

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 379 405**

51 Int. Cl.:  
**C25B 15/02** (2006.01)

12

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08010650 .3**
- 96 Fecha de presentación: **11.06.2008**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **2006418**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.12.2008**

54 Título: **Optimización de la eficiencia y detección de daños de celdas de electrólisis**

30 Prioridad:  
**11.06.2007 US 943188 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**25.04.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**25.04.2012**

73 Titular/es:  
**RECHERCHE 2000 INC.  
380 ST-ANTOINE WEST, SUITE 7500  
MONTREAL QC H2Y 3X7, CA**

72 Inventor/es:  
**Berriah, Said;  
Veillette, Michel y  
Tremblay, Gilles**

74 Agente/Representante:  
**Curell Aguilá, Mireia**

**ES 2 379 405 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

Optimización de la eficiencia y detección de daños de celdas de electrólisis.

### 5 **Campo de la invención**

La presente descripción se refiere a procedimientos y sistemas para monitorizar la eficiencia de un electrolizador, para diagnosticar y evaluar el daño así como para proporcionar los datos de mantenimiento para mejorar la eficiencia.

10

### **Antecedentes de la técnica**

Los electrolizadores se utilizan para realizar reacciones de electrólisis, que o bien descomponen un compuesto químico en sus elementos o bien producen un nuevo compuesto, a través de la acción de una corriente eléctrica. Los electrolizadores presentan varios electrodos, ánodos y cátodos, cada uno separado por un separador tal como una membrana. Sin embargo, el separador es opcional, tal como se observa en la industria del clorato, en la que se produce clorato de sodio o hipoclorito de sodio a partir de cáustico y cloro electrogenerados.

15

Otros ejemplos de electrolizadores son pilas de combustible, en las que se electroliza agua para producir hidrógeno.

20

La industria cloroalcalina también utiliza electrolizadores. Los productos primarios de la reacción de electrólisis en un caso de este tipo son cloro, hidrógeno e hidróxido de sodio. Estos compuestos se encuentran habitualmente en una disolución que se denomina comúnmente "sosa cáustica" o simplemente "cáustico".

25

Existen tres procesos de electrólisis principales y se conocen como: el proceso de membrana, el proceso de diafragma y el proceso de mercurio. Las tendencias actuales junto con los problemas medioambientales crecientes están sustituyendo estas últimas familias de procesos por el proceso de electrólisis de membrana. Las plantas de producción cloroalcalinas utilizan comúnmente electrolizadores que combinan muchas celdas de membrana elementales. En una configuración bipolar, por ejemplo, el proceso de electrólisis tiene lugar en cada celda elemental tras aplicar una corriente. Por diversos motivos, tales como para controlar el consumo de energía de electrolizador y maximizar la tasa de producción, es deseable mantener e intentar mejorar la eficiencia de electrolizador.

30

Aunque es posible medir parámetros a nivel de la celda elemental, existe la necesidad de controlar cuidadosamente varios aspectos operativos de cada celda elemental para determinar su eficiencia respectiva y evaluar su daño respectivo. También existe la necesidad de determinar acciones de mantenimiento apropiadas en cada celda basándose en un comportamiento de eficiencia y configuración de electrolizador total.

35

### **Sumario**

40

La presente descripción da a conocer un procedimiento y un sistema para evaluar la eficiencia de producción óptima de elemento único y detectar los daños de membrana en celdas elementales de electrólisis instaladas en un electrolizador bipolar en condiciones de funcionamiento real. Este procedimiento comprende la detección de celdas elementales con daño en su membrana de intercambio iónico y la identificación de celdas con menor eficiencia de corriente. Aunque se consigue un diagnóstico de este tipo, puede lograrse una mejor eficiencia de electrólisis global a través de la redistribución de las celdas en el electrolizador en nuevas posiciones que dependen de la eficiencia estimada de cada celda.

45

Según una forma de realización, está previsto en la presente memoria un procedimiento para evaluar el daño de una pluralidad de celdas en un electrolizador, comprendiendo el procedimiento: adquirir una tensión para cada una de las celdas; comparar la tensión con por lo menos dos niveles de tensión umbral; clasificar las celdas como unas de entre: celdas dañadas gravemente, celdas no dañadas gravemente y celdas no dañadas, basándose en la comparación de la tensión con dichos por lo menos dos niveles de tensión umbral; y desactivar las celdas clasificadas como celdas dañadas gravemente del electrolizador.

50

Según otra forma de realización, está previsto en la presente memoria un sistema para evaluar el daño de una pluralidad de celdas en un electrolizador, comprendiendo el sistema: un dispositivo de adquisición de tensión acoplado a cada una de las celdas en el electrolizador, para adquirir una tensión para cada una de las celdas; y un módulo de evaluación de daños acoplado al dispositivo de adquisición de tensión, estando el módulo de evaluación de daños adaptado para recibir la tensión adquirida para cada una de las celdas; comparar la tensión con por lo menos dos niveles de tensión umbral; clasificar las celdas como unas de entre: celdas dañadas gravemente, celdas no dañadas gravemente y celdas no dañadas, basándose en la comparación; y enviar una señal para desactivar las celdas clasificadas como celdas dañadas gravemente.

60

En la presente memoria, el término "celda" (denominado también "celda elemental") pretende referirse al menor grupo de ánodos y cátodos que están conectados al mismo alimentador de corriente y separados por una

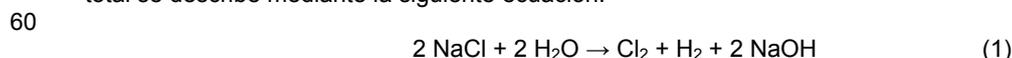
65

membrana. Debe apreciarse que los términos “celda” y “elemento” se utilizan de manera intercambiable en la presente memoria. Las maneras en que se conectan los ánodos, cátodos y membrana difieren según la tecnología seleccionada. Por ejemplo, los electrodos pueden conectarse en paralelo, en serie o una combinación de los mismos. Un “electrolizador bipolar” presenta una pluralidad de celdas.

- 5 **Breve descripción de los dibujos**
- La figura 1a es una representación esquemática ejemplificativa de una celda de membrana según la técnica anterior;
- 10 la figura 1b es una representación esquemática ejemplificativa de un electrolizador que presenta múltiples celdas según la técnica anterior;
- la figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema para evaluar el daño de una pluralidad de celdas en un electrolizador, según una forma de realización de la presente invención;
- 15 la figura 3a es un diagrama de flujo de un procedimiento para evaluar el daño de una pluralidad de celdas en un electrolizador, según una forma de realización;
- la figura 3b es un diagrama de flujo de un procedimiento para estimar la eficiencia de celda y maximizar una eficiencia global de un electrolizador, según una forma de realización;
- 20 la figura 3c es un diagrama de flujo de un procedimiento para estimar la posición y el tamaño de una perforación en una celda no dañada gravemente para emprender una acción de mantenimiento, todavía según una forma de realización;
- 25 la figura 4 es una gráfica que representa un ejemplo de una relación de densidad de corriente frente al tiempo a través de una zona de puesta en marcha del electrolizador;
- la figura 5 es una gráfica que ilustra las distribuciones de tensión de múltiples celdas, a una densidad de corriente de  $0,2 \text{ kA/m}^2$ , según una forma de realización;
- 30 la figura 6 es una gráfica que ilustra las distribuciones de tensión de las celdas como en la figura 5, a una densidad de corriente de  $0,5 \text{ kA/m}^2$ , según una forma de realización;
- 35 la figura 7 es una gráfica que ilustra las distribuciones de tensión de las celdas como en la figura 5, a una densidad de corriente de  $1,0 \text{ kA/m}^2$ , según una forma de realización;
- la figura 8 es una gráfica que ilustra las distribuciones de tensión de las celdas como en la figura 5, a una densidad de corriente de  $2,0 \text{ kA/m}^2$ , según una forma de realización;
- 40 la figura 9 es una gráfica que representa comportamientos de tensión frente al tiempo de múltiples celdas, desde la puesta en marcha del electrolizador, representando cada línea un comportamiento de una celda, según una forma de realización; y
- 45 la figura 10 es una gráfica que muestra los comportamientos de tensión frente a la densidad de corriente de múltiples celdas, representando cada línea un comportamiento de una celda, según una realización.

### Descripción detallada

- 50 La figura 1a es una representación esquemática de una celda 11 de membrana típica utilizada en la industria cloroalcalina. Se compone de dos compartimentos, un compartimento de ánodo 12 y un compartimento de cátodo 13, separados por una membrana 14. El compartimento de ánodo 12 se llena con una disolución de salmuera saturada (NaCl), mientras que una de sosa cáustica diluida pasa a través del compartimento de cátodo 13.
- 55 En las plantas de producción cloroalcalinas, se genera cloro en el ánodo 15 recubierto (habitualmente con titanio). La combinación de iones hidróxido con iones sodio que se han desplazado migrado a través de la membrana 14 selectiva genera sosa cáustica (NaOH) y gas hidrógeno. El cátodo 16 está compuesto habitualmente por níquel con un recubrimiento catalítico para reducir el sobrepotencial para el desprendimiento de  $\text{H}_2$ . El proceso cloroalcalino total se describe mediante la siguiente ecuación:



- La eficiencia de la celda cloroalcalina de tipo membrana (kw/h por unidad de cáustico producido) es la resultante compleja de la interacción de varios aspectos. Esto incluye el diseño de celda, características de transporte de la membrana 14, la concentración, el pH, la temperatura y la velocidad de flujo, o el tiempo de residencia, de la salmuera de anolito y disolución cáustica de catolito dentro de la celda y la tensión y corriente de celda. Aunque
- 65

5 varios de estos factores se fijan esencialmente una vez que se ensambla la celda y se pone en funcionamiento, otros aspectos relacionados principalmente con los aspectos de flujo másico y eléctricos, pueden producir cambios considerables y pérdida de eficiencia durante el funcionamiento de la celda. Siempre que se produzcan cambios de este tipo, resulta preferido corregirlos tan rápido como sea posible si el sistema debe restablecerse al nivel de eficiencia óptima con un coste mínimo.

10 Un tipo de daño que provoca una disminución en la eficiencia de celda es la aparición de orificios o desgarros en la membrana de celda (en la presente memoria denominadas perforaciones). Algunos motivos para la presencia de perforaciones y poros en la membrana de celda son la formación de huecos, ampollas y delaminación de la membrana debido a fallos en las puestas en marcha y las paradas y por electrolitos contaminados.

15 La presencia de perforaciones en la membrana, por ejemplo, puede afectar a la eficiencia de celda de diferentes maneras dependiendo del tamaño y la ubicación de la(s) perforación/perforaciones (en una parte de la celda en la que está el líquido o en otra parte de la celda en la que sólo está presente gas), así como el tiempo de vida de la celda. Habitualmente, no pueden detectarse efectos de perforación en la fase de funcionamiento normal a menos que haya tenido lugar corrosión en el recubrimiento del ánodo debido al ataque de la sosa cáustica. Sin embargo, los efectos de perforación pueden observarse en la puesta en marcha del electrolizador ya que el cáustico que penetra en la membrana y que fluye hacia el ánodo en este momento provoca una reacción de disociación del agua en la disolución alcalina de la celda.

20 La presencia de una reacción de disociación del agua puede detectarse utilizando diversas técnicas, tales como detectando la tensión característica o reversible de la reacción de disociación del agua, que es normalmente de aproximadamente 1,2 voltios a 1,5 voltios a bajas densidades de corriente (es decir, inferiores a 3 kA/m<sup>2</sup>). Esto contrasta con las tensiones que pueden detectarse cuando tiene lugar la reacción de disociación de cloruro de sodio normal como debiera en el compartimento de ánodo de la celda, que es de 2,2 voltios a 2,6 voltios a densidades de corriente de hasta 0,3 kA/m<sup>2</sup> (a una temperatura de 80°C, por ejemplo).

25 Pueden utilizarse otras técnicas para detectar la reacción de disociación del agua, tales como la detección del desprendimiento de oxígeno en el compartimento anódico a partir de una medición de pH de la celda. Puede utilizarse una medición de este tipo para detectar el desprendimiento de oxígeno puesto que cuando está presente oxígeno en el compartimento anódico, la celda resulta altamente dependiente de pH en comparación con el desprendimiento de cloro que tiene lugar en celdas relativamente no dañadas.

30 Incluso en presencia de perforaciones en la membrana, a medida que la densidad de corriente aumenta en la celda, se absorben pequeños poros debido a una turbulencia de gas en la celda, se forma hipoclorito a partir del cáustico que regresa, y el desprendimiento de oxígeno provocado por las perforaciones se sustituye progresivamente por desprendimiento de cloro. Si se está todavía a mayores densidades de corriente, la tensión de celda permanece baja en comparación con los niveles de tensión esperados, y puede estimarse que el tamaño de la perforación de membrana va a ser de gran tamaño.

35 El cáustico que penetra en el compartimento anódico a través de perforaciones en la membrana presenta efectos sobre la eficiencia de celda. Puesto que nuevas celdas de membrana presentan una eficiencia de aproximadamente el 98%, puede obtenerse una estimación de la eficiencia de cada celda elemental individual comparado cada membrana de celda dañada con las nuevas o nominales.

40 Según los principios anteriores, se describe en la presente memoria un procedimiento y un sistema para diagnosticar las celdas elementales dañadas y de baja eficiencia instaladas en un electrolizador bipolar. También pueden diagnosticarse otros tipos de electrolizadores así como pilas de combustible utilizando el procedimiento y el sistema descritos en la presente memoria. En algunas formas de realización, el procedimiento y el sistema pueden proporcionarse en línea.

45 Para fines de explicación, la figura 1b ilustra una disposición de electrolizador 17 común en la que una línea 18 de producción presenta varios agrupamientos 19 de celdas; cada agrupamiento 19 de celdas contiene ocho celdas 11 elementales (no mostradas). Cada tensión de electrodo se mide mediante un hilo 20 metálico. Los hilos 20 pueden concentrarse en un cable 22 protegido multicable a través de un dispositivo TFP10 (protección de fusible para terminal 10) 23. Por tanto, puede utilizarse un dispositivo de adquisición 24 para adquirir datos de cuatro agrupamientos 19 de celdas. En este ejemplo, cada dispositivo de adquisición 24 puede multiplexar las señales de cada agrupamiento 19 de celdas mediante una serie de relés, en una secuencia para la transmisión a un ordenador 25 personal conectado opcionalmente en una red 26 local, y según una configuración de comunicación dada.

50 La figura 2 ilustra un ejemplo esquemático de un sistema 30 para evaluar el daño de una pluralidad de celdas en un electrolizador según una realización.

55 El sistema 30 presenta un dispositivo de adquisición de datos 32 para medir una tensión u otros parámetros físicos de cada celda elemental; un módulo de evaluación de daños 34 para monitorizar los datos adquiridos de cada celda en el electrolizador y estimar un nivel de daño; un dispositivo de memoria 36 y un módulo de mantenimiento 38.

5 Puede utilizarse el dispositivo de memoria 36 para almacenar los datos adquiridos, información de planta o laboratorio, incluyendo cualquier dato de diseño o paramétrico perteneciente al electrolizador o a las celdas, tales como niveles umbral preestablecidos, en una forma de realización en la que se desea un almacenamiento de este tipo.

10 En una forma de realización, puede utilizarse un módulo de mantenimiento 38 para emitir o realizar directamente en cada celda o en las acciones de mantenimiento del electrolizador. Las acciones de mantenimiento dependen de la evaluación de daños. Un ejemplo es una redistribución de las celdas dentro del electrolizador, una desactivación de celdas dañadas, un reemplazo de celdas dañadas por nuevas, o una adición de celdas en el electrolizador si es posible. Alternativamente, para emitir una acción de mantenimiento, el sistema 30 puede emitir una alarma o desencadenar un mecanismo de activación que informa a un técnico de una situación.

15 El dispositivo de adquisición de datos 32 presenta uno o más sensores 40 para adquirir datos de una celda 11 (véase la figura 1a), así como un dispositivo de control de corriente 41. Los sensores 40 pueden ser sensores de tensión, sensores de presión, sensores de temperatura, sensores de flujo y líquido, sensores que pueden detectar un tipo de pH de una disolución en el interior de una celda o la presencia de un compuesto dado en la celda, etc. También pueden utilizarse otros tipos de parámetros físicos, tales como sensores de corriente y similares. Puede utilizarse el dispositivo de control de corriente 41 para variar la densidad de corriente que pasa por la celda para aumentar la corriente suministrada a una celda desde cero, hasta un nivel de polarización, y hasta un valor óptimo dado en la puesta en marcha, o de vuelta a cero para una operación de parada, en una forma de realización.

20 El módulo de evaluación de daños 34 presenta el módulo de procesamiento 42 y un módulo de evaluación de eficiencia de celda 43. El módulo de procesamiento 42 garantiza la implementación del procedimiento para evaluar el daño de las celdas en el electrolizador.

25 El módulo de evaluación de daños 34 clasifica las celdas como no dañadas, dañadas gravemente y no dañadas gravemente, con el fin de emprender las acciones apropiadas.

30 El módulo de evaluación de eficiencia de celda 43 es opcional y realiza una evaluación de la eficiencia de cada celda clasificada como no dañada gravemente para determinar cómo maximizar la eficiencia global del electrolizador. También pueden evaluarse celdas no dañadas para determinar su eficiencia.

35 El módulo de evaluación de daños 34 puede presentar una aplicación (no representada) con instrucciones codificadas que se utilizan por el dispositivo de procesamiento 42 y el módulo de evaluación de eficiencia de celda 43 para realizar un procedimiento tal como se detalla en la presente memoria. Las acciones de mantenimiento o cualquier tipo de resultado obtenido por el módulo de evaluación de daños 34 pueden emitirse al módulo de mantenimiento 38, o a cualquier otro dispositivo de salida (no representado) para informar a un usuario de un estado dado.

40 Las figuras 3a y 3b son diagramas de flujo de una forma de realización del procedimiento descrito en la presente memoria.

45 En la etapa 50 de la figura 3a, se miden tensiones en cada celda en el electrolizador mientras que pasa una densidad de corriente dada a través de cada celda.

50 En una forma de realización, se miden las tensiones y corrientes de celda utilizando el sistema expuesto en la patente US n.º 6.591.199 concedida a Recherche 2000 Inc, cuyo contenido se incorpora como referencia a la presente memoria. También puede utilizarse cualquier otro sistema de medición que presente una precisión de medición (al menos 1 mV) y una frecuencia de muestreo que sean adecuados para adquirir las mediciones con una precisión suficientemente alta.

55 También pueden medirse otros parámetros relevantes en la etapa 50, utilizando otros tipos de sensores que o bien no están asociados a una celda específica, tales como sensores de planta de producción, o bien están relacionados directamente con parámetros físicos o químicos de una única celda en el electrolizador. Puede utilizarse una unidad de adquisición para implementar la etapa 50 y los sensores de planta de producción ubicados en diferentes posiciones en el electrolizador pueden comunicar a la unidad de adquisición utilizando un protocolo de comunicación tal como se detalla en la patente US n.º 6.591.199 mencionada anteriormente.

60 En la etapa 52, la tensión adquirida para cada celda se compara con por lo menos dos niveles de tensión umbral para una densidad de corriente dada. Cada uno de los dos niveles de tensión umbral son indicativos de un valor de tensión para el que una celda debe clasificarse que está por debajo de, por encima de o en un nivel crítico.

65 En la etapa 54, las celdas se clasifican como unas de entre: celdas dañadas gravemente, celdas no dañadas gravemente y celdas no dañadas, basándose en la comparación de la tensión con dichos por lo menos dos niveles de tensión umbral.

En la etapa 56, las celdas clasificadas como celdas dañadas gravemente se desactivan del electrolizador. Esta etapa puede realizarse retirando en conjunto las celdas que se clasifican como tal, o reemplazándolas por nuevas.

5 Como ejemplo para las etapas 54 y 56 anteriores, si la tensión de una celda está por debajo de una tensión umbral mínima ( $V_{min}$ ), ya no es operativa y está dañada de forma demasiado grave (la tensión de salida es demasiado baja para la densidad de corriente dada). Si la tensión de la celda está en  $V_{min}$ , la celda está en un nivel crítico y puede clasificarse como o bien dañada gravemente o bien no dañada gravemente. O bien se requiere una evaluación adicional, o bien la celda se clasifica simplemente como dañada gravemente por motivos de seguridad.

10 De lo contrario, si la celda está dañada pero todavía puede utilizarse, su tensión está entre los dos niveles de tensión umbral, mientras que si es probable que la celda no esté dañada, su tensión está por encima del mayor nivel de tensión umbral ( $V_{daño}$ ). Una celda que presenta una tensión en  $V_{daño}$  puede clasificarse como o bien no dañada o bien no dañada gravemente. Puede utilizarse una evaluación adicional con respecto a su eficiencia para establecer su clasificación. La celda se clasifica como uno u otro, o como no dañada gravemente si se prefiere una monitorización más segura.

15 Se establece un listado de celdas, con una clasificación respectiva. Se emite un listado de celdas que es probable que presenten un daño de membrana pero que se evalúan como no están dañadas muy gravemente, y se produce un listado de celdas no dañadas o normales. El listado puede identificar específicamente las celdas según su posición en el electrolizador. También se emite una identificación de las celdas dañadas gravemente de manera que éstas puedan desactivarse, retirarse, sustituirse o accederse a ellas para su mantenimiento.

20 El procedimiento avanza opcionalmente hasta las etapas 60, 62 y 64 de la figura 3b. Estas etapas también pueden realizarse independientemente del procedimiento de la figura 3a.

25 En la etapa 60, se adquieren una temperatura y una distribución de corriente de las celdas clasificadas como celdas no dañadas o celdas no dañadas gravemente. Esto puede realizarse utilizando sensores de temperatura ubicados en las celdas, o en la totalidad del electrolizador.

30 En la etapa 62, se estima una eficiencia de cada una de las celdas utilizando la temperatura y distribución de corriente.

35 En una forma de realización, una estimación de la eficiencia de una celda elemental tiene en cuenta las fluctuaciones de temperatura que pueden producirse en la totalidad del electrolizador, especialmente a bajas densidades de corriente.

40 La etapa 62 puede implicar la comparación de cada eficiencia estimada de celda con una eficiencia nominal proporcionada por el proveedor para identificar elementos/celdas que afectan al rendimiento del electrolizador global. La eficiencia nominal también puede proporcionarse estimando la eficiencia de una nueva celda. El tiempo de vida de la celda también puede tenerse en cuenta en la estimación de su eficiencia. Por ejemplo, una disminución esperada en la eficiencia de una celda se produce a lo largo de la vida de una celda. Una eficiencia de celda que se encuentra que es inferior a un valor esperado para el tiempo de vida de la celda puede indicar que la celda se ha dañado repentinamente y puede determinarse una causa con una correlación del momento de otros acontecimientos en el electrolizador.

45 En etapa 64, la eficiencia global del electrolizador puede maximizarse emprendiendo una acción de mantenimiento dada basándose en la eficiencia estimada de cada celda en la etapa 62. Una manera de optimizar el consumo de potencia del electrolizador global, por ejemplo, es mover por lo menos una de las celdas a una nueva posición en el electrolizador.

50 Un ejemplo consiste en recolocar una celda que presenta una alta eficiencia estimada con el fin de compensar una celda que presenta una eficiencia estimada inferior. Las celdas de baja eficiencia podrían volver a ensamblarse, por ejemplo, en los extremos del electrolizador, donde la temperatura normalmente es ligeramente inferior que en las posiciones intermedias, o recolocar en el electrolizador, con celdas que presentan niveles de eficiencia similares. Puesto que la distribución de temperatura del electrolizador puede diferir dependiendo de su diseño, pueden utilizarse otros esquemas de recolocación. Puede realizarse un análisis adicional para estimar los costes y/o ganancias de la recolocación de las celdas en comparación con mantener las celdas en sus posiciones originales.

55 El procedimiento de la figura 3a también puede avanzar opcionalmente hasta las etapas 66, 68 y 70 de la figura 3c.

60 En la etapa 66, se mide y adquiere un parámetro físico o químico de cada una de las celdas clasificadas como una celda no dañada gravemente. Un parámetro físico incluye, pero no se limita a, una temperatura, una cantidad de líquido o gas en el interior de la celda, una presión diferencial, un flujo de cáustico (o cualquier flujo de un líquido dado), y la presencia de un compuesto dado. También pueden adquirirse parámetros de celdas no dañadas.

65

En la etapa 68, se estima una posición y/o un tamaño de una perforación en una membrana de cada una de las celdas no dañadas gravemente utilizando el parámetro físico medido. Sin embargo, esta etapa puede realizarse para todas las celdas activas en el electrolizador.

- 5 La etapa 68 puede implicar aplicar una regresión paramétrica no lineal a la curva de tensión frente a la corriente adquirida en la etapa 50 de la figura 3a. La curva puede someterse a regresión utilizando una ecuación paramétrica de la forma:

$$V = A \cdot \exp(CD) + B \cdot \exp(-CD) + C \quad (2)$$

- 10 donde A, B y C son constantes o parámetros de regresión; CD se refiere a una densidad de corriente y V es la tensión en la celda.

- 15 Pueden utilizarse otras ecuaciones paramétricas, tales como una forma sigmoidea o logarítmica. También pueden utilizarse parámetros de regresión no lineal para reflejar el grado/la cantidad de flujo de cáustico que penetra en el compartimento anódico.

- 20 Los parámetros de regresión se correlacionan con los parámetros físicos o químicos medidos en la etapa 66. Los parámetros de regresión se relacionan con la densidad de corriente, tensión individual, presión diferencial, flujo de cáustico y/o nivel de líquido de la celda para estimar la posición y el tamaño de una perforación. Por ejemplo, si los parámetros paramétricos de una celda que resultan de una regresión no lineal son considerables (es decir, se estima que son de un valor alto), entonces se estima que la(s) perforación/perforaciones en la membrana de la celda es/son de un tamaño relativamente grande y/o se sitúa(n) en una parte baja (o inferior a una sección central) de la celda.

- 25 En la etapa 70, se emite una acción de mantenimiento o se emprende automáticamente en el electrolizador.

- 30 Por ejemplo, puede emprenderse la acción de mantenimiento en una celda clasificada como no dañada gravemente, basándose en una estimación de posición de perforación o una estimación de tamaño de perforación para esa celda.

- 35 Si la perforación es grande y está ubicada en la parte superior de la celda (en la que está presente gas y/o espuma), podría producirse un daño grave debido al riesgo de desprendimiento de oxígeno en el compartimento de ánodo y/o corrosión que resulta del ataque del cáustico al recubrimiento del ánodo. Entonces se emprende la acción de mantenimiento para retirar o sustituir las celdas de membrana dañadas. Alternativamente a la retirada o sustitución, la celda puede desactivarse y su membrana puede sustituirse por una nueva.

- 40 Tal como se mencionó anteriormente en la presente memoria, el procedimiento que se ilustra en la figura 3a puede realizarse a partir de la puesta en marcha hasta el funcionamiento pleno del electrolizador, o a partir del funcionamiento pleno hasta la parada. Los procedimientos descritos mediante las figuras 3b a 3c pueden aplicarse en la puesta en marcha, la parada o durante el funcionamiento pleno del electrolizador.

- 45 Se representa un ejemplo de una zona de puesta en marcha en la figura 4. Normalmente, en la operación de puesta en marcha, la primera etapa es la etapa de polarización a valores de corriente de aproximadamente 20 A, luego la corriente asciende desde valores bajos hasta valores altos a través de etapas estables, hasta densidades de corriente del orden de 5,5 kA/m<sup>2</sup>. La máxima densidad de corriente puede variar dependiendo del diseño de electrolizador particular.

- 50 En las etapas 50 a 54 de la figura 3a, puede monitorizarse la distribución de tensión de elementos individuales del electrolizador (la tensión en cada celda en el electrolizador) a densidades de corriente muy bajas dentro del nivel de polarización. Las celdas que presentan una tensión que es inferior a 2,0 V se identifican entonces, se destacan o se detectan a partir de la distribución.

- 55 Las figuras 5 a 8 ilustran un ejemplo de evolución de distribución de tensión de elementos individuales, a medida que varía la densidad de corriente que fluye en cada celda de un valor a otro. Éstas representan una puesta en marcha típica de un electrolizador que comprende 100 celdas.

- 60 Las gráficas de las figuras 5 a 8 representan las tensiones adquiridas para cada celda, como en la etapa 50 de la figura 3a. Se utilizó un equipo de medición de tensión que presentaba una precisión del orden de 2,5 mV para obtener esas lecturas. Cada celda se representa mediante un bloque.

Tal como se observa a partir de las gráficas en las figuras 5 a 8, cuando se ha pasado el nivel de polarización de cada celda en la puesta en marcha del electrolizador, puede establecerse una distribución de tensión de las celdas aumentando de manera constante la densidad de corriente y tomando mediciones de tensión de manera continua o en etapas predefinidas. Aunque la medición de tensión puede tomarse para cada aumento discreto en la densidad

de corriente de  $0,2 \text{ kA/m}^2$  o menos, las figuras 5 a 8 se tomaron para densidades de corriente de  $0,2 \text{ kA/m}^2$ ,  $0,5 \text{ kA/m}^2$ ,  $1 \text{ kA/m}^2$  y  $2 \text{ kA/m}^2$  respectivamente.

5 Como ejemplo, puede fijarse un umbral de las distribuciones de tensión obtenidas tal como se ilustra en las figuras 5 a 8 y 10 (explicándose esta última en más detalle a continuación) como en las etapas 52 y 54 de la figura 3a. A una densidad de corriente de  $0,4 \text{ kA/m}^2$  (véase la figura 10), las celdas con un nivel de tensión inferior a  $1,7 \text{ V}$  por ejemplo, se clasifican como dañadas gravemente. Sin embargo, en la figura 5, no se encuentra una celda de este tipo. Si se hubiesen detectado celdas de este tipo a partir de los resultados en la figura 5, estas celdas deberían desactivarse, retirarse o sustituirse por nuevas o pararse el electrolizador para su mantenimiento, como en la etapa 10 56 de la figura 3a.

15 A una densidad de corriente de  $0,5 \text{ kA/m}^2$  (véase la figura 6), tres celdas presentan un nivel de tensión relativamente bajo (de aproximadamente  $1,85 \text{ V}$ ). Estas tres celdas pueden clasificarse como no dañadas gravemente y presentan potencialmente perforaciones en su membrana.

Entonces puede aplicarse una regresión no lineal a los datos medidos para las tres celdas de baja tensión identificadas en la figura 6, tal como se realiza en la etapa 68 de la figura 3c, para estimar la posición y/o el tamaño de una perforación en la celda.

20 Las distribuciones de tensión de las celdas restantes de la figura 6, a una densidad de corriente tal como de  $1 \text{ kA/m}^2$ , tal como se muestra en la figura 7, y  $2 \text{ kA/m}^2$ , tal como se muestra en la figura 8, pueden analizarse adicionalmente para estimar sus eficiencias y detectar de ese modo las celdas que presentan problemas de eficiencia, como en las etapas 60 a 62 de la figura 3b. Por ejemplo, en la figura 8, las dos celdas con las mayores tensiones están por encima de la media. Como en la etapa 64 de la figura 3b, puede cambiarse la posición de las celdas que presentan 25 problemas de eficiencia o rendimiento a una nueva posición en el electrolizador, de tal manera que se compense cualquier eficiencia de celda inferior. En el ejemplo de la figura 8, las dos celdas que presentan las mayores tensiones pueden recolocarse en el electrolizador, por ejemplo, en un comienzo o un final de una línea 18 de producción o agrupamiento 19 de celdas (véase la figura 1b).

30 La figura 9 muestra una gráfica que muestra un ejemplo de comportamientos de tensión frente al tiempo para celdas clasificadas como no dañadas gravemente, tras la puesta en marcha del electrolizador. Una gráfica de este tipo podría resultar de la implementación de la etapa 50 anterior en la figura 3a, cuando se realiza la adquisición a través de una zona de puesta en marcha. Cada línea representa el comportamiento de una celda.

35 La figura 10 es una gráfica que muestra comportamientos de tensión frente a la densidad de corriente de múltiples celdas. De nuevo, cada línea representa un comportamiento de una celda. Una gráfica de este tipo también puede obtenerse a partir de la implementación de la etapa 50 anterior en la figura 3a, o combinando múltiples lecturas tal como se ilustra en las figuras 5 a 8. En la figura 10, pueden identificarse celdas dañadas gravemente mediante su tensión normalmente baja a bajas densidades de corriente. Se utiliza un umbral de tensión en la etapa 52 para 40 distinguir las celdas dañadas gravemente de las celdas no dañadas gravemente clasificando los niveles de tensión de salida de cada celda a bajas densidades de corriente. En una forma de realización, la curva más baja se clasifica como dañada gravemente, mientras que las dos curvas intermedias se clasifican como no dañadas gravemente. Los niveles de tensión exactos utilizados en la clasificación dependen de la configuración de electrolizador y celda específica utilizada.

45 Las formas de realización anteriores son proporcionadas únicamente a título de ejemplo y pueden adaptarse a diversas aplicaciones específicas. Por ejemplo, los diversos sensores destinados pueden fabricarse dependiendo de los parámetros físicos particulares que van a medirse, y la clasificación de las celdas según su nivel de daño puede variar con el diseño de celda, diseño de planta de producción y diseño de electrolizador. Las reivindicaciones 50 siguientes pretenden definir el alcance de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para evaluar el daño de una pluralidad de celdas en un electrolizador, comprendiendo el procedimiento:
- 5 adquirir una tensión para cada una de las celdas;
- comparar la tensión con por lo menos dos niveles de tensión umbral;
- 10 clasificar las celdas como unas de entre: celdas dañadas gravemente, celdas no dañadas gravemente y celdas no dañadas, basándose en la comparación de la tensión con dichos por lo menos dos niveles de tensión umbral; y
- desactivar las celdas clasificadas como celdas dañadas gravemente del electrolizador.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la adquisición de una tensión comprende adquirir una tensión frente a la distribución de corriente para cada una de las celdas en un momento de entre la puesta en marcha y la parada del electrolizador.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además:
- 20 adquirir una temperatura y una distribución de corriente de una de las celdas no dañadas y las celdas no dañadas gravemente; y
- estimar la eficiencia de cada una de las celdas, en el que la estimación de la eficiencia comprende preferentemente
- 25 comparar la temperatura y la distribución de corriente de cada una de las celdas con parámetros de celda nominales.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, que comprende además maximizar la eficiencia global del electrolizador moviendo por lo menos una de las celdas a una nueva posición en el electrolizador.
- 30 5. Procedimiento según la reivindicación 2, que comprende además:
- medir un parámetro físico de cada una de las celdas clasificadas como celdas no dañadas gravemente; y
- 35 estimar por lo menos uno de una posición y un tamaño de una perforación en una membrana de cada una de las celdas no dañadas gravemente utilizando el parámetro físico medido,
- en el que la estimación de por lo menos uno de entre una posición y un tamaño de una perforación comprende preferentemente:
- 40 aplicar una regresión a la tensión frente a la distribución de corriente adquirida para cada una de las celdas no dañadas gravemente; y
- 45 correlacionar la regresión con el parámetro físico medido, y
- en el que el parámetro físico es uno de entre una presión diferencial y un nivel de líquido en la celda.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que la estimación de por lo menos uno de entre una posición y un tamaño de una perforación comprende evaluar un flujo cáustico que penetra en un compartimento anódico de una de las celdas no dañadas gravemente atravesando la membrana.
- 50 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que la estimación de una posición de una perforación comprende comparar por lo menos uno de entre la presión diferencial y el nivel de líquido con un valor esperado para determinar si la posición es una de entre sección superior, inferior o media de la celda.
- 55 8. Sistema para evaluar el daño de una pluralidad de celdas en un electrolizador, comprendiendo el sistema:
- un dispositivo de adquisición de tensión acoplado a cada una de las celdas en el electrolizador, para adquirir una
- 60 tensión para cada una de las celdas; y
- un módulo de evaluación de daños acoplado al dispositivo de adquisición de tensión, estando el módulo de evaluación de daños adaptado para recibir la tensión adquirida para cada una de las celdas; comparar la tensión con por lo menos dos niveles de tensión umbral; clasificar las celdas como unas de entre: celdas dañadas gravemente, celdas no dañadas gravemente y celdas no dañadas, basándose en la comparación; y enviar una señal para
- 65 desactivar las celdas clasificadas como celdas dañadas gravemente.

9. Sistema según la reivindicación 8, que comprende además un dispositivo de memoria acoplado al dispositivo de adquisición de tensión y al módulo de evaluación de daños para almacenar la tensión adquirida para cada una de las celdas y dichos por lo menos dos niveles de tensión umbral.
- 5 10. Sistema según la reivindicación 8, en el que el dispositivo de adquisición de tensión comprende un dispositivo de control de corriente para adquirir una tensión frente a la distribución de corriente para cada una de las celdas, variando el dispositivo de control de corriente una corriente en cada una de las celdas en un momento de entre la puesta en marcha y parada del electrolizador.
- 10 11. Sistema según la reivindicación 10, que comprende además:
- un sensor de temperatura y un sensor de corriente para adquirir una temperatura y una distribución de corriente de cada una de las celdas clasificadas como unas de entre celdas no dañadas y celdas no dañadas gravemente; y
- 15 un módulo de evaluación de la eficiencia de celda para estimar una eficiencia de cada una de las celdas.
12. Sistema según la reivindicación 11, que comprende además un módulo de mantenimiento de electrolizador adaptado para recibir la eficiencia de cada una de las celdas e indicar una acción que va a realizarse para ajustar una eficiencia global del electrolizador.
- 20 13. Sistema según la reivindicación 12, que comprende además un módulo de procesamiento para comparar la temperatura y la distribución de corriente adquiridas para cada una de las celdas con parámetros de celda nominales.
- 25 14. Sistema según la reivindicación 8, que comprende además un sensor para medir un parámetro físico de cada una de las celdas clasificadas como celdas no dañadas gravemente, y un módulo de procesamiento para estimar por lo menos uno de entre una posición y un tamaño de una perforación en una membrana de cada una de las celdas no dañadas gravemente utilizando el parámetro físico medido y la tensión adquirida para cada una de las celdas no dañadas gravemente.
- 30 15. Sistema según la reivindicación 14, que comprende además un módulo de mantenimiento de electrolizador adaptado para transmitir una señal representativa de una acción de mantenimiento que va a realizarse en cualquiera de las celdas no dañadas gravemente, basándose la acción de mantenimiento en dicho por lo menos uno de entre la posición y el tamaño de una perforación estimados para una de las celdas no dañadas gravemente,
- 35 en el que el sensor comprende preferentemente un sensor de flujo para medir un flujo cáustico en cada una de las celdas no dañadas gravemente, penetrando el flujo cáustico en un compartimento anódico atravesando la membrana.
- 40 16. Sistema según la reivindicación 15, en el que el módulo de procesamiento compara por lo menos uno de entre el parámetro físico medido por el sensor de presión diferencial y el sensor de líquido con un valor esperado para determinar si la posición de la perforación es una de entre sección superior, inferior y media de la celda.

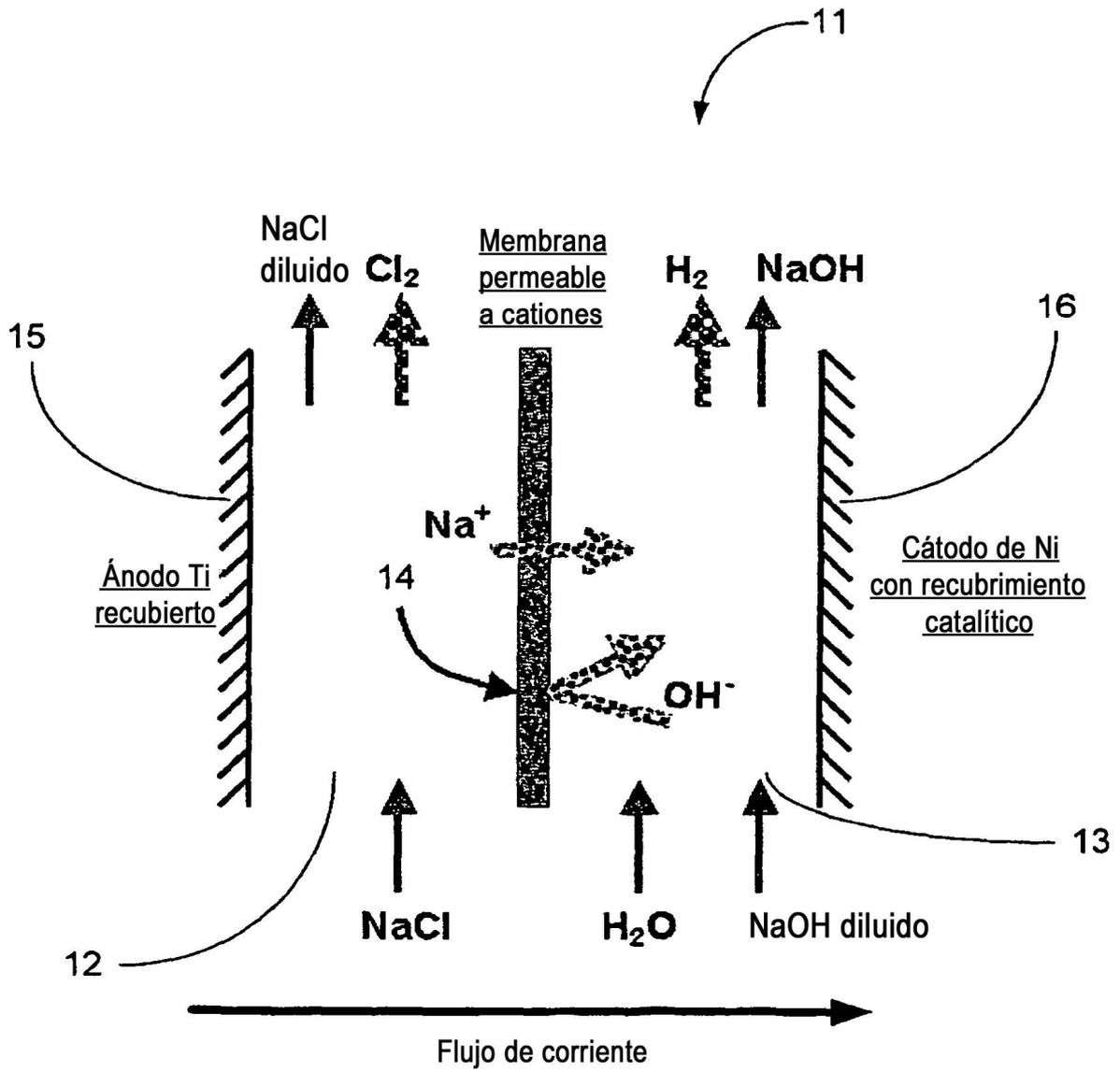


FIGURA 1a

TÉCNICA ANTERIOR

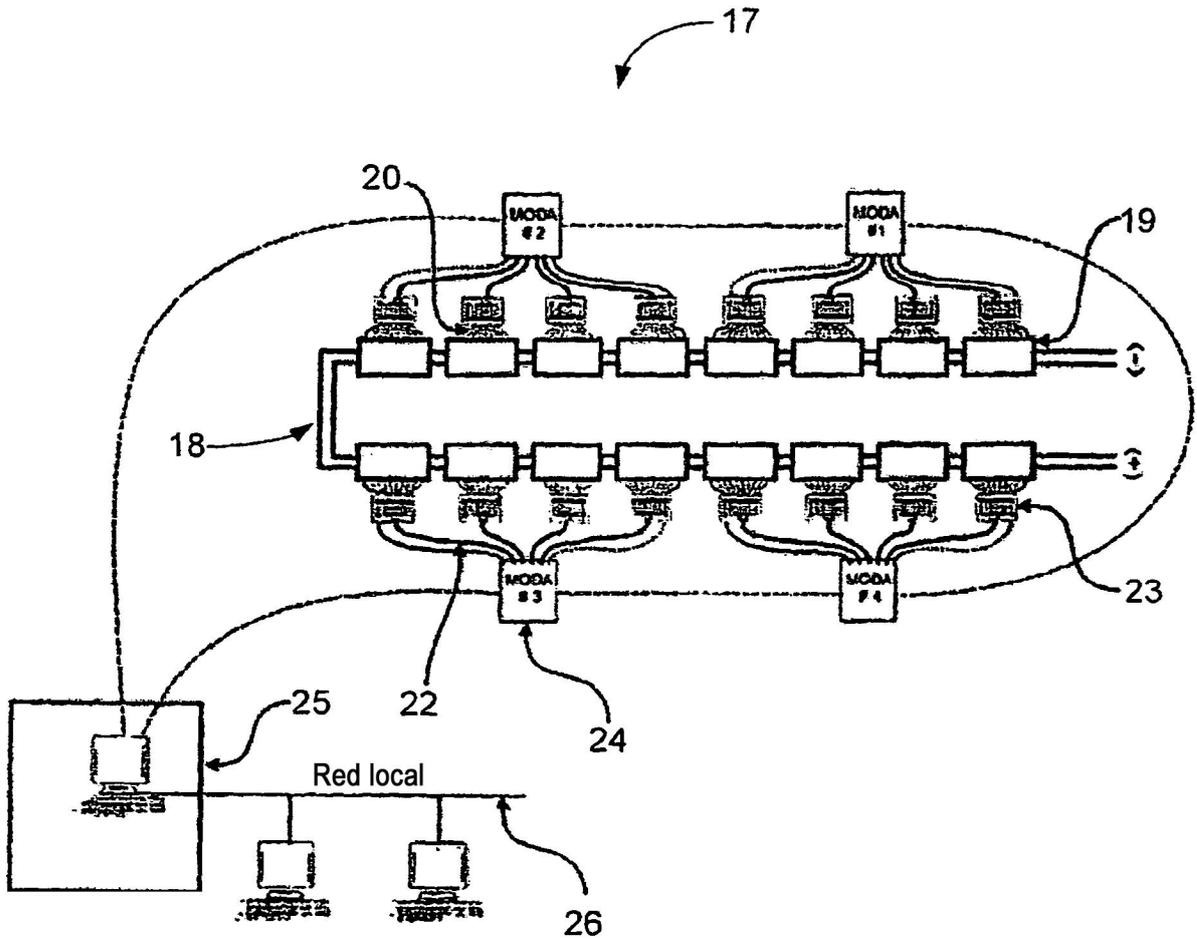


FIGURA 1b

TÉCNICA ANTERIOR

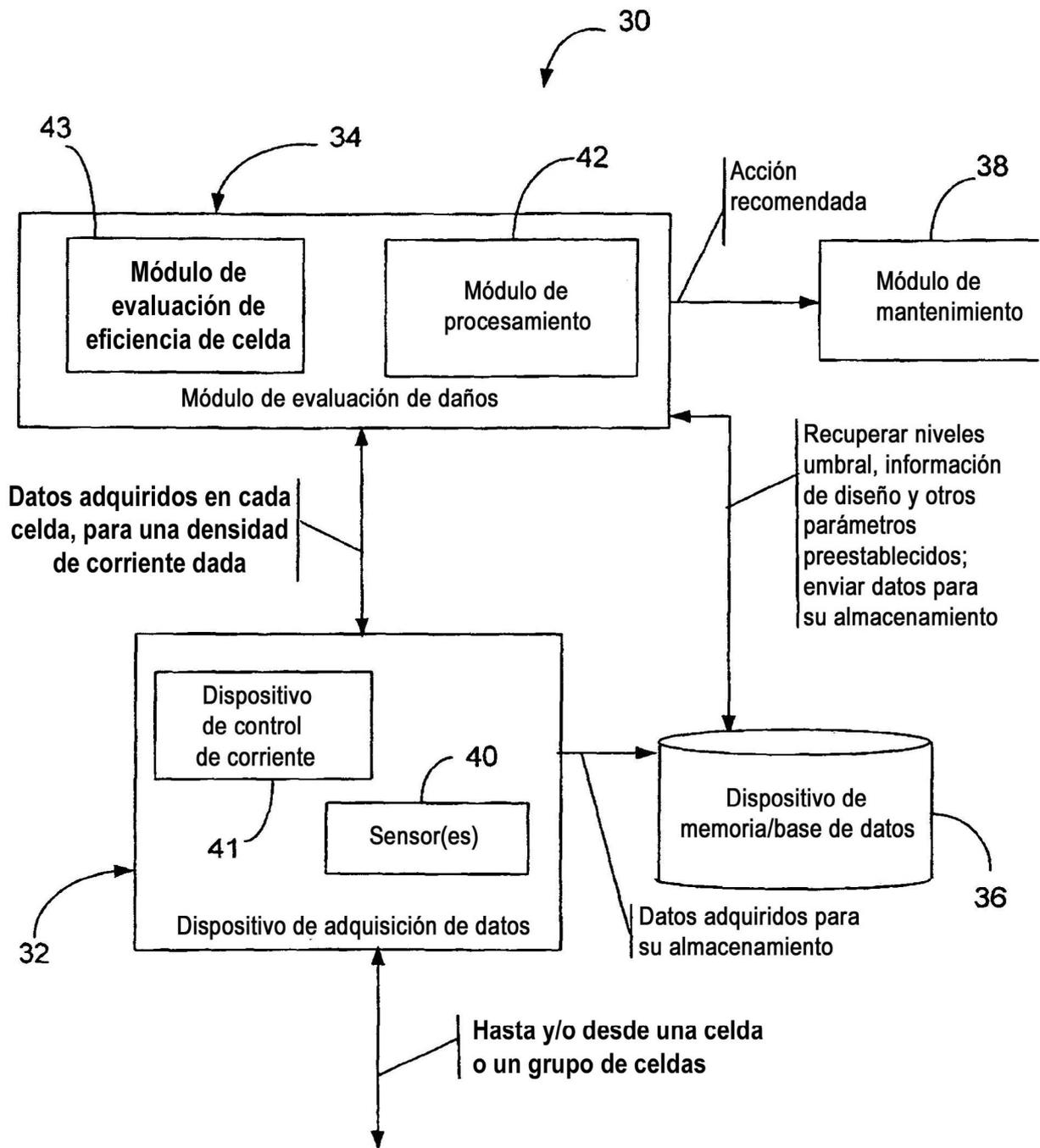


FIGURA 2

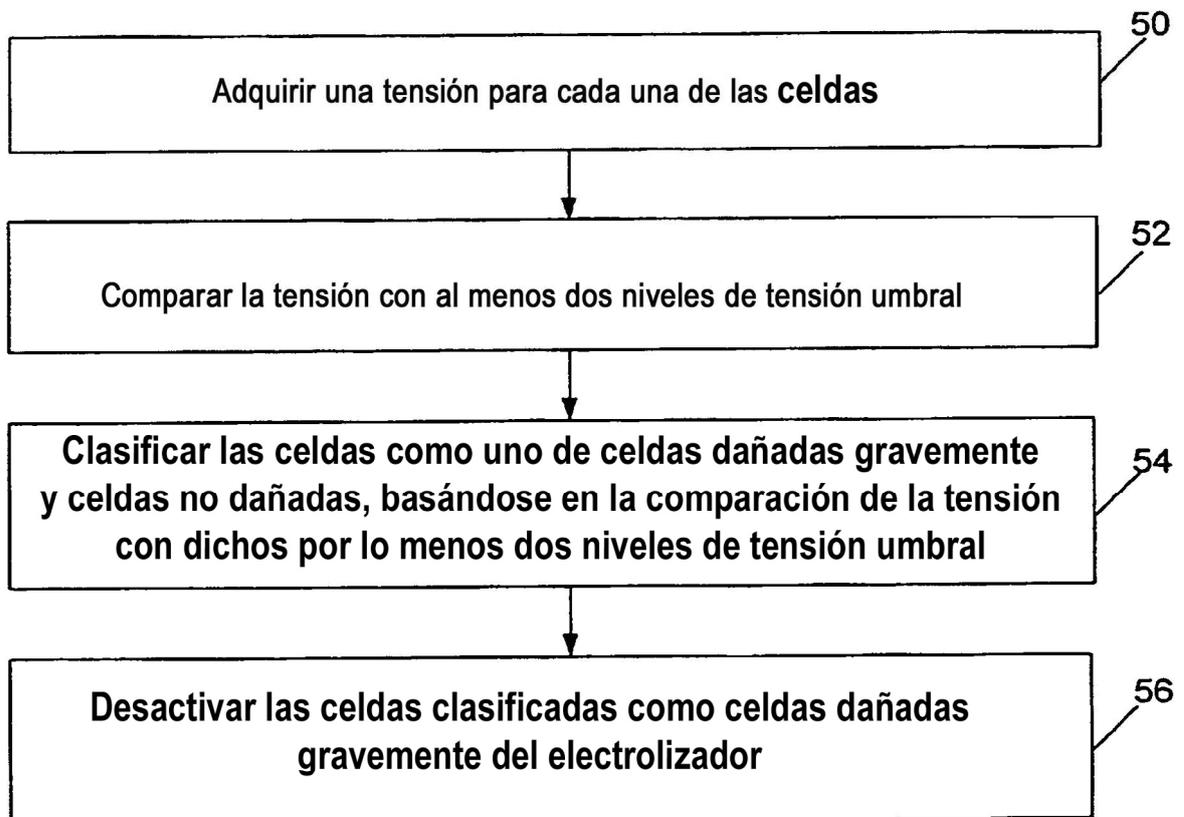


FIGURA 3a

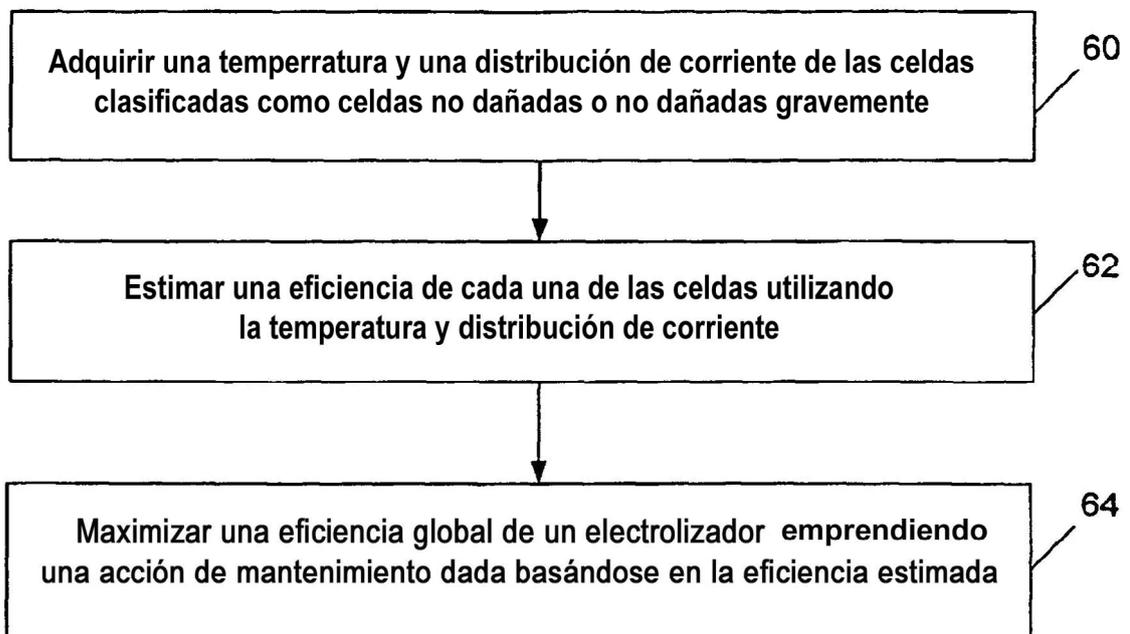


FIGURA 3b

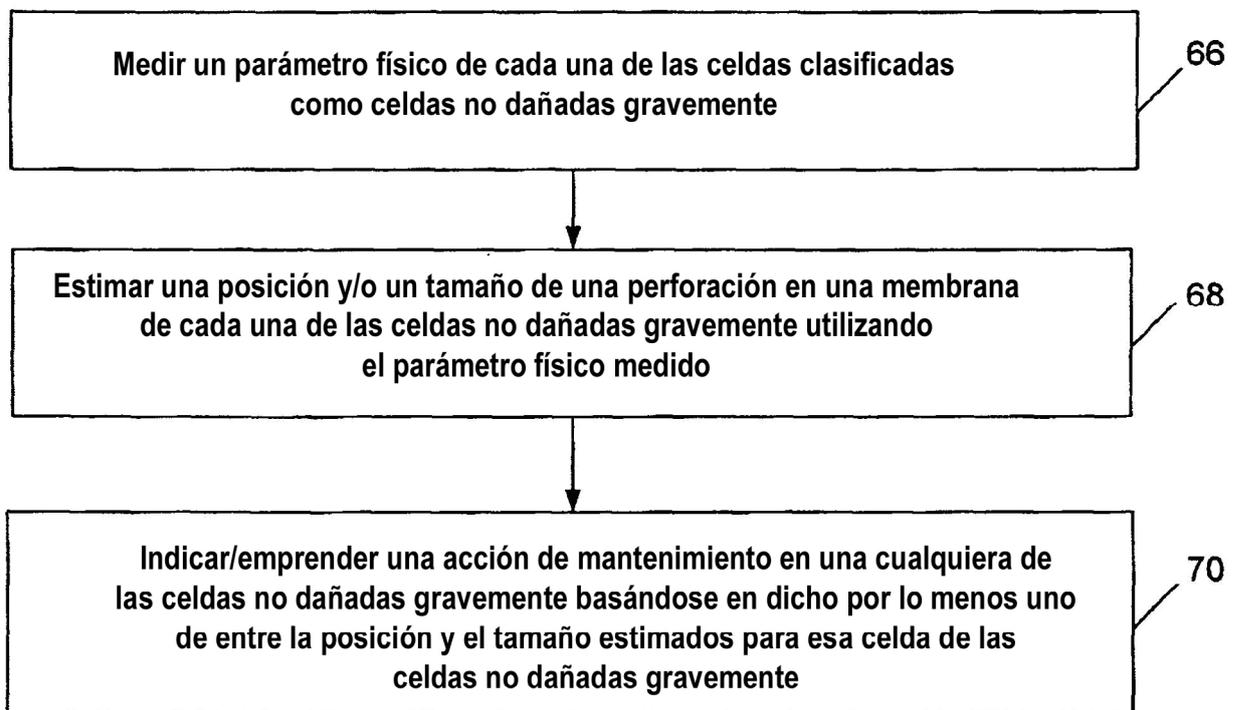


FIGURA 3c

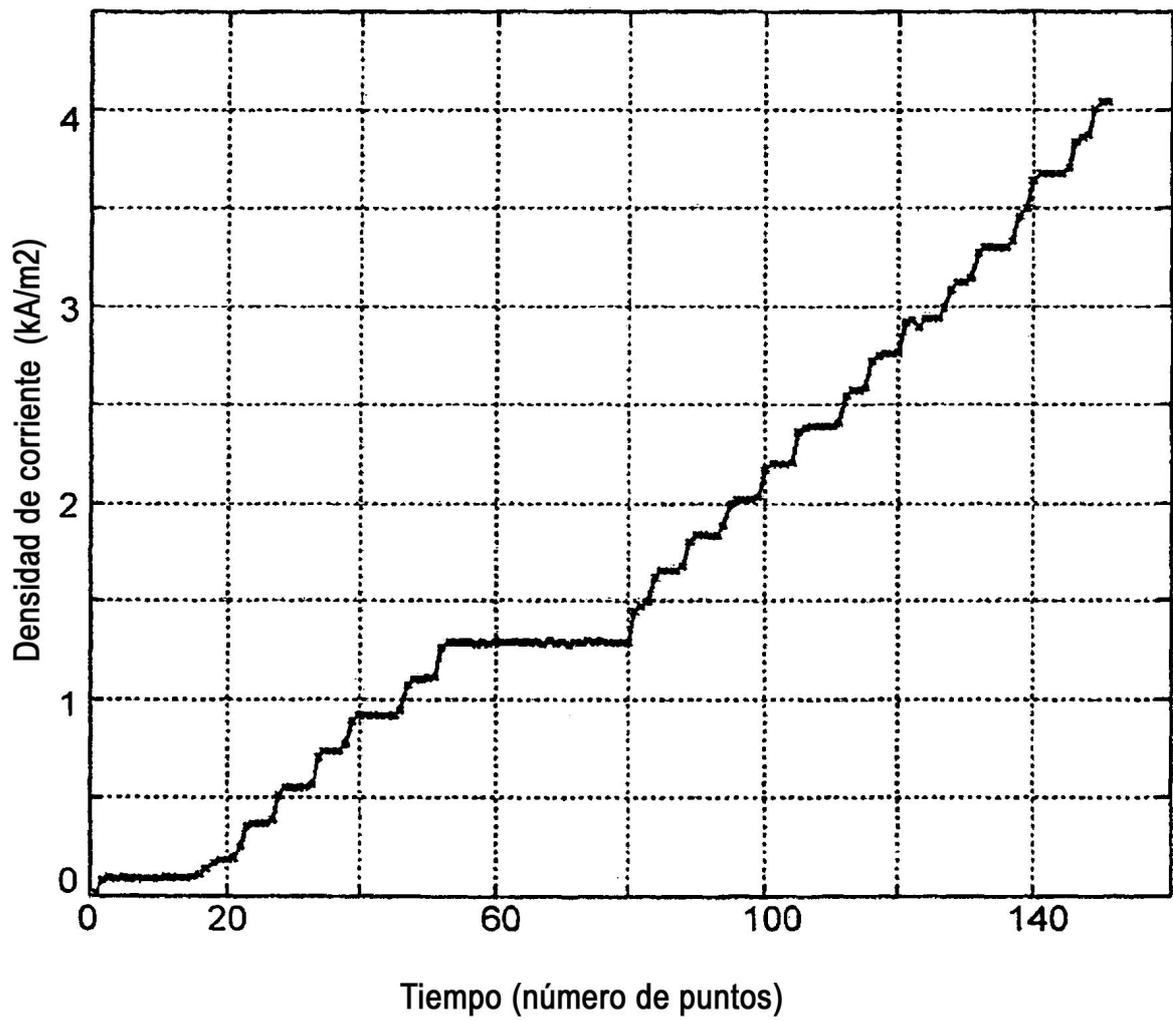


FIGURA 4

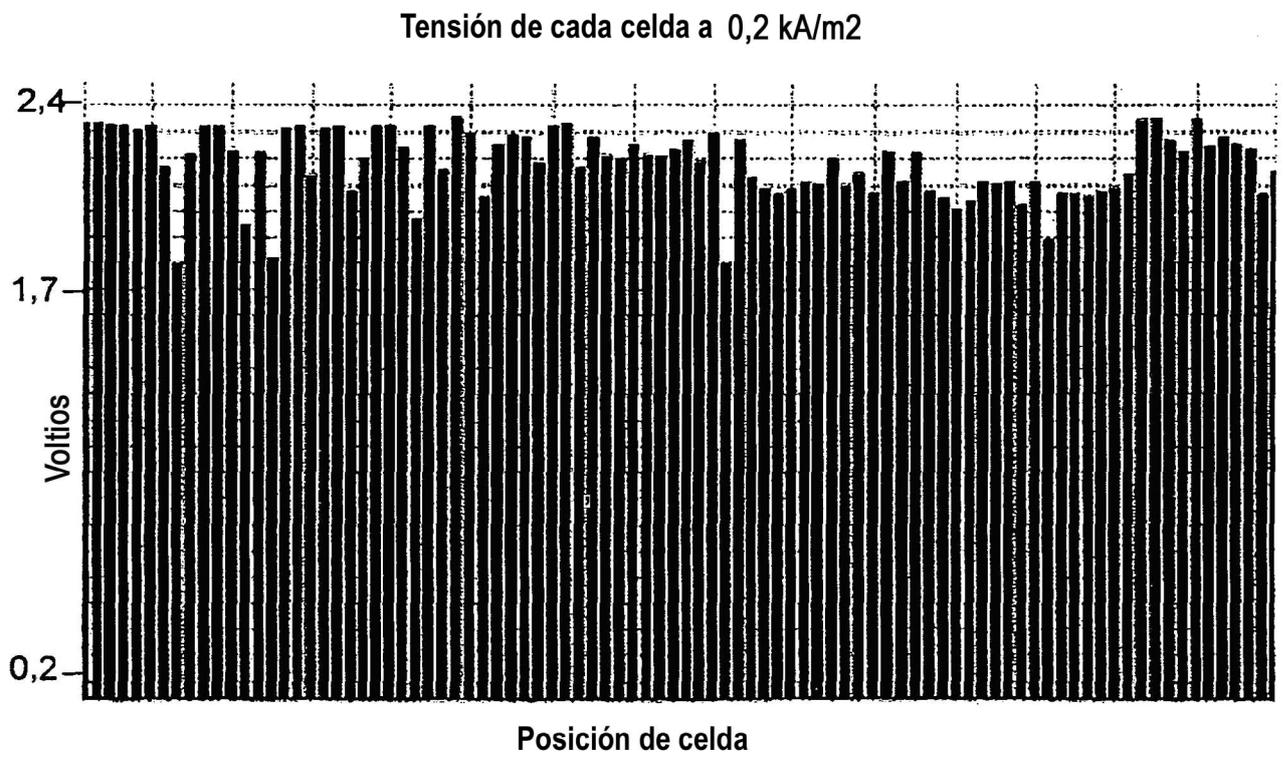


FIGURA 5

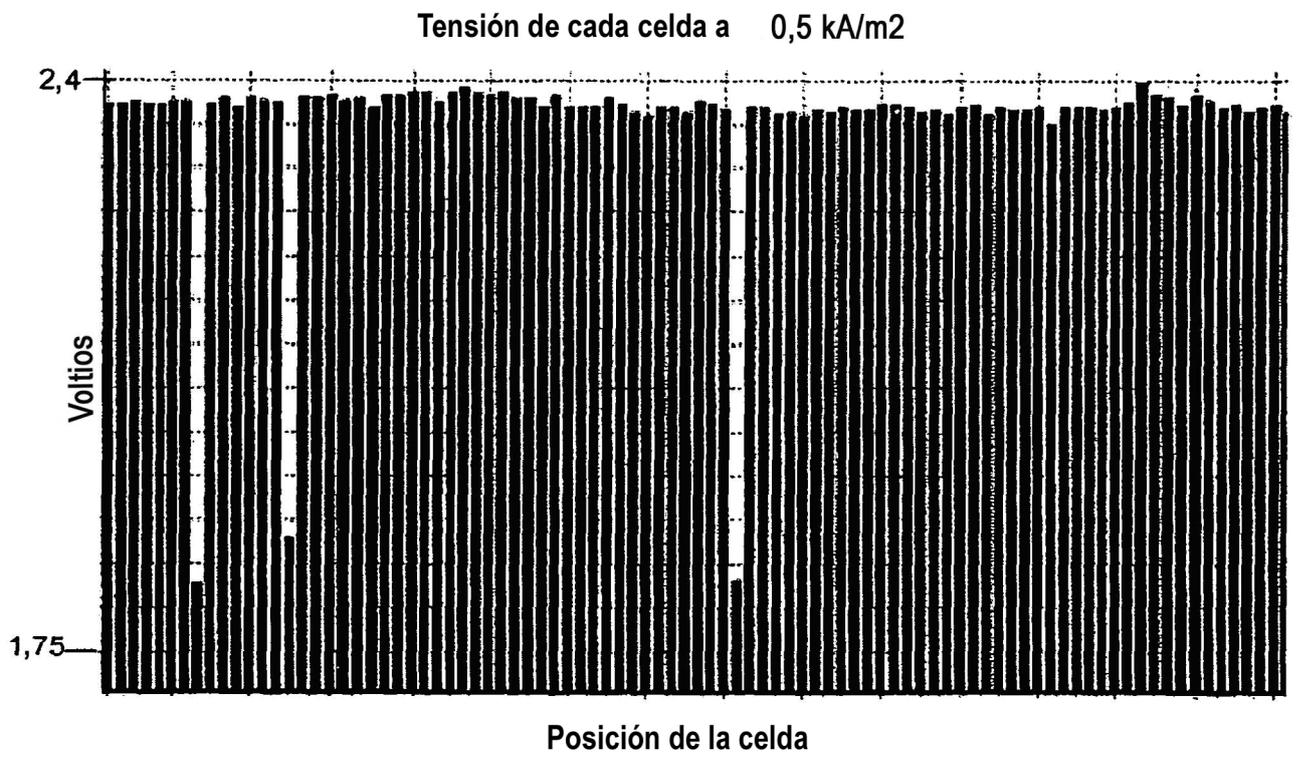


FIGURA 6

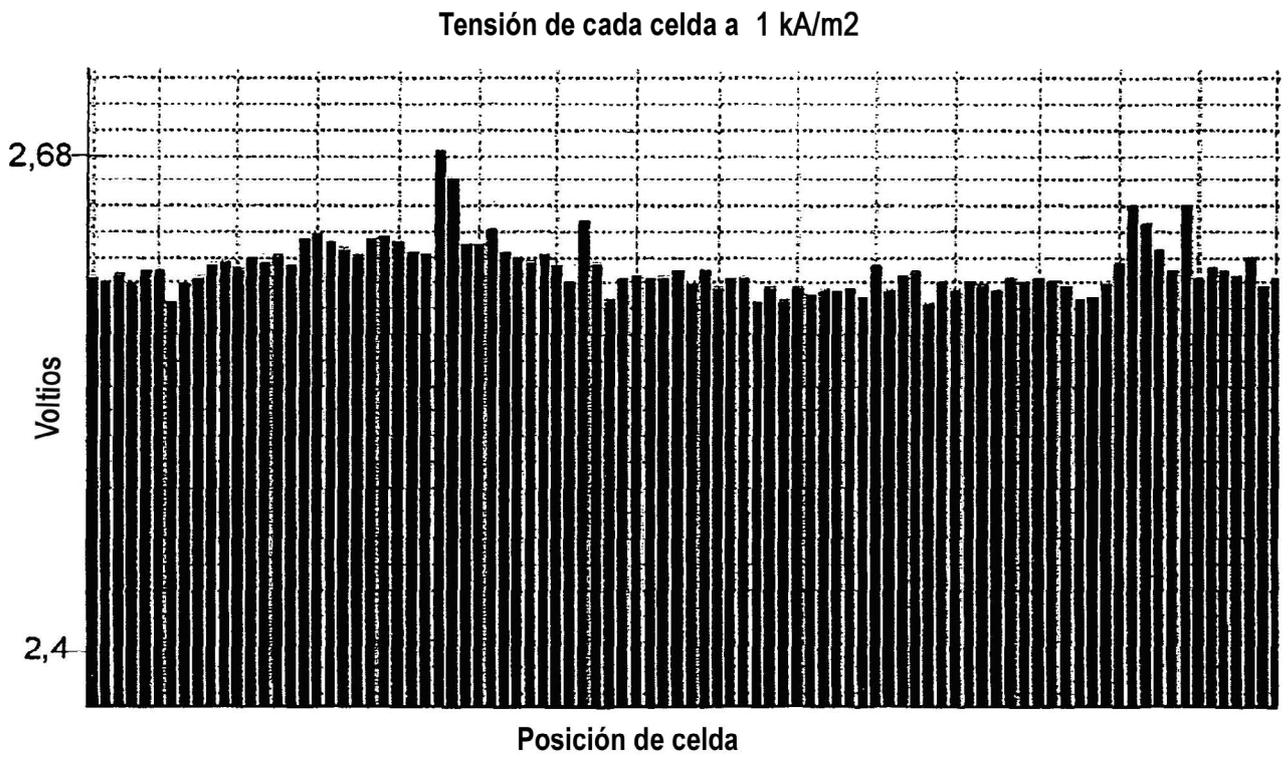


FIGURA 7

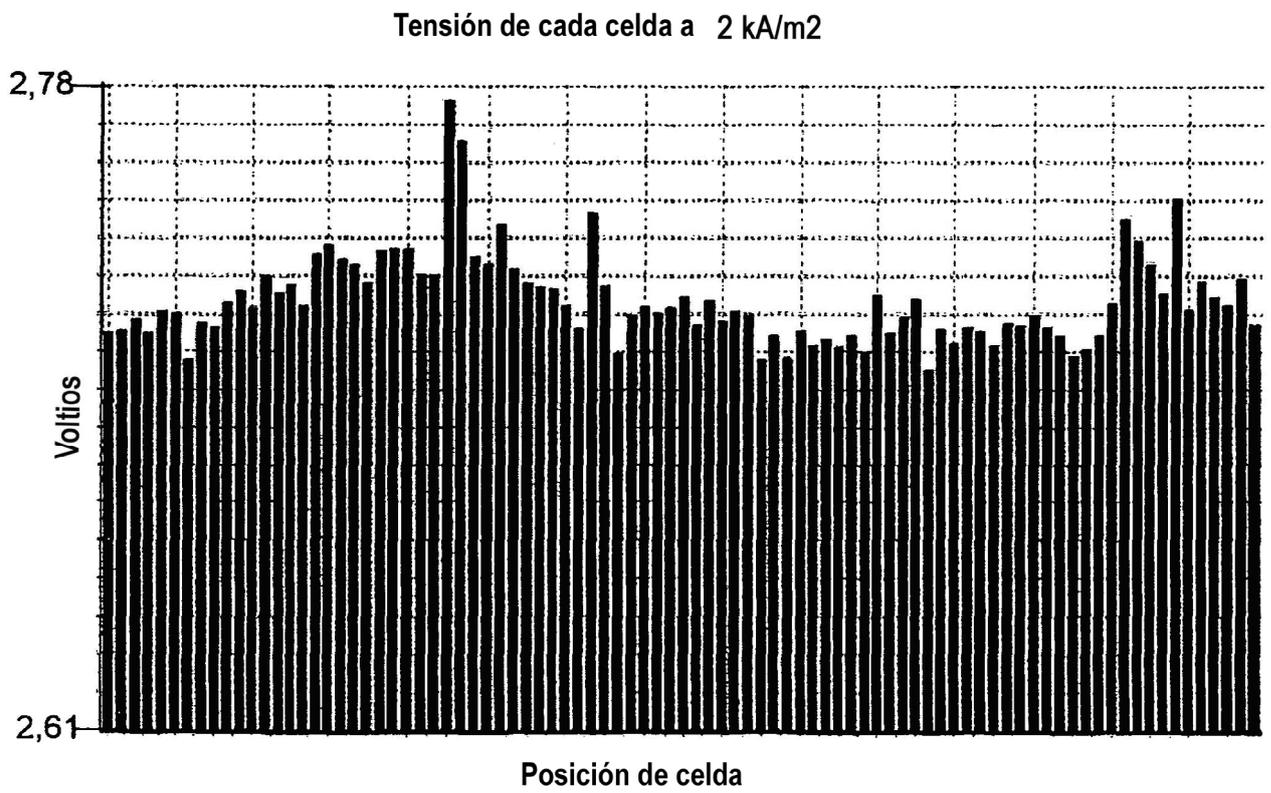


FIGURA 8

Comportamiento de tensión frente al tiempo, desde la puesta en marcha

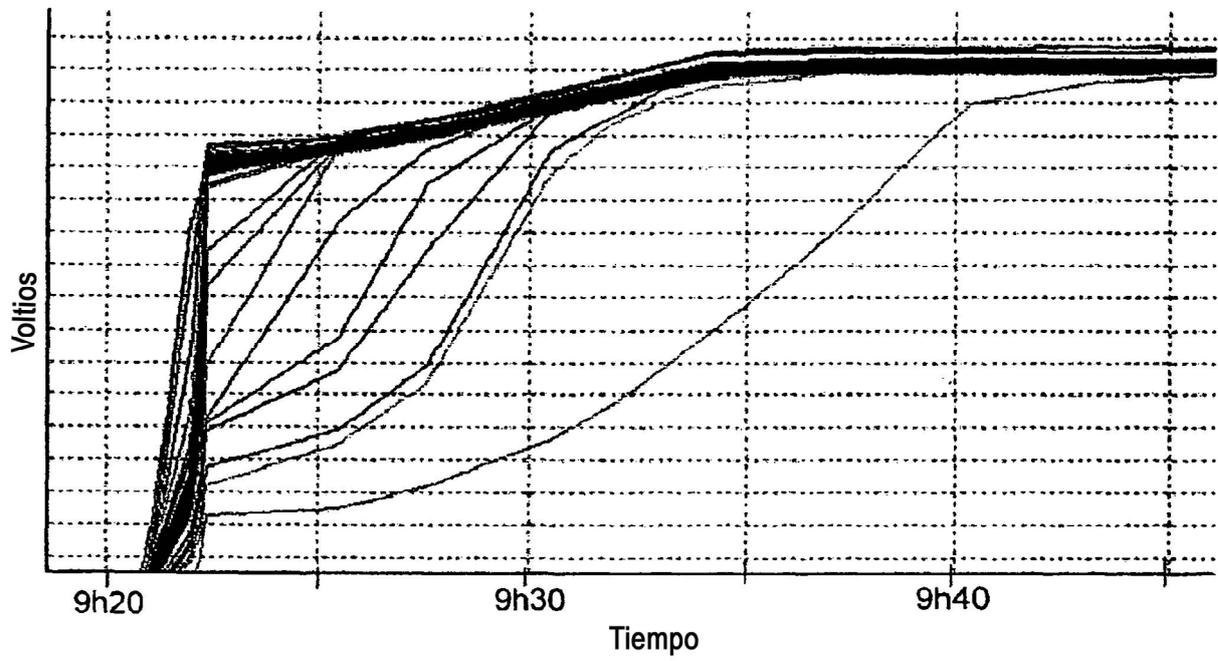


FIGURA 9

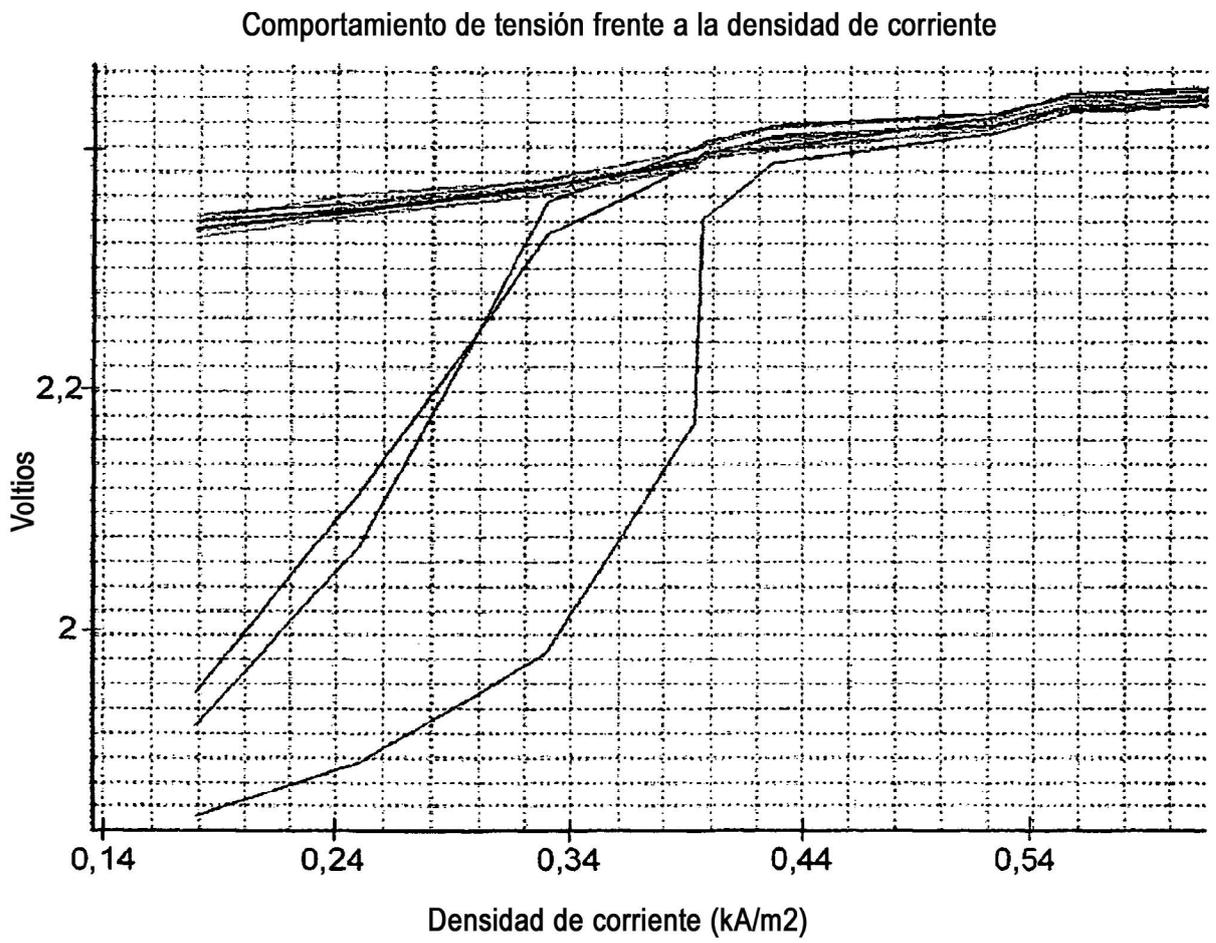


FIGURA 10