(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 272 334**

(51) Int. Cl.:
***B61B 13/00*** (2006.01)
***G05B 23/02*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Número de solicitud europea: **00976897 .9**
(86) Fecha de presentación : **03.11.2000**
(87) Número de publicación de la solicitud: **1233898**
(87) Fecha de publicación de la solicitud: **28.08.2002**

(54) Título: **Vehículo sobre raíles ligero con un sistema de diagnóstico predictivo para puertas automatizadas motorizadas.**

(30) Prioridad: **05.11.1999 US 163845 P**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
**01.05.2007**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
**01.05.2007**

(73) Titular/es: **Bombardier Transportation GmbH**
**Saatwinkler Damm 43**
**13627 Berlin, DE**

(72) Inventor/es: **McCullers, Curtis, W.;**
**Karg, Kenneth, A.;**
**Campbell, Dean, J.;**
**Etzel, Andreas, H. y**
**Smith, Alice, E.**

(74) Agente: **Carpintero López, Francisco**

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).



Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. Pº de la Castellana, 75 – 28071 Madrid

## DESCRIPCIÓN

Vehículo sobre raíles ligero con un sistema de diagnóstico predictivo para puertas automatizadas motorizadas.

### Antecedentes de la invención

1. **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un vehículo sobre raíles ligero con un sistema de diagnóstico predictivo para un sistema de puerta automatizada motorizada. El sistema de diagnóstico vigila el sistema de puerta automatizada para permitir el mantenimiento basado en condiciones.

2. **Descripción de la técnica anterior**

Un sistema de puerta automatizada motorizada de un vehículo ligero sobre raíl es un sistema electromecánico que se degrada a lo largo del tiempo. Actualmente, el sistema de puerta automatizada requiere un mantenimiento preventivo que emplea mucha mano de obra para garantizar una alta fiabilidad. Este enfoque de mantenimiento "basado en el tiempo" tiene como consecuencia que el sistema y sus componentes son mantenidos incluso donde no hay necesidad de mantenimiento, dando como resultando altos costes de mantenimiento, un uso inefectivo de los recursos de mantenimiento y un tiempo de inactividad significativo.

### Sumario de la invención

Un objeto de la invención es proporcionar una alternativa al mantenimiento preventivo programado de un sistema de puerta automatizada de vehículo sobre raíles ligero que reducirá los costes de mantenimiento y aumentará la eficiencia de mantenimiento a la vez que mantiene o incrementa la disponibilidad del sistema de puerta automatizada. Esto se consigue mediante el procedimiento según la reivindicación 1 y del aparato según la reivindicación 7.

En consecuencia, se ha desarrollado un sistema de diagnóstico predictivo para su uso con un sistema de puerta automatizada de vehículo sobre raíles ligero para vigilar el sistema de puerta e identificar cuándo es necesario el mantenimiento basado sobre condiciones medidas del sistema de puerta. El aspecto diagnóstico predictivo de la presente invención requiere conocer las condiciones normales y de fallos del sistema de puerta, determinar las desviaciones características de puerta del estado actual, calcular ritmo a que se producen las condiciones de fallo e invocar el mantenimiento antes de que se produzcan las condiciones de fallo.

Cuando el sistema de puerta automatizada funciona, las condiciones climáticas, las sustancias extrañas en el recorrido de las puertas y en los carriles de las puertas, el desgaste normal de los componentes por la fricción y la tensión, la gente que sujeta las puertas abiertas, etc., producen la degradación de los componentes del sistema, tales como el motor eléctrico, las palancas, los rodillos y/o los carriles. Esta degradación conduce a fallos, tales como apertura y cierre inapropiados de la puerta, rodillos desgastados, brazo de operador doblado, y un carril de brazo de operador desgastado. Estos fallos incrementan la resistencia de fricción contra la puerta, haciendo que el motor funcione más forzado. Por lo tanto, el efecto de fricción sobre la puerta es un parámetro de diagnóstico importante para el sistema de puerta automatizada.

El sistema de diagnóstico predictivo para el sistema de puerta automatizada de un vehículo sobre raíles ligero según la presente invención vigila el sistema de puerta motorizada y determina su salud actual y el ritmo de degradación. Durante el funcionamiento del sistema de puerta, se verifican diversos parámetros con respecto a desviaciones características que indican un fallo de sistema inminente. Las desviaciones son detectadas por comparación del estado actual de los parámetros con valores de parámetros pasados, con lo cual se determina la salud actual y el ritmo de degradación del sistema de puerta. A partir del ritmo de degradación y de un punto conocido en el cual el sistema requiere mantenimiento, se puede determinar un tiempo predicho para el fallo. A su vez, se puede proporcionar una indicación del mantenimiento requerido, evitando de este modo una inspección preventiva innecesaria de equipo en buen estado.

El sistema de diagnóstico, por lo tanto, puede predecir fallos del sistema de puerta con bastante adelanto de manera que el mantenimiento requerido se pueda realizar durante los periodos de mantenimiento programados. La ventaja de usar los diagnósticos preventivos es que el sistema de puerta automatizada no será sometido a un sobremantenimiento, sino que por el contrario se someterá a mantenimiento solamente cuando sea necesario, dando como resultado una reducción de los fallos de tipo degradación, una reducción en los costes de mantenimiento, un aumento de la eficiencia de mantenimiento y un aumento en la disponibilidad del sistema.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista esquemática de la presente invención;

La figura 2 es una vista en planta frontal del sistema de puerta automatizada de la figura 1; y

La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra el procedimiento general según la presente invención.

**Descripción de las realizaciones preferidas**

Se obtendrá una comprensión completa de la invención a partir de la siguiente descripción cuando se tome en conexión con las figuras de dibujos anexas en los cuales los caracteres de referencia identifican partes iguales a lo largo de todos ellos.

La figura 1 ilustra un vehículo sobre raíles ligero con un sistema de diagnóstico predictivo para una puerta 100 automatizada motorizada según la presente invención. La presente invención incluye un vehículo 110 sobre raíles ligero, un sistema 112 de puerta automatizada, al menos una tarjeta 114 de recogida de datos, un programa 116 de recogida de datos, un algoritmo 118 de suavizado exponencial y una red neuronal 120 (el programa 116 de recogida de datos, el algoritmo 118 de suavizado exponencial y la red neuronal 120 son programas informáticos).

Una red neuronal es un modelo informático capaz de sacar conclusiones de un conjunto de condiciones. (Véase Fausset, L., *Fundamentals of Neural Network*, Prentice Hall (1994); Haykin, S., *Neural Networks - A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall (1994). Las redes neuronales se forman usando observaciones recogidas a partir del sistema bajo investigación. Una vez capacitada, la red neuronal reconoce modelos similares a aquellos con los cuales se la ha formado y, por consiguiente, clasifica los nuevos modelos. La red neuronal de la presente invención se usa como una herramienta de evaluación de estado. De este modo, antes de usarse en el sistema de diagnóstico predictivo para una sistema 100 de puerta automatizada de vehículo sobre raíles ligero, la red neuronal tiene que aprender diversas condiciones del sistema comparando modelos del sistema observado, el sistema en funcionamiento normal (es decir, funcionando según las especificaciones), y el sistema funcionando con fallo.

Por ejemplo, los datos pueden ser recogidos para formar la red neuronal configurando un sistema de puerta de ensayo para simular el sistema de puerta en funcionamiento. Los datos pueden ser recogidos mientras el sistema está funcionando en condiciones normales (es decir, funcionando según las especificaciones). Se puede aplicar fricción al sistema para simular el funcionamiento del sistema de puerta con degradaciones en el sistema. Se pueden aplicar diferentes grados de fricción para simular diferentes etapas o tipos de degradación. Se pueden instalar piezas conocidas defectuosas para simular el funcionamiento del sistema en condiciones de fallo. Los datos recogidos en los diversos estados del funcionamiento del sistema pueden ser introducidos en la red neuronal con fines formativos.

La figura 2 ilustra un sistema 112 de puerta automatizada de vehículo sobre raíles ligero. Típicamente, el vehículo 110 sobre raíles ligero tiene cuatro pares de puertas 212, estando cada puerta 212 controlada por un sistema 112 de puerta dedicada. Cada sistema 112 de puerta tiene típicamente un motor 210, una puerta 212, un brazo de operador 214, un carril superior 216, un carril inferior 218, y una pluralidad de conmutadores 226 posicionados en posición fija alrededor de una leva 224 que está acoplada a un eje 225 del motor 210. Cada puerta 212 tiene también un carril 220 de brazo de operador y rodillos 222. Los conmutadores 226 se utilizan para vigilar una posición de la puerta 212 como una función de un lóbulo de la leva 224 que engancha cada conmutador en respuesta a la rotación de la leva 224 cuando el motor 210 abre y/o cierra la puerta 212. Alternativamente, el sistema 112 de puerta puede ser cualquier sistema de puerta convencional usado con vehículos sobre raíles ligeros Por ejemplo, el sistema 112 de puerta puede usar codificadores (no mostrados) en lugar de una leva 224 y conmutadores 226 para determinar la posición de la puerta 212. A título de ejemplo, el sistema 112 de puerta puede ser un sistema de mando simpatético con un mando por cremallera (no mostrado) que acciona ambas puertas 212 de un par de puertas o con un par de mandos por cremallera (no mostrados) para accionar ambas puertas 212.

En funcionamiento con la configuración típica anteriormente descrita, cada sistema 112 de puerta automatizada recibe señales de un sistema de control que da instrucciones al motor 210 para abrir o cerrar la puerta 212. El motor 210 gira la leva 224 y el brazo 214 de operador. El carril 220 de brazo de operador guía el movimiento del brazo 214 de operador. El movimiento del brazo 214 de operador tira de o empuja la puerta 212 hacia una posición abierta o cerrada. La parte superior de la puerta 212 tiene rodillos 222 que se desplazan en el carril superior 216 con fines de guiado. La parte inferior de la puerta 212 está guiada por el carril 218 inferior. Al pasar la puerta 212 por su ciclo, un lóbulo de la leva 224 hace selectivamente que cada conmutador 226 se active y conecte o desconecte resistencia en un circuito eléctrico del sistema 112 para cambiar la velocidad de la puerta 212 móvil, así como otras funciones de control de la puerta. La activación de los conmutadores 226 también indica la posición de la puerta 212 a lo largo de su desplazamiento. De nuevo, cualquier sistema de puerta convencional o sistema que indica la posición de la puerta 212 a lo largo de su ciclo de apertura y cierre puede ser utilizado.

Respecto de las figuras 1 y 2, el sistema 100 de diagnóstico predictivo de vehículo sobre raíles ligero vigila el sistema 112 de puerta motorizada y determina su salud actual y la velocidad de degradación. Al cerrarse y abrirse los ciclos de puerta, el motor 210 gira la leva 224 y el brazo 214 de operador. Los conmutadores 226 envían señales a la tarjeta 114 de recogida de datos basados en la posición de la leva 224. Estas señales indican la posición de la puerta 212 a lo largo del ciclo. La tensión y la corriente del motor 210 también son enviadas a la tarjeta 114 de recogida de datos. Preferiblemente, la tarjeta 114 de recogida de datos recoge 100 muestras por segundo. Sin embargo, se pueden usar otras velocidades de muestreo.

Los datos recogidos por la tarjeta 114 de recogida de datos son procesados por el programa 116 de recogida de datos. El programa 116 de recogida de datos puede ser integral con la tarjeta 114 de recogida de datos o se puede ejecutar en un ordenador, por ejemplo un ordenador personal portátil. La tarjeta 114 de recogida de datos puede enviar los datos al programa 116 de recogida de datos en un ordenador a través de una red en serie RS485, aunque

se pueden usar otras redes. El ordenador puede albergar la tarjeta 114 de recogida de datos y el programa 116 de recogida de datos. El programa 116 de recogida de datos puede ser escrito en el lenguaje C++. El programa 116 de recogida de datos puede estar destinado a recoger datos cuando tanto la tensión de cierre como la tensión de apertura no son iguales a cero (es decir, recoger datos solamente cuando el sistema 112 de puerta está activado). Los datos pueden ser almacenados en cualquier formato apropiado para el sistema 100 de diagnóstico. A título de ejemplo, los datos pueden ser almacenados de manera que los ocho primeros bits de datos sean digitales E/S y el resto de bits sean tensión sobre una armadura del motor 210 durante un funcionamiento abierto, tensión sobre la armadura del motor 210 durante un funcionamiento cerrado, tres mediciones de corriente, temperatura y número de trama (es decir, número de grabación).

El programa 116 de recogida de datos calcula el consumo de energía y de tiempo para el sistema de puerta a lo largo de su ciclo. Los valores de consumo actual e histórico son proporcionados al algoritmo de suavizado exponencial 118 para ser procesados en un conjunto de entrada para ser sometidos a la red neuronal 120. Preferiblemente, el algoritmo de suavizado exponencial 118 y la red neuronal 120 están alojados en el mismo ordenador que el programa 116 de recogida de datos. Alternativamente, se puede utilizar más de un ordenador para el programa 116 de recogida de datos, el algoritmo 118 de suavizado exponencial y la red neuronal 120. Cuando se utilizan más de un ordenador, los ordenadores pueden comunicarse entre sí.

La red neuronal 120 determina la velocidad de degradación. A partir de la velocidad de degradación y un punto conocido en el que el sistema 112 de puerta requiere mantenimiento, se puede determinar un tiempo predicho para el fallo. El mantenimiento se programa basado en la velocidad de degradación. La ventaja particular del diagnóstico predictivo es la capacidad para anticiparse al fallo antes de que este ocurra de hecho.

La red neuronal de la presente invención puede ser una de cualquier paradigma de redes neuronales convencionales. La realización preferida de la presente invención utiliza una de las siguientes redes neuronales: red de retropropagación, red de correlación en cascada o red de función de base radial. Estas tres redes neuronales son redes supervisadas que sirven como aproximadores universales de función.

La figura 3 ilustra el procedimiento 300 general del sistema de diagnóstico predictivo para la puerta 100 automatizada motorizada de vehículo sobre raíles ligero. La tarjeta 114 de recogida de datos se usa en el paso 310 para recoger datos del sistema 112 de puerta automatizada. Los datos recogidos incluyen corriente de motor, tensión de motor, y señales de conmutación a través de posiciones discretas del desplazamiento de la puerta. La tarjeta 114 de recogida de datos envía los datos al programa 116 de recogida de datos. La corriente usada por el motor de puerta se usa para determinar la corriente a través del motor sustrayendo la corriente a través bien de un circuito de resistencias abierto o cerrado de la corriente total. Los datos de tensión de armadura se usan en los cálculos de energía y de potencia de puerta. Los datos de los conmutadores de puerta se usan para la información de tiempo y el estado de la puerta.

En el paso 312, el programa 116 de recogida de datos calcula los valores actuales de consumo de energía y de tiempo para el sistema. Para el sistema 112 de puerta automatizada de vehículo sobre raíles ligero de la presente invención la energía se calcula como sigue:

$$\text{Energía} = I \left| c_1 V_C - c_2 V_D \right| c_3 T$$

$$I = \frac{c_3 V_{sg}}{c_4 c_5}$$

donde I significa la corriente, $V_C$ y $V_D$ representan tensión de cierre y tensión de apertura, respectivamente, Vsg significa la tensión derivada a tierra, y T significa el tiempo entre dos muestras. $C_1$, $c_2$, $c_3$, $c_4$ y $c_5$ son factores de conversión seleccionados para el circuito dado en la realización preferida donde se usan cinco conmutadores para medir la posición de la puerta. El programa 116 de recogida de datos envía tanto los valores de consumo de energía y de tiempo actuales como históricos al algoritmo 118 de suavizado estadística en los pasos 314 y 316, respectivamente.

En el paso 318, el algoritmo 118 de suavizado exponencial produce un conjunto de valores de consumo de energía y de tiempo basados en los datos de consumo de energía y tiempo actuales e históricos. El algoritmo 118 de suavizado exponencial reduce el ruido en los datos y detecta la tendencia de la degradación. El algoritmo 118 de suavizado exponencial es un algoritmo bien conocido personalizado para su uso en la presente invención como sigue:

O-S-A Previsión (adelanto de un paso) $F_t = S_{t-1} + G_{t-1}$

$$\text{Media } S_t \quad = \alpha D_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + G_{t-1})$$
$$= \alpha D_t + (1-\alpha)F_t$$

$$\text{Tendencia } G_t \quad = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)G_{t-1}$$

donde D, representa los datos originales $\alpha$ y $\beta$ significan constantes de suavizado que son elegidas basadas en el sistema. Para comparar el efecto de diversas constantes de suavizado, se puede calcular una Media de error de Previsión Absoluto (MAFE) para conjuntos de $\alpha$ y $\beta$ y el conjunto de $\alpha$ y $\beta$ que tiene el MAFE más pequeño puede ser seleccionado para el sistema.

El conjunto de valores de consumo de energía y tiempo es sometido en forma de entrada a la red neuronal 120. En el paso 320, la red neuronal 120 genera un grado de degradación del sistema (conclusión) basado en el conjunto de valores (condiciones) de consumo de energía y tiempo. La degradación puede ser indicada en términos de una confianza de una predicción de degradación, una severidad estimada, un tiempo estimado para que se produzca el fallo, y una causa de degradación presentadas por probabilidad. A partir del grado de degradación y un punto conocido donde se requiere mantenimiento (un nivel umbral), se puede determinar un tiempo predicho para que ocurra el fallo. El nivel umbral puede ser definido inicialmente por personal de mantenimiento basado en la experiencia o en los requisitos del fabricante. El nivel umbral se puede ajustar si fuese necesario. En los pasos 322, 324 y 326 el grado de degradación sobrepasa el nivel umbral, por ejemplo en más de 0,5, se recomienda mantenimiento; por el contrario, el procedimiento 300 se repite empezando por la recogida de datos en el paso 310. En el paso 324, el sistema 112 o sus componentes pueden ser recomendados para una atención de mantenimiento inmediatamente o en un momento particular en el futuro, por ejemplo, después de un número específico de ciclos de apertura y cierre.

Los expertos en la técnica entenderán que aunque las descripciones anteriores sean expuestas en realizaciones preferidas en detalle de la presente invención se pueden llevar a cabo modificaciones, adiciones y cambios sin salirse del alcance de la invención.

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para identificar cuándo se requiere un mantenimiento en un sistema de puerta automatizada motorizada de vehículo sobre raíles ligero, que comprende los pasos de:

a) recoger datos (310) a partir del sistema de puerta (112);

b) calcular los valores actuales de consumo de tiempo y de energía (312) para el sistema de puerta a partir de los datos;

c) proporcionar un conjunto (318) de valores de consumo de tiempo y de energía a partir de los valores actuales de consumo de tiempo y de energía y de los valores históricos de consumo de tiempo y de energía;

d) generar un grado de degradación (320) del sistema a partir del conjunto de valores de consumo de tiempo y de energía;

e) generar un tiempo estimado hasta el fallo del sistema a partir del grado de degradación y de un punto conocido en el que el sistema requiere un mantenimiento (322); y

f) identificar las necesidades de mantenimiento a partir del tiempo estimado hasta el fallo.

2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que los datos recogidos en el paso a) incluyen la corriente del motor, la tensión del motor y la posición de la puerta en un momento dado del sistema de puerta.

3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el cual la posición de la puerta está determinada a partir de los datos enviados por los conmutadores colocados de manera fija alrededor de una leva acoplada a un eje de un motor del sistema de puerta.

4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el cual

al menos una tarjeta de recogida de datos conectada eléctricamente al sistema de puerta recoge los datos en la etapa a);

un ordenador conectado eléctricamente a la tarjeta de recogida de datos recibe los datos procedentes de la tarjeta de recogida de datos, incluyendo el ordenador un programa de recogida de datos que calcula los valores actuales de consumo de tiempo y de energía en la etapa b);

un algoritmo de suavizado exponencial produce el conjunto de valores de consumo de tiempo y de energía en la etapa c); y

una red neuronal calcula la velocidad de degradación y el tiempo estimado hasta el fallo, e identifica las necesidades de mantenimiento.

5. El procedimiento según la reivindicación 4, en el cual el ordenador incluye también la tarjeta de recogida de datos.

6. El procedimiento según la reivindicación 4, en el cual la red neuronal es una red neuronal de retropropagación, de correlación en cascada o de función de base radial.

7. Un aparato para identificar cuándo se requiere un mantenimiento en un sistema de puerta automatizada motorizada de vehículo sobre raíles ligero, que comprende:

un medio para indicar una posición de una puerta en los ciclos de apertura y de cierre;

al menos una tarjeta de recogida de datos (114) conectada eléctricamente al motor y al medio para indicar la posición de la puerta;

al menos un ordenador que incluye un programa de recogida de datos (116), un algoritmo de suavizado exponencial (118) y una red neuronal (120),

en el cual la tarjeta de recogida de datos recoge datos a partir del motor y del medio para indicar la posición de la puerta en función de ciclos de apertura y cierre del sistema de puerta, el programa de recogida de datos y el algoritmo de suavizado exponencial calculan un conjunto de valores de entrada en función de los datos, y la red neuronal determina una velocidad de degradación y un tiempo estimado hasta el fallo del sistema de puerta en función del conjunto de valores de entradas e identifica cuando se requiere un mantenimiento en el sistema de puerta.

8. El aparato según la reivindicación 7, en el cual el medio para indicar la posición de la puerta es una pluralidad de conmutadores colocados de manera fija alrededor de una leva acoplada en un eje de un motor del sistema de puerta.

9. El aparato de la reivindicación 7, en el cual los datos recogidos incluyen la corriente del motor, la tensión del motor, y las señales de conmutación en un momento dado del sistema de puerta.

10. El aparato de la reivindicación 7, en el cual al menos un ordenador está conectado eléctricamente a la tarjeta de recogida de datos e incluye el programa de recogida de datos.

11. El aparato de la reivindicación 7, en el cual la red neuronal es una red neuronal de retropropagación, de correlación en cascada o de función de base radial.

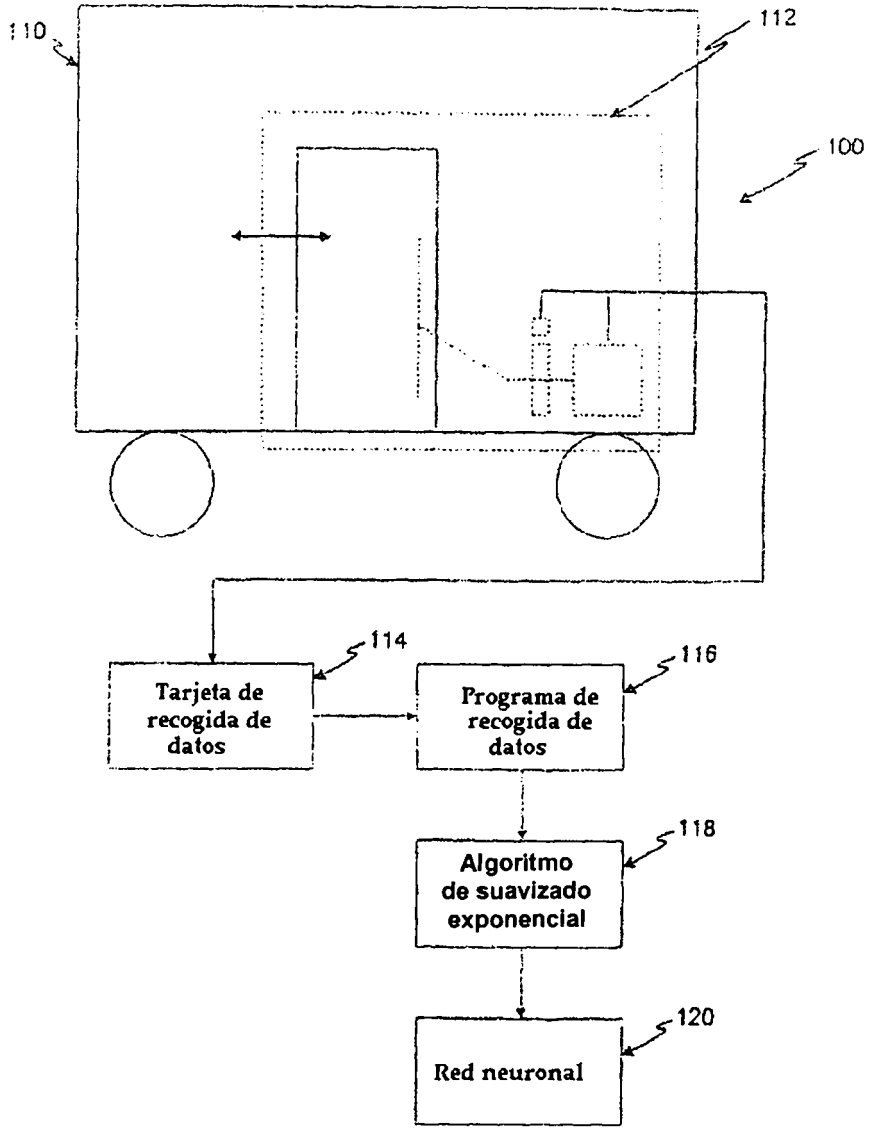

110
112
100
114
Tarjeta de recogida de datos
116
Programa de recogida de datos
118
Algoritmo de suavizado exponencial
120
Red neuronal

FIG. 1

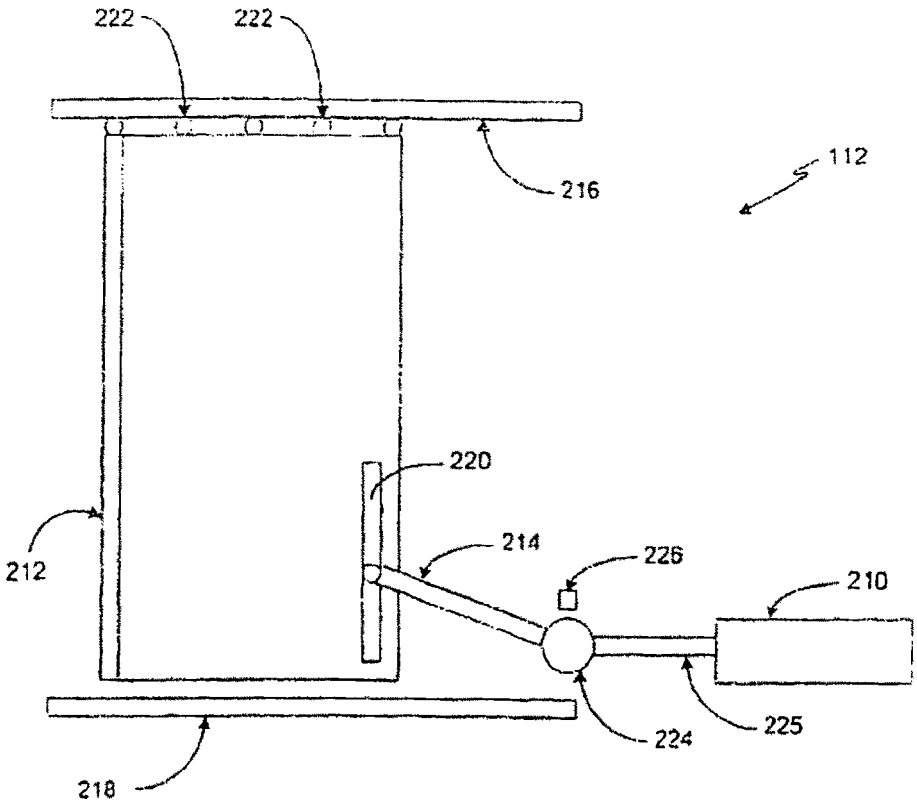



FIG. 2

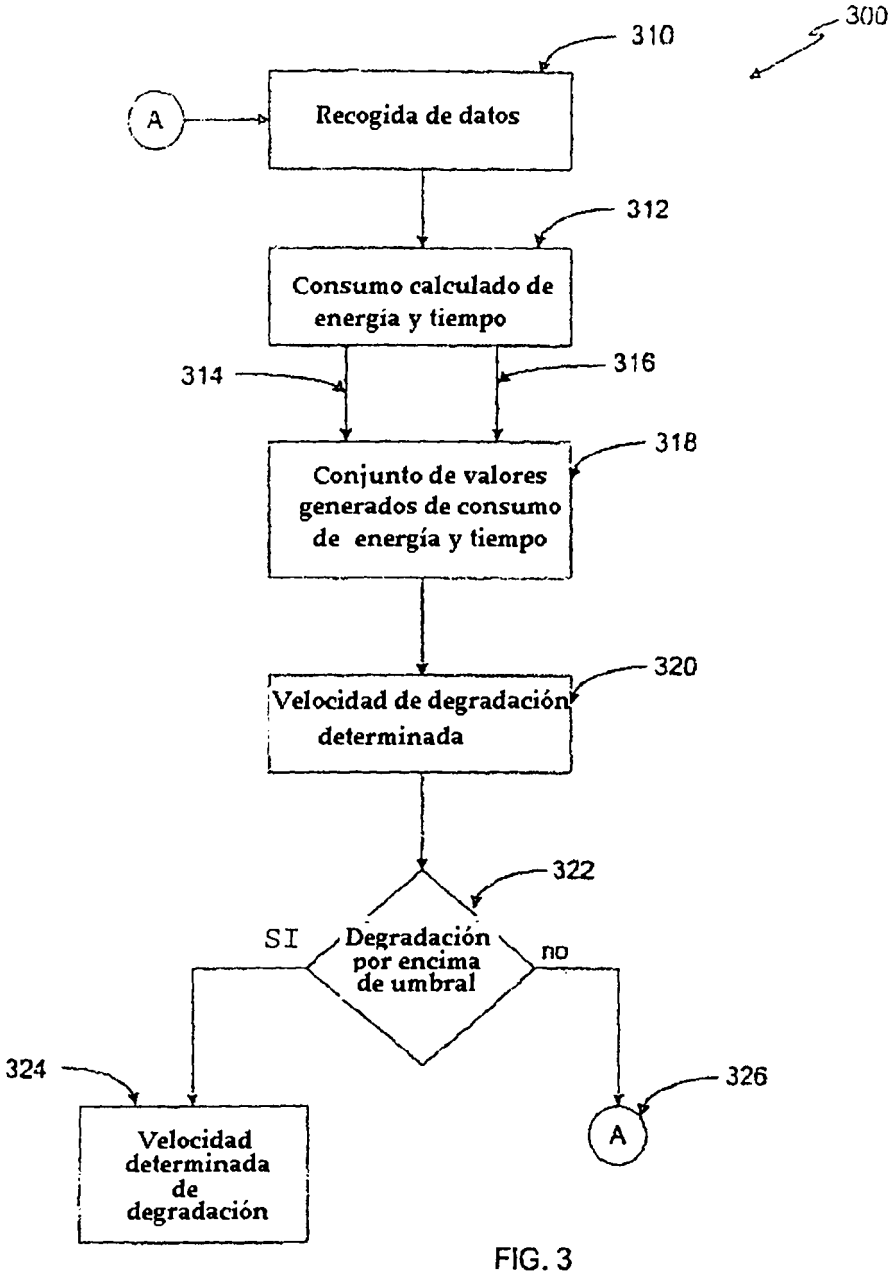

300
310
A
Recogida de datos
312
Consumo calculado de energía y tiempo
314
316
318
Conjunto de valores generados de consumo de energía y tiempo
320
Velocidad de degradación determinada
322
SI
Degradación por encima de umbral
no
324
Velocidad determinada de degradación
326
A

FIG. 3