

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 614 629**

51 Int. Cl.:

C25C 7/06 (2006.01)

C25B 15/06 (2006.01)

C25D 21/12 (2006.01)

G01R 15/20 (2006.01)

C25B 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.03.2005 PCT/US2005/009103**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.09.2005 WO05090644**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2005 E 05728362 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016 EP 1733076**

54 Título: **Monitoreo inalámbrico de celdas electrolíticas con tensión de bus ultrabaja**

30 Prioridad:

17.03.2004 US 553899 P

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

01.06.2017

73 Titular/es:

**KENECOTT UTAH COPPER LLC (100.0%)
P.O. BOX 6001 8362 WEST 10200 SOUTH
MAGNA, UT 84006-6001, US**

72 Inventor/es:

**YOU, EUGENE, YANJUN;
BERGES-DREYFOUS, ANTONIO;
GEORGE, DAVID, B.;
ROTH, ROGER;
ZHOU, KEMING y
RUAN, MINYAN**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 614 629 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

Monitoreo inalámbrico de celdas electrolíticas con tensión de bus ultrabaja

5 1. Campo de la invención

Esta invención se refiere al monitoreo de celdas electrolíticas para sistemas electrometalúrgicos, que incluyen, por ejemplo, sistemas de electrorefinación y electrodeposición para cobre, zinc, níquel, plomo, cobalto y otros metales similares, o para otras celdas electrolíticas tales como sistemas cloralcalinos.

10

En la medida en que los sistemas de la invención puedan usarse con el monitoreo de celdas electrolíticas durante una etapa de refinamiento de cobre de la producción de cobre, la producción de cobre se describirá en la presente descripción para fines ejemplares, representativos y no limitativos.

15 2. Descripción de la técnica relacionada

La producción de cobre implica una serie de etapas que implican procedimientos de extracción, trituración y molienda, concentración, fundición, conversión y refinamiento, cada uno de los cuales se conoce bien, y se muestra en formato de diagrama en bloques en la Figura 1, y se explica a continuación. Como se muestra, la extracción 10 afloja y recoge el mineral. La trituración y molienda 12 convierte el mineral en un mineral triturado y molido, que comprende un polvo fino en el que se liberan minerales deseados. La concentración 14 recolecta los minerales deseados en una suspensión acuosa, que a continuación se filtra y se seca para producir un concentrado líquido adecuado para la fundición. La fundición 16 funde (es decir, derrite y oxida) hierro y azufre en el concentrado líquido para producir una mata de cobre. La conversión 18 convierte la mata de cobre por oxidación en un cobre blíster. Y finalmente, el refinamiento 20 refina el cobre blíster en un cobre más refinado.

25

Con referencia ahora a la Figura 1, se proporcionarán a continuación descripciones más específicas con fines ejemplares, representativos y no limitativos:

30 A. Extracción 10

Como se conoce, existen bajo la superficie de la Tierra grandes cantidades de minerales que contienen diversos minerales, que comprenden uno o más de un mineral de sulfuro de cobre o de sulfuro de cobre y hierro, tal como calcosina, calcopirita y bornita. Los orificios se perforan en este mineral de manera que los explosivos pueden detonarse para aflojar el mineral y hacerlo susceptible a la carga y el transporte hacia una instalación de trituración y molienda.

35

B. Trituración y Molienda 12

En la instalación de trituración y molienda, el mineral se tritura, se mezcla con agua y se muele en un polvo fino mediante varios mecanismos de trituración y molienda de mineral, después de la cual este se bombea hacia una instalación de concentración. El mineral triturado y molido contiene típicamente menos del 2 por ciento en peso ("% en peso") de cobre.

40

45 C. Concentración 14

En la instalación de concentración, el mineral triturado y molido se concentra en un concentrado líquido en suspensión. Más específicamente, el mineral triturado y molido se mezcla con agua, productos químicos y aire en una celda de flotación, lo que hace que el cobre en el mineral triturado y molido se adhiera a las burbujas de aire que se elevan dentro de la celda de flotación. A medida que las burbujas de aire flotan hasta la parte superior de la superficie de la celda de flotación, estas se recogen para formar el concentrado líquido.

50

De este modo, la concentración 14 concentra el mineral triturado y molido en un concentrado líquido en suspensión, que contiene típicamente aproximadamente un 25-35% en peso de cobre (y un 20-30% en peso de agua). Mediante el uso de varios filtros, el concentrado se deshidrata entonces para producir un concentrado de cobre húmedo que es susceptible de manipularse por cintas transportadoras, cargadores, vagones y similares.

55

D. Fundición 16

Mediante el uso de calor y oxígeno, el concentrado se funde en una escoria y sulfuro de cobre y hierro llamado mata de cobre. Más específicamente, el concentrado húmedo se seca primero en un tambor giratorio grande o aparato de secado similar. A continuación, se introduce en un proceso de fundición en el que el concentrado actualmente seco se mezcla con aire de oxígeno enriquecido y se funde en un horno de fundición a través de un quemador de concentrado. Dentro del horno de fundición, el concentrado actualmente seco se expone a temperaturas superiores a 2300° Fahrenheit, por lo que este se oxida y se funde parcialmente debido al calor generado por la oxidación de azufre y hierro dentro del concentrado fundido.

65

Este proceso genera los tres productos siguientes: i) gases de escape, ii) escoria, y iii) mata de cobre. Los gases de escape, que incluyen dióxido de azufre (es decir, SO_2), se dirigen a un sistema de manipulación de gas de desecho a través de un tubo vertical de extracción en el horno de fundición. La escoria comprende sílice y hierro, o más específicamente, mineral de ganga, fundente y óxidos de hierro, y esta tiene una gravedad específica baja (es decir, menor densidad) con relación a la mata de cobre, lo que le permite por tanto flotar sobre la parte superior de la mata de cobre. La mata de cobre, por otra parte, comprende sulfuro de cobre y sulfuro de hierro, y tiene una gravedad específica alta (es decir, mayor densidad) con relación a la escoria, lo que le permite por tanto formarse, recogerse y hundirse en una cuenca o sedimentador localizada en la parte inferior del horno de fundición.

Periódicamente, se escurre la escoria. Más específicamente, la escoria y la mata de cobre se separan convencionalmente mediante el desespumado de la escoria de la mata de cobre a través de varios orificios en las paredes laterales del horno de fundición. Estos orificios se sitúan normalmente a una elevación relativamente alta en las paredes laterales para permitir que la escoria se extraiga del horno de fundición sin extraer la mata de cobre. Por el contrario, varios orificios para la mata de cobre se sitúan comúnmente a una altura relativamente baja en las paredes laterales para permitir que la mata de cobre se extraiga del horno de fundición sin extraer la escoria.

De este modo, la fundición 16 funde el concentrado líquido en mata de cobre, la cual contiene típicamente aproximadamente un 35-75% en peso de cobre.

E. Conversión 18

Después de separar la escoria de la mata de cobre, la mata de cobre puede i) transferirse directamente a un horno de conversión, ii) transferirse a un horno de retención para su posterior suministro al horno de conversión, o iii) convertirse en una forma sólida mediante la refrigeración rápida de la mata de cobre en agua para formar gránulos, los cuales se acumulan en un gran espacio cerrado para su posterior suministro al horno de conversión. Dentro del horno de conversión, varias impurezas restantes se eliminan de la mata de cobre, y el resultado produce un cobre fundido llamado cobre blíster.

Existen dos tipos básicos de hornos de conversión, a saber, hornos de conversión flash y hornos de conversión de baño. El propósito de cada uno es oxidar (es decir, convertir) sulfuros metálicos en óxidos metálicos. Los hornos de conversión flash representativos, que también se conocen como hornos de suspensión, incluyen el horno de conversión de flash usado por la compañía Kennecott Utah Copper Corp. en su Magna instalación de Utah. Los hornos de conversión de baño representativos incluyen los hornos de conversión de baño usados por i) la compañía Noranda, Inc. en su instalación sede de Canadá; ii) la compañía Inco Ltd. en su instalación en Sudbury, Canadá; y iii) la compañía Mitsubishi Materials Corp. en su instalación en Naoshima, Japón.

Independientemente del tipo de horno de conversión, la mata de cobre se convierte en cobre blíster dentro del horno de conversión mediante la reacción de la mata de cobre con oxígeno. Más específicamente, en hornos de conversión de baño, la mata de cobre fundido se carga en el horno y se sopla aire o aire enriquecido en oxígeno en la mata de cobre fundido a través de toberas o inyectores de gas. El flujo de sílice se añade al horno de conversión de baño para combinar con el hierro que se está oxidando y formar la escoria.

Por otro lado, los procesos de conversión flash tratan la mata de cobre solidificada moliendo primero la mata a un tamaño adecuado (es decir, un polvo) y entonces soplando este en un horno de reacción flash mediante el uso de aire enriquecido con oxígeno (aproximadamente un 70-90% de oxígeno). El fundente también se añade a la mata en polvo, típicamente como óxido de calcio, pero también este puede ser sílice o una combinación de óxido de calcio y sílice. La mata en polvo combustiona en la atmósfera de oxígeno y genera calor suficiente para fundir los materiales y el fundente y producir blíster fundido y escoria.

Estos procesos de conversión generan los dos productos siguientes: i) escoria y ii) cobre blíster. La escoria comprende mineral de ganga, metal de cobre (es decir, Cu^0), óxidos de cobre (principalmente en forma de Cu_2O), fundente y óxidos de hierro, y esta tiene una gravedad específica baja (es decir, menor densidad) con relación al cobre blíster, lo que le permite por tanto, flotar encima del cobre blíster. El cobre blíster, por otra parte, comprende mineral de ganga, metal de cobre (es decir, Cu^0), óxidos de cobre (principalmente en forma de Cu_2O) y sulfuros de cobre (principalmente en forma de Cu_2S), y este tiene una gravedad específica alta (es decir, mayor densidad) con relación a la escoria, lo que le permite por tanto, formarse, recogerse y hundirse en una cuenca o sedimentador situada en la parte inferior del horno de conversión. Aunque la capa de escoria de la parte superior es típicamente de aproximadamente treinta centímetros de profundidad, la capa de cobre blíster de la parte inferior tiene aproximadamente cincuenta centímetros de profundidad.

Si el horno de conversión es un horno de conversión de baño giratorio, entonces la escoria y el cobre blíster se vierten por separado a partir de una boca o pico sobre una base intermitente. Si, por otra parte, el horno de conversión es un horno de conversión de baño estacionario, entonces se proporcionan salidas para retirar la escoria y el cobre blíster. Estas salidas incluyen típicamente varios orificios que se sitúan en elevaciones variables en una o más paredes laterales del horno de conversión y, de manera similar a la utilizada con el horno de fundición, cada uno se separa del

horno de conversión independientemente del otro. Otros tipos de hornos de conversión usan comúnmente una o más salidas para desbordar continuamente la escoria y el cobre blíster, mediante el uso, por ejemplo, de un vertedero apropiado para retener la escoria.

5 La separación de fase que se produce entre la escoria y el cobre blíster no está completa. Por lo tanto, la escoria, como se indica, contiene cobre adicional, que suele estar en forma de metal de cobre (es decir, Cu^0) y óxidos de cobre (principalmente en forma de Cu_2O), mientras que el cobre blíster contiene varios minerales residuales y no recuperados (por ejemplo, azufre), que están principalmente en forma de óxidos de cobre (principalmente en forma de Cu_2O), sulfuros de cobre (principalmente en forma de Cu_2S), y ferrosilicatos, etc. El cobre que está en la escoria tiene un valor metálico perdido, que puede recuperarse mediante el reciclado de la escoria de vuelta al horno de fundición, mientras que los valores minerales residuales y no recuperados en el cobre blíster constituyen impurezas que eventualmente se eliminan tanto en un horno de ánodo o mediante electrorefinamiento.

15 De este modo, la conversión 18 convierte la mata de cobre en cobre blíster, que típicamente contiene más del 98% en peso de cobre.

F. Refinamiento 20

20 Finalmente, el cobre blíster se refina, usualmente primero de forma pirometalúrgica y luego de forma electrolítica. Más específicamente, el cobre blíster se somete a una etapa de purificación adicional para aumentar adicionalmente el contenido de cobre, tal como la refinación de fuego en un horno de reverbero o de ánodo giratorio. A continuación, el cobre blíster se vierte en placas grandes y gruesas llamadas ánodos, que a menudo se transfieren desde una planta de colada de ánodo a la refinería de cobre electrolítico en camión, ferrocarril o similares. En la refinería de cobre electrolítico, los ánodos se vierten en una solución ácida que contiene aproximadamente 120-250 gpl de ácido sulfúrico libre y aproximadamente 30-50 gpl de cobre disuelto. Los ánodos también se conectan eléctricamente a una fuente de corriente continua positiva. Para electrolizar los ánodos en este electrolito acuoso, estos se separan por piezas de acero inoxidable insolubles, intercaladas, llamadas láminas de arranque o cátodos, las cuales se cargan negativamente. La electricidad se envía entonces entre los ánodos y los cátodos durante un período de tiempo predeterminado, haciendo que los iones de cobre migren de los ánodos a los cátodos para formar placas en los cátodos, que contienen menos de 20 partes por millón de impurezas (es decir, azufre más metales sin cobre, pero sin incluir oxígeno). Tensiones de aproximadamente 0,1 - 0,5 voltios son generalmente suficientes para disolver los ánodos y depositar el cobre en los cátodos, con densidades de corriente correspondientes de aproximadamente 160 - 380 amperios/m². Con cada ánodo que produce dos placas de cátodo en las que se deposita el cobre refinado, las placas de cátodo se lavan entonces y se preparan para un uso final fundamental.

35 En una refinería de cobre típica que produce 300,000 toneladas de cátodo de cobre por año, puede haber hasta 1440 celdas electrolíticas, cada una con 46 piezas de ánodo y 45 piezas de cátodo, para un total de 131,000 piezas suspendidas en las celdas. En dicha refinería de cobre tradicional, cada cátodo y cada ánodo se conecta eléctricamente al sistema de suministro de corriente de la refinería a través de dos o más puntos de contacto sobre las orejas de soporte de los ánodos y las barras de suspensión de los cátodos. Esto significa que puede haber un total de más de 260,000 conexiones eléctricas (es decir, dos por ánodo y dos por cátodo multiplicado por el número de cátodos y ánodos). Para el funcionamiento eficiente del proceso de refinamiento es de vital importancia la ausencia de cortocircuitos entre los ánodos y las piezas de cátodos. Tal como se explica subsecuentemente, pueden producirse cortocircuitos si los ánodos y los cátodos están mal alineados o si los depósitos de cobre en el cátodo crecen de una manera no uniforme y entran en contacto con el ánodo. Cuando se producen cortocircuitos, el proceso de recubrimiento de cobre deseado se interrumpe y la eficiencia del uso eléctrico disminuye. En consecuencia, los cortocircuitos resultan en la disminución del diferencial de tensión a través de los ánodos y cátodos.

50 Para el funcionamiento eficiente del proceso de refinamiento es de vital importancia la ausencia de circuitos abiertos y cortocircuitos entre los ánodos y los cátodos. Como se explica subsecuentemente, pueden producirse cortocircuitos si los ánodos y los cátodos están mal alineados o si los depósitos de cobre en el cátodo crecen de manera no uniforme y entran en contacto con el ánodo. Cuando se producen cortocircuitos, el proceso de recubrimiento de cobre deseado se interrumpe. Por otra parte, los circuitos abiertos pueden ocurrir si hay un contacto deficiente entre el suministro de corriente y los ánodos o cátodos. Cuando ocurren circuitos abiertos, disminuye la eficiencia del uso eléctrico.

55 Por lo tanto, el refinamiento 20 refina el cobre blíster en cobre refinado, que contiene típicamente aproximadamente un 99,99% en peso de cobre (es decir, efectivamente, cobre puro).

60 A continuación, el refinamiento 20 permite convertir el cobre de cátodo refinado en cualquier número de productos finales de cobre mediante el uso de métodos y técnicas convencionales, que se conocen bien en la técnica.

65 La eficiencia del refinamiento de cobre 20 puede aumentarse mediante el aumento de la eficacia de la monitorización de celdas. Más específicamente, al menos dos parámetros importantes de las celdas necesitan monitorearse atentamente, a saber, la tensión de las celdas y la temperatura de las celdas. El fracaso para monitorear adecuadamente estos dos parámetros de las celdas, y otros, puede reducir la recuperación de metales, aumentar la tasa de desechos y conducir a una utilización ineficiente de la energía. Sin embargo, la mayoría de las instalaciones de recuperación y refinamiento de

metales electrolíticos no monitorean eficazmente estos parámetros de las celdas, principalmente debido a los altos costos de capital y de operación asociados a dicho monitoreo de las celdas. Por ejemplo, estos costes son significativamente elevados cuando cada celda electrolítica individual en un depósito de tanques se cablea al equipo de monitoreo y transmisión de los parámetros. Hacerlo requiere generalmente una cantidad significativa de cableado en un entorno que es intrínsecamente hostil, intrínsecamente corrosivo e intrínsecamente sujeto a grandes campos magnéticos. En particular, mientras que el diferencial de tensión a través de cualquier celda es del orden de 0,1 a 0,5 voltios, el diferencial de tensión a través de todo el depósito de tanques puede ser de varios cientos de voltios. Resulta intrínsecamente inseguro conectar simplemente los cables a las celdas individuales y conducir éstos al equipo de monitoreo de la tensión porque el potencial de tensión puede ser potencialmente fatal. Debido a que los equipos y tecnologías de monitoreo de celdas actualmente existentes son costosos y requieren un cableado extenso, ambas deficiencias han disuadido significativamente la penetración generalizada en el mercado del monitoreo efectivo de celdas electrolíticas.

Como resultado, los circuitos abiertos y cortocircuitos se producen comúnmente durante el refinamiento electrolítico de cobre. Estos se producen por muchas razones, que incluyen i) cualidades físicas pobres de ánodos y cátodos, ii) contacto pobre entre el suministro de corriente y los ánodos o cátodos, iii) el desalineamiento de los ánodos y cátodos, y iv) las variaciones localizadas en la temperatura del electrolito, los niveles de aditivos, o en la química. Por lo tanto, resulta importante un monitoreo eficiente de las celdas electrolíticas durante el refinado electrolítico de cobre, ya que este puede permitir que los operadores del sistema detecten circuitos abiertos y cortocircuitos entre ánodos y cátodos, los cuales, si no se resuelven, reducen las eficiencias actuales y dan lugar a posteriores problemas, tales como el desarrollo de cátodos pobres. Como se conoce, la impureza de cobre, el contenido de cobre y el aspecto del cobre, a la larga también se afectan adversamente por circuitos abiertos y cortocircuitos.

El monitoreo convencional se enfocó solamente en identificar cortocircuitos entre los ánodos y los cátodos. Esto se logró comúnmente mediante el uso manual de un medidor de Gauss portátil para detectar campos magnéticos anormales que fluyen a través del cátodo. Un procedimiento de este tipo requiere generalmente caminar físicamente sobre los ánodos y cátodos en cada celda mientras se observa de cerca el medidor de Gauss portátil para detectar una gran deflexión en una aguja del medidor. A menudo, el medidor de Gauss se fijó a un extremo distal de un palo largo o polo, de manera que este pueda entonces sostenerse cerca de la barra de suspensión del cátodo. Sin embargo, la tarea era ergonómicamente difícil y propensa a accidentes. Por otra parte, caminar sobre las celdas desalineaba con frecuencia los ánodos y los cátodos, podría conducir a una posible contaminación, y a menudo conduce también a otros problemas.

El documento GB 2254416 describe un sistema de monitoreo de celdas electrolíticas de refinamiento de metales capaces de transmitir datos a un ordenador remoto.

Aunque la detección de circuitos abiertos y cortocircuitos se ocupa de sus efectos en lugar de sus causas, esta es una técnica ampliamente reconocida para mejorar la calidad del electrodo. En consecuencia, después que se detecta un cortocircuito, este se resuelve generalmente mediante un sondeo entre el cátodo y el ánodo con una varilla de acero inoxidable para localizar la falla y luego separar físicamente (es decir, interrumpir) un nódulo de cobre errante que crece en el epicentro del cortocircuito. A menudo, esto requiere extraer físicamente el cátodo de la celda. Sin embargo, desafortunadamente, muchos circuitos abiertos y cortocircuitos no se detectan con frecuencia hasta después de que ha ocurrido ya un daño significativo.

En consecuencia, existe una necesidad de sistemas y métodos de monitoreo de celdas electrolíticas menos costosos, menos invasivos, de menor mantenimiento y mayor eficiencia. Dichos sistemas y métodos incrementarían la utilización y la eficiencia energética durante la etapa de refinamiento de cobre 20 en la producción de cobre. Por lo tanto, existe una necesidad de sistemas y métodos de monitoreo de celdas electrolíticas económicos, mínimamente invasivos, de mínimo mantenimiento y cada vez más eficaces para medir parámetros de celdas electrolíticas tales como las tensiones del ánodo 7 y del cátodo y las temperaturas durante la fase de refinamiento de cobre 20 en la producción de cobre.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención se proporciona un sistema de monitoreo de celdas electrolíticas, que comprende: una celda electrolítica con ánodos y cátodos dispuestos alternativamente unos con respecto otros y sumergidos en un electrolito acuoso dentro de la celda electrolítica, un primer dispositivo electrónico conectado eléctricamente a los carriles de corriente de la celda electrolítica y alimentado mediante el uso de un potencial eléctrico impuesto a través de los carriles de corriente de la celda electrolítica, donde el primer dispositivo electrónico está en comunicación con uno o más sensores que monitorean una o más propiedades respectivas de la celda electrolítica, una batería recargable para alimentar el primer dispositivo electrónico cuando el potencial eléctrico impuesto a través de los carriles de corriente de la celda electrolítica es insuficiente para alimentar el primer dispositivo electrónico, y un segundo dispositivo electrónico en comunicación inalámbrica con dicho primer dispositivo electrónico para recibir señales de datos de dicho primer dispositivo electrónico, dicho primer dispositivo electrónico y dicho segundo dispositivo electrónico que están físicamente alejados uno del otro, en donde dicho primer dispositivo electrónico incluye un amplificador de tensión que funciona para aumentar el potencial eléctrico impuesto a través de dichos carriles de corriente de la celda electrolítica para proporcionar un nivel de tensión suficiente para alimentar dicho primer dispositivo electrónico.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para monitorear una celda electrolítica (22), que comprende: proporcionar un primer dispositivo electrónico (30) unido eléctricamente a carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) y en comunicación con uno o más sensores en la celda electrolítica (22), alimentar dicho primer dispositivo electrónico (30) mediante el uso del potencial eléctrico impuesto a través de los carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) cuando el potencial eléctrico es suficiente; alimentar dicho primer dispositivo electrónico (30) con una batería recargable (56) cuando el potencial eléctrico impuesto a través de los carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) es insuficiente para alimentar el primer dispositivo electrónico (30); amplificar dicho potencial eléctrico impuesto a través de dichos carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) para proporcionar un nivel de tensión suficiente para alimentar dicho primer dispositivo electrónico (30); monitorear con uno o más sensores, una o más propiedades respectivas de la celda electrolítica (22); y transmitir de forma inalámbrica señales de datos desde dicho primer dispositivo electrónico (30) a un segundo dispositivo electrónico (32), donde dicho primer dispositivo electrónico (30) y dicho segundo dispositivo electrónico (32) están físicamente alejados uno del otro.

Se describe un sistema que comprende un primer dispositivo electrónico de alimentación por celdas que se alimenta mediante el uso del potencial eléctrico impuesto a través de una celda electrolítica, en donde el potencial eléctrico se amplifica por tensión para llevar a cabo esta tarea. Si el potencial eléctrico impuesto en la celda es insuficiente para alimentar este dispositivo, este puede alimentarse también mediante una batería. En cualquier caso, este dispositivo está en comunicación con uno o más sensores en la celda electrolítica, así como con un segundo dispositivo electrónico, y el primer y segundo dispositivo electrónico se comunican de forma inalámbrica. Más específicamente, el segundo dispositivo electrónico recibe señales de datos del primer dispositivo electrónico, donde el primer dispositivo electrónico transmite las señales de datos hacia el mismo, el primer y segundo dispositivo electrónico que se encuentran preferentemente físicamente alejados uno del otro y se comunican a través de una red privada o pública, preferentemente mediante el uso de tecnología de espectro extendido. Además, el segundo dispositivo electrónico también transmite preferentemente señales de datos a un ordenador para el procesamiento adicional de las señales de datos.

Se describe un dispositivo de monitoreo de celdas electrolíticas, que comprende un componente electrónico en comunicación con sensores en una celda electrolítica, donde el componente se alimenta mediante el uso del potencial eléctrico impuesto a través de la celda, en donde el potencial suele amplificarse por tensión para llevar a cabo esta tarea. Si el potencial eléctrico impuesto en la celda es insuficiente para alimentar este dispositivo, este puede alimentarse también mediante una batería.

Se describe un método para monitorear una celda electrolítica, que comprende proporcionar un primer dispositivo electrónico de alimentación por celdas que se alimenta mediante el uso del potencial eléctrico impuesto a través de la celda, en donde el método amplifica por tensión el potencial para llevar a cabo esta tarea. Si el potencial eléctrico impuesto en la celda es insuficiente para alimentar este dispositivo, el método puede alimentar también el dispositivo mediante el uso de una batería. En cualquier caso, este dispositivo está en comunicación con uno o más sensores en la celda electrolítica, así como con un segundo dispositivo electrónico, y el primer y segundo dispositivo electrónico se comunican de forma inalámbrica. Más específicamente, el método transmite, de forma inalámbrica, señales de datos desde el primer dispositivo electrónico al segundo dispositivo electrónico, donde el primer y segundo dispositivo electrónico se encuentran preferentemente físicamente alejados entre sí y se comunican a través de una red privada o pública, preferentemente mediante el uso de tecnología de espectro extendido.

Se describe un método para producir cobre de alta pureza, que comprende sensores de muestreo que monitorean los parámetros de las celdas electrolíticas que corresponden a las propiedades físicas de la celda para generar señales de datos, y luego transmitir de forma inalámbrica las señales de datos a un dispositivo electrónico remoto.

Una concepción clara de las ventajas y características que constituyen las disposiciones de la invención, y de diversos aspectos constructivos y operacionales de los mecanismos típicos proporcionados con la misma, resultará fácilmente evidente haciendo referencia a las siguientes ilustraciones ejemplares, representativas y no limitativas, que forman parte integrante de esta descripción, en donde los mismos números de referencia indican generalmente los mismos elementos en las diversas vistas, y en la que:

La Figura 1 es un diagrama de flujo de la técnica anterior de la producción de cobre electrometalúrgico;
 La Figura 2 es una vista en perspectiva de un dispositivo esclavo fijado a una celda electrolítica representativa;
 La Figura 3 es un diagrama funcional del sistema de monitoreo de la presente invención, que comprende un dispositivo esclavo en comunicación con un dispositivo maestro en comunicación con un ordenador;
 La Figura 4 es un diagrama arquitectónico de una modalidad representativa de una red de comunicaciones inalámbricas preferida de la presente invención;
 La Figura 5 es un diagrama de bloques funcional de un dispositivo esclavo;
 La Figura 6 es una representación visual de una asignación preferida de tensión a frecuencia;
 La Figura 7 es un circuito preferido de amplificación de tensión;
 La Figura 8 es diagrama de bloques funcional de un dispositivo maestro;
 La Figura 9 es un diagrama de flujo del funcionamiento preferido de un dispositivo esclavo;
 La Figura 10 es un diagrama de flujo del funcionamiento preferido de un dispositivo maestro;

La Figura 11 es un diagrama de flujo del funcionamiento preferido de un repetidor de datos; y

La Figura 12 es un diagrama de flujo del funcionamiento preferido de un dispositivo maestro central.

Con referencia ahora a la Figura 2, se muestra una celda electrolítica 22, en la que las placas de ánodo (es decir, "los ánodos") A y las láminas de cátodo (es decir, "los cátodos") C se disponen alternativamente unas al lado de las otras y se sumergen en un electrolito acuoso 24 contenido dentro de las paredes internas 25a de la celda electrolítica 22. Durante la producción de cobre, el electrolito acuoso 24 se llena normalmente hasta cerca relativamente de una superficie superior 26 de la celda electrolítica 22, aunque se muestra una cantidad menor en la figura para mayor claridad. Dentro de la celda electrolítica 22, los ánodos A y los cátodos C están en contacto mediante orejas con los carriles de corriente 28 que corren longitudinalmente sobre la superficie superior 26 de la celda electrolítica 22. Los carriles de corriente 28 llevan la corriente eléctrica a la celda electrolítica 22 para ayudar en la migración de iones de cobre desde los ánodos A a los cátodos C. Aunque la celda electrolítica 22 está generalmente a una tensión ultrabaja (es decir, de 0,1 - 0,8 voltios), 25.000 amperios de corriente no es poco común sobre la celda electrolítica 22. Esta tensión de celda se alimenta típicamente por una tensión de bus, que es la tensión impresa a través de los ánodos A y cátodos C para la migración de iones.

Un depósito de tanques común de producción de cobre contiene hasta cuarenta (40) secciones, cada una de las cuales contiene treinta y seis (36) celdas electrolíticas 22. Además, una celda electrolítica típica 22 contiene hasta cuarenta y seis (46) pares A-C de ánodo-cátodo y puede producir a menudo hasta 1440 celdas en un depósito de tanques común, o más de 66,240 pares de ánodo-cátodo A-C. Debido a que pueden producirse cortocircuitos entre cualquiera de los pares A-C de ánodo-cátodo en cualquier momento, el monitoreo constante de las celdas electrolíticas es muy beneficioso para aumentar la producción de cobre. Sin embargo, la necesidad de proporcionar energía eléctrica a un monitor de celda electrolítica en cada celda electrolítica 22 se convierte rápidamente en algo gravoso. Como resultado, dado que los sistemas de monitoreo cableados son difíciles y costosos de instalar y mantener, se estima que menos del 60% de las refinerías del mundo actualmente monitorean la producción de celdas, a pesar de las ventajas que pueden obtenerse al hacerlo, como se explica anteriormente.

Por consiguiente, un dispositivo esclavo basado en un microprocesador alimentado por celdas 30 se une eléctricamente a la celda electrolítica 22, con conexiones eléctricas 31 que conectan el dispositivo esclavo 30 a los carriles de corriente 28 de la celda electrolítica 22. Preferentemente, una conexión mecánica adecuada también conecta el dispositivo esclavo 30 a la celda electrolítica 22. Por ejemplo, en una modalidad preferida, el dispositivo esclavo 30 se suspende de un cable (no mostrado) que cuelga de la superficie superior 26 a lo largo de una pared externa adecuada 25b de la celda electrolítica 22. En otra modalidad preferida, la celda electrolítica 22 se funde con una hendidura adecuada para recibir el dispositivo esclavo 30. Aún en otra modalidad preferida, uno o múltiples dispositivos esclavos 30 atraviesan celdas adyacentes 22 que están alineadas en estrecha proximidad física entre sí. Además, si el dispositivo esclavo 30 está en contacto físico próximo con la celda electrolítica 22, este se aloja preferentemente en una carcasa adecuada para protegerlo del entorno agresivo al que está expuesto. En cualquier caso, las técnicas y los métodos de unión electromecánica se conocen en la técnica y no se conciben específicamente como componentes integrales de las disposiciones generales de la invención. Más bien, se eligen ubicaciones y métodos de unión adecuados, preferentemente para maximizar las fuerzas de enlace inalámbricas (por ejemplo, radio) y minimizar la interferencia con otras etapas de producción de cobre, tales como la eliminación de cortocircuitos a medida que los operadores recorren la superficie superior 26 de la celda electrolítica 22.

Además, el dispositivo esclavo 30 se une también a, y se comunica de forma eléctrica con, varios sensores (no mostrados) que monitorean parámetros de celda correspondientes a las propiedades físicas de la celda electrolítica 22 a la que se unen los sensores. Por ejemplo, los parámetros de celdas representativos incluyen la tensión de la celda, la temperatura de la celda y la turbidez de la celda. En consecuencia, unos sensores de tensión adecuados monitorean la tensión de la celda. Unos sensores de temperatura adecuados (por ejemplo, termómetros, termistores y similares) monitorean la temperatura de la celda. Y unos sensores de turbidez adecuados monitorean la turbidez de la celda, a menudo mediante el uso de tecnología láser. Además, unos sensores adecuados proporcionan monitoreo in situ de reactivos, monitoreo específico de electrodo de iones y monitoreo de la composición del electrolito acuoso 24. Todos estos sensores están en contacto y comunicación con el dispositivo esclavo 30.

En el caso de una modalidad preferida, se monitorean múltiples temperaturas de las celdas, por ejemplo, mediante la disposición de múltiples sensores de temperatura en la celda electrolítica 22, tal como la ubicación de uno cerca de un drenaje 29 de la celda electrolítica 22 y otro a lo largo de una o más paredes internas 25a de la misma. En consecuencia, puede monitorearse con precisión la pérdida de calor o el equilibrio de la celda electrolítica 22. Por ejemplo, un sensor de temperatura preferido es el termómetro digital de alta precisión DS18B20 1-Wire® disponible en Maxim Integrated Products, Inc. de Sunnyvale, CA. Este sensor de temperatura tiene una precisión de $\pm 0,5^\circ$ Celsius en un rango de -10 a $+85^\circ$ Celsius, lee sobre un bus serie 1-Wire® en formato de complemento de 2 con 12 bits de resolución (es decir, $.0625^\circ$ Celsius), no requiere una calibración de campo, se alimenta de forma parásita por su línea de señal, tiene un único número de serie estático de silicio de 64 bits que sirve como la dirección del bus para el sensor y permite que varios sensores DS18B20 coexistan en el mismo bus 1-Wire®. También pueden usarse otros sensores de temperatura adecuados.

Dicho uno o más parámetros de celda corresponden a una o más propiedades físicas de la celda electrolítica 22 a la que se unen los sensores, y dicho uno o más sensores pueden ser componentes integrados del dispositivo esclavo 30,

o, alternativamente, añadirse al mismo en un momento subsiguiente como piezas complementarias de componente. Por lo tanto, el dispositivo esclavo preferido 30 es flexible con respecto a los sensores con los que puede funcionar. Con referencia ahora a la Figura 3, el dispositivo esclavo 30 se comunica preferentemente de forma electrónica con uno o más dispositivos maestros 32 a partir de una red de comunicaciones inalámbrica 34 en tiempo real. Preferentemente, la comunicación entre los dispositivos esclavos 30 y los dispositivos maestros 32 es bidireccional, con cada dispositivo que comprende capacidades de transmisión y recepción. Puede emplearse cualquier red de comunicaciones inalámbricas 34 adecuada, que incluya redes de comunicaciones inalámbricas 34 tanto públicas como privadas. Por ejemplo, el IEEE 802.15.4 se utiliza comúnmente para redes estándares de área personal inalámbricas y de baja velocidad.

preferentemente, los dispositivos maestros 32 están físicamente separados y alejados de los dispositivos esclavos 30. Por ejemplo, en una modalidad preferida, los dispositivos maestros 32 se suspenden de, o se montan sobre, una torre, techo o pared en el depósito de tanques. En otras palabras, los dispositivos maestros 32 se ubican preferentemente fuera del área de funcionamiento inmediata de las celdas electrolíticas 22 y los dispositivos esclavos 30 respectivos. Por tanto, aunque los dispositivos esclavos 30 se unen preferentemente de forma eléctrica y mecánica a las celdas electrolíticas 22, los dispositivos maestros 32 están físicamente alejados de ellos.

Además, un ordenador 36 está en comunicación electrónica con los dispositivos maestros 32, preferentemente sobre una interfaz de red cableada tradicional 37, tal como la conexión de los dispositivos maestros 32 al ordenador 36 a través de un puerto RS-232, uno de sus puertos sucesores RS-422/RS-485, un puerto USB o un puerto Ethernet, todos los cuales son técnicas bien conocidas en la técnica para conectar dispositivos en serie. El ordenador 36 funciona como un medio típico de lectura por ordenador o máquina, y puede implementarse como un ordenador de escritorio, portátil, tableta u otra plataforma de cómputo apropiada. Típicamente, este comprende un sistema que incluye un procesador, pero los detalles específicos no se conciben como componentes integrales de las disposiciones generales de la invención.

Como se representa, los dispositivos esclavos 30 generalmente cumplen tres funciones primarias: i) medir uno o más parámetros de celda de las celdas electrolíticas 22; ii) convertir los parámetros de celda en una o más señales de datos (es decir, datos digitales o señales digitales) mediante el uso de conversores analógicos/digitales ("A/D") tradicionales; y iii) transmitir de forma inalámbrica estas señales de datos a dicho uno o más de los dispositivos maestros 32 a través de la red de comunicaciones inalámbrica 34 en tiempo real. También, estos pueden implementar algoritmos de procesamiento de señales digitales y autodiagnosticar información sobre ellos mismos. Del mismo modo, los dispositivos maestros 32 generalmente cumplen dos funciones principales: i) recibir estas señales de datos desde dicho uno o más dispositivos esclavos 30 sobre la red de comunicaciones inalámbrica 34 en tiempo real; y ii) transmitir estas señales de datos al ordenador 36. Finalmente, el ordenador 36 realiza generalmente dos funciones principales: i) recibe señales de datos de los dispositivos maestros 32 y reporta datos a una base de datos o historiador de datos que residen en el ordenador 36 u otro ordenador (no mostrado) en la red informática de la planta (no mostrada de otro modo en la Figura 3); y ii) procesa y analiza datos y genera información de diagnóstico sobre el estado de comunicación de los dispositivos esclavos 30 y los dispositivos maestros 32. Estos enlaces de comunicación inalámbricos en el sistema de monitoreo de celdas no se conciben solo para ser unilaterales, sino también abarcan comunicaciones bilaterales en las que la funcionalidad de transmisor y receptor pueden integrarse dentro de un solo dispositivo.

En un depósito de tanques de gran escala, los dispositivos maestros 32 se comunican a través de uno o más repetidores de datos 40 y un dispositivo maestro central 42, como se explicará más adelante. También pueden implementarse múltiples dispositivos maestros centrales 42, si el depósito de tanques es suficientemente grande o lo requiere de cualquier otra manera.

En la modalidad preferida representada, los dispositivos esclavos 30 transmiten de forma inalámbrica a los dispositivos maestros 32, los cuales sirven como intermediarios entre los dispositivos esclavos 30 y el ordenador 36, principalmente para retirar el ordenador 36 del depósito de tanques y su entorno hostil. Sin embargo, en otra modalidad preferida, los dispositivos esclavos 30 transmiten de forma inalámbrica directamente al ordenador 36, sin transmitir a los dispositivos maestros 32 como intermediarios.

Con referencia ahora a la Figura 4, se muestra una modalidad preferida de la red de comunicaciones inalámbrica en tiempo real 34, en la que un primer dispositivo maestro 32a sirve a aproximadamente varios cientos de dispositivo esclavos 30a como parte de un primer subsistema 38a. Igualmente, un segundo dispositivo maestro 32b sirve a aproximadamente otros varios cientos de segundos dispositivos esclavos 30b como parte de un segundo sub-sistema 38b, e igualmente para un dispositivo maestro N^{th} 32n y un subsistema N^{th} 38n. Como se ha indicado, cada dispositivo maestro 32 preferentemente se aleja físicamente de cada conjunto respectivo de dispositivos esclavos 30 y se comunica de forma inalámbrica con los mismos. En una modalidad preferida, se anticipa que de cuatro (4) a ocho (8) dispositivos maestros 32 pueden dar servicio a las 1440 celdas electrolíticas 22 extendidas a lo largo de varias hectáreas del depósito de tanques común de producción de cobre. Sin embargo, cuando sea necesario, las disposiciones de la invención son completamente escalables, y pueden proporcionarse más o menos dispositivos maestros 32 de ser necesario. Además, y como se describirá, cada dispositivo maestro 32 preferentemente salta en frecuencia, es decir, cada dispositivo maestro 32 utiliza un sistema de saltos de frecuencia. En otras palabras, estos dispositivos maestros

32 utilizan preferentemente diferentes secuencias de saltos de frecuencia, las que permiten que los múltiples dispositivos maestros 32 coexistan.

En otra modalidad preferida, la comunicación electrónica entre los dispositivos maestros 32 y el ordenador 36 comprende además las comunicaciones electrónicas desde los dispositivos maestros 32 a los repetidores de datos 40, desde los repetidores de datos 40 hasta un dispositivo maestro central 42, y luego desde el dispositivo maestro central 42 al ordenador 36, como se muestra en la Figura 4. Más específicamente, el primer dispositivo maestro 32a se comunica de forma electrónica con un primer repetidor de datos 40a, el segundo dispositivo maestro 32b se comunica de forma electrónica con un segundo repetidor de datos 40b, y lo mismo ocurre para el dispositivo maestro Nth32n que se comunica de forma electrónica con el repetidor de datos Nth40n. Preferentemente, cada uno de los repetidores de datos 40 es otro dispositivo esclavo 30 y efectúa la comunicación entre su dispositivo maestro 32 respectivo y el dispositivo maestro central 42. Preferentemente, el dispositivo maestro central 42 es también otro dispositivo maestro 32 y efectúa la comunicación entre sus respectivos repetidores de datos 40 y el ordenador 36. De este modo, existe preferentemente una disposición recíproca dispositivo esclavo-maestro-dispositivo esclavo-maestro para transmitir datos desde los sensores de la celda electrolítica 22 al ordenador 36 a través de la red de comunicación inalámbrica 34 en tiempo real. En una modalidad preferida, cada uno de los dispositivos esclavos 30, dispositivos maestros 32, repetidores de datos 40 y dispositivo maestro central 42 se forman a partir del mismo hardware, lo que facilita de esta manera esta disposición. El software apropiado puede implementarse en cada uno para lograr este objetivo.

Mientras que la comunicación electrónica entre i) los dispositivos esclavos 30 y los dispositivos maestros 32, ii) los dispositivos maestros 32 y los repetidores de datos 40 y iii) los repetidores de datos 40 y el dispositivo maestro central 42 es inalámbrica, la comunicación entre el dispositivo maestro central 42 y el ordenador 36 es preferentemente cableada mediante una interfaz de red tradicional 37, tal como conectar el dispositivo maestro central 42 al ordenador 36 a través del puerto RS-232, uno de sus puertos sucesores RS-422/RS-485, un puerto USB o un puerto Ethernet, todos los cuales son técnicas bien conocidas en la técnica para conectar dispositivos en serie. En cualquier caso, el ordenador 36 procesa eventualmente señales de datos recibidas de los respectivos dispositivos esclavos 30.

En una modalidad preferida, el ordenador 36 desempeña normalmente un papel como puente o interfaz de datos entre el sistema de monitoreo de celdas (es decir, los dispositivos esclavos 30, los dispositivos maestros 32, el repetidor de datos 40 y el dispositivo maestro central 42) y una red informática existente 39 en la instalación. La misma reporta datos a la base de datos o al historiador de datos que residen en el ordenador 36 u otro ordenador (no mostrado) en la red informática 39 de la planta, la cual es comúnmente una red Ethernet u otro sistema de información de la planta. Debido a que los datos de monitoreo de celdas están disponibles en la red informática 39 de la planta, pueden utilizarse una o más estaciones de trabajo de aplicación informática 41, con un software de aplicación apropiado de monitoreo de celdas (por ejemplo, CellSense del Grupo Outokumpu en Espoo, Finlandia) instalado en las mismas. La estación de trabajo de aplicación informática 41 puede acceder a los datos de monitoreo de celdas desde el servidor de datos y calcular las características de las celdas del depósito de tanques, tal como el rendimiento del depósito de tanques. Los resultados pueden presentarse a un operador de cualquier modo adecuado en cualquier ordenador (es decir, ordenador de escritorio, portátil, tableta u otra plataforma informática apropiada) de la red informática 39 de la planta. Como tal, una estación de trabajo 41 de aplicación informática típica puede incluir un teclado 44, un monitor 46 y un ratón 48 para controlar e interactuar con la estación de trabajo 41, así como una impresora 50 para imprimir información o datos del ordenador 36 o de la red informática 39 de la planta.

Los expertos en la técnica reconocerán que las disposiciones de la invención pueden realizarse en hardware, software, firmware o cualquier combinación de las mismas. Una herramienta de visualización representativa de acuerdo con las disposiciones de la invención puede realizarse de manera centralizada en un ordenador 36 o, alternativamente, de una manera distribuida en la que múltiples elementos y componentes se extienden por múltiples ordenadores 36 interconectados. Además, cualquier tipo de ordenador 36, u otro aparato, adaptado para llevar a cabo las disposiciones de la invención descritas en la presente descripción, resulta adecuado. Una combinación típica de hardware y software, por ejemplo, podría ser un ordenador de propósito general 36 con un programa informático que, al cargar y ejecutar, controla el ordenador 36 de tal manera que se realicen las disposiciones de la invención descritas.

Por lo tanto, en una modalidad preferida, el ordenador 36 es una interfaz para un ordenador del sistema de información existente de la planta, que puede funcionar como un historiador de datos para el depósito de tanques y los operadores del mismo.

Con referencia ahora a la Figura 5, se muestra un diagrama de bloques funcional del dispositivo esclavo 30. Más específicamente, se proporcionan al menos dos conexiones eléctricas 31 entre la celda electrolítica 22 y el dispositivo esclavo 30. Una primera conexión 52 utiliza la tensión de bus, que es la tensión impuesta a través de los ánodos A y los cátodos C, para alimentar el dispositivo esclavo 30. La tensión de la celda también se mide a través de esta conexión. Una segunda conexión 54 se comunica con los diversos sensores que monitorean los parámetros de celda que corresponden a las propiedades físicas de la celda electrolítica 22 a la que se acoplan los sensores.

Las tensiones típicas de las celdas oscilan generalmente entre aproximadamente 0,1 - 0,8 voltios, y normalmente se encuentran entre aproximadamente 0,2 - 0,3 voltios, e incluso más comúnmente, son de aproximadamente 0,25 voltios. Generalmente esto es insuficiente para alimentar el dispositivo esclavo basado en microprocesador 30, por lo que se

proporciona un amplificador de tensión 54, el cual se analiza a continuación. El amplificador de tensión 54 amplifica las tensiones ultrabajas de las celdas desde aproximadamente menos de 0,1 a aproximadamente 5,0 voltios. Si se dispone una tensión insuficiente desde la celda electrolítica 22 para alimentar el amplificador de tensión 54 (es decir, puede que no siempre se disponga una tensión mayor de 0,15 voltios desde la celda electrolítica 22), también se proporciona una batería recargable 56 como depósito de energía, preferentemente a aproximadamente 3,6 voltios. Las baterías recargables representativas 56 incluyen una batería de NiCad, una batería de NIMH, una batería de iones de litio, o similares. Preferentemente, la batería recargable 56 es adecuada para baja carga de corriente y alta temperatura ambiente de trabajo. Por otra parte, si se dispone de suficiente tensión desde la celda electrolítica 22 para alimentar el dispositivo esclavo 30 basado en microprocesador, esta puede utilizarse directamente, sin el amplificador de tensión 54 o la batería recargable 56. En otras palabras, si se dispone de suficiente tensión desde la celda electrolítica 22 para alimentar el amplificador de tensión 54 (es decir, superior a 0,15 voltios), entonces el dispositivo esclavo 30 puede alimentarse mediante el amplificador de tensión 54 que extrae energía de la misma. El amplificador de tensión 54 cargará también la batería recargable 56 cuando la tensión de la celda sea suficientemente alta (es decir, mayor de 0,15 voltios).

La batería recargable 56 puede recargarse de diferentes formas, que incluyen, por ejemplo: i) recargar la batería 56 siempre que se disponga de tensión suficiente desde la celda electrolítica 22; o ii) recargar la batería 56 sólo cuando la tensión de la batería caiga por debajo de cierto nivel umbral. Con el fin de reducir la interferencia, es preferible apagar el amplificador de tensión 54 y alimentar el dispositivo esclavo 30 con la batería recargable 56 mientras se muestrean los parámetros de la celda y se transmiten o reciben datos a través de los mecanismos inalámbricos de transferencia de datos de esta invención.

En cualquier caso, a través de la tensión del amplificador de tensión 54 o de la tensión de la batería recargable 56, un regulador 58 de tensión proporciona una tensión de alimentación constante de aproximadamente 3,3 voltios al transceptor 60 y al microprocesador 62 del dispositivo esclavo 30.

Como se explicará a continuación, el transceptor 60 se comunica preferentemente con los dispositivos maestros 32 a través de una antena 64 mediante el uso de un Espectro Extendido por Salto de Frecuencia ("FHSS") o un Espectro Extendido por Secuencia Directa ("DSSS") sobre la Banda Industrial, Científica y Médica ("ISM"). Preferentemente, la antena 64 se interna en el dispositivo esclavo 30 debido al entorno hostil al que se expone el dispositivo esclavo 30, pero también puede proporcionarse una antena externa 64 de ser necesario o deseado.

En cualquier caso, la tensión de alimentación procedente del regulador de tensión 58 alimenta también el microprocesador 62, que contiene un convertidor A/D 68 para convertir señales analógicas de la celda electrolítica 22 a la que se acoplan los sensores. El microprocesador 62 también contiene un software de protocolo 70 para controlar el dispositivo esclavo 30 y un controlador Proporcional, Integrado, Derivativo ("PID") u otro algoritmo 72 para el amplificador de tensión 54.

En consecuencia, el dispositivo esclavo 30 realiza generalmente al menos una o más de las siguientes funciones: muestrea y convierte parámetros de las celdas electrolíticas en datos digitales; procesa datos digitales mediante el uso de ciertos algoritmos de procesamiento de señales digitales, tales como el filtrado digital; transmite las señales de datos digitales a los dispositivos maestros 32 a través de una red de comunicación inalámbrica 34 tal como un enlace de radio inalámbrico; proporciona alimentación para sí mismo aumentando la tensión ultrabaja de la celda y usa una batería recargable 56 para la alimentación de respaldo. En una modalidad preferida, este tiene las siguientes especificaciones: utiliza el FHSS o DSSS sobre la banda de frecuencias de radio ISM; utiliza una velocidad de transferencia de 76,8k bits/segundo o mayor; tiene un alcance de transmisión y recepción de aproximadamente 200 pies o más; tres o más canales A/D de 10 bits; una temperatura ambiente de operación de aproximadamente -10 a + 85° Celsius o superior; una resolución digital del sensor de temperatura de $\pm 0,0615^{\circ}\text{C}$ o superior; y utiliza una salida de LED 66 para transmitir datos de celda, tales como la tensión de las celdas. Debido a que este se basa en un microprocesador, el dispositivo esclavo 30 también puede programarse para comprimir y filtrar las señales de datos antes de transmitirlos a los dispositivos maestros 32, procesar datos en su interior y reconocer desviaciones de valores umbrales de referencia predeterminados, analizar la calidad de la conexión eléctrica entre sí mismo y la celda electrolítica 22, e implementar el protocolo inalámbrico mediante el cual se comunica con los dispositivos maestros 32.

La Figura 6 representa una forma preferida para que la salida LED 66 del dispositivo esclavo 30 comunique los datos de la celda electrolítica 22. Más específicamente, la tensión de la celda, que constituye un parámetro importante de la celda, se indica visualmente a los operadores que observan el dispositivo esclavo 30. Por ejemplo, la tensión de la celda puede convertirse linealmente a una frecuencia de parpadeo de LED de manera que un cortocircuito en una celda electrolítica 22 pueda identificarse fácilmente en el depósito de tanques por un operador que compara visualmente la frecuencia de parpadeo de varias salidas de LED 66. En otra modalidad preferida, pueden utilizarse múltiples (es decir, cuatro) salidas de LED 66, con diferentes colores que representan diferentes condiciones de los dispositivos esclavos. Estas salidas 66 de LED pueden utilizarse para propósitos de diagnóstico tales como el monitoreo de la transmisión y la identificación de cortocircuito. En otra modalidad preferida, también se proporcionan salidas audibles para comunicar datos de celda. Estos tipos de indicadores permiten a los operadores concentrar los esfuerzos lejos de una gran población de celdas electrolíticas 22 y enfocarse en dichas celdas electrolíticas 22 que necesitan una atención más inmediata.

Con referencia ahora a la Figura 7, se detallará el amplificador de tensión 54 de la Figura 5, el cual se proporciona para aumentar las tensiones ultrabajas de las celdas desde un valor aproximadamente menor de 0,1 voltios hasta una tensión suficiente para alimentar el dispositivo esclavo 30 y recargar la batería recargable 56. Más específicamente, un primer inductor 74 convierte la energía eléctrica en energía de campo magnético cuando se cierra un arreglo de conmutación 76 que contiene una resistencia mínima y una baja capacidad de entrada y, preferentemente, uno o más transistores MOSFET adecuados. Cuando se abre el arreglo de conmutación 76, la energía del campo magnético almacenada en el primer inductor 74 genera una alta tensión en el nodo A para mantener constante la corriente i . Esta alta tensión carga un condensador 78 a través de un diodo 80. La cantidad de carga que el condensador 78 recibe depende, en parte, del ciclo de trabajo ENCENDIDO-APAGADO del arreglo de conmutación 76, el cual se controla por el controlador PID u otro algoritmo 72 del microprocesador 62. En consecuencia, la tensión de salida del amplificador de tensión se regula mediante la alteración de un ciclo de trabajo de modulación por ancho de impulso (PWM) 82, el cual se controla por el controlador PID u otro algoritmo 72 del microprocesador 62 que opera a través de un controlador de bajo consumo 84 conocido por los expertos en la técnica. Además, la frecuencia PWM es preferentemente mayor que 50 kHz.

A través de un regulador de tensión de 3,3 voltios 58, la batería recargable 56 se usa tanto como fuente de energía inicial para el dispositivo esclavo 30 como también como un depósito. De este modo, la batería recargable 56 alimenta el dispositivo esclavo 30 cuando el dispositivo esclavo 30 se enciende inicialmente, así como cuando la tensión de celda ultrabaja no está disponible o es insuficiente para alimentar el dispositivo esclavo 30. Sin embargo, siempre que la tensión de celda ultrabaja esté disponible y sea suficiente para alimentar el amplificador de tensión 54, el amplificador de tensión 54 puede encenderse y alimentará el dispositivo esclavo 30 y carga la batería recargable 56. En una modalidad preferida, puede muestrearse periódicamente una tensión de la batería y los datos comunicarse como información de diagnóstico para indicar la vida útil de la batería recargable 56.

Para obtener energía suficiente de esta tensión de celda ultrabaja, la corriente i debe ser alta. De este modo, el amplificador de tensión 54 funciona preferentemente con una resistencia mínima, y el primer inductor 74 y el arreglo de conmutación 76 se eligen adecuadamente con bajas resistencias. Preferentemente, por ejemplo, la resistencia total del primer inductor 74 y del arreglo de conmutación 76 debe ser inferior a 20m ohmios.

Como se ha explicado, el dispositivo PID digital 72, preferentemente incorporado en el microprocesador 62, regula la salida del amplificador de tensión 54. Debido a que un segundo inductor 88 tiene una resistencia de DC preferida de aproximadamente 2,3 ohmios, el microprocesador 62 puede controlar la corriente de carga mediante el control de la caída de tensión a través del inductor 88. La tensión a través del inductor 88 es la diferencia de la tensión de salida del amplificador de tensión 54 y la tensión de la batería 56. Preferentemente, ambas tensiones se muestrean por un canal A/D del microprocesador 72 a través del divisor de tensión 86. La tensión muestreada es la tensión de salida del amplificador de tensión 54 cuando el amplificador de tensión 54 se enciende y será la tensión de la batería 56 cuando el amplificador de tensión 54 se apague. La tensión de salida del amplificador puede alterarse mediante la alteración de un valor de referencia del controlador PID u otro algoritmo 72. En modalidades alternativas, pueden aplicarse diferentes estrategias de carga para diferentes tipos de baterías recargables 56.

Preferentemente, el segundo inductor 88 puede ser un inductor de filtro pasabajo, el cual puede eliminar ventajosamente contaminantes de alta frecuencia del amplificador de tensión 54.

Con referencia ahora a la Figura 8, se muestra un diagrama de bloques funcional del dispositivo maestro 32. Como se mencionó anteriormente, los dispositivos esclavos 30 y los dispositivos maestros 32 se forman preferentemente a partir del mismo hardware, con diferente funcionalidad habilitada en dependencia de la aplicación. En cualquier caso, el dispositivo maestro 32 recibe una tensión de 5-9 voltios de CC regulada/no regulada desde un adaptador convencional 90 de alimentación de 110 voltios de CA y alimenta un regulador de tensión 92 para proporcionar una tensión de alimentación constante de 3,3 voltios al transceptor 94 del dispositivo maestro 32 y al microprocesador 96. Como se explicará más adelante, el transceptor 94 se comunica preferentemente con los dispositivos esclavos 30 a través de una antena 98 mediante el uso de la modulación FHSS o DSSS sobre la Banda ISM. La antena 98 es preferentemente externa al dispositivo maestro 32 para aumentar las sensibilidades de transmisión y recepción, pero también puede proporcionarse una antena interna 98 si se necesita o se desea. Y el microprocesador 96 contiene un Transmisor Receptor Asíncrono Universal ("UART") 100, que es un puerto de comunicación serie estándar construido en el mismo. El microprocesador 96 también contiene un software de protocolo 102 para controlar el dispositivo maestro 32 y un puerto de entrada/salida 104 para comunicarse con el ordenador 36.

En consecuencia, el dispositivo maestro 32 realiza generalmente al menos una o más de las siguientes funciones: recibe señales de datos digitales de los dispositivos esclavos 30 a través de una red de comunicaciones inalámbrica 34 y transmite las señales de datos al ordenador 36 directamente o a través de un repetidor de datos 40 y un dispositivo maestro central 42, en dependencia de la configuración preferida. En una modalidad preferida, este tiene las siguientes especificaciones: utiliza la técnica FHSS o DSSS sobre la banda de frecuencias de radio ISM; tiene un alcance de transmisión y recepción de aproximadamente 200 pies o más; una temperatura de operación de aproximadamente -10 a + 85 °Celsius o superior; alimentación por 110 voltios AC principales, y un consumo de energía máximo de menos de 250m Watts.

Con referencia ahora a la Figura 9-12, se representa un protocolo de comunicaciones preferido mediante el uso de tecnologías de comunicación FHSS.

5 Por ejemplo, en el funcionamiento preferido de un dispositivo esclavo 30 representado en la Figura 9, el control comienza en la etapa 100, después de lo cual el control pasa a la etapa 102.

10 En la etapa 102, el dispositivo esclavo 30 espera por un activador de comunicación de datos, que puede activarse por i) una desviación de un parámetro de celda medido desde un último informe que excede una cantidad umbral predefinida o zona muerta, o ii) el tiempo transcurrido desde el último informe que excede un período máximo de comunicación preestablecido. Si el dispositivo esclavo 30 recibe un activador de comunicación de datos en el paso 102, el control pasa entonces del paso 102 al paso 104; de lo contrario, el control permanece en la etapa 102 para esperar por un activador de comunicación de datos.

15 En la etapa 104, el dispositivo esclavo 30 espera por una baliza desde un dispositivo maestro 32. Si el dispositivo esclavo 30 recibe una baliza desde el dispositivo maestro 32 en la etapa 104, el control pasa entonces de la etapa 104 a la etapa 106; de lo contrario, el control permanece en la etapa 104 para esperar una baliza desde el dispositivo maestro 32.

20 En la etapa 106, el dispositivo esclavo 30 envía una petición de transmisión al dispositivo maestro 32, después de la cual el control pasa entonces a la etapa 108.

25 En la etapa 108, el dispositivo esclavo 30 espera que el dispositivo maestro 32 le asigne al dispositivo esclavo 30 que transmita los datos al dispositivo maestro 108. Si el dispositivo maestro 32 le asigna al dispositivo esclavo 30 que transmita los datos en la etapa 108, el control pasa entonces de la etapa 108 a la etapa 110; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 108 a la etapa 106.

30 En la etapa 110, el dispositivo esclavo 30 transmite los datos al dispositivo maestro 32, después de la cual el control pasa entonces a la etapa 112.

35 En la etapa 112, el dispositivo esclavo 30 espera la confirmación del dispositivo maestro 32 de que el dispositivo maestro 32 recibió los datos del dispositivo esclavo 30. Si el dispositivo esclavo 30 recibe la confirmación del dispositivo maestro 32 de que el dispositivo maestro 32 recibió los datos del dispositivo esclavo 30 en la etapa 112, el control pasa entonces de la etapa 112 a la etapa 114, mediante la cual concluye la presente operación; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 112 a la etapa 110.

Igualmente, en el funcionamiento preferido de un dispositivo maestro 32 representado en la Figura 10, El control comienza en la etapa 120, después de la cual el control pasa a la etapa 122.

40 En la etapa 122, el dispositivo maestro 32 espera que su búfer de datos se llene. Si el búfer de datos del dispositivo maestro 32 se llena en la etapa 122, el control pasa entonces de la etapa 122 a la etapa 124; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 122 a la etapa 126.

45 En la etapa 124, el dispositivo maestro 32 transmite sus datos a un repetidor de datos 40, después de la cual el control pasa entonces de la etapa 124 de vuelta a la etapa 122 para esperar el próximo búfer de datos lleno.

50 En la etapa 126, el dispositivo maestro 32 espera que expire un período de inactividad. Si el período de inactividad ha expirado en la etapa 126, el control pasa entonces de la etapa 126 a la etapa 124; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 126 a la etapa 128.

55 En la etapa 128, el dispositivo maestro 32 transmite señales de baliza a los dispositivos esclavos 30, después de la cual el control pasa entonces de la etapa 128 a la etapa 130.

60 En la etapa 130, el dispositivo maestro 32 espera una petición de transmisión de un dispositivo esclavo 30. Si el dispositivo maestro 32 no recibe una petición de transmisión de un dispositivo esclavo 30 en la etapa 130, el control pasa entonces de la etapa 130 a la etapa 132; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 130 a la etapa 134.

65 En la etapa 132, el dispositivo maestro 32 espera que expire un período de inactividad. Si el período de inactividad ha expirado en la etapa 132, el control pasa entonces de la etapa 132 a la etapa 134; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 132 a la etapa 122.

En la etapa 134, el dispositivo maestro 32 le asigna al dispositivo esclavo 30 que transmita sus datos, después de la cual el control pasa entonces a la etapa 136.

En la etapa 136, el dispositivo maestro 32 espera los datos del dispositivo esclavo 30. Si el dispositivo maestro 32

recibe datos del dispositivo esclavo 30 en la etapa 136, el control pasa entonces de la etapa 136 a la etapa 138; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 136 a la etapa 134.

5 En la etapa 138, el dispositivo maestro 32 devuelve una señal de confirmación al dispositivo esclavo 30, después de la cual el control pasa entonces de la etapa 138 a la etapa 140, con la cual concluye la presente operación.

Igualmente, en el funcionamiento preferido de un repetidor de datos 40 representado en la Figura 11, el control comienza en la etapa 150, después de la cual el control pasa a la etapa 152.

10 En la etapa 152, el repetidor de datos 40 espera por un paquete de datos del dispositivo maestro 32, después de la cual el control pasa entonces de la etapa 152 a la etapa 154.

15 En la etapa 154, el repetidor de datos 40 espera que los datos estén listos. Si los datos están listos en la etapa 154, el control pasa entonces de la etapa 154 a la etapa 156; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 154 a la etapa 152.

En la etapa 156, el repetidor de datos 40 recibe los datos del dispositivo maestro 32, después de la cual el control pasa entonces de la etapa 156 a la etapa 158.

20 En la etapa 158, el repetidor de datos 40 espera por datos adicionales del dispositivo maestro 32. Si el repetidor de datos recibe datos adicionales del dispositivo maestro 32 en la etapa 158, el control pasa entonces del paso 158 al paso 156; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 158 a la etapa 160.

25 En la etapa 160, el repetidor de datos 40 envía una petición de transmisión a un dispositivo maestro central 42, después de la cual el control pasa entonces de la etapa 160 a la etapa 162.

30 En la etapa 162, el repetidor de datos 40 espera que el dispositivo maestro central 42 asigne la transmisión. Si el dispositivo maestro central 42 le asigna la transmisión al repetidor de datos 40 en la etapa 162, el control pasa entonces de la etapa 162 a la etapa 164; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 162 a la etapa 160.

En la etapa 164, el repetidor de datos 40 transmite datos al dispositivo maestro central 42, después de la cual el control pasa entonces a la etapa 166.

35 En la etapa 166, el repetidor de datos 40 espera por la confirmación del dispositivo maestro central 42 de que el dispositivo maestro central 42 recibió los datos del repetidor de datos 40. Si el repetidor de datos 40 recibe una confirmación del dispositivo maestro central 42 de que el dispositivo maestro central 42 recibió los datos del repetidor de datos 40 en la etapa 166, el control pasa entonces de la etapa 166 a la etapa 168, con la cual concluye la presente operación; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 166 a la etapa 164.

40 Finalmente, en el funcionamiento preferido de un dispositivo maestro central 42 representado en la Figura 12, el control comienza en la etapa 180, después de la cual el control pasa a la etapa 182.

45 En la etapa 182, el dispositivo maestro central 42 espera por una petición de transmisión del repetidor de datos 40. Si el dispositivo maestro central 42 recibe la petición de transmisión del repetidor de datos 40 en la etapa 182, el control pasa entonces de la etapa 182 a la etapa 184; de lo contrario, el control permanece en la etapa 182 para esperar una petición de transmisión desde el repetidor de datos 40.

50 En la etapa 184, el dispositivo maestro central 42 le asigna al repetidor de datos 40 que transmita sus datos, después de la cual el control pasa entonces de la etapa 184 a la etapa 186.

En la etapa 186, el dispositivo maestro central 42 espera por los datos del repetidor de datos 40. Si el dispositivo maestro central 42 recibe datos del repetidor de datos 40 en la etapa 186, el control pasa entonces de la etapa 186 a la etapa 188; de lo contrario, el control pasa entonces de la etapa 186 a la etapa 184.

55 En la etapa 188, el dispositivo maestro central 42 envía una confirmación de vuelta al repetidor de datos 40, después de la cual el control pasa entonces de la etapa 188 a la etapa 190, con la cual concluye la presente operación.

60 Como se describió, las tecnologías de comunicación de espectro extendido, tales como el FHSS, utilizan señales de banda ancha similares a ruidos, que las hacen difíciles de detectar, interceptar, demodular, bloquear o interferir de otra manera, particularmente en comparación con señales de banda estrecha.

65 Existen varias técnicas de transmisión de espectro extendido, que incluyen el Espectro Extendido de Secuencia Directa ("DSSS"), el Espectro Extendido por Salto de Frecuencia ("FHSS") (tal como se describe en este documento con propósitos ejemplares, representativos y no limitativos), el Espectro Extendido por Salto de Tiempo ("THSS") y el Acceso Múltiple por División de Código ("CDMA").

- 5 Con el DSSS, una señal de datos en la estación emisora se combina con una secuencia de bits de velocidad de datos mayor, o código de segmentación, que divide los datos de usuario de acuerdo con una relación de dispersión. El código de segmentación es un patrón de bits redundante para cada bit que se transmite, y este aumenta la resistencia de la señal a la interferencia. Si uno o más bits del patrón se dañan durante la transmisión, entonces los datos originales pueden recuperarse debido a la redundancia de la transmisión. Dichas secuencias de bits tienen propiedades de planicidad espectral y bajos valores de correlación cruzada y autocorrelación (es decir, son como un ruido verdadero a este respecto), y por lo tanto complican la interferencia o la detección por receptores no objetivo.
- 10 Con el FHSS, la frecuencia portadora se desplaza o "salta" de acuerdo con su secuencia aleatoria única. Con esta técnica, el número de frecuencias discretas determina el ancho de banda del sistema.
- 15 El dispositivo FHSS típico es un sintetizador de frecuencia controlado por código de pseudo ruido. La salida de frecuencia instantánea del dispositivo salta de un valor a otro basada en la secuencia pseudoaleatoria. La variación de la frecuencia instantánea resulta en un espectro de salida que se distribuye eficazmente en el intervalo de frecuencias generado. Un generador de código de pseudo ruido sincronizado que acciona el sintetizador de frecuencia del oscilador local del receptor realiza un salto de frecuencia en el receptor. En consecuencia, el FHSS utiliza un sintetizador de frecuencias que puede saltar rápidamente sobre un conjunto de frecuencias portadoras.
- 20 La Comisión Federal de Comunicaciones ("FCC") permite la operación sin licencia en porciones del espectro frecuentemente llamadas las Bandas Industriales, Científicas y Médicas ("ISM"), siempre que se cumplan ciertas restricciones técnicas sobre la potencia del transmisor y la modulación. La banda ISM más conocida es la banda de 902-928 MHz en los Estados Unidos (comúnmente denominada banda de 915 MHz) y la banda de 2,4-2,4835 GHz en todo el mundo.
- 25 Como se ha descrito anteriormente, estas tecnologías pueden implementarse fácilmente en las disposiciones de la invención mediante técnicas conocidas en la técnica. Sin embargo, las disposiciones de la invención no se conciben para limitarse a este respecto. Por ejemplo, aunque se prefieren las tecnologías de espectro extendido, incluyendo FHSS y DSSS, también pueden utilizarse comunicaciones de banda estrecha. Del mismo modo, también pueden utilizarse porciones del espectro de frecuencias distintas de la banda ISM.
- 30 En consecuencia, debería ser fácilmente evidente que este documento describe modalidades ilustrativas, representativas y no limitativas de las disposiciones de la invención.
- 35 Por lo tanto, muchos cambios y modificaciones, que resultan evidentes para los expertos en la técnica, están dentro del alcance de las reivindicaciones.

Reivindicaciones

1. Un sistema de monitoreo de celdas electrolíticas, que comprende:
una celda electrolítica (22) con ánodos y cátodos dispuestos alternativamente uno con respecto al otro y sumergidos en un electrolito acuoso (24) dentro de la celda electrolítica (22),
un primer dispositivo electrónico (30) unido eléctricamente a los carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22), y alimentado mediante un potencial eléctrico impuesto a través de los carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22), el primer dispositivo electrónico (30) en comunicación con uno o más sensores que monitorean una o más propiedades respectivas de la celda electrolítica (22),
una batería recargable (56) para alimentar el primer dispositivo electrónico (30) cuando el potencial eléctrico impuesto a través de los carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) es insuficiente para alimentar el primer dispositivo electrónico (30), y
un segundo dispositivo electrónico (32) en comunicación inalámbrica con dicho primer dispositivo electrónico (30) para recibir señales de datos desde dicho primer dispositivo electrónico (30), dicho primer dispositivo electrónico (30) y dicho segundo dispositivo electrónico (32) que están físicamente alejados uno del otro, en donde dicho primer dispositivo electrónico (30) incluye un amplificador de tensión (54) que funciona para amplificar el potencial eléctrico impuesto a través de dichos carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) para proporcionar un nivel de tensión suficiente para alimentar dicho primer dispositivo electrónico (30).
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde dicho primer dispositivo electrónico (30) transmite dichas señales de datos a dicho segundo dispositivo electrónico (32).
3. El sistema de la reivindicación 1, en donde dicho primer dispositivo electrónico (30) y dicho segundo dispositivo electrónico (32) se comunican a través de una red privada (34).
4. El sistema de la reivindicación 1, en donde dicho primer dispositivo electrónico (30) y dicho segundo dispositivo electrónico (32) se comunican a través de una red pública (34).
5. El sistema de la reivindicación 1, en donde dicho primer dispositivo electrónico (30) y dicho segundo dispositivo electrónico (32) se comunican mediante el uso de la tecnología de comunicación de espectro extendido.
6. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además:
un ordenador (36) en comunicación con dicho segundo dispositivo electrónico (32), en donde dicho segundo dispositivo electrónico (32) transmite dichas señales de datos a dicho ordenador para un procesamiento adicional de dichas señales de datos.
7. Un método para monitorear una celda electrolítica (22), que comprende:
proporcionar un primer dispositivo electrónico (30) unido eléctricamente a los carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) y en comunicación con uno o más sensores en la celda electrolítica (22),
alimentar dicho primer dispositivo electrónico (30) mediante el uso del potencial eléctrico impuesto a través de los carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) cuando el potencial eléctrico es suficiente;
alimentar dicho primer dispositivo electrónico (30) con una batería recargable (56) cuando el potencial eléctrico impuesto a través de los carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) es insuficiente para alimentar el primer dispositivo electrónico (30);
amplificar dicho potencial eléctrico impuesto a través de dichos carriles de corriente (28) de la celda electrolítica (22) para proporcionar un nivel de tensión suficiente para alimentar dicho primer dispositivo electrónico (30);
monitorear con uno o más sensores, una o más propiedades respectivas de la celda electrolítica (22); y
transmitir de forma inalámbrica señales de datos desde dicho primer dispositivo electrónico (30) a un segundo dispositivo electrónico (32), donde dicho primer dispositivo electrónico (30) y dicho segundo dispositivo electrónico (32) están físicamente alejados uno del otro.
8. El método de la reivindicación 7, en donde dicho primer dispositivo electrónico (30) y dicho segundo dispositivo electrónico (32) se comunican a través de una red privada (34).
9. El método de la reivindicación 7, en donde dicho primer dispositivo electrónico (30) y dicho segundo dispositivo electrónico (32) se comunican a partir de una red pública (34).
10. El método de la reivindicación 7, en donde dicho primer dispositivo electrónico (30) y dicho segundo dispositivo electrónico (32) se comunican mediante el uso de la tecnología de comunicación de espectro extendido.

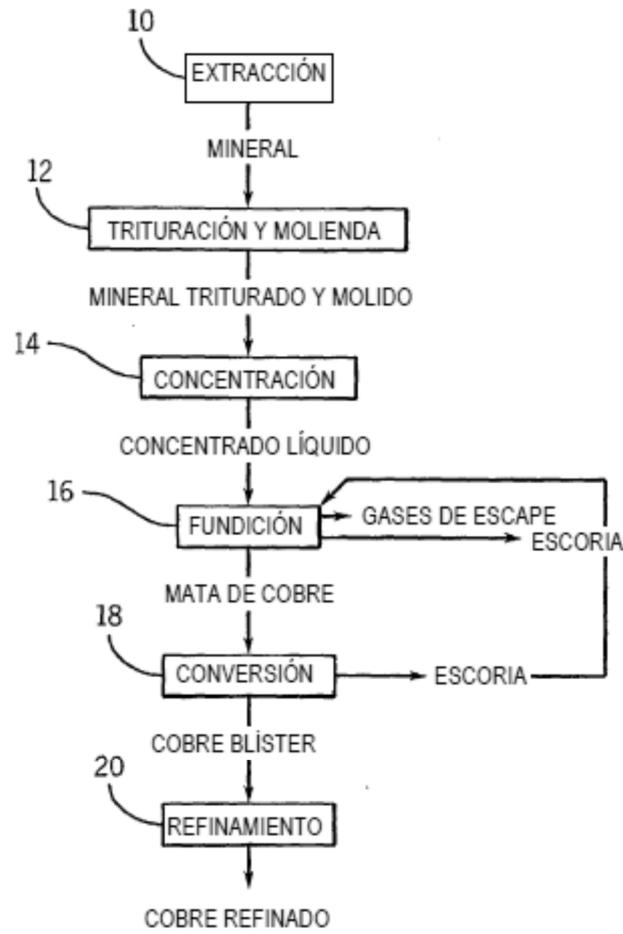
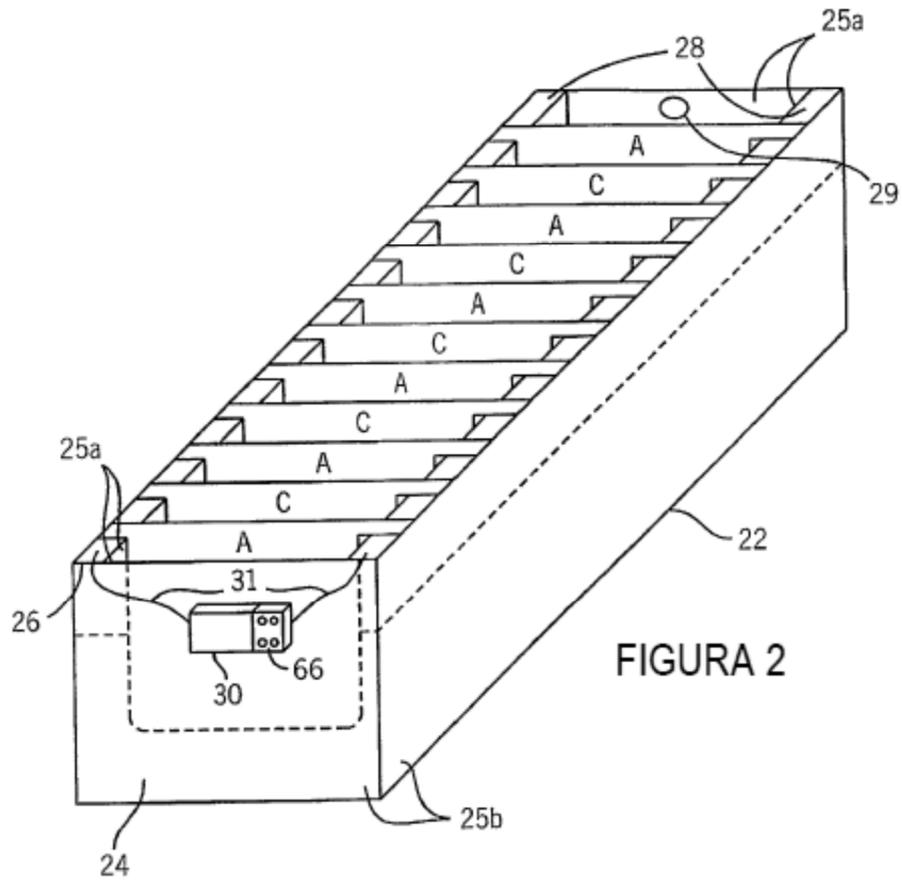


FIGURA 1



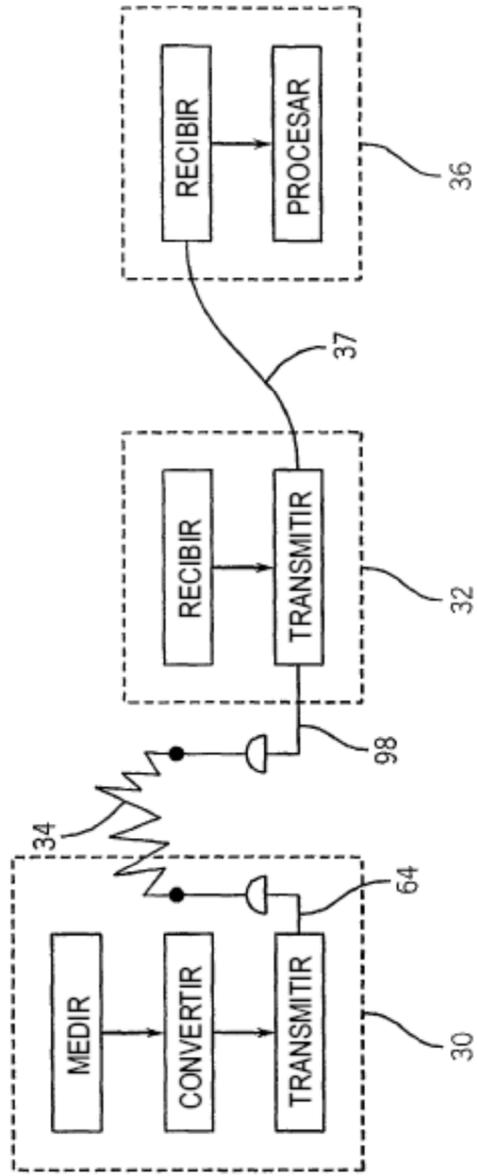


FIGURA 3

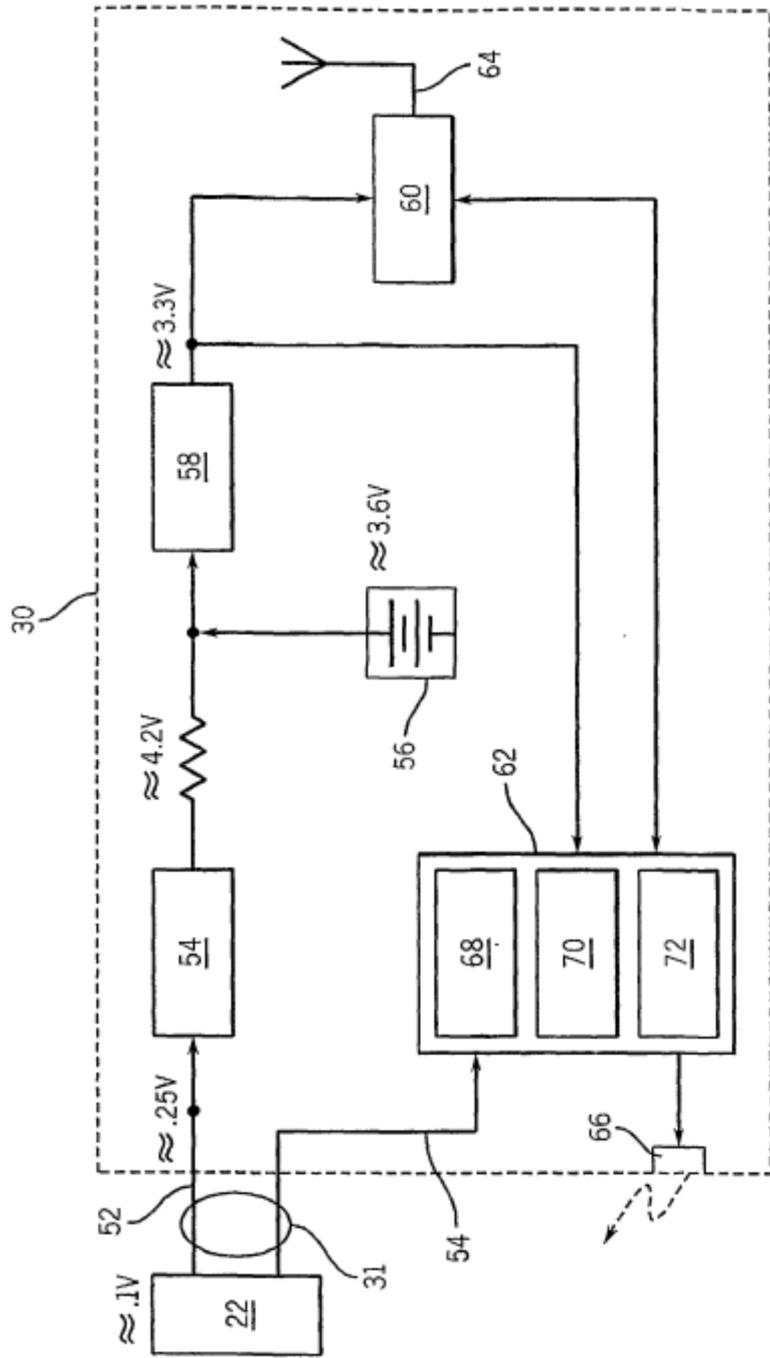


FIGURA 5

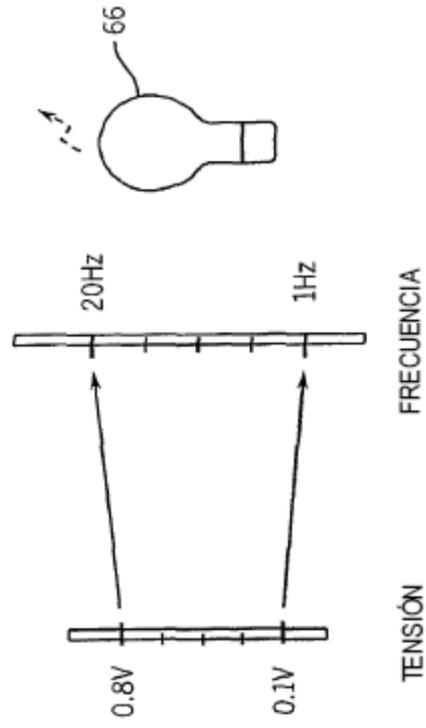


FIGURA 6

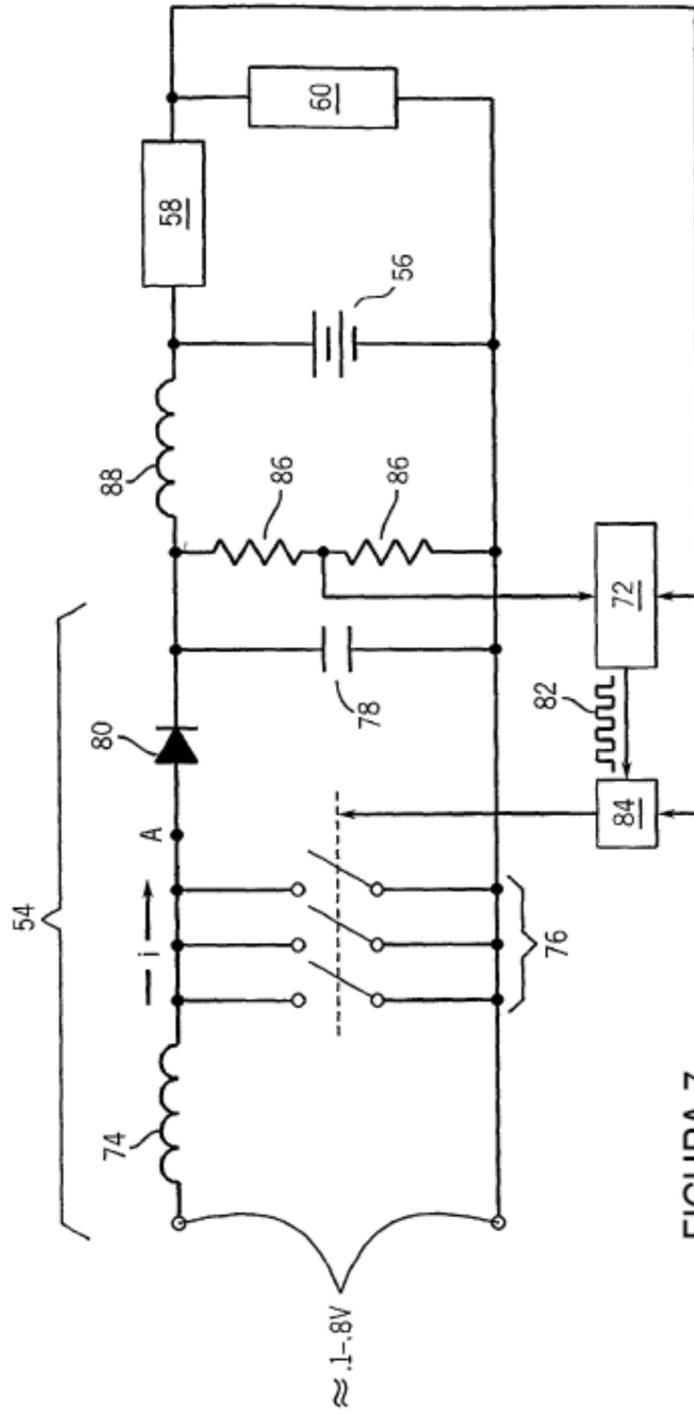


FIGURA 7

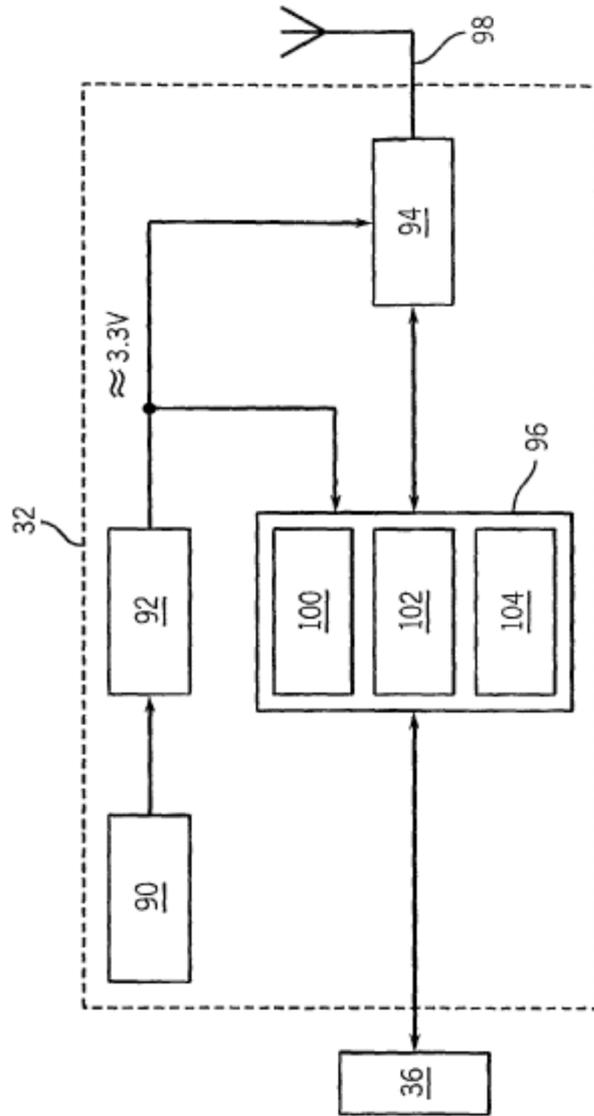


FIGURA 8

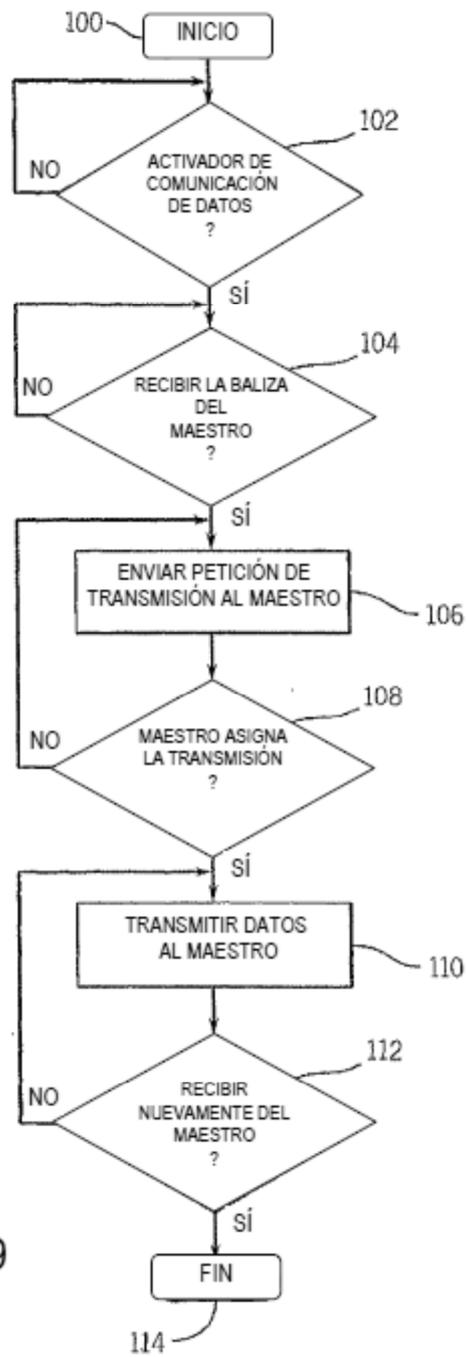


FIGURA 9

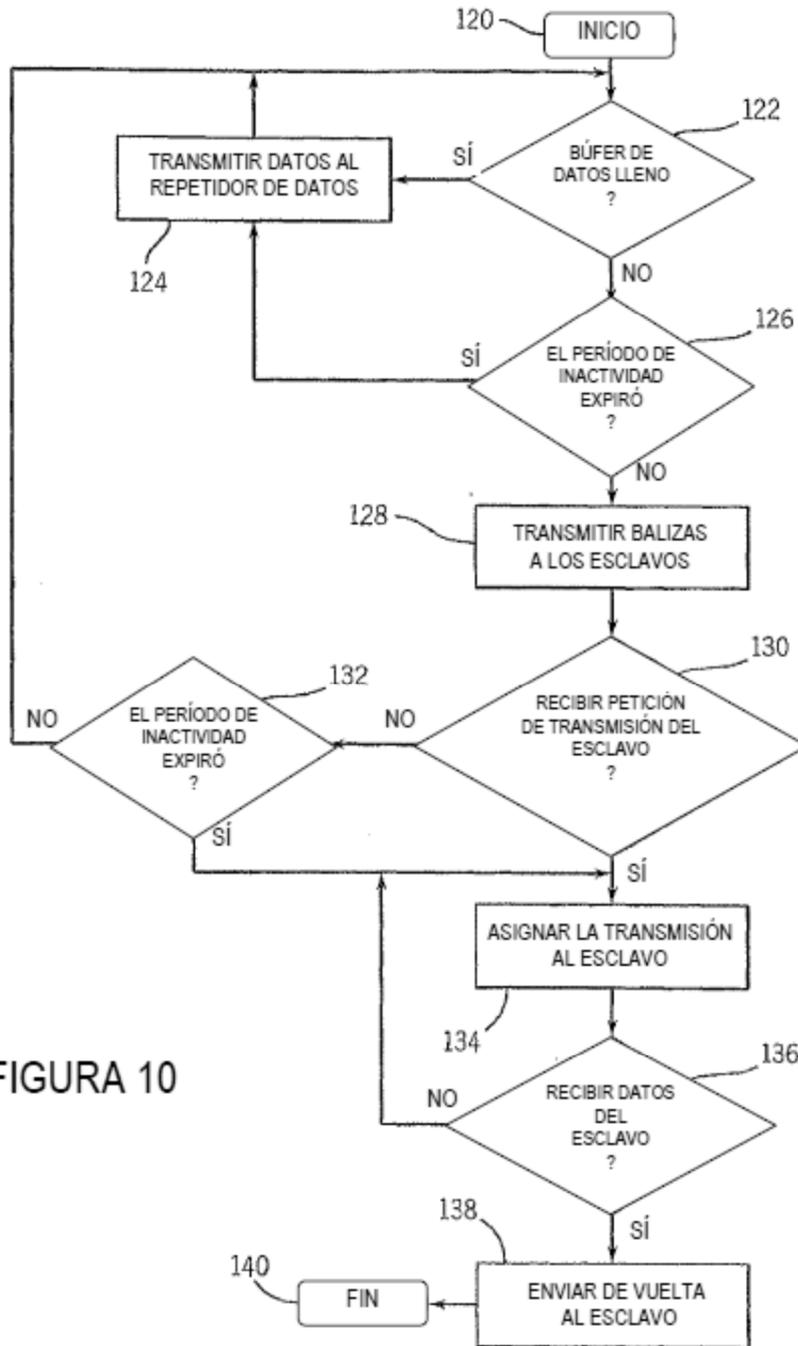
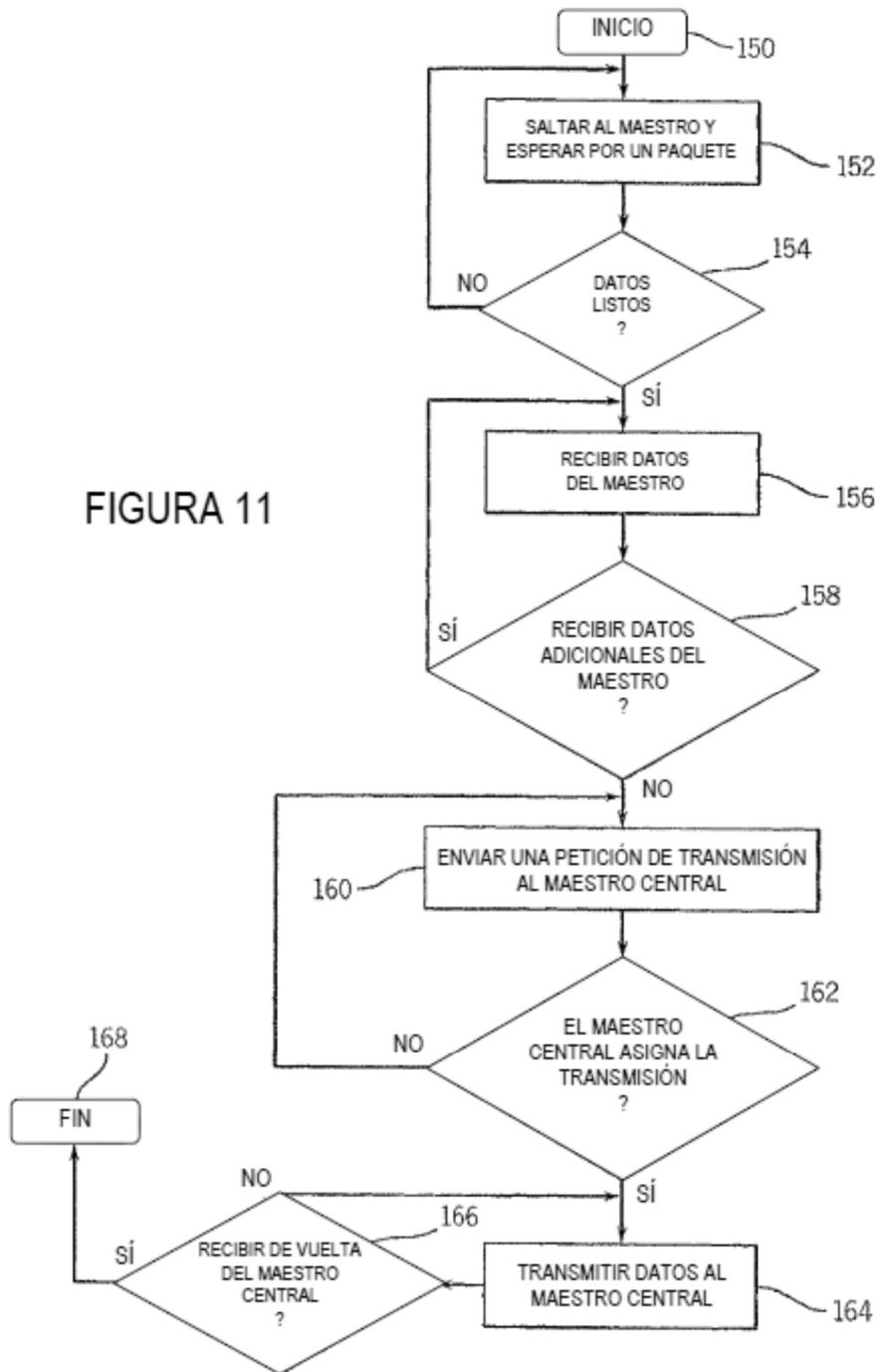


FIGURA 10

FIGURA 11



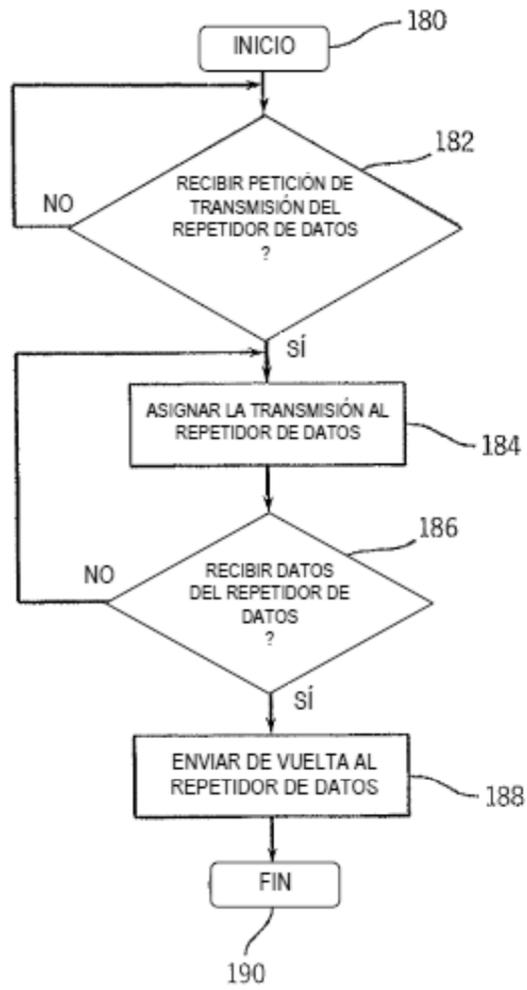


FIGURA 12