo predeterminados, mediciones que incluyen una tensión de la batería recargable, una variación de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media asociada a la batería recargable, una temperatura de la batería recargable y/o una tensión o una capacidad restante notificadas mediante un circuito integrado ("CI") de indicador de gas de la batería, asociado a la batería recargable. Las mediciones recibidas se pueden usar para generar un vector de características.

El método puede comprender además el despliegue del vector de características en una red neuronal previamente entrenada para determinar una tensión o una capacidad real restante de la batería recargable. La red neuronal entrenada puede comprender factores y sesgos de ponderación calculados para una pluralidad de rutas a través de una pluralidad de capas (p. ej., una capa de entrada, una pluralidad de capas ocultas y una capa de salida). Asimismo, la red neuronal puede entrenarse a partir de un conjunto de datos de entrenamiento que comprende las mediciones anteriores de los datos de referencia (p. ej., las mediciones anteriores de otras baterías recargables) con capacidades restantes conocidas y reales. Tras el despliegue del vector de características en la red neuronal entrenada, el dispositivo de perfusión se configura para determinar un indicio de la tensión o de la capacidad real restante de la batería recargable en tiempo real basándose en las mediciones que ha recibido en un intervalo de tiempo dado. En algunos aspectos, el indicio de la tensión o de la capacidad real restante puede indicar si la tensión o la capacidad real restante satisface un umbral predeterminado de tensión o de capacidad baja de la batería, una tensión o una capacidad muy baja de la batería y/o una tensión o una capacidad agotada de la batería. El dispositivo de perfusión puede generar una alarma si se alcanza uno o más de estos umbrales.

Se ha demostrado que la determinación de la tensión o de la capacidad restante de la batería a través de la red neuronal artificial, y la generación de alarmas basadas en consecuencia, es significativamente más precisa y fiable que los métodos convencionales. Por tanto, los sistemas y métodos divulgados en el presente documento reducen el tiempo y el esfuerzo dedicados a mitigar el efecto de las indicaciones inexactas o erróneas de tensión o de capacidad restantes de la batería que se encuentran usando métodos convencionales. Un beneficio adicional del método divulgado incluye una mejora de la atención médica del paciente, ya que habrá menos interrupciones en la terapia de perfusión como resultado de indicaciones poco fiables de agotamiento de la batería.

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo de perfusión que incluye una batería recargable que tiene un circuito integrado ("CI") de indicador de gas, uno o más procesadores y una memoria que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por el uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores hagan al menos uno de recibir o de determinar, a intervalos de tiempo predeterminados, en tiempo real, mediciones que comprenden una tensión de la batería recargable, una variación de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media asociada a la batería recargable, una temperatura de la batería recargable, y una tensión o una capacidad restante notificada por el CI del indicador de gas. El uno o más procesadores también están configurados para generar un vector de características que comprende la tensión, la variación de la tensión, la corriente media, la temperatura, la tensión o la capacidad restante notificados por el CI del indicador de gas, y una tensión o una capacidad de carga completa de la batería recargable, y aplicar el vector de características a una red neuronal entrenada para determinar una tensión o una capacidad restantes reales de la batería recargable. La red neuronal entrenada comprende factores y sesgos de ponderación para calcular una pluralidad de rutas a través de una pluralidad de capas. El uno o más procesadores están además configurados para generar, en tiempo real, una alarma que indique que la tensión o la capacidad real restante de la batería recargable está por debajo de un umbral predeterminado cuando la tensión o la capacidad real restante de la batería recargable está por debajo del umbral predeterminado. A continuación, se describen unas realizaciones del dispositivo de perfusión de la presente invención, que se pueden usar solas o combinadas.

En una realización, el umbral predeterminado incluye un primer umbral que corresponde a un estado de batería baja, un segundo umbral que corresponde a un estado de batería muy baja, y un tercer umbral que corresponde a un estado de batería agotada. La red neuronal entrenada puede configurarse para usar el vector de características para

determinar si cualquiera de los umbrales primero, segundo o tercer se ha satisfecho, y cuando se alcanza el primer umbral y no se alcanza el segundo, indicar el estado de batería baja para la alarma, cuando se alcanzan los umbrales primero y segundo y no se alcanza el tercer umbral, indicar el estado de batería muy baja para la alarma, y cuando se alcanzan los umbrales primero, segundo y tercero, indicar el estado de batería agotada para la alarma. El estado de batería baja puede corresponder a 30 minutos antes de que se alcance el estado de batería agotada y el estado de batería muy baja puede corresponder a 15 minutos antes de que se alcance el estado de batería agotada. El estado de batería agotada puede corresponder de tres a cuatro minutos antes de que se agote la batería recargable y ya no pueda proporcionar alimentación.

5 En una realización, el uno o más procesadores están configurados para generar vectores de características y aplicar los vectores de características en tiempo real en la red neuronal entrenada a intervalos periódicos incluyendo al menos uno de cada 50 milisegundos, 100 milisegundos, 500 milisegundos, 1 segundo, 2 segundos, 5 segundos, 30 segundos o 1 minuto.

15 En una realización, el uno o más procesadores están configurados para transmitir la alarma a un servidor a través de una red.

En una realización, el uno o más procesadores están configurados para mostrar una indicación de la alarma en una interfaz de usuario.

20 La presente invención también proporciona un dispositivo de perfusión que incluye una batería recargable que tiene un circuito integrado ("CI") de indicador de gas, una interfaz de usuario, un sensor de batería, uno o más procesadores y una memoria que almacena una pluralidad de redes neuronales entrenadas para diferentes tipos de baterías recargables e instrucciones que, cuando son ejecutadas por el uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores reciban del CI de indicador de gas información indicativa de un tipo de la recargable y seleccionen una de las redes neuronales entrenadas basándose en la información del CI de indicador de gas. El uno o más procesadores también están configurados para hacer al menos uno de recibir o de determinar, a intervalos de tiempo predeterminados, en tiempo real, mediciones que comprenden una tensión de la batería recargable desde el sensor de batería, una variación de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media asociada a la batería recargable desde el sensor de batería, una temperatura de la batería recargable desde el sensor de la batería y una tensión o una capacidad restante notificada por el CI de indicador de gas. El uno o más procesadores están configurados además para generar un vector de características que comprende la tensión, la variación de la tensión, la corriente media, la temperatura, la tensión o la capacidad restante notificados por el CI de indicador de gas y una tensión o una capacidad de carga completa de la batería recargable, y aplicar el vector de características a la red neuronal entrenada seleccionada para determinar una tensión o una capacidad real restante de la batería recargable. La red neuronal entrenada comprende factores y sesgos de ponderación para calcular una pluralidad de rutas a través de una pluralidad de capas. El uno o más procesadores están configurados adicionalmente para generar, en tiempo real, una alarma que indique que la tensión o la capacidad real restante de la batería recargable está por debajo de un umbral predeterminado cuando la tensión o la capacidad real restante de la batería recargable está por debajo del umbral predeterminado. A continuación, se describen unas realizaciones de este dispositivo de perfusión, que se pueden usar solas o combinadas.

En una realización, el umbral predeterminado incluye un primer umbral que corresponde a un estado de batería baja, un segundo umbral que corresponde a un estado de batería muy baja, y un tercer umbral que corresponde a un estado de batería agotada. La red neuronal entrenada puede configurarse para usar el vector de características para determinar si cualquiera de los umbrales primero, segundo o tercer se ha satisfecho, y cuando se alcanza el primer umbral y no se alcanza el segundo, indicar el estado de batería baja para la alarma, cuando se alcanzan los umbrales primero y segundo y no se alcanza el tercer umbral, indicar el estado de batería muy baja para la alarma, y cuando se alcanzan los umbrales primero, segundo y tercero, indicar el estado de batería agotada para la alarma.

50 En una realización, el uno o más procesadores están configurados para transmitir la alarma a un servidor a través de una red.

En una realización, el uno o más procesadores están configurados para mostrar una indicación de la alarma en la interfaz de usuario.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona, un sistema de perfusión que incluye un servidor configurado para generar una pluralidad de redes neuronales entrenadas y un dispositivo de perfusión acoplado de forma comunicativa al servidor a través de una red. El dispositivo de perfusión incluye una batería recargable que tiene un circuito integrado ("CI") de indicador de gas, uno o más procesadores y una memoria que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por el uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores reciban del servidor al menos una red neuronal entrenada desde el servidor. La red neuronal entrenada recibida comprende factores y sesgos de ponderación para calcular una pluralidad de rutas a través de una pluralidad de capas. El uno o más procesadores también están configurados para recibir, a intervalos de tiempo predeterminados, en tiempo real, mediciones que comprenden una tensión de la batería recargable, una variación de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media asociada a la batería recargable, una temperatura de la batería

recargable, y una tensión o una capacidad restante notificada por el CI del indicador de gas. El uno o más procesadores están configurados además para generar un vector de características que comprende la tensión, la variación de la tensión, la corriente media, la temperatura, la tensión o la capacidad restante notificada por el CI de indicador de gas, y una tensión o una capacidad de carga completa de la batería recargable, aplicar el vector de características a la red neuronal entrenada recibida para determinar una tensión o una capacidad real restante de la batería recargable, y generar, en tiempo real, una alarma que indique que la tensión o la capacidad real restante de la batería recargable está por debajo de un umbral predeterminado cuando la tensión o la capacidad real restante de la batería recargable está por debajo del umbral predeterminado. A continuación, se describen unas realizaciones del sistema de perfusión de la presente invención, que se pueden usar solas o combinadas.

En una realización, el servidor está configurado para generar la pluralidad de redes neuronales entrenadas para diferentes tipos de baterías recargables, recibir una indicación de un tipo de batería recargable del dispositivo de perfusión, seleccionar una red neuronal entrenada que corresponda al tipo de batería recargable en el dispositivo de perfusión y transmitir la red neuronal entrenada seleccionada al dispositivo de perfusión.

En una realización, el servidor está configurado para generar, para cada tipo de batería recargable, para cada uno de una pluralidad de datos de referencia obtenidos durante la descarga de baterías de referencia, un vector de características de referencia que comprende una tensión de referencia de una batería de referencia, una variación de la tensión de referencia a lo largo de un intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media de referencia asociada a la batería de referencia, una temperatura de referencia asociada a la batería de referencia, y una tensión o una capacidad restante de referencia notificada por un circuito integrado ("CI") de indicador de gas de la batería, asociado a la batería de referencia. El servidor está configurado para asociar, para cada tipo de batería recargable, para cada uno de la pluralidad de datos de referencia, el vector de características de referencia a un vector de salida correspondiente que indica una tensión o una capacidad real restante de referencia y entrenar, usando los vectores de características de referencia asociados, una de las redes neuronales para determinar la tensión o la capacidad real restante del tipo de batería recargable.

En una realización, el umbral predeterminado incluye un primer umbral que corresponde a un estado de batería baja, un segundo umbral que corresponde a un estado de batería muy baja, y un tercer umbral que corresponde a un estado de batería agotada. La red neuronal entrenada recibida puede configurarse para usar el vector de características para determinar si cualquiera de los umbrales primero, segundo o tercer se ha satisfecho, y cuando se alcanza el primer umbral y no se alcanza el segundo, indicar el estado de batería baja para la alarma, cuando se alcanzan los umbrales primero y segundo y no se alcanza el tercer umbral, indicar el estado de batería muy baja para la alarma, y cuando se alcanzan los umbrales primero, segundo y tercero, indicar el estado de batería agotada para la alarma.

En una realización, el uno o más procesadores están configurados para transmitir la alarma a un servidor a través de la red.

En una realización, el uno o más procesadores están configurados para mostrar una indicación de la alarma en la interfaz de usuario.

A la luz de la presente divulgación y de los aspectos anteriores, es, por lo tanto, una ventaja de la presente divulgación proporcionar un sistema de perfusión configurado para usar una red neuronal entrenada para determinar cuándo una batería alcanza un estado bajo, un estado muy bajo y un estado de agotamiento.

Otra ventaja de la presente divulgación es usar una red neuronal entrenada para superar las imprecisiones de usar un indicador de gas interno de una batería para medir la tensión o la capacidad restante de la batería.

Se describen características y ventajas adicionales, que resultarán evidentes a partir de la siguiente Descripción detallada y de las Figuras. Las características y ventajas descritas en el presente documento no son exhaustivas y, en particular, para una persona normalmente versada en la materia serán evidentes muchas características y ventajas adicionales a la vista de los dibujos. También, cualquier realización particular no tiene que tener todas las ventajas enumeradas en el presente documento y se contempla expresamente reivindicar realizaciones ventajosas individuales por separado. Por otro lado, cabe señalar que el lenguaje usado en la memoria descriptiva se ha seleccionado principalmente con fines instructivos y de legibilidad, y no para limitar el alcance de la materia objeto de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un flujo esquemático que ilustra un ejemplo de red neuronal artificial, según una realización de la presente divulgación.

La Figura 2 es un diagrama que ilustra una matriz de datos de entrada para usar una red neuronal artificial para detectar, y generar alarmas basándose en, la tensión restante de la batería, según una realización de la presente divulgación.

La Figura 3 es un diagrama en el que se muestran los vectores objetivo correspondientes para la matriz de datos de entrada de la Figura 2, según una realización de la presente divulgación.

La Figura 4 es un flujo esquemático que ilustra un ejemplo de método de entrenamiento de una red neuronal para

detectar y generar alarmas para, la tensión restante de la batería, según una realización de la presente divulgación. La Figura 5 es un flujo esquemático que ilustra un ejemplo de método para aplicar una red neuronal entrenada para detectar y generar alarmas para, la tensión restante de la batería, según una realización de la presente divulgación.

- 5 La Figura 6 es un diagrama de un dispositivo de perfusión que está configurado para usar una red neuronal entrenada para realizar el método de la Figura 5, según un ejemplo de realización de la presente divulgación. La Figura 7 es un diagrama de un sistema de perfusión configurado para ejecutar las operaciones descritas en relación con la Figura 4, según un ejemplo de realización de la presente divulgación.

10 Descripción detallada

La monitorización de la tensión restante de la batería y la generación de alarmas en caso de niveles bajos de tensión o de capacidad restante de la batería para proporcionar una carga son medidas de seguridad críticas para los sistemas de perfusión de suministro de medicación. Los niveles bajos de tensión restante de la batería pueden incluir niveles de tensión restantes de la batería "baja", "muy baja", y "agotada", cada uno de los cuales puede activar una alarma si se detecta. Para cada alarma, puede haber un tiempo restante de perfusión especificado por la normativa de la Administración de alimentos y medicamentos de Estados Unidos ("FDA", por sus siglas en inglés de "Food and Drug Administration") y los requisitos del fabricante. Sin embargo, dado que las baterías pueden variar como resultado de diferentes condiciones iniciales y características de descarga, a menudo se observan falsas alarmas, p. ej., debido a falsas mediciones de las capacidades restantes de la batería.

En el presente documento, se divulgan sistemas y métodos novedosos y no evidentes para alarmas de batería y la detección de la tensión restante de la batería usando modelos de redes neuronales, que mejoran considerablemente los conocidos sistemas de alarma de batería y de detección de la tensión restante de la batería, y hacen que los dispositivos de perfusión sean más seguros para los pacientes. El método divulgado combina los beneficios de una notificación más precisa y fiable de la tensión de la batería, al tiempo que reduce o elimina el tiempo y el trabajo que normalmente se invierten en calibrar las indicaciones erróneas de la tensión restante de la batería. El método divulgado también mejora el cuidado del paciente como resultado de menos interrupciones durante una terapia de perfusión.

30 La Figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de red neuronal artificial, de conformidad con una realización ilustrativa de la presente divulgación. La red neuronal artificial, que se utiliza en la presente divulgación, incluye una capa de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. La capa de entrada puede incluir nodos (p. ej., $X_1, X_2, \dots, X_N$) correspondientes a una pluralidad de parámetros de la batería. En una realización, se pueden usar seis parámetros de la batería, lo que puede dar como resultado una estructura de red neuronal que tenga seis nodos de entrada. Cada capa oculta puede incluir una pluralidad de nodos de optimización (p. ej., $Z_1, Z_2 \dots Z_M$). La optimización puede producirse por propagación hacia delante, retropropagación y calibración de ponderaciones y sesgos. En una realización, la red neuronal puede incluir una única capa oculta que comprenda ocho nodos de optimización. La capa de salida puede generar uno o más parámetros de salida (p. ej., $Y_1, Y_2, \dots, Y_K$). En una realización, el modelo de red neuronal puede incluir tres nodos de salida que se correspondan con tres parámetros de salida respectivos, que representan indicaciones de capacidades restantes de la batería "baja", "muy baja" y "agotada". Dado que los datos de entrada desde una batería pueden ser continuos y acumularse, los tres conjuntos de datos de salida pueden consolidarse en un modelo de red neuronal.

45 Si bien los datos de entrada pueden suministrarse en la capa de entrada, cada nodo puede recibir una combinación de una o más variables de entrada, p. ej., desde los nodos de la capa anterior. Por ejemplo, la combinación de entradas, a_j , para el nodo $j^{\text{ésimo}}$ de la capa oculta puede expresarse como la siguiente ecuación:

$$a_j = \sum_{i=1}^N \omega_{ji}^{(1)} x_i + b_j^{(1)},$$

50 donde $j = 1, \dots, M$, el superíndice (1) indica que el parámetro correspondiente se encuentra en la primera capa de la red, los parámetros $\omega_{ji}^{(1)}$ son ponderaciones, y los parámetros $b_j^{(1)}$ son sesgos. Una función de activación no lineal $h(\cdot)$ puede proporcionar una salida (Z_j) de cada nodo de la capa oculta, que puede expresarse como:

$$Z_j = h(a_j)$$

55 Se puede usar una función sigmoidea como función de activación, que puede expresarse como:

$$h(a) = \frac{1}{1 + \exp(-a)}$$

60 Asimismo, las capas pueden combinarse para hallar la función global de la red neuronal:

$$y_k(x, \omega, b) = h\left(\sum_{j=1}^M \omega_{kj}^{(2)} h\left(\sum_{i=1}^N \omega_{ji}^{(1)} x_i + b_j^{(1)}\right) + b_k^{(2)}\right),$$

Así pues, el modelo de red neuronal puede comprender una función no lineal desde un conjunto de variables de entrada $\{x_i\}$ a un conjunto de variables de salida $\{y_k\}$. En una realización, hay siete variables de entrada y tres variables de salida. Puede haber tan pocas como dos variables de entrada y tantas como doce variables de entrada.

Dado un conjunto de entrenamiento que comprende un conjunto de vectores de entrada $\{x_n\}$, donde $n=1, \dots, N$, junto con un conjunto correspondiente de vectores objetivo $\{t_n\}$, el entrenamiento de una red neuronal puede implicar la minimización de la función de error, también denominada función de pérdida, mediante un método de error cuadrático medio ("ECM"). Para la primera iteración de cálculos a través de los nodos de cada una de las capas de la red neuronal (p. ej., desde la capa de entrada hasta la capa de salida), los factores y sesgos de ponderación iniciales se seleccionan y/o inicializan aleatoriamente. A continuación, a través de cálculos de prealimentación "feed-forward", se puede calcular la pérdida usando la siguiente fórmula:

$$E(\omega) = 1/2 \sum_{n=1}^N \|y(x_n, \omega) - t_n\|^2$$

Si la pérdida es mayor que una tolerancia predefinida, se pueden revisar los factores de ponderación antes de que se inicie la siguiente iteración. El modelo de red neuronal puede considerarse entrenado cuando se ha logrado la tolerancia predefinida (p. ej., la pérdida es menor que la tolerancia predefinida).

Para mejorar la eficiencia computacional, se puede utilizar un método de retropropagación de errores. Por ejemplo, la optimización del parámetro, $\omega_{ji}^{(1)}$ de la Figura 1 puede lograrse a través de la expresión:

$$\frac{\partial E}{\partial \omega_{MN}^{(1)}} = \frac{\partial E}{\partial y_K} * \frac{\partial y_K}{\partial Z_M} * \frac{\partial Z_M}{\partial \omega_{MN}^{(1)}}$$

Asimismo, el $\omega_{ji}^{(1)}$ revisado puede lograrse usando una optimización por descenso de gradiente estocástico, usando la siguiente expresión:

$$\omega_{ji}^{(1)+} = \omega_{ji}^{(1)} + \eta \frac{\partial E}{\partial \omega_{ji}^{(1)}}$$

donde η es el tamaño de la etapa de aprendizaje, y $\omega_{ji}^{(1)+}$ es el factor de ponderación actualizado. El método descrito anteriormente para optimizar un parámetro dado, $\omega_{ji}^{(1)}$ se puede aplicar para todos los parámetros con el fin de realizar la siguiente iteración.

En algunas realizaciones, el número de iteraciones de retropropagación para que un modelo de red neuronal detecte y genere alarmas para la tensión restante de la batería es de aproximadamente 5000 iteraciones. En algunas realizaciones, el número de iteraciones está limitado a 5.000 para impedir una situación de "sobreentrenamiento" del modelo, es decir, que el modelo se ajuste demasiado al conjunto de datos de entrenamiento específico.

En una realización, se pueden usar las siguientes características para obtener y construir datos de entrada para el modelo de red neuronal: una marca de tiempo (p. ej., para cálculos adicionales); una medición de una tensión (p. ej., para usarla directamente como valor de entrada para el modelo de red neuronal); una medición de la corriente (p. ej., para filtrar aún más los datos de entrada); una medición de la temperatura (p. ej., para usarla directamente como valor de entrada para el modelo de red neuronal); una medición de una corriente media (p. ej., para usarla directamente como valor de entrada para el modelo de red neuronal); una tensión restante (p. ej., para usarla directamente como valor de entrada para el modelo de red neuronal); y una tensión de carga completa de la batería (p. ej., para usarla directamente como valor de entrada para el modelo de red neuronal, por ejemplo, para indicar el estado de salud de la batería y/o para proporcionar una indicación de la edad de la batería).

La marca de tiempo de muestra se puede usar junto con la tensión para crear una medición de una variación de tensión durante un intervalo de tiempo (p. ej., "delta milivoltios por segundo"), que se puede usar directamente como valor de entrada para el modelo de red neuronal. La variación de tensión se puede usar para proporcionar al modelo de red neuronal una sensación de velocidad de cambio a lo largo del tiempo.

La característica de "corriente" se puede usar para determinar cuándo conmuta una batería recargable de un modo de carga a un modo de descarga. Comprender esta conmutación puede ser importante para construir el modelo de red neuronal, dado que implica principalmente a la parte de descarga del ciclo.

Después de filtrar las muestras del modo de carga del conjunto de datos, la función "tensión restante" se puede usar para encontrar el punto en el que la batería está agotada (p. ej., donde la "tensión o la capacidad restante" es nula o prácticamente nula). A partir de este punto, se pueden añadir campos de entrenamiento adicionales para indicar cuando deberían producirse las alarmas de batería baja, batería muy baja y batería agotada. Dado que estas muestras se tomaron en un ciclo de 2 minutos, se pueden hacer algunos ajustes para mejorar aún más la sincronización de las alarmas.

En una realización, la alarma que indica "batería agotada" puede emitirse 4 minutos después del punto cero de "tensión restante". La alarma que indica "batería muy baja" puede iniciarse 14 minutos después de la alarma de "batería agotada". La alarma que indica "batería baja" puede iniciarse 30 minutos antes que la alarma de "batería agotada".

Dado lo anterior, los datos finales preprocesados de entrenamiento pueden incluir, aunque no de forma limitativa, los siguientes campos: una tensión; una variación de tensión a lo largo de un intervalo de tiempo (p. ej., delta mili-voltios por segundo); una corriente media; una temperatura; una tensión restante; una tensión de carga completa (p. ej., un estado de salud de la batería); una indicación de alarma de "batería baja"; una indicación de alarma de "batería muy baja"; y una indicación de alarma de "batería agotada". Los seis primeros campos representan características para los valores de entrada correspondientes en la Figura 2, y los tres últimos campos representan características para los valores de salida mostrados en la Figura 3, como se describe más adelante.

La Figura 2 es un diagrama que ilustra una matriz de datos de entrada para usar una red neuronal artificial para detectar y generar alarmas basándose en la tensión restante de la batería, según una realización de la presente divulgación. Como se muestra en la Figura 2, las seis columnas representan seis características de los datos de entrada que pueden captarse periódicamente desde una bomba de perfusión, p. ej., en tiempo real. Como se muestra en la Figura 2, $X[i,j]$ representa los vectores de entrada, incluyendo la tensión, una variación o diferencia de tensión en intervalos de tiempo (p. ej., cada segundo), una corriente media, una tensión restante de la batería (p. ej., calculada por un CI de indicador de gas de batería), una temperatura de la batería y una tensión de carga completa (estado de salud de la batería). Los datos de entrada para estas características se pueden muestrear (p. ej., recibirse a través de sensores) a intervalos de tiempo predeterminados (p. ej., cada dos minutos).

La Figura 3 es un diagrama que muestra los vectores objetivo correspondientes para la matriz de datos de entrada de la Figura 2, según una realización de la presente divulgación. Como se muestra en la Figura 3, $Y[i,j]$ representa todos los vectores objetivo incluyendo los estados de batería baja, muy baja, y agotada. En una realización, $Y[i,j]$ puede ser igual a cero cuando el estado respectivo es falso, pero $Y[i,j]$ puede ser igual a uno cuando el estado respectivo es verdadero.

La Figura 4 es un flujo esquemático que ilustra un ejemplo de método de entrenamiento de una red neuronal para detectar y generar alarmas de tensión restante de la batería, según una realización de la presente divulgación. En un ejemplo de método de entrenamiento de la red neuronal, se puede recibir un vector de características de referencia para cada uno de una pluralidad de datos de entrenamiento de referencia. Los datos de entrenamiento de referencia se pueden obtener durante la descarga de una o más baterías de referencia. Adicionalmente o como alternativa, el conjunto de datos de entrenamiento de referencia puede ser un subconjunto (p. ej., la mitad) del conjunto de datos de prueba. Cada vector de características de referencia puede comprender un número predeterminado de entradas, por ejemplo, una tensión de referencia de una batería de referencia; una variación de la tensión de referencia a lo largo de un intervalo de tiempo predeterminado; una corriente media de referencia asociada a la batería de referencia; una temperatura de referencia asociada a la batería de referencia; y una tensión restante de referencia, notificada por un circuito integrado ("CI") de indicador de gas de la batería, asociado a la batería de referencia. En otras realizaciones, se pueden usar menos entradas o entradas adicionales.

En el ejemplo mostrado en la Figura 4, cada vector de referencia recibido puede comprender seis entradas. Asimismo, el método de entrenamiento puede incluir la introducción de los correspondientes vectores de valor objetivo ("vectores de salida") para los vectores de características de referencia. Como se ha expuesto anteriormente, cada vector de valor objetivo puede proporcionar un indicio de la tensión restante de la batería para los datos de entrada correspondientes. Por ejemplo, el valor objetivo puede indicar si la tensión restante de la batería cumple los umbrales para una indicación de "batería baja", "batería muy baja" o "batería agotada". Los vectores de características de referencia se pueden asociar con sus correspondientes vectores de salida. El modelo de red neuronal puede entrenarse usando los vectores de características de referencia asociados para emitir factores y sesgos de ponderación para cada ruta del modelo de red neuronal. El entrenamiento puede incluir un proceso iterativo que comprende una propagación de prealimentación a través de las capas del modelo de red neuronal, un cálculo de una función de pérdida y una retropropagación a través de las capas del modelo de red neuronal. Sin embargo, en la primera iteración, el método de entrenamiento puede inicializarse generando aleatoriamente ponderaciones y sesgos. Una vez minimizados los errores (p. ej., la pérdida está dentro de un nivel de tolerancia), el método de entrenamiento

puede devolver factores y sesgos de ponderación para cada ruta. Estos factores y sesgos de ponderación asociados a la red neuronal entrenada pueden almacenarse, p. ej., para usar en la aplicación de la red neuronal entrenada, como se muestra en la Figura 5.

- 5 La Figura 5 es un flujo esquemático que ilustra un ejemplo de método para aplicar una red neuronal entrenada para detectar y generar alarmas de tensión restante de la batería, según una realización de la presente divulgación. Específicamente, la Figura 5 ilustra un cálculo de prealimentación que usa datos de la batería en tiempo real. Por ejemplo, un dispositivo de perfusión alimentado por una batería recargable puede recibir, a intervalos de tiempo predeterminados, en tiempo real, mediciones que comprenden: una tensión de la batería recargable, una variación de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media asociada a la batería recargable, una temperatura de la batería recargable, y una tensión o una capacidad restante notificada por un circuito integrado ("CI") de indicador de gas de la batería. Los seis tipos de datos de entrada se pueden usar para formar vectores de características de entrada con preacondicionamiento. El dispositivo de perfusión también puede identificar y recuperar los factores y sesgos de ponderación almacenados del método de entrenamiento de la Figura 4 (es decir, los parámetros ω_{ji} y b_j). Los seis vectores de características de entrada y los factores y sesgos de ponderación almacenados pueden introducirse en una red neuronal para generar un indicio de la tensión o de la capacidad real restante de la batería recargable (p. ej., si la batería recargable tiene un estado de "batería baja", "batería muy baja" o "batería agotada"). La aplicación del modelo de red neuronal puede implicar la realización de cálculos de prealimentación, calcular las entradas en cada nodo de la capa oculta y calcular las funciones de activación en cada nodo.

- En algunas realizaciones, un dispositivo de perfusión selecciona una red neuronal entrenada y los correspondientes parámetros de los factores/sesgos de ponderación ω_{ji} y b_j en función de un tipo de batería conocido. En estos casos, el CI del indicador de gas de la batería puede transmitir un identificador de un tipo de batería, que puede especificar un número de modelo, fabricante, versión, etc. El dispositivo de perfusión usa la información de batería del CI de indicador de gas de la batería para seleccionar la correspondiente red neuronal entrenada y los correspondientes parámetros de los factores/sesgos de ponderación ω_{ji} y b_j , que puede almacenarse local o remotamente en un servidor.

- Como se ha expuesto anteriormente, los sistemas y métodos de la presente divulgación ayudan a superar las imprecisiones del uso del CI de indicador de gas interno de la batería para medir la tensión o la capacidad restante de la batería y generar alertas. Convencionalmente, estas imprecisiones han hecho necesario añadir un margen al valor calculado del tiempo de autonomía restante para poder garantizar que la batería tenga suficiente energía para permitir que una perfusión continúe durante el tiempo necesario después de que se haya emitido una alarma de batería baja o muy baja. Un resultado deseado del uso del modelo de red neuronal expuesto en la presente divulgación es reducir o eliminar la necesidad de este margen. Los métodos divulgados para detectar y generar alarmas sobre la tensión o la capacidad restante de la batería permiten que el sistema de perfusión funcione durante más tiempo con la alimentación de la batería. Para examinar esta posibilidad, se analizó la memoria caché existente de datos de tiempo de alarma de la batería, como se muestra en la siguiente tabla.

Tensión / capacidad restante de la batería (Wh)	Tiempo hasta que se vacíe la batería (minutos)	Método ideal			Método convencional		
		Alarma de 30 minutos	Alarma de 15 minutos	Alarma agotada	Alarma de 30 minutos	Alarma de 15 minutos	Alarma agotada
9,9	86	0	0	0	0	0	0
9,7	84	0	0	0	0	0	0
9,5	82	0	0	0	0	0	0
9,3	80	0	0	0	0	0	0
9,1	78	0	0	0	1	0	0
8,8	76	0	0	0	1	0	0
8,6	74	0	0	0	1	0	0
8,4	72	0	0	0	1	0	0
8,2	70	0	0	0	1	0	0
7,9	68	0	0	0	1	0	0
7,7	66	0	0	0	1	0	0
7,5	64	0	0	0	1	0	0
7,3	62	0	0	0	1	0	0
7,0	60	0	0	0	1	1	0

(continuación)

Tensión / capacidad restante de la batería (Wh)	Tiempo hasta que se vacíe la batería (minutos)	Método ideal			Método convencional		
		Alarma de 30 minutos	Alarma de 15 minutos	Alarma agotada	Alarma de 30 minutos	Alarma de 15 minutos	Alarma agotada
6,8	58	0	0	0	1	1	0
6,6	56	0	0	0	1	1	0
6,3	54	0	0	0	1	1	0
6,1	52	0	0	0	1	1	0
5,9	50	0	0	0	1	1	0
5,6	48	0	0	0	1	1	0
5,4	46	0	0	0	1	1	0
5,2	44	0	0	0	1	1	1
4,9	42	0	0	0	1	1	1
4,7	40	0	0	0	1	1	1
4,5	38	0	0	0	1	1	1
4,2	36	0	0	0	1	1	1
4,0	34	1	0	0	1	1	1
3,8	32	1	0	0	1	1	1
3,5	30	1	0	0	1	1	1
3,3	28	1	0	0	1	1	1
3,1	26	1	0	0	1	1	1
2,8	24	1	0	0	1	1	1
2,6	22	1	0	0	1	1	1
2,4	20	1	0	0	1	1	1
2,1	18	1	1	0	1	1	1
1,9	16	1	1	0	1	1	1
1,6	14	1	1	0	1	1	1
1,4	12	1	1	0	1	1	1
1,2	10	1	1	0	1	1	1
0,9	8	1	1	0	1	1	1
0,6	6	1	1	0	1	1	1
0,4	4	1	1	1	1	1	1
0,1	2	1	1	1	1	1	1
0,0	0	1	1	1	1	1	1

Como se muestra en la tabla anterior, se añadieron cálculos al conjunto de datos de la batería para duplicar el algoritmo existente de tiempo de autonomía restante que se implementa en el sistema de perfusión divulgado. Usando este valor calculado de autonomía restante, los momentos en los que el algoritmo actual emitiría las alarmas de batería baja, muy baja y agotada se añadieron a los datos. Esto se comparó con el momento ideal en el que deberían emitirse esas alarmas. Las celdas resaltadas en la tabla muestran cuándo el método convencional para generar una alarma y el método divulgado para generar una alarma emitiría las alarmas de batería baja (30 minutos), muy baja (15 minutos) y agotada (3 minutos).

La tabla anterior muestra con el algoritmo anterior conocido que se usa en el sistema de perfusión hay una diferencia significativa entre el momento en que emite las alarmas de batería y el momento ideal en que deberían emitirse dichas alarmas. Por ejemplo, el algoritmo anterior conocido emite la alarma de batería baja cuando faltan 78 minutos para que se vacíe la batería. En el caso ideal, la alarma de batería baja se emitiría cuando el tiempo de la batería hasta vaciarse fuera igual a 33 minutos (30 minutos de tiempo de autonomía de la perfusión, más 3 minutos adicionales cuando el sistema de perfusión emitiría una alarma antes de apagarse por completo). Esto supone 45 minutos adicionales de tiempo de autonomía de la batería que se pierden debido al margen que se necesita para el algoritmo anterior conocido.

Como se ha mencionado anteriormente, los tiempos en los que el método divulgado que utiliza el modelo de red

neuronal divulgado emitió las alarmas de batería se correlacionaron muy estrechamente con los tiempos emitidos por un algoritmo ideal. Por tanto, se puede considerar que el planteamiento divulgado coincide con el caso ideal la mayoría de las veces. El uso de la red neuronal puede permitir una reducción del margen de tiempo de autonomía restante y, por tanto, una mayor autonomía de la batería.

5

Ejemplo de sistema de perfusión y dispositivo de perfusión

La Figura 6 es un diagrama de un dispositivo de perfusión 600 que está configurado para usar una red neuronal entrenada 602 para realizar el método de la Figura 5, según un ejemplo de realización de la presente divulgación. El dispositivo de perfusión 600 es una bomba de perfusión, tal como una bomba de jeringa, una bomba ambulatoria o una bomba peristáltica. El dispositivo de perfusión 600 está conectado a un bastidor 604 para su soporte.

10

El dispositivo de perfusión 600 está configurado para recibir el tubo intravenoso 606. En un ejemplo, se abre una tapa 608 del dispositivo de perfusión 600, lo que permite la inserción del tubo intravenoso 606. Un primer extremo del tubo intravenoso 606a se acopla fluidicamente a un recipiente de fluido que contiene un fármaco, medicación u otro fluido para un tratamiento de perfusión. Un segundo extremo del tubo intravenoso 606b está acoplado fluidicamente a un paciente a través de una conexión intravenosa.

15

El dispositivo de perfusión 600 incluye una interfaz de usuario 610 para recibir entradas del operador (p. ej., un caudal) tal como el uno o más parámetros expuestos previamente. La interfaz de usuario 610 también muestra información que incluye un estado de un tratamiento de perfusión y alarmas/alertas indicativas de batería baja, incluyendo la alerta de batería "baja", la alerta de batería "muy baja" y la alerta de batería "agotada". La interfaz de usuario 610 incluye una pantalla táctil y un teclado. En otras realizaciones, la interfaz de usuario 610 puede incluir sólo una pantalla táctil o un teclado.

20

El dispositivo de perfusión 600 de la Figura 6 incluye también un procesador 612, una memoria 614 y un módulo de comunicación 616. Si bien se muestra un procesador 612, el dispositivo de perfusión 600 puede incluir una pluralidad de procesadores. El procesador 612 incluye un controlador, un dispositivo lógico, etc., configurado para ejecutar la red neuronal entrenada 602 (p. ej., un algoritmo) almacenado en la memoria 614. El procesador 612 también está configurado para ejecutar una o más instrucciones almacenadas en la memoria 614 que, cuando son ejecutadas por el procesador 612, hacen que el procesador 612 realice las operaciones descritas en el presente documento para proporcionar un tratamiento de perfusión. La memoria 614 incluye cualquier dispositivo de memoria, incluyendo una memoria de sólo lectura, una memoria flash, una memoria acceso aleatorio, una unidad de disco duro, una unidad de estado sólido, etc.

25

El módulo de comunicación 616 está configurado para una comunicación inalámbrica y/o por cable con una red, tal como Internet, una red celular y/o una red hospitalaria local. El módulo de comunicación 616 se puede configurar, por ejemplo, para una comunicación WiFi o Ethernet. En el ejemplo ilustrado, el módulo de comunicación 616 está configurado para recibir la red neuronal entrenada 602 (incluyendo los parámetros de factores/sesgos de ponderación ω_i y b_j) desde un servidor u ordenador clínico a través de una red. En otros ejemplos, el procesador 612 puede realizar el método de la Figura 5 para entrenar la red neuronal 602. El módulo de comunicación 616 también puede recibir uno o más parámetros que especifiquen un tratamiento de perfusión que haya que realizar. Además, el módulo de comunicación 616 puede transmitir mensajes de alerta o alarma a un servidor cuando se detecta una batería baja.

30

El dispositivo de perfusión 600 de la Figura 6 incluye además un mecanismo de accionamiento 618, un motor 620, un regulador de batería/alimentación 622, y un CI de indicador de gas 624 de la batería. Juntos, el mecanismo de accionamiento 618 y el motor 620 comprenden un mecanismo de bombeo. El procesador 612 está configurado para transmitir señales o comandos al motor 620, que hacen que el motor 620 gire o funcione de otro modo en una dirección y a una velocidad determinadas. El movimiento o giro de un árbol de accionamiento del motor 620 hace que el mecanismo de accionamiento 618 accione o ejerza fuerza de otro modo en el tubo intravenoso 606 (o un recipiente de fluido en realizaciones alternativas en las que se coloca un recipiente de fluido dentro del dispositivo de perfusión). El mecanismo de accionamiento 618 puede incluir actuadores de dedo o un actuador giratorio que aplican presión sobre el tubo intravenoso 606 para suministrar fluido desde el recipiente de fluido a un paciente para un tratamiento de perfusión. El mecanismo de accionamiento 618 y el motor 620 están configurados colectivamente para proporcionar un control preciso del suministro de fluido entre 0,1 mililitros/hora hasta 1000 mililitros/hora.

35

Para una bomba de jeringa, el mecanismo de accionamiento 618 puede incluir un pistón u otro actuador que empuje el émbolo de una jeringa. En algunas realizaciones, el motor 620 puede hacer girar un tornillo de accionamiento, que hace que el mecanismo de accionamiento 618 aplique fuerza sobre el émbolo.

45

La batería/regulador de alimentación 622 está configurado para proporcionar alimentación eléctrica al dispositivo de perfusión 600. Un regulador de alimentación convierte la alimentación de CA de la toma de corriente en alimentación de CC. Una batería proporciona una alimentación de CC constante. La batería es una batería recargable a través de la alimentación de CA. El CI de indicador de gas 624 de la batería transmite información relativa a la batería 622 al procesador 612. La información puede incluir un tipo de batería 622, que se usa para seleccionar la red neuronal entrenada 602 de la memoria 614. La información también incluye la tensión/capacidad restante de la batería 622. La

50

55

60

65

información puede incluir además mediciones que incluyan una tensión de la batería recargable, una variación de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media asociada a la batería recargable y/o una temperatura de la batería recargable.

- 5 Como alternativa, el procesador 612 determina o recibe, en tiempo real, a intervalos de tiempo predeterminados, unas mediciones que incluyen una tensión de la batería recargable 622, una variación de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media asociada a la batería recargable y/o una temperatura de la batería recargable. Como se ha expuesto previamente en relación con la Figura 5, el procesador 612 aplica la información recibida como entradas en la red neuronal entrenada 602 y recibe una salida indicativa de un estado de la batería 622.
- 10 En general, el estado indica que la batería 622 tiene carga suficiente. Sin embargo, la red neuronal entrenada 602 emite el estado de batería baja, batería muy baja o batería agotada cuando las entradas son indicativas de ese estado de batería. El procesador 612 está configurado para mostrar una alarma/alerta para indicar cuando está presente el estado de batería baja, batería muy baja o batería agotada. Además, el procesador 612 usa el módulo de comunicación 616 para transmitir la alarma/alerta de batería a una red.

15 El procesador 612 puede incluir uno o más sensores 626 para medir una o más de una tensión de la batería recargable 622, una variación de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media asociada a la batería recargable y/o una temperatura de la batería recargable. En otros casos, los sensores 626 se proporcionan próximos a la batería 622 y están acoplados de forma comunicativa al procesador 612. Los sensores 626 pueden incluir un medidor de tensión, un medidor de corriente y/o un indicador de temperatura. En algunos casos, el medidor de tensión y el medidor de corriente pueden estar integrados en el procesador 612, mientras que el indicador de temperatura se proporciona próximo a la batería 622.

20 En algunas realizaciones, el procesador 612 compara la salida del estado de la batería de la red neuronal entrenada 602 con el tiempo restante para un tratamiento de perfusión. Si el estado de la batería indica que ésta se agotará antes de que finalice el tratamiento de perfusión programado, el procesador 612 puede generar una alarma más pronunciada en la interfaz de usuario 610 y/o para su transmisión a la red para indicar que un tratamiento de perfusión no se completará adecuadamente.

25 Debe apreciarse que el procesador 612 realiza una determinación del estado de la batería durante los tratamientos de perfusión y cuando los tratamientos de perfusión no están en curso. Como tal, la red neuronal entrenada 602 usa la variación de tensión de la batería a lo largo del tiempo para evaluar la rapidez con la que se está consumiendo la batería 622, que corresponde a si se está realizando un tratamiento de perfusión. El procesador 612 realiza la determinación del estado de la batería a intervalos periódicos, tal como cada 50 milisegundos, 100 milisegundos, 500 milisegundos, 1 segundo, 2 segundos, 5 segundos, 30 segundos, 1 minuto, etc.

30 También debe apreciarse que el estado de batería agotada corresponde a una tensión de batería en el que el CI de indicador de gas 624 impide cualquier consumo adicional de la batería 622. Para impedir que la batería sufra daños permanentes por haberse consumido completamente, el CI de indicador de gas 624 puede impedir un consumo adicional de corriente cuando la batería 622 tiene al menos algo de carga, tal como 0,5 voltios o 0,1 voltios. En algunas realizaciones, el procesador 612 puede hacer que el dispositivo de perfusión 600 entre en un modo a prueba de fallos una vez que se alcanza el estado de batería agotada. El modo a prueba de fallos puede incluir una desconexión controlada del dispositivo de perfusión 600.

35 La Figura 7 es un diagrama de un sistema de perfusión 700 configurado para realizar las operaciones descritas en relación con la Figura 4, según un ejemplo de realización de la presente divulgación. El sistema de perfusión 700 incluye el dispositivo de perfusión 600 de la Figura 6. El sistema de perfusión 700 también incluye un servidor 702 que está conectado al dispositivo de perfusión 600 a través de una red 704, que puede incluir cualquier red celular, de área amplia y/o de área local. El servidor 702 puede formar parte de un sistema de información sanitaria e incluir un ordenador clínico.

40 En el ejemplo ilustrado, el servidor 702 recibe datos de entrenamiento de referencia 706, tales como los vectores de características de referencia que se han expuesto previamente. Los datos de entrenamiento 706 pueden introducirse en el servidor 702 a partir de datos obtenidos manualmente. Adicionalmente o como alternativa, los datos de entrenamiento 706 pueden recibirse de uno o más dispositivos de perfusión, incluyendo el dispositivo de perfusión 600.

45 Como se ha expuesto previamente, el servidor 702 está configurado para crear una o más redes neuronales entrenadas 602 para tipos de baterías usando los datos de entrenamiento 706. El servidor 702 puede transmitir las redes neuronales entrenadas 602 al dispositivo de perfusión 600 a través de la red 704. Como alternativa, el servidor 702 puede recibir información sobre el tipo de batería del dispositivo de perfusión 600 (a través del CI de indicador de gas CI 624) antes de que se inicie un tratamiento. El servidor 702 selecciona la red neuronal entrenada 602 que coincide o se corresponde con la información de batería recibida y transmite la red neuronal entrenada 602 seleccionada (y los parámetros de los factores/sesgos de ponderación ω_{ji} y b_j) al dispositivo de perfusión 600 para la detección del estado de la batería.

Conclusión

5 Se debe entender que diversas variaciones y modificaciones de las realizaciones preferidas descritas en el presente documento serán evidentes para los expertos en la materia. Se pueden realizar tales variaciones y modificaciones sin desviarse del alcance de la presente materia objeto, tal y como se define en las reivindicaciones, y sin disminuir sus ventajas previstas. El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de perfusión (600) que comprende:

- 5 una batería recargable (622) que tiene un circuito integrado ("CI") de indicador de gas (624);
 uno o más procesadores (612); y
 una memoria (614) que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por el uno o más procesadores, hacen
 que el uno o más procesadores:
- 10 al menos uno de recibir o de determinar, a intervalos de tiempo predeterminados, en tiempo real, mediciones
 que comprenden:
- una tensión de la batería recargable (622),
 una variación de la tensión a lo largo del intervalo de tiempo predeterminado,
 15 una corriente media asociada a la batería recargable (622),
 una temperatura de la batería recargable (622), y
 una tensión o una capacidad restante notificada por el CI de indicador de gas (624),
- que generen un vector de características que comprenda la tensión, la variación de la tensión, la corriente media,
 20 la temperatura, la tensión o la capacidad restante notificada por el CI del indicador de gas (624), y una tensión o
 una capacidad de carga completa de la batería recargable (622),
 que apliquen el vector de características a una red neuronal entrenada (602) para determinar una tensión o una
 capacidad real restante de la batería recargable (622), en donde la red neuronal entrenada (602) comprende
 factores y sesgos de ponderación para calcular una pluralidad de rutas a través de una pluralidad de capas, y
 25 que generen, en tiempo real, una alarma que indique que la tensión o la capacidad real restante de la batería
 recargable (622) está por debajo de un umbral predeterminado cuando la tensión o la capacidad real restante de
 la batería recargable (622) está por debajo del umbral predeterminado.

2. El dispositivo de perfusión (600) de la reivindicación 1, en donde el uno o más procesadores (612) están
 30 configurados para generar vectores de características y aplicar los vectores de características en tiempo real en la red
 neuronal entrenada (602) a intervalos periódicos incluyendo al menos uno de cada 50 milisegundos, 100 milisegundos,
 500 milisegundos, 1 segundo, 2 segundos, 5 segundos, 30 segundos o 1 minuto.

3. El dispositivo de perfusión (600) de la reivindicación 1, que comprende, además:

- 35 una interfaz de usuario (610); y
 un sensor de batería (626), en donde la tensión de la batería recargable (622), la corriente media asociada a la
 batería recargable (622) y la temperatura de la batería recargable (622) se reciben o se determinan a partir del
 sensor de batería (626), y
 40 en donde la memoria almacena una pluralidad de redes neuronales entrenadas para diferentes tipos de baterías
 recargables y las instrucciones almacenadas en la memoria (614), cuando son ejecutadas por el uno o más
 procesadores (612), hacen que el uno o más procesadores:
- reciban del CI de indicador de gas (624) información indicativa de un tipo de batería recargable,
 45 seleccionen una de las redes neuronales entrenadas basándose en la información del CI de indicador de gas
 (624), y
 apliquen el vector de características a la red neuronal entrenada seleccionada.

4. El dispositivo de perfusión (600) de las reivindicaciones 1 o 3, en donde el umbral predeterminado incluye un primer
 50 umbral que corresponde a un estado de batería baja, un segundo umbral que corresponde a un estado de batería muy
 baja, y un tercer umbral que corresponde a un estado de batería agotada.

5. El dispositivo de perfusión (600) de la reivindicación 4, en donde la red neuronal entrenada (602) está configurada
 para:

- 55 usar el vector de características para determinar si se satisface cualquiera de los umbrales primero, segundo o
 tercero;
 cuando se alcanza el primer umbral y no se alcanza el segundo umbral, indicar el estado de batería baja para la
 alarma;
 60 cuando se alcanzan los umbrales primero y segundo y no se alcanza el tercer umbral, indicar el estado de batería
 muy baja para la alarma; y
 cuando se alcanzan los umbrales primero, segundo y tercero, indicar el estado de batería agotada para la alarma.

6. El dispositivo de perfusión (600) de las reivindicaciones 4 o 5, en donde el estado de batería baja corresponde a 30
 65 minutos antes de que se alcance el estado de batería agotada y el estado de batería muy baja corresponde a 15
 minutos antes de que se alcance el estado de batería agotada.

7. El dispositivo de perfusión (600) de la reivindicación 6, en donde el estado de batería agotada corresponde a tres o cuatro minutos antes de que la batería recargable se agote y ya no pueda proporcionar alimentación.

5 8. El dispositivo de perfusión (600) de las reivindicaciones 1 o 3, en donde el uno o más procesadores (612) están configurados para transmitir la alarma a un servidor a través de una red.

9. El dispositivo de perfusión (600) de las reivindicaciones 1 u 8, en donde el uno o más procesadores (612) están configurados para mostrar una indicación de la alarma en la interfaz de usuario (610).

10 10. Un sistema de perfusión (700) que comprende:
un servidor (702) configurado para generar una pluralidad de redes neuronales entrenadas; y
un dispositivo de perfusión (600) como se reivindica en la reivindicación 1 que está acoplado de forma comunicativa al servidor (702) a través de una red (704),
15 en donde las instrucciones almacenadas en la memoria (614), cuando son ejecutadas por el uno o más procesadores (612), hacen que el uno o más procesadores (612):
reciban al menos una red neuronal entrenada (602) desde el servidor (702) y apliquen el vector de características a la red neuronal entrenada recibida que comprende los factores y sesgos de ponderación para calcular una pluralidad de rutas a través de una pluralidad de capas.

11. El sistema de perfusión (700) de la reivindicación 10, en donde el servidor (702) está configurado para:

25 generar la pluralidad de redes neuronales entrenadas (602) para diferentes tipos de baterías recargables;
recibir una indicación de un tipo de batería recargable del dispositivo de perfusión (600);
seleccionar una red neuronal entrenada (602) que corresponda al tipo de batería recargable en el dispositivo de perfusión (600); y
transmitir la red neuronal entrenada seleccionada (602) al dispositivo de perfusión (600).

30 12. El sistema de perfusión (700) de la reivindicación 11, en donde el servidor (702) está configurado para, por cada tipo de batería recargable:

35 generar, para cada uno de una pluralidad de datos de referencia obtenidos durante la descarga de baterías de referencia, un vector de características de referencia que comprende:
una tensión de referencia de una batería de referencia,
una variación de la tensión de referencia a lo largo de un intervalo de tiempo predeterminado, una corriente media de referencia asociada a la batería de referencia,
una temperatura de referencia asociada a la batería de referencia, y
40 una tensión o una capacidad restante de referencia notificada por un circuito integrado ("CI") de indicador de gas (624) de la batería, asociado a la batería de referencia;

45 asociar, para cada uno de la pluralidad de datos de referencia, el vector de características de referencia a un vector de salida correspondiente que indica una tensión o una capacidad real restante de referencia; y
entrenar, usando los vectores de características de referencia asociados, una de las redes neuronales para determinar la tensión o la capacidad real restante del tipo de batería recargable.

50 13. El sistema de perfusión (700) de la reivindicación 10, en donde el umbral predeterminado incluye un primer umbral que corresponde a un estado de batería baja, un segundo umbral que corresponde a un estado de batería muy baja, y un tercer umbral que corresponde a un estado de batería agotada.

14. El sistema de perfusión (700) de la reivindicación 13, en donde la red neuronal entrenada (602) recibida está configurada para:

55 usar el vector de características para determinar si se satisface cualquiera de los umbrales primero, segundo o tercero;
cuando se alcanza el primer umbral y no se alcanza el segundo umbral, indicar el estado de batería baja para la alarma;
cuando se alcanzan los umbrales primero y segundo y no se alcanza el tercer umbral, indicar el estado de batería muy baja para la alarma; y
60 cuando se alcanzan los umbrales primero, segundo y tercero, indicar el estado de batería agotada para la alarma.

15. El sistema de perfusión (700) de la reivindicación 10, en donde el uno o más procesadores (612) están configurados para transmitir la alarma al servidor (702) a través de la red (704).

65 16. El sistema de perfusión (700) de las reivindicaciones 10 o 15, en donde el uno o más procesadores (612) están

configurados para mostrar una indicación de la alarma en una interfaz de usuario (610).

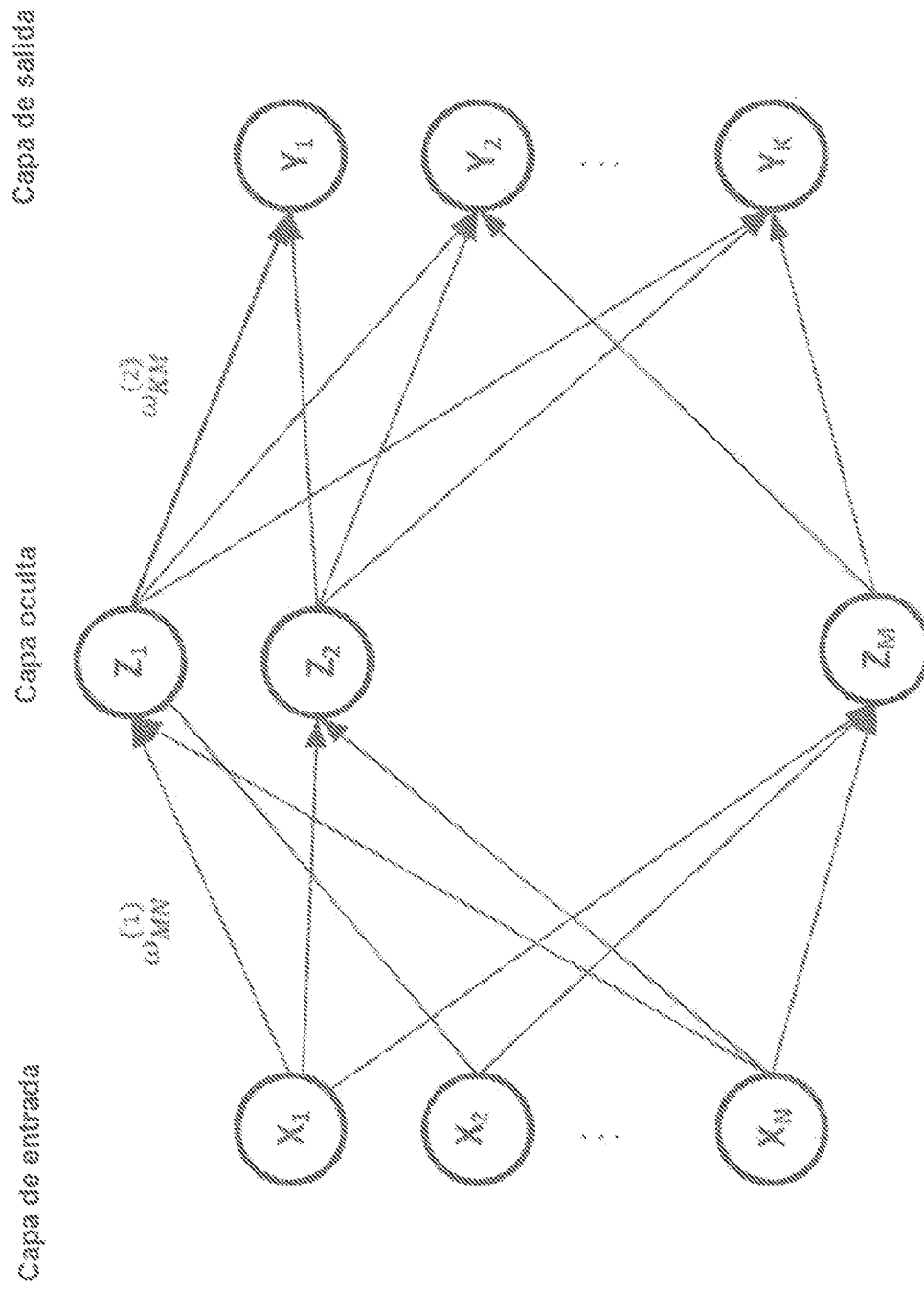


FIG. 1

$$X[i,j] = \begin{bmatrix} X_{i,1} (V) & X_{i,2} (\text{Delta} \text{ mv/s}) & X_{i,3} (\text{Media A}) & X_{i,4} (\text{capacidad restante}) & X_{i,5} (\text{Temp}) & X_{i,6} (\text{Salud}) \\ X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{14} & X_{15} & X_{16} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & X_{n3} & X_{n4} & X_{n5} & X_{n6} \end{bmatrix}$$

FIG. 2

$$Y[i,j] = \begin{bmatrix} Y_{i1} & Y_{i2} & Y_{i3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & Y_{n3} \end{bmatrix}$$

$Y_{i,1}$ (Baja) $Y_{i,2}$ (Muy baja) $Y_{i,3}$ (Agotada)

FIG. 3

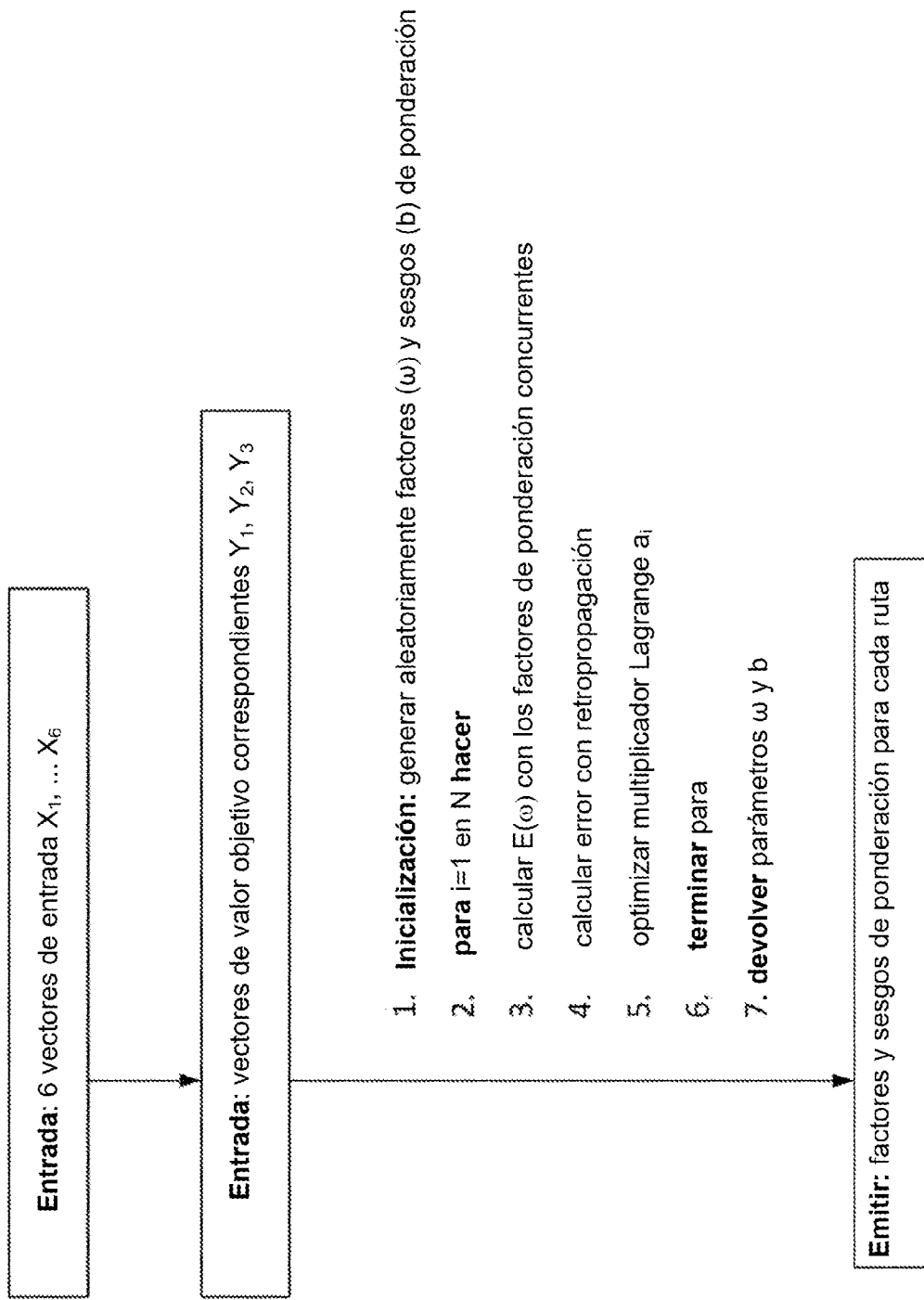


FIG. 4

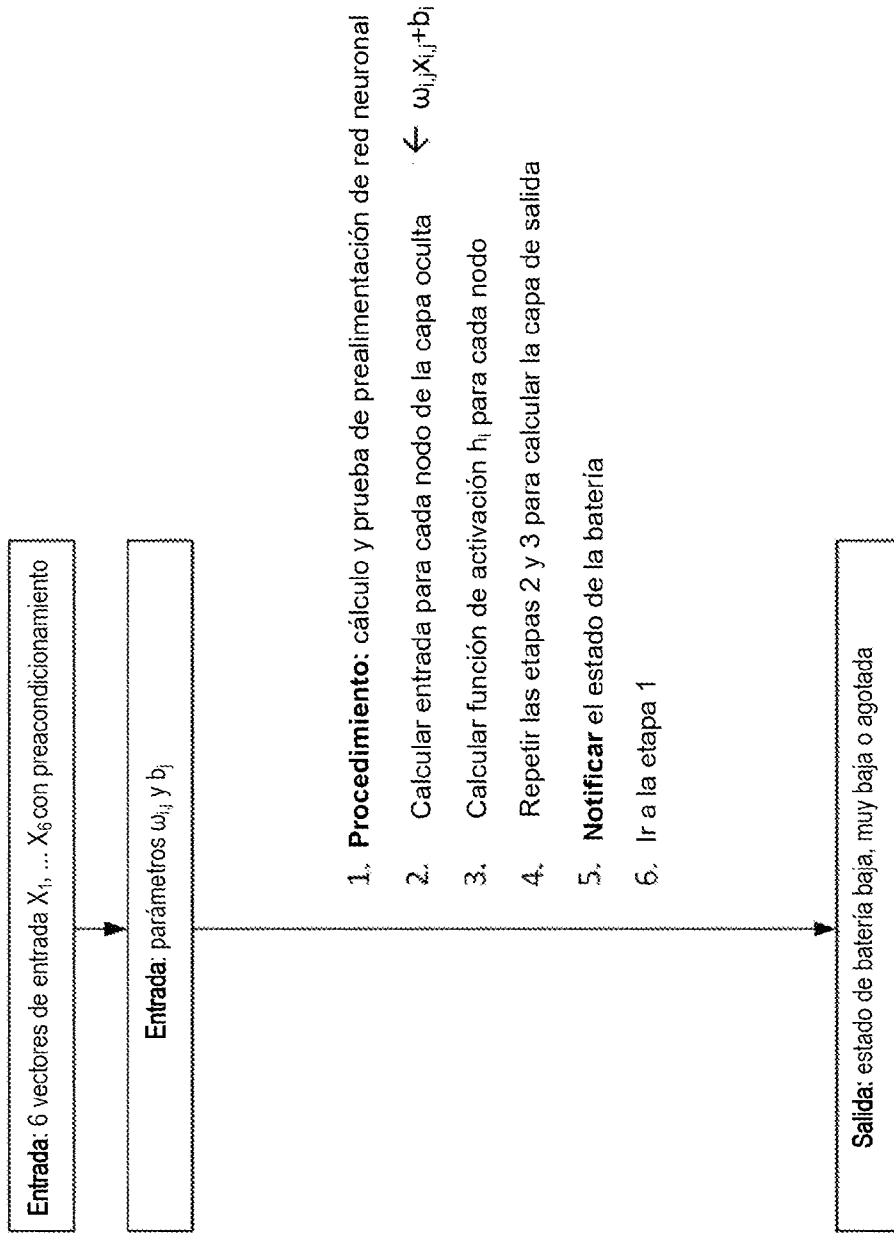


FIG. 5

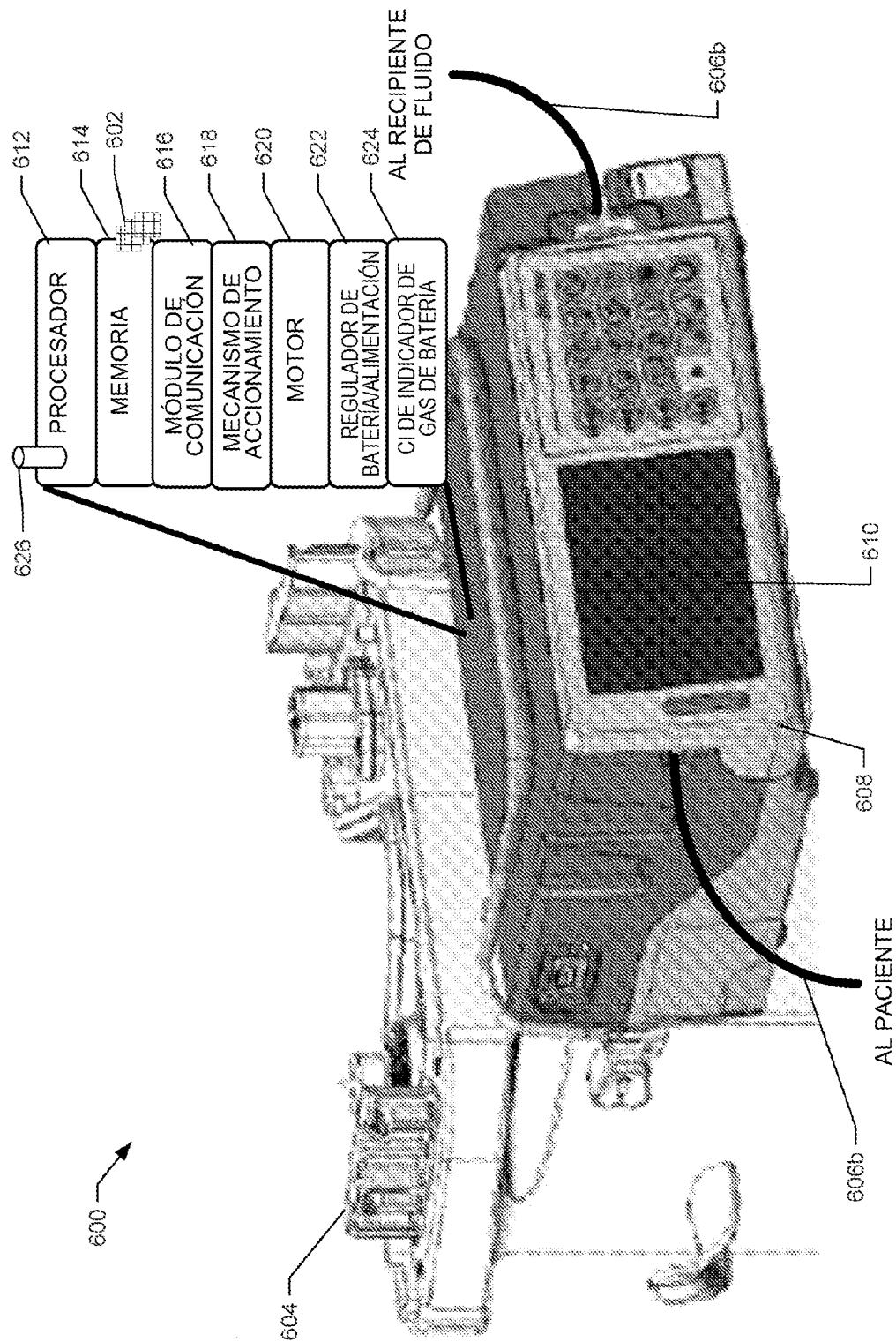


FIG. 6

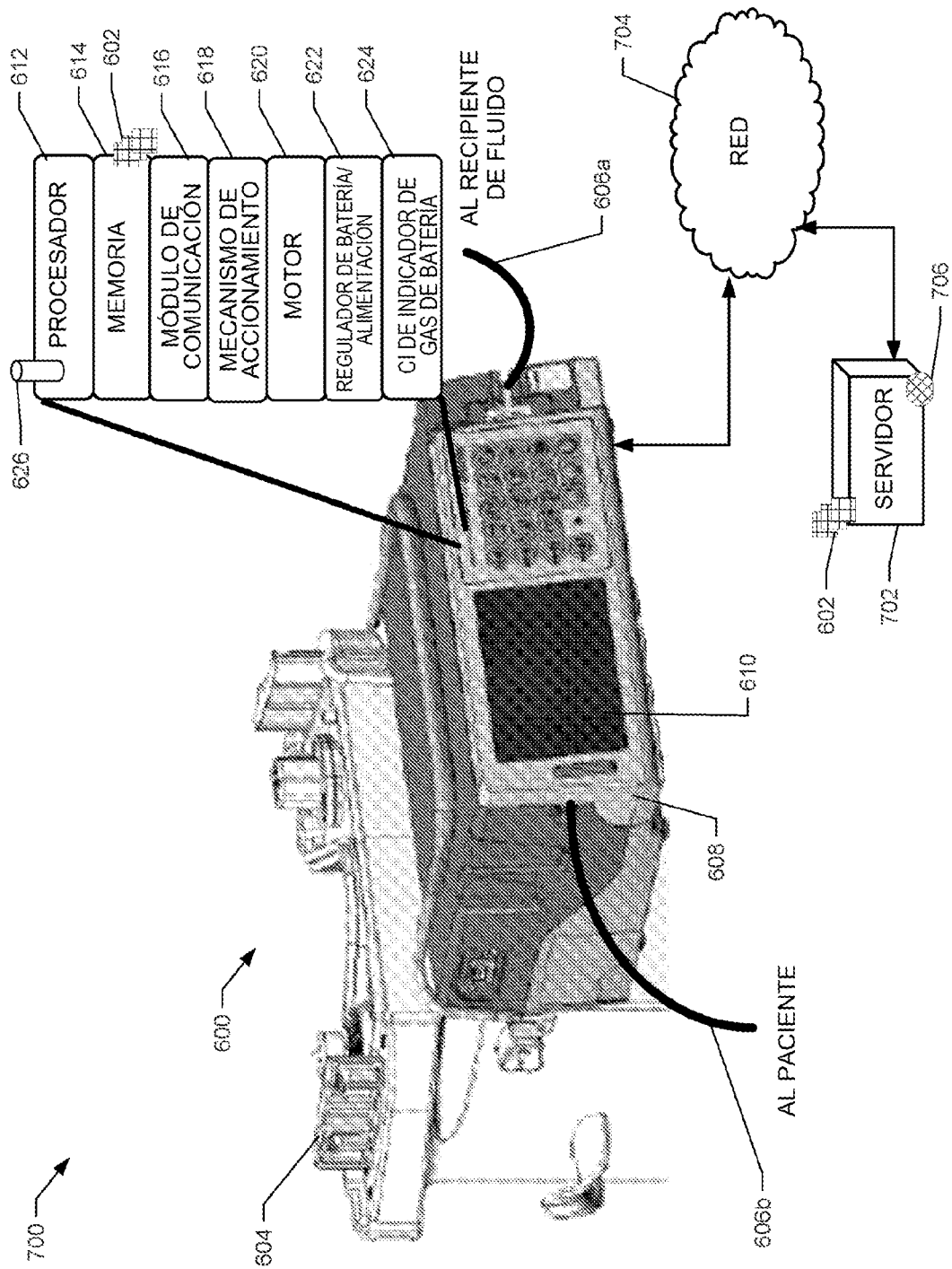


FIG. 7