

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 320**

51 Int. Cl.:

**G01R 31/36** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.06.2009 PCT/ES2009/070218**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.12.2009 WO09156533**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.06.2009 E 09769379 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 2295997**

54 Título: **Procedimiento de diagnóstico de baterías**

30 Prioridad:

**10.06.2008 ES 200801752**

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

**03.05.2019**

73 Titular/es:

**METRO DE MADRID, S.A. (100.0%)  
C/Cavanilles, 58  
28007 Madrid, ES**

72 Inventor/es:

**GONZALEZ FERNANDEZ, FRANCISCO, JAVIER;  
GARCIA SAN ANDRES, M<sup>a</sup> ANTONIA;  
SANCHO DE MINGO, CARLOS;  
MUÑOZ CONDES, PILAR y  
GOMEZ PARRA, MIGUEL**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 711 320 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de diagnóstico de baterías

**Objeto de la invención**

5 La presente solicitud de Patente de Invención tiene por objeto el desarrollo de un procedimiento de diagnóstico de baterías en entornos dinámicos que permita garantizar una elevada fiabilidad de las baterías para implementar un plan de mantenimiento predictivo, anticipándose al fallo de las mismas.

Más concretamente, el procedimiento de la presente invención se basa en la medida de la impedancia de conjuntos de celdas o módulos de las baterías para reducir el tiempo empleado en la realización del mantenimiento pero sin pérdida de seguridad y fiabilidad, y en donde además se tiene en cuenta la influencia de la temperatura.

10 **Antecedentes de la invención**

Actualmente, el uso de baterías está ampliamente extendido, utilizándose estas en innumerables aplicaciones y sectores de la técnica en donde es necesario asegurar la operación de equipos eléctricos críticos, como pueden ser, por ejemplo, instalaciones industriales de generación eléctrica, subestaciones para protección y control de seccionadores y relés, sistemas telefónicos, servicios de emergencia, aplicaciones industriales para protección y control, respaldo de computadoras o sistemas informáticos, etc.

Todos estos campos se refieren al uso de baterías en entornos estáticos, perfectamente controlados y en donde las variaciones de las condiciones de contorno son mínimas.

20 Sin embargo, existen campos en donde las condiciones de trabajo y la problemática asociada a dichas condiciones difieren sustancialmente de una aplicación estacionaria, como sucede por ejemplo en el entorno ferroviario, en donde las baterías se utilizan para aportar la energía de servicio mínima necesaria ante un fallo en el funcionamiento de los equipos de alimentación principales.

25 Actualmente, aunque son conocidas baterías especialmente diseñadas para aplicaciones ferroviarias, no se conocen metodologías de mantenimiento de dichas baterías que tengan en cuenta el particular entorno del trabajo ferroviario, por lo que el mantenimiento de las mismas se realiza de igual manera que para aquellas baterías instaladas en entornos más estructurados en condiciones estacionarias o estáticas.

Sin embargo, en el entorno ferroviario existen una serie de condicionantes tan particulares que hacen que un mantenimiento de sus baterías basado en el que se utiliza en entornos estacionarios no sea la más adecuada, ni en cuanto a la fiabilidad, ni a la seguridad, ni tampoco al coste desde el punto de vista del tiempo empleado en realizar dicho mantenimiento.

30 Así, dichas condiciones particulares a tener en cuenta en los entornos ferroviarios y que difieren respecto a las de los entornos estáticos podrían resumirse en tres fundamentales:

- 35 - Existen diversidad de equipos. En una explotación ferroviaria se cuenta con un parque de material móvil muy extenso y de muy diferente tipología, lo que implica que el número de baterías a mantener en óptimas condiciones es muy elevado. Esta dificultad se ve incrementada en el caso de ferrocarriles metropolitanos, en donde el número de vehículos, y por lo tanto el de baterías a mantener, puede llegar a varios centenares. Esto no supone un problema solo desde el punto de vista numérico y por lo tanto desde el punto de vista del tiempo empleado en el mantenimiento, sino también desde el punto de vista del elevado número de baterías diferentes empleadas.
- 40 - Condiciones ambientales. Las baterías ferroviarias no están ubicadas en salas con condiciones de temperatura, humedad y suciedad controladas, sino que muy al contrario están sometidas a los rigores de las condiciones ambientales externas, que pueden ser enormemente variables. Además, esta variación térmica puede ser a corto plazo a medida que el tren se desplaza en su recorrido, o a largo plazo, debido al paso de las estaciones (verano – invierno).
- 45 - Descargas profundas. Una de las funciones principales de cualquier batería es garantizar el suministro eléctrico cuando la fuente principal de energía se interrumpe. En sistemas estacionarios de baterías la fuente principal de energía suele ser la red eléctrica convencional, mientras que en el caso de los ferrocarriles, los equipos electrónicos de potencia convierten la tensión principal de alimentación en otras tensiones que puedan ser utilizadas por los diferentes equipos del vehículo. La fiabilidad de estos sistemas de alimentación es menor que la de la red eléctrica si se miden por el tiempo medio entre fallos. Esta diferencia se acentúa, además, si se consideran solo aquellas interrupciones de servicio de más de 30 minutos. La consecuencia directa de esta particularidad es que el número de descargas profundas de una batería ferroviaria es mucho mayor que la de una batería ubicada en un entorno estacionario, lo que afecta a la esperanza de vida de dicha batería y por lo tanto debe tenerse en cuenta en el plan de mantenimiento.

55 Estos condicionantes obligan a diseñar planes de mantenimiento que minimicen las arduas tareas a realizar y el tiempo empleado, a la vez que se garantiza la vida de las baterías hasta el siguiente ciclo de mantenimiento

previsto, o al menos, proporcionar información que permita estimar la vida útil remanente antes del fallo para tomar una actitud proactiva y de esa manera estar en condiciones de adelantarse a la avería.

5 Como ya se ha dicho, actualmente se emplean técnicas de mantenimiento de baterías para el entorno ferroviario similares a las utilizadas en entornos estacionarios, como la medida de la impedancia interna, la cual se basa en medir la impedancia de cada celda individual de cada batería para de esa forma diagnosticar el estado en función de la dispersión que presentan los valores de impedancia de distintas celdas dentro de la misma batería. Es decir, el diagnóstico se basa o fundamenta en una comparación de todos los valores de impedancia de cada celda con la media. Un ejemplo de esto puede verse en el documento JP-A-2006292565.

10 Esta metodología, sin embargo, presenta una serie de limitaciones y carencias importantes cuando se aplica a las baterías del entorno ferroviario, como son las siguientes:

- El tiempo requerido para las operaciones es muy elevado, ya que es imprescindible medir individualmente todas las celdas de la batería, uno a uno. En baterías típicamente ferroviarias con gran cantidad de celdas (una de 110 V tiene 52 celdas de Pb o 80 de Ni-Cd) el tiempo empleado para la medida completa es muy elevado. Si este elevado tiempo por cada batería se multiplica por el número de baterías a mantener se obtiene un costo horario para las tareas de mantenimiento a todas luces excesivo.
- La ubicación de las baterías en el entorno ferroviario es, a menudo, de difícil acceso, lo que dificulta la medida de la impedancia, que debe tomarse en los terminales de cada celda. Esto afecta directamente a la seguridad, pues la toma de medidas obliga a descubrir las protecciones de dichos terminales, con el riesgo que esto supone de cortocircuitos accidentales debidos a caídas de objetos metálicos sobre la batería, o lo que es más grave, a contactos involuntarios del operario.
- Imposibilidad de establecer tendencias. Las técnicas basadas en la medida de la impedancia diagnostican el estado de la batería comparando la impedancia de cada celda con la media del conjunto medido. Al ser esta una medida relativa, una celda puede ser útil si se mide en el conjunto de una batería, pero inservible o defectuoso si se coloca en otra batería diferente. Esta relatividad impide asociar un estado de bueno o malo a cada celda individualmente, por lo que resulta imposible establecer una tendencia del deterioro de cada celda a lo largo del tiempo.

### **Descripción de la invención**

30 El procedimiento de mantenimiento predictivo de baterías de la invención que a continuación se describe resuelve los inconvenientes antes señalados, pues proporciona un sistema seguro y fiable para el diagnóstico del estado de baterías en entornos dinámicos como el ferroviario, en donde se tienen en cuenta aspectos que hacen variar la impedancia significativamente, como son tanto la influencia de la temperatura como el envejecimiento de dichas baterías.

35 De forma general, el procedimiento de la invención se basa, principalmente, en una medida absoluta de la impedancia a nivel de módulo, es decir, en una medida de los conjuntos de celdas individuales, lo cual ya de por sí supone evidentes mejoras respecto de los actuales sistemas de medida de celdas, pues la reducción de tiempo empleado en dicha medida es evidente al requerirse menos medidas, especialmente en los casos en los que dichas celdas se encuentran en lugares más inaccesibles. Esta reducción en el tiempo se ve además favorecida por el hecho de que no es necesario retirar las protecciones de los terminales.

40 La no necesidad de retirada de la protección de los terminales es debido a que, dado que los módulos se conectan en serie, los terminales de estas interconexiones entre módulos suelen estar accesibles. Esto implica que, además del ahorro de tiempo antes mencionado, se evitan los contactos de riesgo accidental, por lo que mejora la seguridad del operario. Asimismo, el hecho de no tener que acceder a las celdas situadas en los lugares más inaccesibles redundará en una mejora en la ergonomía del trabajo de medición, evitando lesiones por posturas inadecuadas o sobreesfuerzos.

45 Por último, dado que el procedimiento de la invención se basa en la medida de valores absolutos de impedancia a nivel de módulo en lugar de hacerlo por comparación de valores de celda con el de la batería completa, esto hace que el valor obtenido sea independiente al de los otros módulos, lo que abre la puerta a realizar estudios de tendencia y así poder implantar un plan de mantenimiento predictivo.

50 De cara a que, como ya se ha dicho, en la medida efectuada en cada módulo sean tenidos en cuenta tanto el efecto de la temperatura como el del tiempo que lleva en funcionamiento la batería, se aplican sendos algoritmos de corrección de dicha medida, algoritmos que son calculados previamente en base a una muestra suficientemente representativa de baterías del mismo modelo.

55 Más concretamente, se calcula un primer algoritmo de corrección de la impedancia con la temperatura, seguido de un segundo algoritmo, denominado de contraste, aplicado a dicha impedancia corregida con el fin de tener en cuenta el efecto que el envejecimiento de las baterías tiene sobre la impedancia.

La obtención del algoritmo de corrección de la impedancia con la temperatura se basa en el hecho de que, independientemente del tipo de batería, la impedancia interna decrece al aumentar la temperatura, siendo dicha

variación prácticamente lineal.

La obtención de este algoritmo comprende las siguientes etapas:

- Medición de la impedancia de varios módulos de baterías del mismo modelo en distinto estado de ciclo de vida, específicamente en el estado inicial, al final de su vida útil y en uno o varios estados intermedios.
- 5 - Efectuar medidas de la impedancia de cada módulo a diferentes temperaturas.
- Obtención, para cada uno de los módulos, de la familia de rectas de la impedancia en función de la temperatura, de la forma:

$$Z = m_i \cdot T + a_i \quad (a)$$

- 10 - Obtención, para cada módulo y temperatura a la que se han tomado medidas, de parejas de valores que definen un conjunto de rectas que relacionan la impedancia Z y la pendiente  $m_i$  para cada valor de  $T_j$ , de la forma:

$$Z = b_j \cdot m + k \quad (b)$$

- Obtención del valor de  $b_j$ , que varía notablemente con cada valor de  $j$ , al contrario que  $k$ , cuyo valor es muy similar para cada valor de  $j$ , ya que en condiciones ideales ( $m=0$ ) la impedancia no se ve modificada para la temperatura, luego para cualquier T el valor de Z es el mismo,  $k$ . Dicha obtención del valor de  $b_j$ , en función de T, consiste en tomar el conjunto de valores  $b_j$  engendrada por cada  $T_j$  como una variación lineal del tipo:
- 15

$$b_j = \alpha \cdot T + \beta \quad (c)$$

donde  $b_j$  es la pendiente de las rectas ( $m, Z$ ) obtenidas para cada valor de temperatura.

A continuación, para cada valor de T fijado, se determina el valor de b y se calcula la recta que une estos puntos, obteniéndose los valores  $\alpha$  y  $\beta$ .

- 20 - Obtención de la expresión de la compensación a aplicar uniendo las expresiones (b) y (c), de la forma:

$$m(m\Omega / ^\circ C) = \frac{Z - k}{\alpha T + \beta} \quad (d)$$

Como ya se ha puesto de manifiesto, dado que la impedancia decrece con la temperatura, el valor de m es negativo, hecho que es aprovechado en la obtención del segundo algoritmo de corrección, el de contraste de dicha impedancia en función del estado del punto del ciclo de vida en el que se encuentra la batería.

- 25 Así, una vez hallada esta expresión, se está ya en condiciones de referenciar cualquier medida de impedancia efectuada por el operario en los módulos a una temperatura dada, obteniéndose así la impedancia corregida  $Z^*$  con la temperatura, y que no es otra cosa que el valor que se habría medido en una batería si esta se encontrara a una temperatura de referencia  $T_0$  en lugar de a la temperatura real T a la que estaba cuando se realizó la medida.

- 30 Dicho de otra forma, el algoritmo de corrección de la impedancia con la temperatura relaciona las medidas de impedancia tomadas por el operario en cada módulo, a diferentes temperaturas según la ocasión, con el valor teórico de impedancia que se hubiese medido si en ese momento la temperatura fuese igual a la de referencia  $T_0$ .

Dicha temperatura de referencia podrá ser cualquiera, con tal de que a lo largo de toda la vida del procedimiento de diagnóstico sea la misma, valor que puede ser fijado a priori, por ejemplo, por la persona que aplique el procedimiento de la invención.

- 35 Así, para la obtención final del valor de la impedancia corregida  $Z^*$  a las etapas anteriores deberían de sumarse las siguientes:

- Fijación de una temperatura arbitraria.
- Toma de muestras o medida de la impedancia de un módulo.
- Medición de la temperatura T en los terminales del módulo del cual se acaba de medir la impedancia.
- 40 - Introducción de los valores de Z y T medidos experimentalmente en la expresión (d) para obtener la corrección en ( $m\Omega / ^\circ C$ ) que hay que aplicar y así obtener  $Z^*$ , donde dicha  $Z^*$  viene dada por la expresión:

$$Z^* = Z - m ( T - T_0 ) \quad (e)$$

Y por lo tanto, despejando m y sustituyendo en (d) se tiene que:

$$Z^* = Z - \frac{Z - k}{\alpha T + \beta} (T - T_0) \quad (f)$$

A continuación, una vez calculados los valores corregidos de impedancia a través del algoritmo de corrección de la impedancia con la temperatura antes descrito, sobre ellos se aplica, como ya se ha dicho, un segundo algoritmo, denominado de contraste, a la impedancia corregida con el fin de tener en cuenta el efecto que el envejecimiento de las baterías tiene en la impedancia.

- 5 Este algoritmo de contraste está basado en procedimientos estadísticos, es decir, se trata de un algoritmo estadístico que garantice que la probabilidad de dar por mala una batería buena esté siempre acotada superiormente, o en otras palabras, un algoritmo mediante el cual se puede definir de antemano qué porcentaje de baterías buenas se van a dar por malas, de cara a que la probabilidad de dar por buena una batería mala sea despreciable. Dicha probabilidad es por lo tanto susceptible de ser fijada de antemano de acuerdo con los requisitos
- 10 específicos de cada mantenimiento con el fin de fijar unos valores “pasa – no pasa” o “apta – no apta” del criterio de diagnóstico.

La obtención de este algoritmo de contraste comprende las siguientes etapas:

- Medición de la impedancia de una cantidad representativa de módulos en servicio del mismo tipo y modelo, aplicando el algoritmo de corrección de la impedancia según la temperatura de las etapas anteriores.
- 15 Para facilitar el trabajo, conviene transformar la impedancia corregida  $Z^*$  en una nueva variable  $X$  que siga una distribución normal, según cualquier procedimiento de transformación estadístico conocido.
- Obtención de la distribución normal de la variable transformada  $X$ .
  - Se calculan los estimadores de máxima verosimilitud de la distribución de la variable  $X$  con el fin de tener perfectamente caracterizada la distribución de valores para módulos de batería útiles del modelo estudiado.
- 20 - A continuación se fija el límite superior del intervalo de confianza para la variable  $X$  a partir de los estimadores de máxima verosimilitud, el cual nos dará el límite superior a partir del cual el módulo no se considera apto.
- Posteriormente, se transforman los límites del intervalo de confianza para la variable  $X$  en la variable  $Z^*$ , mediante la transformada inversa correspondiente.
  - Por último, la diagnosis de “útil – no útil” del módulo se realiza comparando los valores de impedancia corregida  $Z^*$  obtenidos anteriormente con el límite superior del intervalo de confianza antes definido de forma que si el valor medido es mayor que el valor límite, la batería habrá agotado su vida útil y el riesgo de fallo es alto, y por lo tanto es necesario proceder a su sustitución.
- 25

### **Descripción de los dibujos**

- 30 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

la Figura 1 muestra una gráfica de la relación entre la impedancia  $Z$  y la temperatura  $T$  para un ejemplo de realización de la presente invención.

- 35 la Figura 2 muestra una gráfica de la familia de rectas que se obtiene de la relación entre la impedancia  $Z$  y la temperatura  $T$  de la gráfica anterior.

la Figura 3 muestra una gráfica de la familia de rectas que se obtiene de relacionar la impedancia  $Z$  y la pendiente  $m$  de las rectas de la figura anterior para cada valor de  $T$ .

- 40 la Figura 4 muestra una gráfica de la recta que representa el valor de la pendiente de las rectas ( $m$ ,  $Z$ ) de las gráficas anteriores obtenidas para cada valor de  $T$ .

la Figura 5 muestra una gráfica que relaciona la tensión en descarga y la tensión en vacío durante ciertos intervalos de tiempo.

la Figura 6 muestra, finalmente, un diagrama de flujo de los pasos del procedimiento de la invención para un ejemplo de realización concreta.

### **Realización preferente de la invención**

Según una posible realización práctica del procedimiento de diagnóstico de baterías de la invención, el primer paso, previo al de la toma de mediciones de impedancias de los módulos de las baterías objeto del estudio sería el de calcular el algoritmo de corrección de la impedancia con la temperatura, según los siguientes pasos:

- En primer lugar, se procede a la medición de la impedancia de, por ejemplo, 4 módulos, uno nuevo, uno al final de su vida útil y dos módulos averiados. Dichos módulos se eligen averiados ya que la magnitud de la corrección depende del estado del módulo, por lo que cuanto peor es el estado, mayor es la magnitud de la corrección. El caso límite se encuentra cuando el módulo está averiado y sin posibilidad de recuperación, siendo necesaria su sustitución. Este caso límite indicará el máximo valor de la corrección, información muy útil para la determinación de dicha corrección.
- 50
- Se efectúan medidas de la impedancia de cada módulo a diferentes temperaturas, por ejemplo entre 5 y 35 ° C en intervalos de 5°C.
  - En una cámara climática se somete a cada uno de los cuatro módulos a ciclos térmicos idénticos, comenzando
- 55

por la temperatura más baja, la cual se alcanza en un mínimo de 18 horas, reprogramando dicha cámara en intervalos de 5 grados y esperando al menos 6 horas para estabilizar la temperatura de cada módulo y así vencer la inercia térmica de los mismos, midiéndose los valores de la impedancia de módulo en cada uno de esos intervalos, lo que da como resultado una gráfica de la impedancia en relación con la temperatura como la de la figura 1.

- 5 - En el siguiente paso se obtiene, según puede verse en la figura 2, la familia de rectas de la impedancia en función de la temperatura, que responde a la ecuación:

$$Z = m_i \cdot T + a_i \quad (a)$$

- 10 - Obtención, para cada módulo y temperatura a la que se han tomado medidas, de parejas de valores que definen un conjunto de rectas según la gráfica representada en la figura 3, en donde se relacionan la impedancia Z y la pendiente  $m_i$  para cada valor de  $T_j$ , que responden a la fórmula:

$$Z = b_j \cdot m + k \quad (b)$$

- Obtención del valor de  $b_j$  en función de T, lo cual consiste en tomar el conjunto de valores  $b_j$  engendrada por cada  $T_j$  como una variación lineal del tipo:

15 
$$b_j = \alpha \cdot T + \beta \quad (c)$$

la cual se representa en la figura 4 como una recta que responde a dicha ecuación.

- A continuación, se obtendría la expresión de la compensación a aplicar uniendo las expresiones (b) y (c), de la forma:

$$m(m\Omega / ^\circ C) = \frac{Z - k}{\alpha T + \beta} \quad (d)$$

- 20 y que para el valor de k del ejemplo de realización, que conceptualmente es la impedancia que debería tener un módulo para que fuera insensible a variaciones de temperatura, arroja el valor de 5,53, común a todas las rectas que se observan en la figura 3, por lo que se tiene que:

$$Z = (b_j m) + 5,53$$

y del paso representado por la gráfica de la figura 4:

25 
$$b = T - 67,15$$

donde el valor de 67,15 se ha obtenido al calcular los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  para la recta de regresión de la expresión (c), que para este caso concreto son del  $\alpha = 1$  y  $\beta = -67,15$  sustituyendo en (d) se obtiene que:

$$m (m\Omega / ^\circ C) = (Z - 5,53) / (T - 67,15)$$

- 30 Así, una vez hallada esta expresión se pueden referenciar las medidas de impedancia efectuadas por el operario en los módulos a una temperatura dada, obteniéndose la impedancia corregida  $Z^*$  con la temperatura para cada valor.

Dicha temperatura podrá ser, por ejemplo, de 20°C, por lo que para obtener el resultado de la impedancia corregida  $Z^*$  bastará con substituir los valores de Z y T medidos y dicha temperatura de referencia en la expresión (f):

$$Z^* = Z - \frac{Z - k}{\alpha T + \beta} (T - T_0) \quad (f)$$

- 35 A continuación, se aplica el segundo algoritmo, denominado de contraste, a dicha impedancia corregida con el fin de tener en cuenta el efecto que el envejecimiento de las baterías tiene en la impedancia, y que para un ejemplo del procedimiento de la invención constaría de las siguientes etapas:

- 40 - Medición de la impedancia, preferentemente de más de 80 módulos para asegurar una distribución lo suficientemente precisa, es decir, lo más representativa de la realidad posible, y que para el presente ejemplo se toma sobre 496 módulos nuevos y 424 módulos ya en servicio.

Es preciso obtener la distribución para módulos nuevos y módulos útiles, ya que la impedancia tiende a aumentar a lo largo del tiempo. Así, mientras la distribución de módulos nuevos responde bastante bien a una distribución normal porque todos los módulos medidos tienen el mismo tiempo de uso, es decir, cero o nada, cuando se trata de la distribución de módulos útiles el tiempo de servicio de cada módulo es heterogéneo, pudiendo encontrarse

módulos con mucho tiempo de servicio y por ende con valores de impedancia elevados. Esto genera una asimetría en la distribución, con una cola hacia valores mayores.

- 5 - Desechando los datos atípicos, es decir, aquellos fuera del intervalo  $[\mu - 2.5 \cdot s, \mu + 2.5 \cdot s]$  según la acotación de Tchebychev, la cual es utilizada para conocer cuál es el porcentaje de datos que están en el rango  $[\mu - k\sigma, \mu + k\sigma]$  siendo  $\mu$  la media muestral y  $s$  la desviación típica de la muestra, se tiene que:

$$P(\%) \leq 100 * \frac{1}{k^2} = 100 * \frac{1}{2,5^2} = 16\%$$

Como ya se explicó en la descripción de la invención, de cara a facilitar el trabajo, se transformaba la impedancia corregida  $Z^*$  en una nueva variable  $X$  que siguiera una distribución normal, para lo que en el ejemplo de realización de la invención se utiliza la denominada transformación Box Cox, la cual consiste en definir dicha variable  $X$  como :

10 
$$X = \frac{(Z^*)^\lambda - 1}{\lambda}$$

calculando posteriormente para los módulos útiles el estimador de máxima verosimilitud de dicho parámetro  $\lambda$ , es decir, aquel valor de  $\lambda$  que hace máxima la función soporte  $L(\lambda)$ .

Siendo la función soporte  $L(\lambda)$  (o logaritmo de la verosimilitud) en función del parámetro  $\lambda$ :

$$L(\lambda) = -\frac{n}{2} \ln \sum (y_i(\lambda) - \bar{y}(\lambda))^2$$

- 15 en donde:

$$y_i(\lambda) = \frac{Z^\lambda - 1}{\lambda \Omega^{\lambda-1}}$$

donde  $Z$  es la impedancia corregida y  $W$  es la media geométrica de todas las medidas de  $Z$ , e  $\bar{y}(\lambda)$  el promedio de todos los  $y_i$

- 20 Así, para el presente ejemplo de realización práctica se obtiene un valor de  $\lambda = -2,615$ , con el cual la variable  $X$  se distribuye como una Normal de media 0,3815 y desviación típica 0,00028.

A continuación, se fija un intervalo de confianza para  $X$  con un nivel de significación de 0,90, lo que supone que la probabilidad de que un valor mayor al límite superior pertenezca realmente a la distribución de módulos útiles es del 10 % ( $1 - 0,90 = 0,10$ ).

- 25 Dicho valor, aunque fijado arbitrariamente, deberá ser lo suficientemente alto para no descartar excesivos módulos útiles, pero no demasiado alto porque entonces podría “colarse” como bueno algún modulo con vida útil agotada. El valor elegido para el ejemplo es perfectamente asumible desde el punto de vista de desmontajes innecesarios, y además reduce a valores muy bajos la posibilidad de dar por bueno un módulo útil.

Así, para el ejemplo considerado dicho valor de confianza arroja un valor crítico de 0,38186 para la variable  $X$ . Aplicando entonces la transformada inversa correspondiente:

30 
$$Z^* = (1 + \lambda x)^{\frac{1}{\lambda}} ;$$

para este caso concreto se obtiene un valor crítico para  $Z^*$  de:

$$Z^* = (1 + \lambda x)^{\frac{1}{\lambda}} = (1 - 2,615 \cdot 0,38186)^{-\frac{1}{2,615}} = 12,24$$

de tal forma que si el valor medido es mayor que el valor límite ( $Z^*=12,24$ ), la batería habrá agotado su vida útil y el riesgo de fallo es alto y por lo tanto es necesario proceder a su sustitución.

- 35 Por último, existe un caso en el que el procedimiento anteriormente descrito no es capaz de detectar el fallo en la batería, que es cuando se produce un cortocircuito interno entre algunas de las placas que forman parte de cada celda del módulo.

Esto presenta un problema pues, si bien lo habitual es que la impedancia aumente a medida que el estado de la batería empeora, en esos casos se produce todo lo contrario, es decir, un descenso de la impedancia.

Sin embargo, esta disminución de la impedancia viene emparejada con una disminución en la tensión de la celda afectado, que puede alcanzar valores prácticamente nulos dependiendo de la severidad del cortocircuito.

5 Esta disminución de tensión, no obstante, es discriminable y por lo tanto detectable según lo siguiente:  
Para baterías de plomo, el fabricante da una tensión límite de 1,7 V/celda correspondiente a la máxima descarga posible sin consecuencias irreversibles para la vida de la batería. En un módulo de 6 celdas, esta tensión equivale a:  $1,7 \times 6 = 10,2$  V, tensión que debe medirse mientras la batería se está descargando, es decir, mientras está entregando corriente durante su funcionamiento.

10 En el ámbito ferroviario, solo podrá medirse la tensión de cada módulo una vez que haya entrado en el taller de reparación, es decir, con la batería en vacío (sin entregar ninguna corriente).

Experimentalmente se ha comprobado que si una batería se está descargando y se interrumpe la descarga, la tensión comienza a recuperarse aunque no se esté recargando la batería, es decir, que la tensión que da el fabricante no es válida cuando se mide la batería en vacío.

15 Se hace necesario, por tanto, encontrar una relación entre la tensión medida con batería en descarga y la medida con la batería en vacío.

20 Para ello se procede a la descarga de un módulo cargado a través de una resistencia, a una corriente de descarga de aproximadamente  $1,35 C_5$  (Donde  $C_5$  es una nomenclatura estándar; significa cuál es el valor necesario de corriente para descargar una batería en 5 horas que esté totalmente cargada. Por ejemplo, para una batería de 120 Ah,  $C_5$  equivaldría a 24 A)

A continuación se mide la tensión durante la descarga y cada cierto intervalo de tiempo se detiene la descarga, se deja reposar la batería 5 minutos y se toma una medida de tensión (ahora con la batería en vacío). Tras esta medida se reanuda la descarga, todo ello según puede apreciarse en la figura 5, en donde puede apreciarse un buen ajuste mediante una curva de segundo grado.

25 En dicha gráfica, el último punto tomado (a 10,02 V durante la descarga) está en el límite de lo que puede entregar la batería, deteniendo el ensayo en ese punto debido a que es aquel en el que la tensión empezó a caer bruscamente, síntoma inequívoco del agotamiento de la batería.

Es decir, que el límite teórico de máxima descarga dado por el fabricante coincide con el experimento realizado, y lo que es más importante, determinándose cuál sería el valor de esta tensión límite si se hubiera medido en vacío.

30 Así, con este ensayo se determina que una batería útil, aunque esté descargada, siempre tendrá valores de tensión superiores a 11,5 V cuando se mida en vacío, obteniéndose dicho valor de 11,5 v al introducir el valor teórico 10,2 que da el fabricante en la expresión de la curva de regresión mostrada en el gráfico de dicha figura 5.

35 El modo de fallo descrito anteriormente (cortocircuito interno de algunas placas) anula prácticamente la tensión de una celda, por lo que la tensión en vacío de un módulo con este problema pero que tuviese las 5 celdas en buen estado sería:

La suma de la tensión en vacío (2,1 V para baterías de plomo) de las cinco celdas que están bien  $\Rightarrow 5 \times 2,1 = 10,5$  V, más la tensión residual que pueda quedar en la celda afectada (en cualquier caso menor que 1 V), por lo que la tensión de un módulo que sufra este modo de fallo será siempre  $< 11,5$  V, por muy buen estado que presenten las cinco celdas no afectados.

40 De esta forma, se ha obtenido un criterio de diagnosis aplicable al procedimiento de la invención y que permite determinar si se ha producido ese tipo de fallo, concretamente, para el caso práctico del ejemplo, si la tensión en vacío del módulo es inferior a 11,5 voltios, el módulo no es útil para ser utilizado.

45 Por último, en la figura 6 se muestra un diagrama de flujo esquemático de todo el procedimiento de diagnóstico de la invención en el cual también se ha tenido en cuenta la eventualidad antes descrita, es decir, que se haya producido un fallo debido a un cortocircuito.

**REIVINDICACIONES**

1.- Procedimiento de diagnóstico de baterías, **caracterizado porque** comprende los pasos de:

- 5 - medición de la tensión de un módulo que comprende un grupo de celdas individuales para comprobar si se ha producido un cortocircuito interno entre cualquiera de las placas que forman parte de cada celda del módulo por lo que dicho módulo puede ser descartado por defectuoso;
- en caso de que el módulo no sea defectuoso, medición de la impedancia del módulo;
- corrección del valor de impedancia del módulo mediante la aplicación de un algoritmo de corrección para corregir dicha impedancia con la temperatura; y
- 10 - aplicación de un segundo algoritmo a la impedancia corregida mediante el paso anterior de forma que se tenga en cuenta el efecto que en dicha impedancia corregida tiene el envejecimiento de las baterías; y

comparación del valor de la impedancia corregida teniendo en cuenta la temperatura y el envejecimiento de la batería anteriormente obtenidos en los pasos previos con un límite superior y realización del diagnóstico de "útil – no útil" según si dicho valor de la impedancia es mayor o no que el límite superior mencionado.

15 2. Procedimiento de diagnóstico de baterías según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el algoritmo de corrección para corrección de la impedancia con la temperatura comprende los pasos de:

- medición de la impedancia de varios módulos de baterías del mismo modelo en distinto estado de ciclo de vida;
- medición de la impedancia de cada módulo a diferentes temperaturas;
- obtención, para cada uno de los módulos, de la familia de rectas de la impedancia en función de la temperatura, según:

20 
$$Z = m_i \cdot T + a_i \quad (a);$$

donde

Z= impedancia; T= temperatura;  $m_i$  = pendiente para cada valor  $T_i$  de T

- obtención del conjunto de rectas que relacionan la impedancia Z y la pendiente  $m_i$  para cada valor de  $T_j$ , según:

$$Z = b_j \cdot m + k \quad (b);$$

25 donde

$b_j$ = es la pendiente de las líneas rectas (m,Z) obtenidas para cada valor de temperatura

- obtención del valor de  $b_j$ , consistente en tomar el conjunto de valores  $b_j$  engendrada por cada  $T_j$  como una variación lineal según:

$$b_j = \alpha \cdot T + \beta \quad (c);$$

- 30 - determinación, para cada valor de T fijado, del valor de b y obtención de los valores  $\alpha$  y  $\beta$ ; y
- obtención de la expresión de la compensación a aplicar uniendo las expresiones (b) y (c), según:

$$m(m\Omega / ^\circ C) = \frac{Z - k}{\alpha T + \beta} \quad (d)$$

35 3. Procedimiento de diagnóstico de baterías según la reivindicación 2, **caracterizado porque** los diferentes estados de ciclos de vida en los que se realiza la medición de la impedancia comprenden el estado inicial, el final de su vida útil y uno o varios estados intermedios.

4. Procedimiento de diagnóstico de baterías según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la obtención de la impedancia corregida comprende las etapas de:

- fijación de una temperatura arbitraria;
- toma de muestras o medida de la impedancia de un módulo;
- 40 - medición de la temperatura T en los terminales del módulo del cual se acaba de medir la impedancia Z;
- aplicación del algoritmo de corrección para corrección de la impedancia con la temperatura a los valores de Z y T medidos experimentalmente para obtener la corrección  $Z^*$  en (m $\Omega$ /°C) según:

$$Z^* = Z - m ( T - T_0) \quad (e);$$

45 donde  $T_0$ = Temperatura de referencia

- obtención por sustitución en (d) de:

$$Z^* = Z - \frac{Z - k}{\alpha T + \beta} (T - T_0) \quad (f)$$

donde  $Z^*$  = impedancia corregida

5.- Procedimiento de diagnóstico de baterías según las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el segundo algoritmo, aplicado a la impedancia corregida, comprende los pasos de:

- 5 - medición de la impedancia de una cantidad representativa de módulos en servicio del mismo tipo y modelo, aplicando el algoritmo de corrección para corrección de la impedancia;
- transformación de la impedancia corregida  $Z^*$  en una variable X que siga una distribución normal;
- obtención de la distribución normal de la variable transformada X;
- cálculo de los estimadores de máxima verosimilitud de la distribución de la variable X;
- 10 - fijación del límite superior del intervalo de confianza para la variable X a partir de los estimadores de máxima verosimilitud,
- transformación de los límites del intervalo de confianza para la variable X en la variable  $Z^*$ , mediante la transformada inversa correspondiente; y
- 15 - comparación de los valores de impedancia corregida  $Z^*$  obtenidos anteriormente con el límite superior del intervalo de confianza y realizar la diagnosis de "útil – no útil" en función de si dicho valor medido es o no mayor que el mencionado límite superior.

6. Procedimiento de diagnóstico de baterías según la reivindicación 5, **caracterizado porque** el procedimiento de transformación estadístico para la transformación de la impedancia corregida  $Z^*$  en una variable X que siga una distribución normal, es la transformación Box Cox.

- 20 7. Procedimiento de diagnóstico de baterías según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la comprobación de si se ha producido un cortocircuito interno entre alguna de las placas que forman parte de cada celda del módulo comprende calcular la relación entre la tensión medida con batería en descarga y la medida con batería en vacío de forma que si la tensión medida en el módulo de la batería en vacío es inferior a un valor calculado dicho módulo puede ser descartado por defectuoso.

25

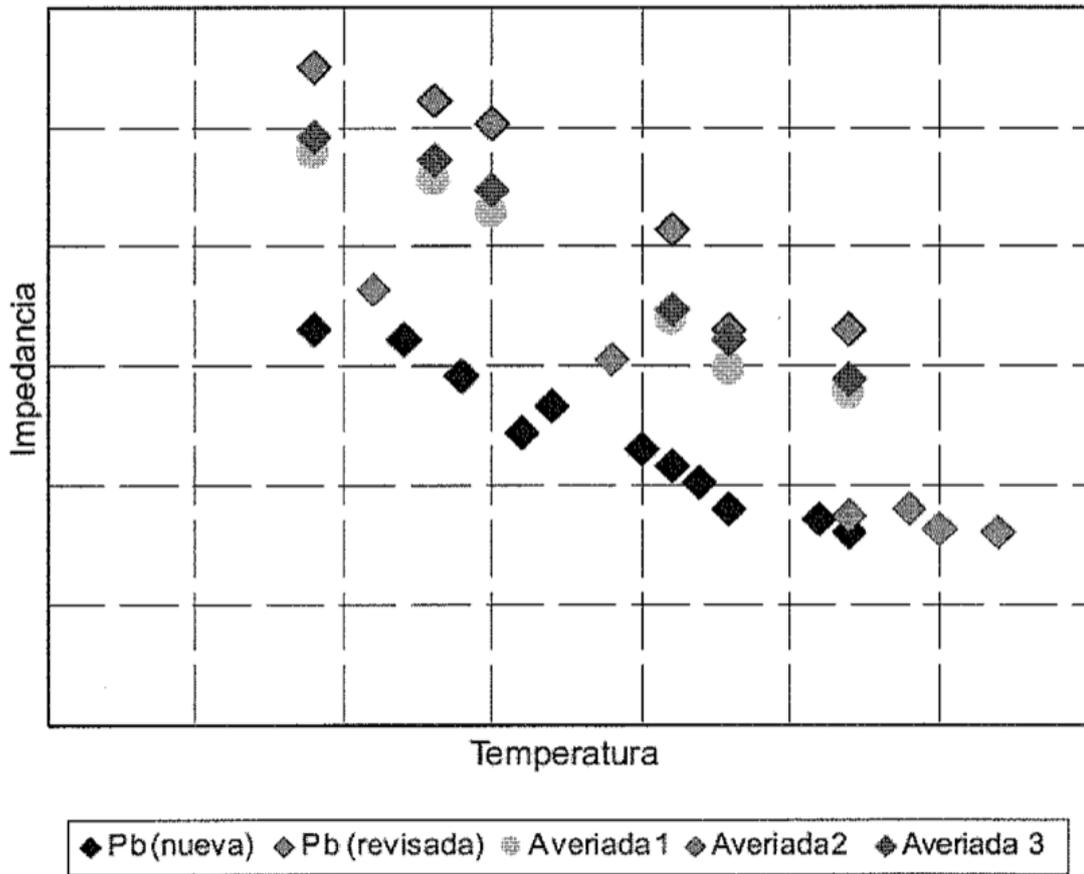


FIG. 1

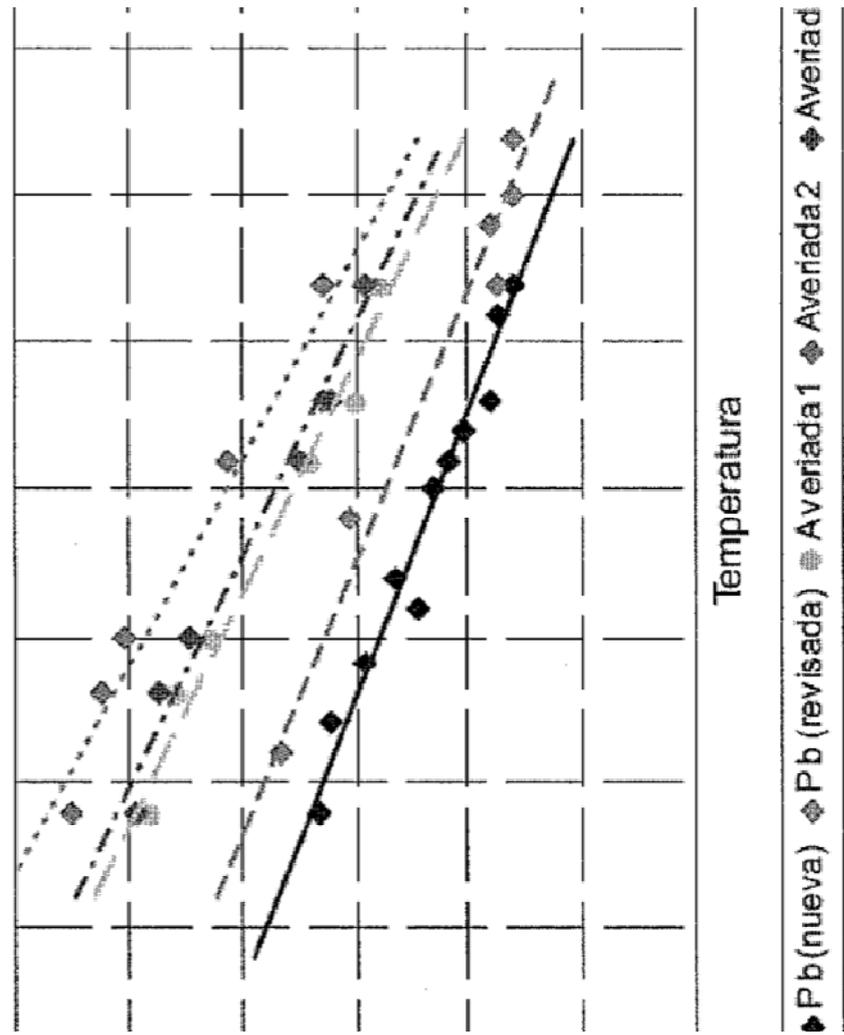


FIG. 2

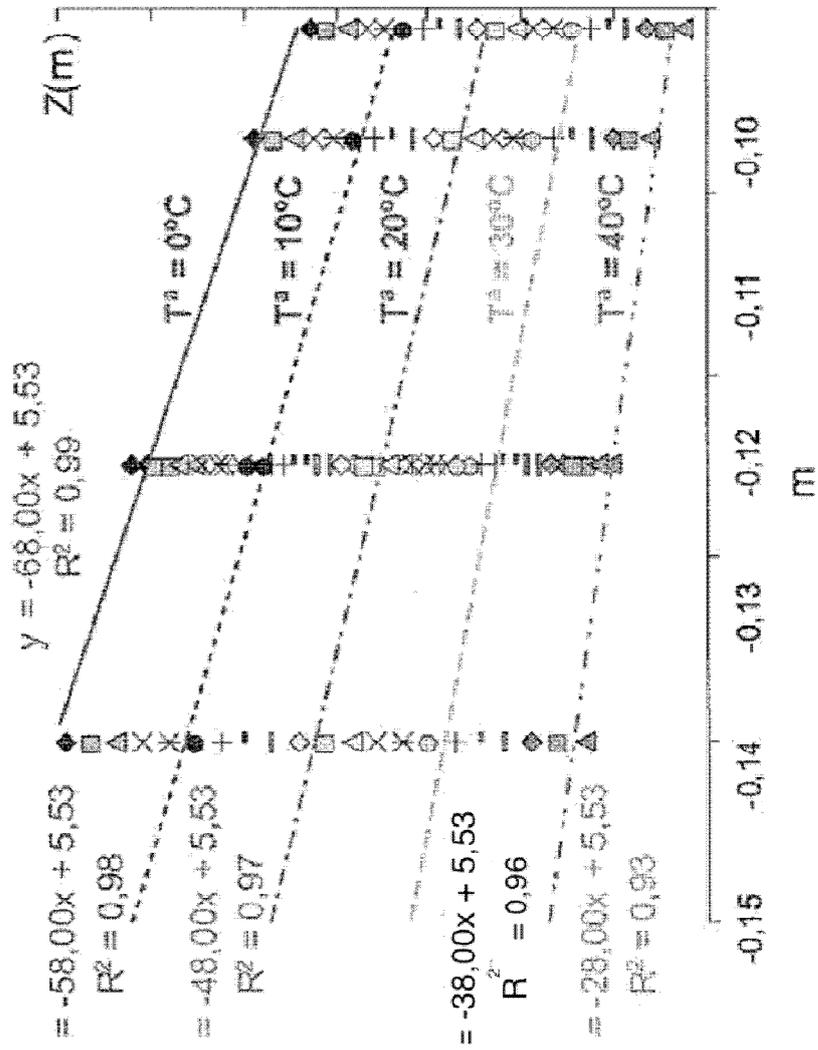


FIG. 3

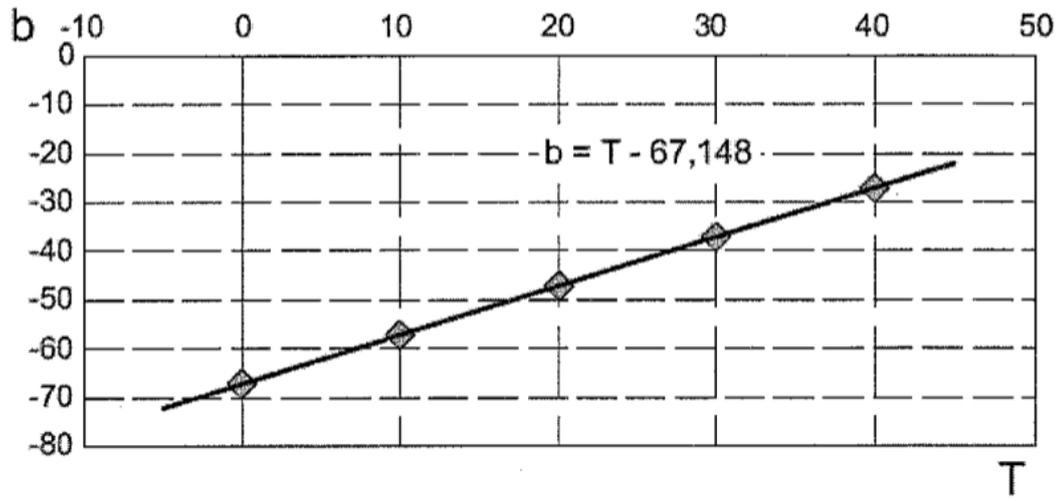


FIG. 4

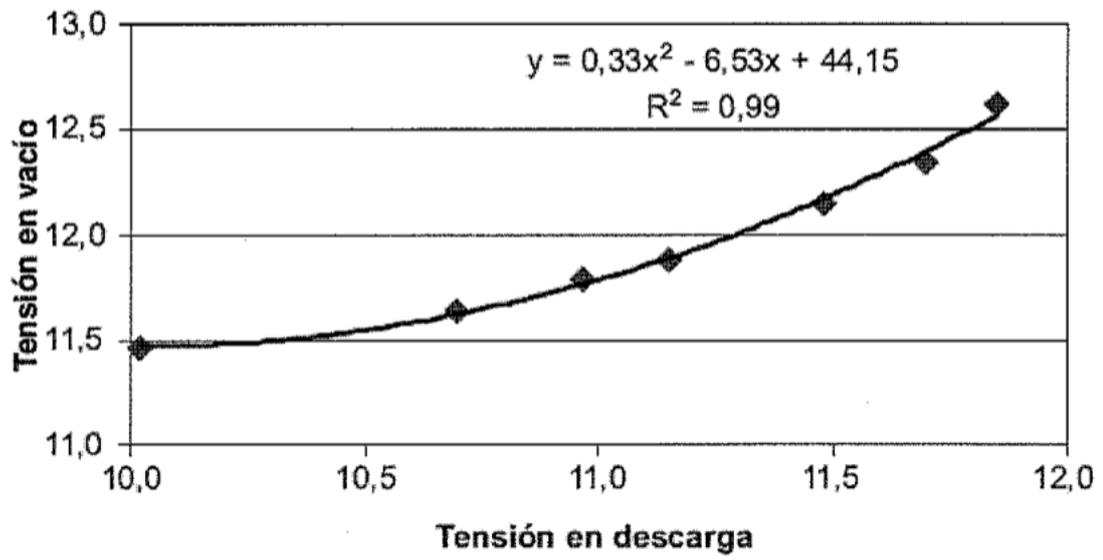


FIG. 5

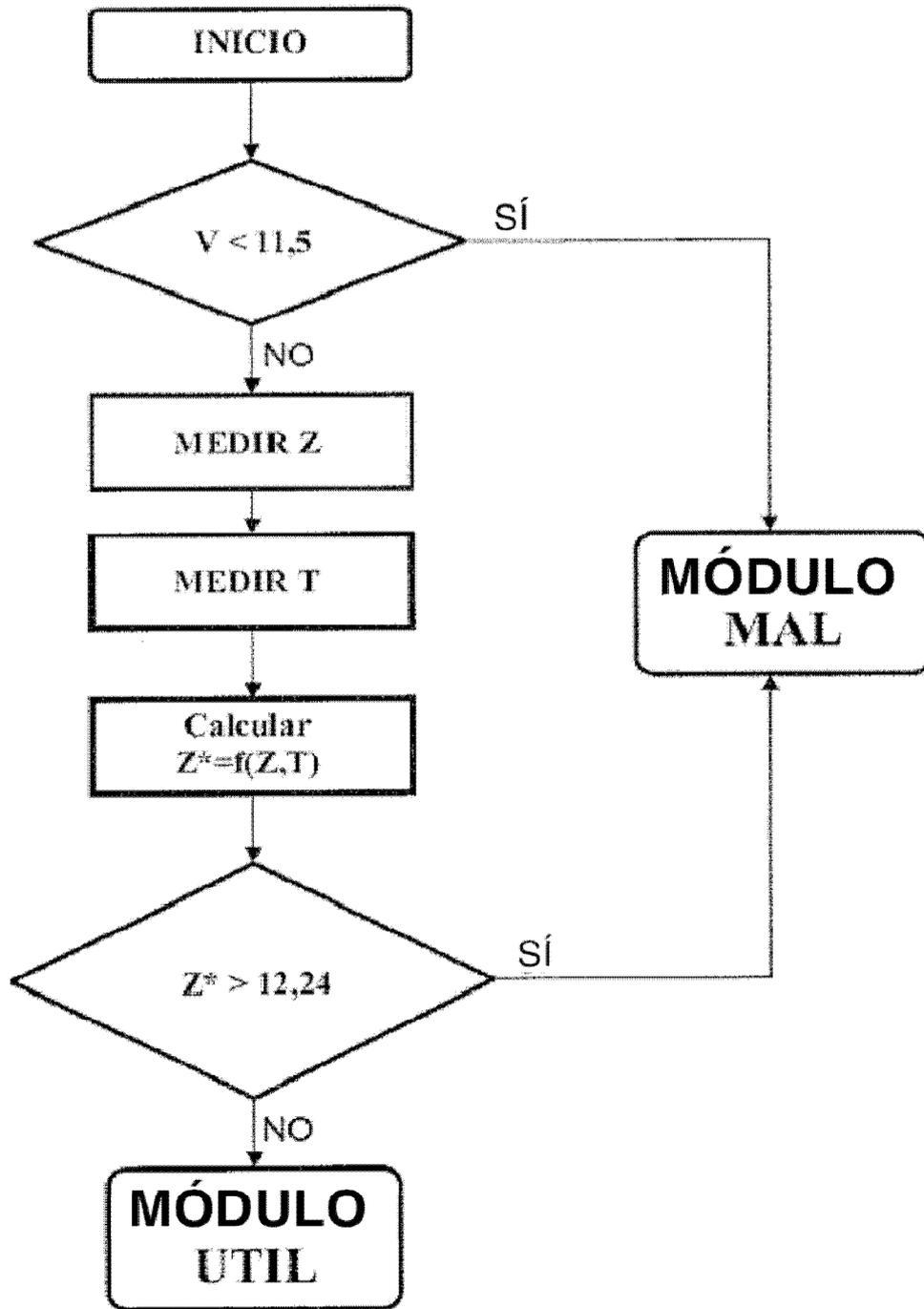


FIG. 6