



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 363 918**

(51) Int. Cl.:

G01R 27/02 (2006.01)

C25B 11/00 (2006.01)

G01R 29/08 (2006.01)

G01R 31/00 (2006.01)

G01R 33/00 (2006.01)

G01R 29/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **04802283 .4**

(96) Fecha de presentación : **10.12.2004**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1709453**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **11.10.2006**

(54) Título: **Método para la predicción de la conductividad eléctrica de ánodos para la producción de aluminio antes de la cocción.**

(30) Prioridad: **12.12.2003 US 528720 P**

(73) Titular/es: **Université du Québec à Chicoutimi
555 Boulevard de l'Université
Chicoutimi, Québec G7H 2B1, CA**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.08.2011

(72) Inventor/es: **Audet, Daniel y
Parent, Luc**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.08.2011

(74) Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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

Método para la predicción de la conductividad eléctrica de ánodos para la producción de aluminio antes de la cocción

5 El proceso Hall-Heroult es un método bien conocido utilizado para la producción de aluminio en masa (cuyo metal se refiere a veces también como "aluminio"). Este proceso utiliza células electrolíticas, en las que se disuelve alúmina purificada en una mezcla que tiene un alto contenido de criolita fundida. Los electrodos utilizados en una célula Hall-Heroult se fabrican generalmente de un material carbonoso que tiene una buena conductividad eléctrica. El cátodo es un electrodo permanente que puede durar muchos años y al menos uno está colocado en el fondo de una célula. Cada célula contiene generalmente la multitud de ánodos emplazados en su parte superior. Se produce aluminio cuando una corriente eléctrica grande pasa a través de los electrodos. Bajo la influencia de la corriente, el oxígeno de la alúmina es depositado sobre los ánodos y es liberado como dióxido de carbono, mientras que aluminio fundido libre, que es más pesado que el electrolito, es depositado sobre el cátodo en el fondo de la célula. Por lo tanto, los ánodos no son permanentes y se consumen de acuerdo con la tasa de producción de aluminio. Deben sustituirse una vez que han alcanzado su vida útil.

15 Una gran parte de la producción mundial de aluminio se obtiene a partir de células Hall-Heroult que utilizan ánodos pre-cocidos. Los ánodos pre-cocidos se consumen en aproximadamente 10 a 45 días. Una célula Hall-Heroult típica grande puede contener más de veinte ánodos. Puesto que un horno de fundición puede tener muchos cientos de células en una sola planta, es necesario, por lo tanto, producir y sustituir cada día varios cientos de ánodos. Una preocupación importante para los fundidores de aluminio es tener un suministro adecuado de ánodos buenos.

20 Los ánodos se producen normalmente a partir de dos materiales básicos, a saber, coque y brea de petróleo. El coque es un material sólido que debe calentarse a una temperatura alta antes del uso. La brea es un material viscoso y pegajoso que adhiere partículas sólidas de coque juntas e incrementa la superficie de contacto entre las partículas. Al tener una superficie de contacto grande entre las partículas, se incrementa la conductividad eléctrica de los ánodos. No obstante, la adición de una proporción demasiado alta de brea crea normalmente porosidades que reducen la conductividad eléctrica de los ánodos. Por lo tanto, existe una proporción óptima de brea en la composición de los ánodos crudos. Típicamente, la mezcla contiene entre 10 y 20 % en peso de brea, que proporciona, en general, un producto que tiene una buena cohesión y una conductividad eléctrica adecuada.

25 La optimización de la conductividad eléctrica de los ánodos es relativamente importante en términos de costes operativos. Cuando la corriente fluye a través de los ánodos, una parte de la energía es transformada en calor. Esta energía se derrocha y debe reducirse al mínimo para mejorar la eficiencia del proceso y la tasa de producción de aluminio. Por lo tanto, los ánodos deben tener idealmente la más alta conductividad eléctrica posible.

30 El porcentaje de brea se ajusta generalmente de acuerdo con la distribución del tamaño de las partículas de coque. Es necesario un contenido más alto de brea para ligar partículas de diámetro más pequeño. Cuando se alcanza la composición objetiva de la mezcla, se prensa una cantidad pre-definida y, a ser posible, se somete a vibración en un molde que tiene la forma del ánodo. El producto resultante que procede del molde es un bloque de ánodos crudos que pesa entre 500 y 1500 kg. Entonces, el ánodo crudo debe cocerse, típicamente durante 10 a 15 días, para descomponer la brea en carbono para crear una unión permanente entre las partículas de coque. La cocción de ánodos se realiza normalmente en pocillos, en los que se coloca un número grande de ánodos. Solamente después de la cocción se puede medir la conductividad eléctrica de los ánodos utilizando dispositivos de medición convencionales. Antes de la cocción, las mediciones utilizando estos dispositivos convencionales no son, en general, fiables. La conductividad eléctrica de los ánodos cocidos se puede medir también cuando están en funcionamiento en una célula.

35 Como se puede ver, cualquier variación no intencionada que se produce durante el proceso de fabricación de los ánodos puede pasar sin ser detectada hasta que se ha completado la cocción de estos ánodos, por lo tanto muchos días después de haberse iniciado su proceso de fabricación. Muchos factores pueden afectar a la conductividad eléctrica de los ánodos, todos los cuales representan retos para los fabricantes de ánodos. Uno de estos retos es la variación en el tamaño de las partículas de coque. Típicamente, el tamaño de las partículas de coque puede variar desde 100 micras hasta 5 cm. La distribución del tamaño puede variar de un baño a otro, dado como resultado de esta manera ánodos de diferente conductividad eléctricas, a no ser que la proporción de brea sea ajustada de manera correspondiente. Otro reto es mantener una proporción exacta de ingredientes en la mezcla, en particular en la brea. La brea es un producto altamente viscoso difícil de manipular, de manera que la cantidad exacta suministrada por el aparato de distribución de brea a la mezcla inicial puede variar de una carga a otra. También existen otros retos, tales como obtener una mezcla muy homogénea de los ingredientes, previniendo que el aire se quede atrapado en la mezcla y cree huecos, obtener una compactación óptima de la mezcla en los moldes antes de la cocción, y prevenir la deformación elástica de las partículas de coque en un esfuerzo por evitar la separación de capas en los bloques. Todos estos factores pueden desviar potencialmente la conductividad eléctrica de uno o varios ánodos fuera del valor objetivo. Como se ha indicado anteriormente, esto solamente será conocido una vez que los ánodos están cocidos, por lo tanto muchos días después. En ese punto, se pueden realizar correcciones en

el proceso de fabricación, pero los ánodos ya fabricados o que están siendo cocidos actualmente puede ser defectuosos o menos deseables de otra manera.

El documento US 5.552.704 describe un método y aparato para realizar mediciones de conductancia en una muestra utilizando una sonda de corriente parásita, sin la necesidad de medición o conocimiento de la separación entre sonda y muestra. La sonda comprende bobinas de detección y de accionamiento montadas en proximidad estrecha entre sí (o una sola bobina que funciona tanto como bobina de detección como también como bobina de accionamiento), circuitería para producir tensión AC en la bobina de accionamiento, y un medidor para medir componentes en-fase y en cuadratura de tensión inducida en la bobina de detección. Se pueden generar una tabla de consulta de datos para uso en mediciones siguientes en muestra de conductancia desconocida realizando mediciones de corriente parásita en muestras que tienen diferentes conductancias conocidas para generar curvas de despegue de referencia, procesando las curvas de despegue de referencia para determinar una función de conductancia que relaciona cada conductancia conocida con una localización a lo largo de una curva seleccionada, y almacenando valores de conductancia determinados por la función de conductancia para diferentes puntos sobre la curva seleccionada como los datos de la tabla de consulta. Entonces se puede determinar la conductancia de una muestra desconocida generando una curva de despegue a partir de mediciones de la tensión en diferentes separaciones de la sonda a partir de la muestra, determinando una nueva pareja de tensiones de intersección que representan la intersección de la curva de despegue con la curva seleccionada, y determinando la conductancia desconocida como un valor de la tabla de consulta indexado por la nueva pareja de tensiones de intersección.

El documento US 3.936.734 describe un método para medición sin contacto de conductividad y/o temperatura en metales por medio del efecto de corriente parásita inducido dentro del metal por un campo magnético alternativo producido por una bobina de excitación alimentada con corriente alterna dispuesta con su eje perpendicularmente a la superficie de la muestra de ensayo metálica, estando presentes, además de la bobina de excitación, una pareja de bobinas de medición de radio igual dispuestas coaxial y simétricamente con respecto a la bobina de excitación en cada extremo, respectivamente, de la bobina de excitación y que tiene una longitud axial sustancialmente menor que la de la bobina de excitación. Las dos bobinas de medición están conectadas eléctricamente en oposición en serie y el ángulo de fase entre la corriente en las bobinas de medición que están conectadas eléctricamente en oposición en serie y el ángulo de fase entre la corriente en las bobinas de medición y la corriente en la bobina de excitación se toma como una indicación de la variable medida. Con el fin de reducir el llamado efecto de "despegue" a un mínimo y permitir una medición exacta sin contacto, de tal manera que las tolerancias sustanciales sean permisibles para la distancia entre la muestra de ensayo y la cabeza de medición que lleva las bobinas, el radio entre la bobina de excitación, por una parte, y las bobinas de medición, por otra parte, es menor que $\frac{1}{4}$ o mayor que 4, dependiendo de si las bobinas de medición están localizadas, respectivamente, fuera o dentro de la bobina de excitación, y la cabeza de medición se encuentra a una distancia tal de la superficie de la muestra que el ángulo de fase entre la señal de la bobina de excitación y la señal de la bobina de medición muestra un máximo.

La presente invención proporciona un método para la predicción de la conductividad eléctrica de un ánodo para la producción de aluminio, comprendiendo el método: generar un campo electromagnético de excitación; mover el ánodo o una muestra del mismo, dentro de al menos una bobina de recepción acoplada electromagnéticamente al campo electromagnético; detectar una variación en el campo electromagnético recibido por la al menos una bobina de recepción y emitir una señal indicativa del mismo; y calcular un valor indicativo de la conductividad eléctrica del ánodo; estando caracterizado el método porque el ánodo, o una muestra del mismo, se mueve dentro de la al menos una bobina de recepción antes de la cocción del ánodo; el valor indicativo de la conductividad eléctrica del ánodo es calculado utilizando la señal indicativa de la variación, con preferencia una variación máxima, en el campo electromagnético recibido por la al menos una bobina de recepción y señales registradas previamente obtenidas con ánodos de referencia antes de su cocción y para los que se ha medido la conductividad eléctrica después de la cocción; y el valor calculado es indicativo de la conductividad eléctrica del ánodo después de la cocción.

Éstos y otros aspectos se describen en o se deducen claramente a partir de la descripción detallada siguiente realizada en combinación con las figuras que se acompañan, en las que:

La figura 1 es una vista esquemática de un ejemplo de un sistema para la predicción de la conductividad eléctrica de un ánodo.

La figura 2 es un grafo que ilustra de forma esquemática un ejemplo de una señal posible detectada por el dispositivo de detección en función del tiempo.

La figura 3 es un grafo que ilustra un ejemplo de una relación posible entre la variación máxima en la señal en las bobinas de recepción y la proporción de brea de ánodos crudos, obtenidos a partir de un número de ánodos de referencia.

La figura 4 es un grafo que ilustra un ejemplo de una relación posible entre la conductividad eléctrica medida en ánodos de referencia después de la cocción, en función de la proporción de brea.

La figura 5 es un grafo que ilustra un ejemplo de una relación general posible entre la conductividad eléctrica y la

señal en las bobinas de recepción.

Se ha encontrado que es posible predecir la conductividad eléctrica de un ánodo, por lo tanto, antes de la cocción, con una disposición que implica la disrupción de una corriente inducida en una bobina de recepción utilizando el ánodo crudo o una muestra del mismo. La corriente es inducida utilizando una bobina de emisión, o cualquier disposición similar que emite un campo electromagnético de excitación. La corriente inducida es medida entonces y proporcionará un valor indicativo de la conductividad eléctrica cuando se compara con datos obtenidos utilizando ánodos de referencia.

Debería indicarse en este punto que el término "conductividad" se utiliza de una manera no limitativa. La "conductividad" es algo similar a la "resistencia". Ambos términos se entrelazan, puesto que uno es simplemente el opuesto del otro. Por lo tanto, se puede predecir la resistencia eléctrica de un ánodo en lugar de predecir la conductividad eléctrica del mismo y conseguir el mismo resultado. El objetivo en ese contexto es reducir al mínimo la resistencia para reducir al mínimo el derroche de energía cuando una corriente fluye a través del ánodo.

La figura 1 es una vista esquemática que muestra un ejemplo de un sistema (10) utilizado para predecir la conductividad eléctrica de un ánodo (12) antes de la cocción. Este sistema (10) incluye una bobina de emisión (14) que se utiliza para generar un campo electromagnético de excitación variable en el tiempo. La bobina de emisión (14) está arrollada con preferencia alrededor de un soporte no conductor (16). También está conectada a un generador de AC (18) utilizada para generar una señal de AC, con preferencia a una frecuencia entre 100 y 10.000 hertzios. También se podrían utilizar otras frecuencias.

El sistema (10) ilustrado comprende, además, dos bobinas de recepción (20, 22) opuestas, cada una de las cuales está arrollada con preferencia alrededor de soportes (24, 26) correspondientes y posicionada a la misma distancia de la bobina de emisión (14). También es posible el uso de una sola bobina de recepción. A pesar de todo, se prefiere el uso de dos bobinas de recepción (20, 22) opuestas, puesto que esto mejora la exactitud de la señal, como se explica más adelante. La bobina de emisión (14) está posicionada entre las dos bobinas de recepción (24, 26) y con preferencia todas las bobinas están sustancialmente alineadas con referencia a un eje principal (M). Las bobinas de recepción (24, 26) están posicionadas de manera que se acoplarán electromagnéticamente con la bobina de emisión (14), considerando la resistencia de la señal de excitación. La forma de los varios soportes (16, 24, 26) puede ser cuadrada, redonda o de cualquier otra forma. Se pueden fabricar de plástico, cerámica o de cualquier otro material que tenga una baja conductividad eléctrica. También son posibles otras configuraciones, incluyendo la alineación de las bobinas.

En la figura 1, una de las bobinas de recepción (20, 22) está arrollada en una dirección, estando arrollada la otra bobina en la dirección opuesta. Por lo tanto, si una está arrollada en el sentido de las agujas del reloj, la otra está arrollada en sentido contrario a las agujas del reloj. Ambas están conectadas en serie y de esta manera para formar un circuito de bucle cerrado. Esta disposición bilateral anula la inducción natural de la bobina de emisión (14) en las bobinas de recepción (20, 22). Por lo tanto, en ausencia del ánodo (12), la corriente inducida en el circuito será cero, mejorando de esta manera la precisión del sistema (10). Las dos bobinas de recepción (20, 22) tienen características sustancialmente idénticas, tales como el número de bucles, el tamaño, el espaciamiento con la bobina de emisión (14). A pesar de todo, también son posibles otras disposiciones.

El sistema (10) comprende, además, un dispositivo de detección (30) conectado al circuito de las bobinas de recepción (20, 22). Esto permite obtener una señal indicativa de una variación del campo electromagnético cuando un ánodo (12) está siendo evaluado. Este dispositivo de detección (30) puede estar en forma de un dispositivo de medición de la corriente, por ejemplo un amperímetro. También se pueden utilizar otros dispositivos. Por ejemplo, se puede utilizar un voltímetro conectado con los terminales de un resistor (no mostrado). El dispositivo de detección (30) está conectado a un ordenador (32) para registrar la señal y para procesamiento posterior. Los varios cálculos y análisis se pueden realizar en este ordenador (32) y los datos son registrados en una memoria, por ejemplo en un disco (34).

Como se ha indicado anteriormente, ambas bobinas (20, 22) están posicionadas a una distancia sustancialmente igual desde la bobina de emisión (14). Esta distancia es con preferencia al menos la longitud del ánodo (12) o las muestras del mismo. Esto proporciona una señal mejorada.

El sistema (10) puede dimensionarse o bien para recibir los ánodos completos (12) o solamente una muestra de ellos. Esto determina el tamaño de las varias bobinas. Las muestras son porciones pequeñas de los ánodos (12) tomadas en una o más localizaciones, por ejemplo utilizando una perforación en el núcleo. La utilización de muestra proporciona una reducción sustancial en el tamaño del sistema (10). Un sistema pequeño (10) es más fácil de proteger contra señales electromagnéticas parásitas. Por otra parte, la utilización de un sistema (10) a escala real proporciona una evaluación en línea de los ánodos crudos (12) y es no-invasivo. El ánodo entero (12) puede ser evaluado, lo que es útil para detectar problemas en una parte de un ánodo (12), que no sería muestreada.

En uso, el ánodo (12), o una muestra del mismo, se pasa a la primera bobina de recepción (20), con preferencia a una velocidad constante. Una unidad de transporte (40), tal como una cinta transportadora o un carro, mueve el

ánodo (12) o su muestra. De manera alternativa, se pueden utilizar bobinas móviles con relación a un ánodo no móvil (12). El campo electromagnético que emana desde la bobina de emisión (14) es recibido entonces por el ánodo (12) y esto interrumpe el campo electromagnético alrededor de una de las bobinas de recepción (20, 22). La corriente inducida en el circuito no será ya cero y ésta se puede medir utilizando el dispositivo de detección (30), con preferencia en función del tiempo. El ánodo (12) recorre todo el trayecto a través de la primera bobina de recepción (20) y continúa con preferencia a través de la bobina de emisión (14) y a través de la segunda bobina de recepción (22). Entonces sale del sistema (10), aunque se puede retornar a través del sistema (10) para otra evaluación o por cualquier otra razón, tal como el diseño d el alinea de producción.

La figura 2 muestra un aspecto típico de la señal. Esta señal tiene una porción positiva y una porción negativa. Esto es indicativo del hecho de que el ánodo (12), o la muestra realizaron todo el recorrido a través de ambas bobinas de recepción (20, 22) y de que el segundo arrollamiento está arrollado en la dirección opuesta. Una de las partes más significativas de la señal es la amplitud de cada porción. Se ha encontrado que ánodos de diferentes conductividades tendrán diferentes amplitudes de la señal. La amplitud máxima de la señal A_1 en la primera porción será generalmente idéntica a la amplitud máxima de la señal A_2 en la segunda porción si las bobinas de recepción (20, 22) tienen características sustancialmente idénticas. Ambas amplitudes (A_1 , A_2) se pueden promediar o sumar antes del procesamiento posterior. No obstante, la forma de la señal u otros parámetros de la misma podrían utilizarse para predecir adicionalmente la conductividad eléctrica u otros aspectos que se refieren a la calidad de los ánodos.

La figura 3 es un grafo que muestra un ejemplo que utiliza las amplitudes máximas de ánodos de referencia que tienen varias proporciones de brea. Las amplitudes máximas están en unidades arbitrarias y se obtienen a partir de un número de ánodos de referencia o muestras de los mismos. Estos datos serán utilizados para calibrar el sistema. Una vez que se han realizado las mediciones de las señales, se cuecen los ánodos de referencia. Luego, una vez que ha concluido la cocción de los ánodos de referencia, se mide su conductividad eléctrica directamente utilizando métodos convencionales o supervisando su eficiencia mientras están en uso. Esto se puede representar en un grafo, tal como el ejemplo mostrado en la figura 4. La figura 5 es un ejemplo de un grafo de este tipo. Además, se pueden obtener datos de referencia adicionales variando otros parámetros del proceso de fabricación. Esto puede perfeccionar el modelo e incrementar últimamente la precisión de la predicción.

La figura 5 muestra, además, que es posible utilizar la predicción de la conductividad eléctrica de los ánodos para corregir las proporciones de los ánodos crudos a fabricar. El ejemplo ilustrado muestra que se obtiene la conductividad eléctrica óptima con una amplitud de la señal de aproximadamente 430 unidades. Por lo tanto, es posible predecir la conductividad eléctrica de los ánodos utilizando los datos combinados de los dos grafos. De esta manera, incluso se puede obtener una conductividad eléctrica óptima de ánodos a través de un sistema de realimentación. También se puede utilizar un valor umbral para la conductividad eléctrica de ánodos. Por ejemplo, un fundido puede determinar que un ánodo por debajo de una conductividad eléctrica de $60 \mu\text{ohmios-cm}^{-1}$ no es adecuado. Por lo tanto, este fundidor o su fabricante de ánodos pueden desechar, antes de la cocción, los ánodos que es previsible que estén por debajo del umbral. En el ejemplo de la figura 5, un ánodo adecuado tendría una variación de la señal entre 350 y 450 unidades arbitrarias. Cualquier ánodo fuera de este rango podría ser desechado.

Como se puede apreciar, el sistema y el método como se describen aquí proporcionan una manera muy adecuada de predecir la conductividad eléctrica de ánodos antes de la cocción.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la predicción de la conductividad eléctrica de un ánodo (12) para la producción de aluminio, comprendiendo el método:

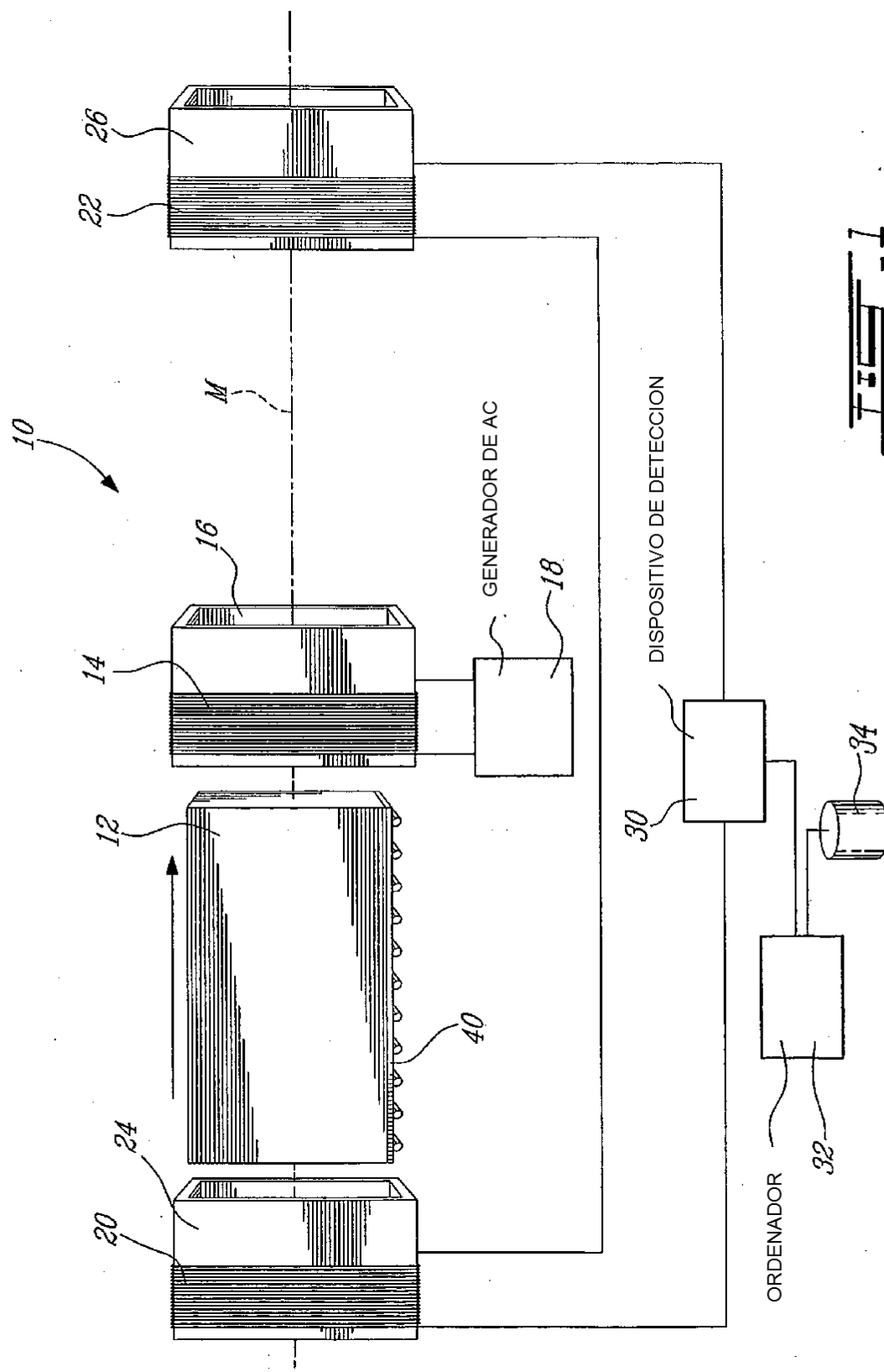
5 generar un campo electromagnético de excitación; mover el ánodo (12) o una muestra del mismo, dentro de al menos una bobina de recepción (20, 22) acoplada electromagnéticamente al campo electromagnético; detectar una variación en el campo electromagnético recibido por la al menos una bobina de recepción (20, 22) y emitir una señal indicativa del mismo; y calcular un valor indicativo de la conductividad eléctrica del ánodo (12); estando caracterizado el método porque el ánodo (12), o una muestra del mismo, se mueve dentro de la al menos una bobina de recepción (20, 22) antes de la cocción del ánodo (12); el valor
10 indicativo de la conductividad eléctrica del ánodo (12) es calculado utilizando la señal indicativa de la variación, con preferencia una variación máxima, en el campo electromagnético recibido por la al menos una bobina de recepción (20, 22) y señales registradas previamente obtenidas con ánodos de referencia antes de su cocción y para los que se ha medido la conductividad eléctrica después de la cocción; y el valor calculado es indicativo de la conductividad eléctrica del ánodo (12) después de la cocción.

15 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende, además:

comparar el valor indicativo de la conductividad eléctrica del ánodo (12) con un valor umbral; y desechar el ánodo (12) antes de la cocción sobre la base del hecho de que su conductividad eléctrica prevista está por debajo del valor umbral.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende, además:

20 modificar la composición de ánodos crudos (12) fabricados posteriormente sobre la base de la conductividad eléctrica prevista del ánodo (12) para optimizar la conductividad eléctrica de los ánodos (12) fabricados posteriormente después de la cocción.



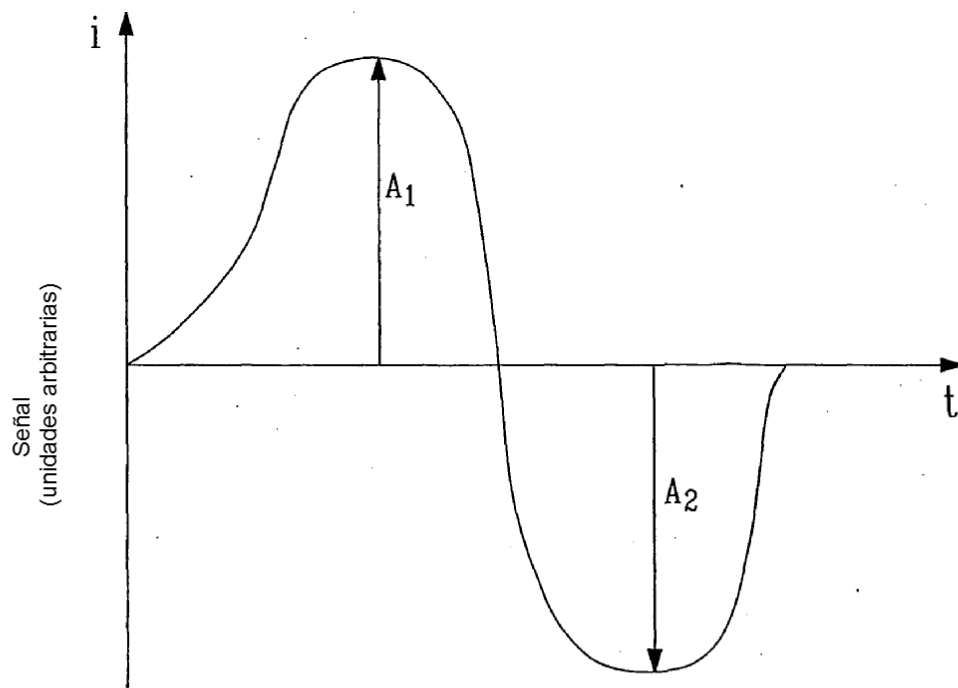


FIG. 2

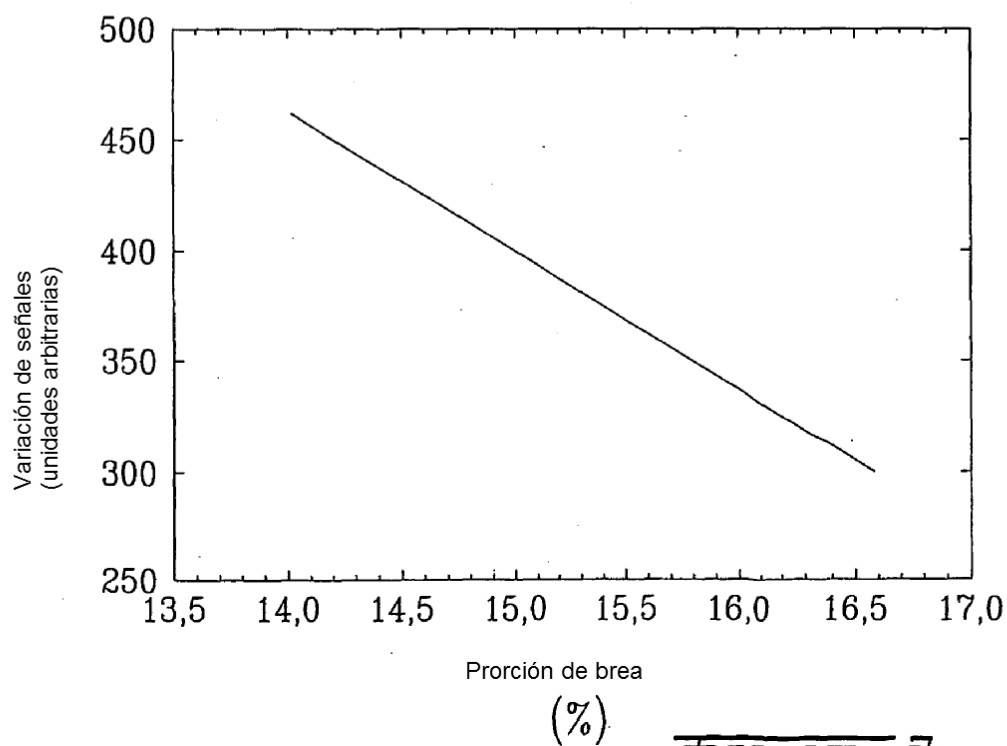


FIG. 3

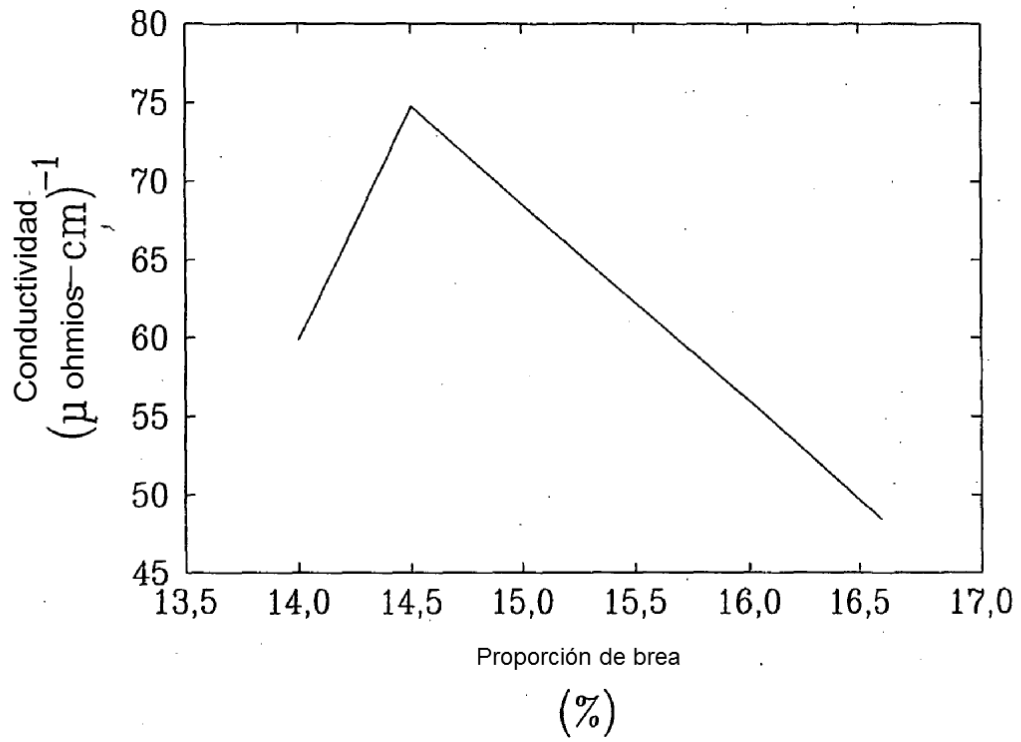


Fig. 4

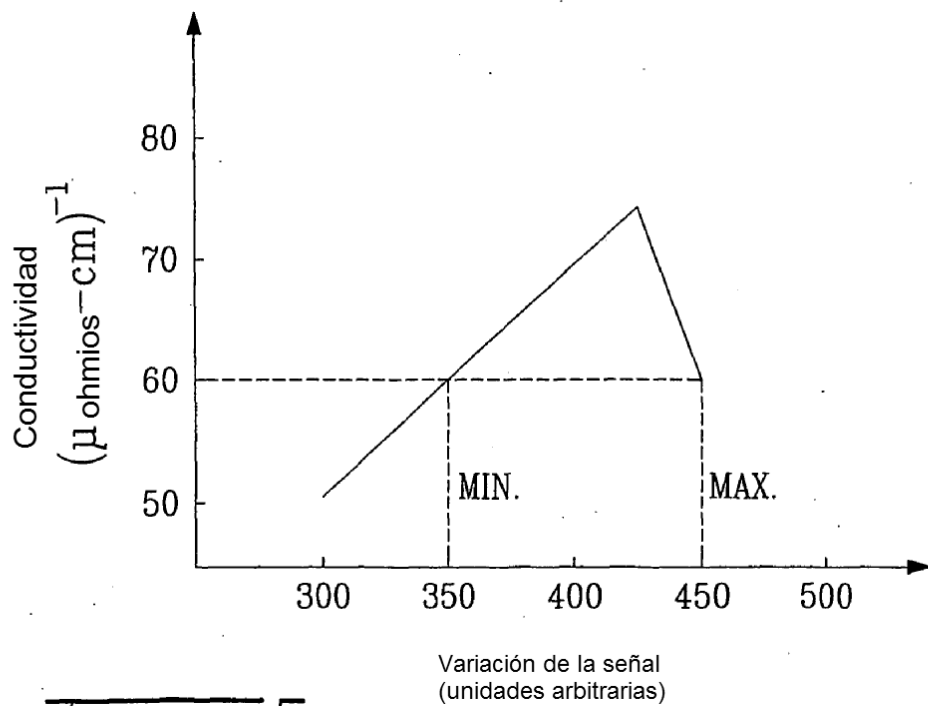


Fig. 5