

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 564 999**

21 Número de solicitud: 201431253

51 Int. Cl.:

**H03M 1/00** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**25.08.2014**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**30.03.2016**

Fecha de la concesión:

**16.03.2017**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**24.03.2017**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2015/070622**

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS (CSIC) (85.0%)**

**C/ Serrano, 117**

**28006 Madrid (Madrid) ES y**

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (15.0%)**

72 Inventor/es:

**DELGADO RESTITUTO, Manuel;**

**RODRÍGUEZ PÉREZ, Alberto y**

**RODRÍGUEZ VÁZQUEZ, Ángel**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

54 Título: **CANAL DE SENSADO NEURONAL Y PROCEDIMIENTO DE SENSADO NEURONAL**

57 Resumen:

Canal de sensado neuronal y procedimiento de sensado neuronal.

La presente invención describe un canal de sensado (10000) para la adquisición, digitalización y procesado de señales neuronales capturadas mediante un electrodo (20000) intracraneal y los procedimientos asociados. El canal (10000) propuesto comprende medios y mecanismos para la compresión de datos en tiempo real que comprenden la discriminación y compresión mediante parametrización de una señal neuronal (1) para obtener una representación simplificada de los potenciales de acción detectados, es decir, una señal neuronal comprimida (15401). La presente invención se enmarca dentro del sector de las tecnologías físicas y más, en concreto, en el ámbito de las tecnologías de la información y las comunicaciones aplicadas a la bioingeniería.

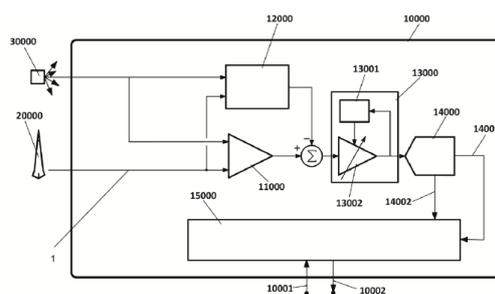


FIG. 1

ES 2 564 999 B1

**CANAL DE SENSADO NEURONAL Y PROCEDIMIENTO DE SENSADO  
NEURONAL**

**DESCRIPCIÓN**

5

**OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención da a conocer un canal de sensado neuronal cuya función es la adquisición, digitalización y procesado de señales neuronales capturadas mediante un micro-electrodo intracraneal y los procedimientos asociados.

10

En particular, el canal de sensado objeto de la presente invención comprende medios de compresión de datos en tiempo real que permiten obtener una representación simplificada de los potenciales de acción detectados.

15

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Son conocidos diversos tipos de sistemas de adquisición y transferencia de datos neuronales, dichos sistemas tienen como cometido la monitorización y transferencia de la actividad eléctrica capturada desde una pluralidad de micro-electrodos intracraneales.

20

De manera general, estos sistemas comprenden una pluralidad de canales de sensado, también referidos como sensores bioeléctricos, que individualmente amplifican y acondicionan la señal neuronal capturada desde cada uno de los micro-electrodos intracraneales. Estas señales analógicas se someten, posteriormente, a un proceso de digitalización y, una vez digitalizadas, son procesadas en el dominio digital y codificadas con vistas a su posterior transmisión, preferiblemente por medios inalámbricos.

25

Como parte integrante del procesado digital, los sistemas implantables de adquisición y transferencia de datos neuronales conocidos comprenden medios y procedimientos para la compresión de información con vistas a reducir la tasa de envío de datos al exterior y así disminuir el consumo de potencia del sistema en su conjunto.

30

La tendencia actual es la de integrar toda la electrónica comprendida en un sistema

implantable de adquisición y transferencia de datos neuronales en un único circuito micro-electrónico, referido como SoC a partir de las siglas en inglés, "System-on-Chip", preferiblemente sobre sustrato de silicio por razones de coste.

5 En realizaciones conocidas de este tipo de sistemas implantables de adquisición y transferencia de datos neuronales, los canales de sensado comprendidos en dicho sistema no incluyen toda la funcionalidad necesaria. Por ejemplo, en los documentos US2009157141 "Wireless neural recording and stimulating system" y US8090674 y título "Integrated system and method for multichannel neuronal recording with spike/LFP  
10 separation, integrated aid conversion and threshold detection", los canales de sensado comprenden una cabecera analógica de amplificación y acondicionamiento de señal, pero no contemplan la implementación de medios para la conversión y compresión de datos. En otro caso, los documentos US2010106041 "Systems and methods for multichannel wireless implantable neural recording" y US2012302856 "Distributed,  
15 minimally-invasive neural interface for wireless epidural recording", describen sistemas implantables de adquisición y transferencia de datos neuronales en donde la conversión de datos se realiza localmente en los canales de sensado. Sin embargo, en ninguna de estas propuestas se contempla el uso de técnicas de compresión de datos.

20 Por otra parte, el documento US2013090706 "Methods and associated neural prosthetic devices for bridging brain areas to improve function" propone medios y procedimientos para la compresión de las salidas digitalizadas de ocho canales de sensado. De acuerdo con esta propuesta el sistema transmite tramas de datos formadas por un preámbulo y una palabra digital de ocho bits, cada uno de los cuales asociado a un canal. El valor  
25 lógico de dichos bits depende de si en el correspondiente canal se ha detectado o no un potencial de acción. En este documento se menciona brevemente una posible realización que comprende una etapa de compresión en la que, el procesador usado para la compresión de datos, único para todo el sistema, debe emplear una frecuencia de operación 28 veces superior a la tasa de datos de salida de los convertidores de datos.

30 En consecuencia, resulta evidente que ninguna de las realizaciones conocidas en la técnica anterior dispone de un sistema y/o un método de adquisición y transferencia de datos neuronales que disponga de mecanismos de compresión de datos aplicables cuando se disponen de múltiples canales de sensado.

**DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención resuelve los problemas mencionados. De acuerdo con la presente  
5 invención, se proporciona un canal de sensado para un sistema implantable de  
adquisición y transferencia de datos neuronales que comprende medios para amplificar y  
filtrar la señal neuronal capturada desde un micro-electrodo intracraneal, medios para  
ajustar de forma automática los niveles máximos de tensión y la banda de frecuencia de  
la señal acondicionada por los referidos medios de amplificación y filtrado; medios para  
10 convertir la señal neuronal acondicionada del dominio analógico al digital; medios para  
detectar en tiempo real la aparición de impulsos neuronales; medios para caracterizar la  
morfología tiempo-tensión de los impulsos detectados para de este modo comprimir la  
información capturada; y, preferentemente, medios para almacenar temporalmente la  
citada información.

15

Adicionalmente, la presente invención puede comprender diversos procedimientos para  
la compresión de datos como, por ejemplo, la extracción de componentes principales  
(PCA, por sus siglas en inglés, "Principal Component Analysis"), el cálculo de parámetros  
derivados de un filtrado *Hanning*, o la conformación con ondas modelo (en inglés,  
20 "wavelet analysis"), en una configuración preferente de la presente invención, la  
compresión de los impulsos neuronales se realiza en tiempo-real y utiliza técnicas de  
aproximación lineal a tramos en el dominio digital.

De acuerdo con los medios descritos, un canal de sensado de acuerdo con la presente  
25 invención ofrece cuatro modos de operación:

- 30 i. Modo de Configuración, mediante el que se definen los parámetros de  
operación de los diferentes medios comprendidos en dicho canal y se  
establecen las condiciones de contorno para la ejecución de los otros  
modos de operación.
- ii. Modo de Calibración, mediante el que se corrigen de forma automática las  
desviaciones de los medios implicados en la amplificación y filtrado de la  
señal neuronal capturada desde un electrodo intracraneal.
- iii. Modo de Seguimiento de Señal, mediante el que se adquiere,

acondiciona, filtra y digitaliza la actividad cerebral adquirida por el canal de sensado. Este modo de operación es, de hecho, el único disponible en la mayoría de sensores bioeléctricos reportados en la literatura.

iv. Modo de Compresión de Datos, mediante el que se detectan y procesan los potenciales de acción contenidos en la señal neuronal capturada por el canal de sensado. De acuerdo con la presente invención, el canal de sensado permanece en estado latente y, por tanto, no transmite ninguna información al exterior, en tanto en cuanto no detecta un impulso neuronal. De este modo, la actividad de los medios de compresión de datos está determinada por los eventos que se producen. Una vez detectado un potencial de acción, los medios de compresión operan a la misma velocidad que la tasa de datos del convertidor de datos comprendido en el canal de sensado.

El canal de sensado, de acuerdo con la presente invención, ofrece una solución modular que facilita la integración de sistemas implantables de adquisición y transferencia de datos neuronales con un número arbitrario de micro-electrodos intracraneales y simplifica los procedimientos de serialización de datos. Además, pese a la superioridad en medios, procedimientos y funcionalidad frente a soluciones convencionales, el canal de sensado no incurre en un incremento sustancial de consumo de área y potencia. De hecho, de acuerdo con un ejemplo de realización, el canal de sensado completo ocupa un área de  $0.016 \text{ mm}^2$  y la disipación de la circuitería específica para la compresión de datos, cuando está activa, es del orden de 200 nW.

En particular, la presente invención da a conocer un canal de sensado neuronal que comprende:

- medios de conexión a al menos un electrodo;
- medios de acondicionamiento y/o adquisición de la señal capturada mediante el electrodo que disponen como salida una señal neuronal;
- un convertidor analógico-digital que transforma la señal neuronal en una señal neuronal digitalizada;
- medios de transmisión de datos; y
- al menos un procesador local de datos

en el que el procesador local de datos comprende un módulo de compresión de datos y

en el que dicho módulo de compresión de datos comprende un primer sub-módulo de discriminación de señales que discrimina las secciones de la señal neuronal o de la señal neuronal digitalizada que se encuentran comprendidas en un rango de discriminación determinado y un segundo sub-módulo de compresión digital que comprende medios de parametrización de, al menos, parte de la señal neuronal digitalizada disponiendo como salida una señal comprimida. Preferentemente, dicha señal comprimida es una señal binaria y/o serial.

En realizaciones particulares de la presente invención, los medios de parametrización parametrizan la parte de la señal neuronal digitalizada que no ha sido discriminada por el sub-módulo de discriminación de señales.

Se debe interpretar la expresión "parametrización" en su sentido más amplio, es decir, convertir un conjunto de datos en una menor cantidad de datos que son representativos de dicho conjunto. Por ejemplo, se puede parametrizar un conjunto de valores tomados en diferentes espacios de tiempo de manera lineal mediante el dato de menor valor, el dato de mayor valor, y el tiempo que ha transcurrido entre la toma de dichos datos. De esta manera, se utiliza menos información para definir el conjunto de datos. Asimismo, existen en la técnica diferentes técnicas de parametrización que se podrían aplicar de manera análoga a la invención sin alejarse del concepto inventivo aquí descrito.

En cuanto al sub-módulo de discriminación de señal dispone de un umbral superior y un umbral inferior que definen el citado rango de discriminación. Cuando la amplitud de una señal recibida por el sub-módulo de discriminación de señal es mayor que el umbral superior o menor que el umbral inferior, dicho sub-módulo de discriminación constata la existencia de un potencial de acción o, en otras palabras, partes de la señal neuronal que poseen información de interés para el canal de sensado y que contienen información que debe ser transmitida. Estos umbrales pueden ser umbrales analógicos (el sub-módulo de discriminación opera con señales analógicas previas al convertidor analógico-digital) o umbrales digitales (el sub-módulo de discriminación opera con señales digitales posteriores al convertidor analógico-digital).

En el caso en el que sub-módulo de discriminación de señal opere en el dominio digital, dicho sub-módulo de discriminación de señal dispone a su entrada de la señal neuronal

digitalizada y el sub-módulo de compresión digital dispone a su entrada la señal de salida del sub-módulo de discriminación de señal. Sin embargo, en otras realizaciones de la presente invención se contempla que el sub-módulo de discriminación de señal opere en el dominio analógico para lo que se dispondría a su entrada la señal neuronal y su salida se conectaría al conversor analógico digital que, tras su conversión a la señal neuronal digital, procedería a transmitir esta señal al sub-módulo de compresión digital para su parametrización.

En una realización particular de la presente invención, los medios de parametrización son medios de parametrización lineal a tramos y, preferentemente, la señal comprimida mediante los medios de parametrización contiene valores de amplitud y valores temporales. Dichos valores se corresponden a las coordenadas en el plano tiempo-tensión de hitos significativos para la representación lineal a tramos de potenciales de acción tales como picos de tensión o cruces por umbrales.

En una realización particular, dichos hitos pueden ser valores de amplitud. En este caso, se dispondría de un primer valor de amplitud (por ejemplo, un pico máximo), un segundo valor de amplitud (por ejemplo, un pico mínimo) y un valor dependiente del tiempo, o valor temporal, puede ser el tiempo transcurrido entre el pico máximo y el pico mínimo. Sin embargo, los valores de amplitud no tienen necesariamente que ser picos de amplitud, de hecho, en realizaciones de la presente invención, alguno de los valores de amplitud puede ser uno de los valores umbral que definen el rango de discriminación.

Además, en una realización especialmente preferente, los valores temporales de una parametrización lineal a tramos de un potencial de acción se calculan mediante el recuento de pulsos de un reloj asociado al canal de sensado.

Finalmente, la señal comprimida se puede enviar a un dispositivo de recepción de señales por medios inalámbricos para lo que el canal de sensado debe comprender medios de transmisión inalámbricos o estar conectado a unos medios de transmisión inalámbricos externos al canal.

Por otra parte, la presente invención da a conocer un procedimiento de sensado de actividad neuronal que comprende las etapas de:

- a) captura, mediante un electrodo, de las señales bioeléctricas generadas por la actividad neuronal de un sujeto;
- b) adquisición y acondicionamiento de la señal capturada por un electrodo en la etapa a);
- 5 c) digitalización, mediante un convertidor analógico-digital, de al menos parte de la señal adquirida y acondicionada en la etapa b);
- d) discriminación de, al menos, parte señales eléctricas de las etapas b) o c) que se encuentran en un rango de discriminación previamente definido;

comprendiendo dicho procedimiento, además, una etapa e) en la que la señal digitalizada  
10 obtenida tras la realización de las etapas c) o d) se comprime mediante una parametrización dando como salida una señal comprimida. Esta parametrización puede ser una parametrización en tiempo real.

Preferentemente, la discriminación de las señales eléctricas de la etapa d) se puede  
15 realizar en dominio analógico o digital.

Más preferentemente, la parametrización de la etapa e) es una parametrización lineal a tramos en el plano tiempo-tensión. En una realización particular, la parametrización dispone como entrada la señal digitalizada y la señal comprimida comprende valores de  
20 amplitud (como, por ejemplo, los valores pico máximo y mínimo) y al menos un valor referente al tiempo (como, por ejemplo, el tiempo transcurrido entre los valores pico máximo y mínimo) que aproximan la morfología en el plano tiempo-tensión del potencial de acción detectado.

Los valores de amplitud no tienen necesariamente que ser picos de amplitud, de hecho, en realizaciones de la presente invención, alguno de los valores de amplitud puede ser uno de los valores umbral que definen el rango de discriminación. En este caso, el valor dependiente del tiempo puede ser un valor asociado al tiempo transcurrido al valor de amplitud objeto de la parametrización y el rango de discriminación  
25

De manera particular, el valor dependiente del tiempo se calcula mediante el conteo de pulsos de un reloj del canal del canal de sensado.  
30

Además, la presente invención contempla la posibilidad de incluir una etapa f) en la que

se envía la señal comprimida a, al menos, un dispositivo externo al canal de sensado.

## **DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

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

10

La figura 1 muestra la estructura de un canal de sensado para la captura, digitalización y procesado de señales neuronales de acuerdo con la presente invención.

15

La figura 2 muestra un ejemplo de realización de un procesador de datos del tipo comprendido por canal de sensado de la figura 1.

20

La figura 3 muestra un ejemplo de realización del módulo de compresión de datos del tipo comprendido en el procesador de datos de un canal de sensado, de acuerdo con la presente invención.

25

La figura 4 muestra la representación lineal a tramos en el plano tiempo-tensión de un potencial de acción neuronal.

30

Las figuras 5a, 5b y 5c muestran un diagrama de flujo de un ejemplo del procedimiento de compresión de datos que podría llevarse a cabo en un ejemplo de módulo de compresión de un canal de sensado según la presente invención. El diagrama de flujo no cabe completamente en una sola página, por lo que, para mayor claridad, se ha representado una primera fase en la figura 5a, así como una segunda fase, a continuación de la primera fase, en la figura 5b y una tercera fase, a continuación de la segunda fase, en la figura 5c.

La figura 6a muestra un ejemplo de una señal neuronal obtenida por un electrodo así como una representación gráfica de dicha señal neuronal comprimida.

La figura 6b muestra ejemplos de posibles señales comprimidas obtenidas mediante un dispositivo según la presente invención.

## REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

5

La figura 1 muestra un canal de sensado (10000) para la captura, digitalización y procesamiento de señales neuronales, de acuerdo con la presente invención. Dicho canal de sensado (10000) comprende un amplificador de bajo ruido (11000) (denominado LNA, por sus siglas en inglés, "Low Noise Amplifier") para amplificar la diferencia de potencial entre las señales eléctricas provenientes, por una parte, de un electrodo de referencia (30000) y un electrodo de biopotencial (20000); un circuito (12000) para estimar los artefactos debidos, por ejemplo, a alteraciones en la impedancia de la interfaz entre tejido y electrodo o a la aplicación de terapias de electromodulación, que potencialmente pueden contaminar la señal capturada por el amplificador de bajo ruido (11000); un elemento de amplificación de ganancia variable (13000) para ajustar los niveles de tensión de la señal proporcionada por el amplificador de bajo ruido (11000) una vez sustraída la señal generada por el circuito (12000) para la estimación de artefactos; un convertidor analógico-digital (14000) (denominado ADC, por sus siglas en inglés, "Analogue-to-Digital Converter") para digitalizar la señal proporcionada por el elemento de amplificación de ganancia variable (13000); un procesador local de datos (15000) que identifica el modo de operación del canal de sensado (10000), configura los parámetros del amplificador de bajo ruido (11000) y del elemento de amplificación de ganancia variable (13000), procesa los datos digitalizados por dicho convertidor (14000) y transfiere los resultados al exterior; y, adicionalmente, puede comprender una unidad de referencia que puede, por ejemplo, cumplir funciones para la calibración de la característica de transferencia paso de banda de la cabecera de un canal de sensado (10000).

Se debe interpretar la expresión "cabecera" como el subconjunto de elementos de un canal de sensado que comprende un amplificador de bajo ruido (11000) un elemento de amplificación de ganancia variable (13000).

En cuanto al elemento de amplificación de ganancia variable (13000) este puede estar comprendido por un amplificador de ganancia programable (13001) (del tipo conocido

como PGA, por sus siglas en inglés, “Programmable Gain Amplifier”) y un lazo de cancelación de offset (13002) (denominado OCL, por sus siglas en inglés, “Offset Cancellation Loop”) para eliminar las componentes en corriente continua a la entrada del convertidor analógico-digital (14000) originadas por los desbalances a las entradas tanto del elemento de amplificación de ganancia variable (13000) como del amplificador de bajo ruido (11000).

Es importante destacar que la configuración mostrada en la figura 1 de conexión entre el amplificador de bajo ruido (11000) y circuito (12000) para la estimación de artefactos forman un circuito acondicionador y captador de una señal neuronal cuya función es, principalmente, la de adecuar la señal para que pueda ser utilizada en el resto del procedimiento. En algunas realizaciones de la presente invención se puede incluir algún tipo de filtrado que ayude al acondicionamiento de dicha señal neuronal.

De acuerdo con la presente invención, la señal de salida del electrodo de biopotencial (20000) es la respuesta eléctrica capturada por dicho electrodo de biopotencial (20000), que sirve de interfaz entre el tejido cuya actividad eléctrica se desea monitorizar y el canal de sensado (10000). La señal de salida del electrodo de referencia (30000) es una tensión extraída desde dicho electrodo de referencia (30000) que ofrece una impedancia de entrada menor que el electrodo de biopotencial (20000) y que sirve de referencia para el funcionamiento del amplificador de bajo ruido (11000) y del circuito para la estimación de artefactos (12000).

De acuerdo con una realización preferente de la presente invención, el canal de sensado (10000), incluye elementos de protección frente a descargas electrostáticas (denominadas ESD, por sus siglas en inglés “electrostatic discharge”) en los puntos de conexión con el electrodo de biopotencial (20000) y el electrodo de referencia (30000).

Los medios y procedimientos asociados a la calibración de un canal de sensado (10000) de acuerdo con la presente invención se pueden activar mediante el cambio de estado de una señal interna, de manera que las entradas del amplificador de bajo ruido (11000) se desconectan de los electrodos de biopotencial (20000) y de referencia (30000), y se conectan a señales analógicas de calibración con características preestablecidas. Dichos medios y procedimientos de calibración son

ampliamente conocidos en la técnica anterior.

De acuerdo con la presente invención, tanto la frecuencia de corte por baja frecuencia como la frecuencia de corte por alta frecuencia de la cabecera del canal de sensado (10000), como la ganancia del elemento de amplificación de ganancia variable (13000) son programables en el sentido de que se pueden modificar por medios electrónicos, por ejemplo, mediante un módulo de configuración y/o mediante un módulo de lectura de instrucciones que se explicarán en mayor detalle haciendo referencia a la figura 2.

Adicionalmente, de acuerdo con la presente invención, la salida del convertidor analógico-digital (14000) es una señal digitalizada (14001) que tiene la forma de un vector y se almacena en un registro interno de dicho convertidor analógico-digital (14000). Con cada actualización de dicho registro, correspondiente a una nueva digitalización de la señal de salida del amplificador de ganancia variable (13000), el convertidor (14000) emite un pulso de final (14002), representativo del fin del proceso de conversión.

Como ejemplos de posibles entradas digitales (10001) al canal de sensado (10000), se pueden destacar entradas tales como un tren de pulsos periódicos para secuenciar el funcionamiento de dicho canal de sensado (10000) (es decir, pulsos de reloj), una entrada de programación para la carga secuencial de un vector de configuración, una señal de habilitación para ejecutar dicho vector de configuración una vez cargado, un vector de datos para seleccionar y activar el canal de sensado (10000), etc.

A la salida, el canal de sensado (10000) puede disponer de una salida serial de datos (10002) del canal de sensado (10000). Como se verá más adelante, la estructura de dicha señal de salida serial de datos (10002) puede depender del modo de operación especificado en el vector de configuración.

De acuerdo con la presente invención, un canal de sensado (10000) ofrece cuatro modos de operación, de acuerdo con el tipo de instrucción recibida a través del vector de configuración:

- i. Modo de Configuración, mediante el que se definen los parámetros de

operación de los diferentes medios comprendidos en el canal de sensado (10000) y se establecen las condiciones de contorno para la ejecución de los otros modos de operación.

5 ii. Modo de Calibración, mediante el que se ajustan de forma automática las características de transferencia paso de banda de la cabecera de un canal de sensado (10000).

iii. Modo de Seguimiento de Señal, mediante el que se adquiere, acondiciona, filtra y digitaliza la actividad cerebral adquirida por el canal de sensado (10000).

10 iv. Modo de Compresión de Datos, mediante el que se detectan y procesan los potenciales de acción contenidos en la señal neuronal capturada por el canal de sensado (10000). A diferencia de otras técnicas disponibles para la caracterización de la morfología tiempo-tensión de potenciales de acción neuronales (combinación de funciones base, extracción de componentes principales PCA - del inglés, "Principal Component Analysis" -, cálculo de parámetros de un filtrado Hanning, o la conformación con ondas modelo - del inglés, "wavelet analysis" -), la presente invención propone, a título de ejemplo, el uso de técnicas de aproximación lineal a tramos en tiempo real.

20 La figura 2 muestra el diagrama de bloques de un ejemplo de procesador local de datos (15000) comprendido en un canal de sensado (10000). Dicho procesador local de datos (15000) comprende: un módulo de lectura de instrucciones (15100); un almacén de parámetros (15200) en donde se archivan los parámetros de configuración (15101) del canal de sensado (10000) contenidos en las instrucciones recibidas por dicho módulo de lectura de instrucciones (15100); un módulo de configuración (15300); un módulo de compresión de datos (15400); y un módulo de transmisión de datos (15500) que dispone de diversas salidas del canal de sensado (10000) y genera, entre otras, una señal de habilitación.

30 La salida digitalizada (14001) y el pulso final (14002) proporcionados por el convertidor analógico-digital (14000) del canal de sensado (10000), entre otras, representan algunas de las entradas más representativas al procesador local de datos (15000).

Según la presente invención, el módulo de lectura de instrucciones (15100) puede disponer de una entrada para un vector para la activación del canal de sensado (10000). En otro aspecto, el módulo de lectura de instrucciones (15100) desglosa el contenido de un ejemplo de vector de configuración, por un lado, identificando el modo de operación del canal de sensado (10000) de entre los cuatro modos posibles, por otro, identificando los cualificadores (15102) de dichos comandos y, por otro, identificando los parámetros de configuración (15101) asociados.

De acuerdo con la presente invención, los cualificadores (15102) se particularizan dependiendo del modo de operación del canal de sensado (10000) siendo diferentes para el Modo de Configuración, Modo de Calibración o Modo de Compresión de Datos (151021) (ilustrado en la figura 2). El Modo de Seguimiento de Señal no tiene cualificadores (15102) asociados. Asimismo, sólo las tramas asociadas a modos de operación de Configuración y Calibración contienen parámetros de configuración (15101) en cuanto a que, por ejemplo, el Modo de Compresión de Datos (151021) es una instrucción de habilitación de dicho módulo.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, el módulo de configuración (15300) se habilita cuando el módulo de lectura de instrucciones (15100) identifica un comando vinculado al modo de configuración en cuyo caso se emite una señal de habilitación (15301) del módulo de configuración (15300). En cualquier otro modo de operación, dicho módulo de configuración (15300) permanece deshabilitado. El propósito del módulo de configuración (15300) es la validación de la correcta escritura en el almacén de parámetros (15200) de los parámetros contenidos en el vector de configuración. Una vez el módulo de la lectura de instrucciones (15100) registra en el almacén de parámetros (15200) los parámetros de configuración (15101) asociados al comando recibido, el módulo de configuración (15300) recibe una señal de validación (15302) y conforma un vector representativo del modo de configuración y un patrón específico que informa de la correcta escritura de dichos parámetros de configuración (15101) en el almacén de parámetros (15200).

En realizaciones particulares de la presente invención, el procesador local de datos (15000) comprende un módulo adicional de calibración (no mostrado) que se habilita cuando el bloque para la lectura de instrucciones (15100) identifica un comando

vinculado al Modo de Calibración que puede ser activado y desactivado mediante señales provenientes del módulo de lectura de instrucciones (15100) de manera similar al módulo de compresión de datos (15400).

5 El propósito del módulo de calibración es la programación automática del conjunto de valores de frecuencias de corte y ganancia variable de forma que la banda pasante de la cabecera del canal de sensado (10000) sólo incluya el contenido espectral de la señal objeto de monitorización y que el nivel de amplificación proporcionado por el amplificador de ganancia variable (13000) se ajuste al valor deseado.

10

Un ejemplo de calibración automática de frecuencia de corte se puede realizar mediante un sistema de lazo cerrado que usa un sintetizador de frecuencias como unidad de referencia. La programación de la frecuencia del tono generado por dicho sintetizador se realiza a través de palabras digitales representativas. El tono generado se hace coincidir con el valor deseado para la frecuencia de corte. El proceso de calibración de dicha frecuencia de corte comienza una vez transcurrido el tiempo necesario para estabilizar el lazo de realimentación. En el caso del nivel de amplificación, el ajuste automático se puede realizar mediante la monitorización, durante un periodo de tiempo, de los picos de amplitud de la señal proporcionada por el amplificador de ganancia variable.

15

20

Por otra parte, el propósito del módulo de compresión de datos (15400) es la extracción y procesamiento de algunas de las características de la actividad cerebral con vistas a reducir el ancho de banda de la señal transmitida por el canal de sensado (10000). En consecuencia, el módulo de compresión de datos (15400) se encarga de la detección y caracterización de la morfología tiempo-tensión de los potenciales de acción neuronales capturados por la cabecera del canal de sensado (10000). La transferencia de información desde el módulo de compresión de datos (15400) a través de la salida comprimida (15401) sólo se produce cuando se ha detectado y completado la extracción de las características de un potencial de acción. Bajo cualquier otra circunstancia, dicha salida comprimida (15401) permanece inactiva. En consecuencia, la transferencia de datos está basada en eventos, vinculados a la presencia de potenciales de acción en la señal neuronal capturada, y no se realiza de forma continua. Ello supone, en comparación con el modo de operación de

25

30

Seguimiento de Señal, una reducción considerable de la tasa de datos enviados desde un canal de sensado (10000) de acuerdo con la presente invención.

5 En la figura 3 se puede observar que la detección de los potenciales de acción se realiza mediante comparación con umbrales y la extracción de las características de dichos potenciales se basa en la obtención de aproximaciones lineales a tramos en el plano tiempo-tensión. De acuerdo con ello, el módulo de compresión de datos (15400) supervisa la señal digitalizada (14001) generada por el convertidor analógico-digital (14000) comprendido en el canal de sensado (10000) e identifica la presencia de  
10 potenciales de acción neuronales mediante la detección de los instantes en que dicha secuencia sobrepasa la banda de valores comprendida entre un umbral superior (15563) y un umbral inferior (15564) que definen un rango de discriminación. En el momento en que se produce la detección de un potencial de acción, el módulo de compresión de datos (15400) activa un procedimiento en tiempo real mediante el que  
15 se determinan los valores de tensión y los intervalos temporales necesarios para construir la representación lineal a tramos del potencial detectado.

En definitiva, se puede entender que la presente invención dispone, por una parte, de un sub-módulo de discriminación encargado de constatar la presencia de potenciales  
20 de acción en la señal neuronal capturada, lo que sucede cuando dicha señal supera un rango de discriminación definido por un umbral superior (15563) y un umbral inferior (15564); y dicho sub-módulo de discriminación puede ser digital, tal y como se ha explicado anteriormente, o analógico, mediante un procesado previo al convertidor analógico-digital (14000). Es decir, el sub-módulo de discriminación se encarga de  
25 eliminar del proceso de compresión (o discriminar) las señales que no correspondan a potenciales de acción. Con este objetivo se definen dos umbrales que definen dicho rango de discriminación y que pueden ser configurados previamente por el usuario o venir definidos mediante técnicas automáticas de calibración conocidas en la técnica.

30 Por otra parte, la presente invención dispone de un sub-módulo de compresión digital en el que se realiza una compresión digital de datos mediante técnicas de compresión como, por ejemplo, mediante aproximación lineal a tramos. Dichos sub-módulos se encuentran contenidos en el bloque de aproximación lineal a tramos (15570).

Adicionalmente, en un registro (15580) se almacenan temporalmente los datos de la aproximación lineal a tramos efectuada por dicho bloque de aproximación lineal a tramos (15570); y dos entidades estructuralmente idénticas, una estructura de adaptación de umbral positivo (15501) y una estructura de adaptación de umbral negativo (15502), que cuando están habilitadas permiten el ajuste dinámico de dichas tensiones de umbral frente a potenciales variaciones en el fondo de ruido de la señal capturada por la cabecera del canal de sensado (10000).

El módulo de compresión de datos (15400) puede comprender, adicionalmente, un sub-módulo de configuración para la activación y establecimiento de los parámetros de operación de los diferentes elementos de la estructura.

También de acuerdo con la presente invención, como entradas al bloque de aproximación lineal a tramos (15570), además de los citados valores externos de las tensiones de umbral (15563, 15564) y la señal digitalizada (14001), se puede disponer de un parámetro SPD (155700) que indica el número de periodos de reloj que comprende la duración estimada de un potencial de acción neuronal, dicho parámetro puede ser utilizado por el bloque de aproximación lineal a tramos (15570) para la detección y aproximación lineal a tramos de los potenciales de acción.

En cuanto a las estructuras de adaptación de los umbrales (15501, 15502), estas operan, respectivamente, con los valores positivos y negativos de la señal digitalizada (14001) proporcionada por el convertidor analógico-digital (14000). Tal como se muestra en la figura 3, la distinción entre los valores positivos (14011), y los valores negativos (14012) de dicha señal digitalizada (14001), se realiza mediante un comparador digital (14030) y un primer demultiplexor (14010). La misma salida de dicho comparador digital (14030) se emplea para distinguir, con ayuda de un segundo demultiplexor (14020), tanto el pulso de fin de conversión positivo (14021) como el pulso de fin de conversión negativo (14022) ligados, respectivamente, a los valores positivos (14011), y los valores negativos (14012) de dicha señal digitalizada (14001).

Según la presente invención, ambas estructuras de adaptación de las tensiones de umbral (15501, 15502) pueden funcionar de forma simultánea. Salvo por los datos de entrada (los valores positivos (14011) y los valores negativos (14012)) y las

correspondientes salidas (el umbral superior (15563) y el umbral inferior (15564)), no existen diferencias ni estructurales ni operativas entre ambas estructuras de adaptación de las tensiones de umbral (15501, 15502) por lo que, por simplicidad, solo se describirá el detalle de la estructura de adaptación de la tensión umbral positivo (15501).

Tal como muestra la figura 3, la estructura de adaptación de la tensión umbral positivo (15501) comprende: un contador de pulsos programable (15520) cuyo periodo, controlado por un parámetro “UPR” es configurable por el usuario; un acumulador digital formado por un sumador (15530) y un registro (15540); y una etapa de salida formada por un bloque de conformación (15550) y un sumador (15560). La operación del módulo de adaptación de la tensión umbral positivo (15501) es como sigue. Una vez habilitada dicha estructura, cada nuevo valor de los valores positivos (14011) de la señal digitalizada (14001) se acumula en el registro (15540), al tiempo que se incrementa en uno el valor almacenado en el contador de pulsos programable (15520) a instancias del pulso de fin de conversión positivo (14021) asociado con dicho valor positivo (14011). Cuando el recuento de dichos pulsos de fin de conversión positivos (14021) alcanza un valor igual dos elevado a UPR ( $2^{UPR}$ ), el contador de pulsos programable (15520) dispara una señal DUMP (15522) que vuelca el contenido del registro (15540) en el bloque de conformación (15550). La longitud tanto del sumador (15530) como del registro (15540) es de  $N+UPR$ , donde  $N$  es el tamaño de los vectores de entrada de los valores positivos (14011). Acto seguido, tras un ciclo de reloj, se anula el contenido de dicho registro (15540) y comienza de nuevo el procedimiento descrito de acumulación y recuento. El módulo de conformación (15550) extrae del registro (15540) los  $N$  bits comprendidos entre la posición  $N+UPR-2$  y la posición  $UPR-2$ , lo que en esencia equivale a desplazar en dos posiciones (multiplicar por cuatro) el contenido del registro (15540) y tomar los  $N$  bits más significativos. El resultado de la extracción se guarda en otro registro comprendido en el propio módulo de conformación (15550). De acuerdo con los documento del estado de la técnica “Michael Rizk and Patrick D. Wolf (2009). Optimizing the automatic selection of spike detection thresholds using a multiple of the noise level. *Med Biol Eng Comput* (2009) 47:955–966” y “R. Quian Quiroga, Z. Nadasdy and Y. Ben-Shaul (2004). Unsupervised Spike Detection and Sorting with Wavelets and Superparamagnetic Clustering. *Neural Computation* 16, 1661–1687”, esta sencilla

operación realizada en el módulo de conformación (15550) proporciona una estimación del valor de la tensión de umbral superior (15563) necesaria para la detección de potenciales de acción. Con objeto de permitir un ajuste fino controlado por usuario del valor óptimo de la tensión de umbral superior (15563), un sumador digital (15560) añade o substraee al vector digital conformado (15562) proporcionado por el módulo conformación (15550) una cantidad (15561) configurable que ha sido transferida a la estructura de adaptación de la tensión de umbral superior (15563) desde un bloque de configuración. La transferencia del valor final de la tensión de umbral superior (15563) al bloque de aproximación lineal a tramos (15570) para la detección y aproximación lineal a tramos de los potenciales de acción sólo se produce en ausencia de potenciales de acción.

Como ejemplos de salidas del bloque de aproximación lineal a tramos se pueden mencionar un vector de valores de amplitud (15572), un vector de valores temporales (15573), un vector de umbrales (15574) compuesto por las tensiones de umbral superior (15563) e inferior (15564), y/o un una señal de finalización de aproximación (15575), por otra parte, otra de las salidas puede ser un pulso de funcionamiento (15571) para indicar que el bloque de aproximación lineal a tramos (15570) se encuentra en uso y, finalmente, tras el paso de dichas salidas por el registro (15580) se genera la señal comprimida (15401). El significado de estos valores se explicará con mayor detalle haciendo referencia a la figura 4.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, la figura 4 ilustra el procedimiento en tiempo real de representación en el plano tiempo-tensión de los potenciales de acción realizado por el bloque de aproximación lineal a tramos (15570). Dicho procedimiento de representación se activa cada vez que la señal digitalizada (14001) generada por el convertidor analógico-digital (14000) sobrepasa el rango de discriminación comprendido entre un umbral superior (15563) y un umbral inferior (15564). Aunque la figura 4 muestra un caso en el que el potencial de acción comienza con una transición hacia valores por encima del umbral superior (15563), este aspecto no es de ninguna manera limitativo de la presente invención, y transiciones en el sentido contrario son igualmente susceptibles de representación usando el mismo procedimiento.

En particular, en esta figura se observa una representación gráfica de la señal neuronal (1), en línea discontinua, así como de una representación de un ejemplo de aproximación lineal a tramos, en línea continua, para dicha señal neuronal (1).

5 En un ejemplo de realización y suponiendo potenciales de acción bifásicos (tal como el ilustrado en la figura 4) para los que existen dos picos, uno por encima y otro por debajo del rango de discriminación definido por las tensiones umbrales superior (15563) e inferior (15564), la representación en el plano tiempo-tensión realizado por el bloque de aproximación lineal a tramos (15570) comprende dos valores de amplitud (un  
10 primer valor de tensión  $V_{p1}$  (155721) y un segundo valor de tensión  $V_{p2}$  (155722)) y tres valores temporales ( $\Delta 1$  (155731),  $\Delta 2$  (155732) y  $\Delta 3$  (155733)). En este ejemplo de realización, los dos valores de amplitud se corresponden con los valores de pico del potencial de acción detectado por el bloque de aproximación lineal a tramos (15570), siendo  $V_{p1}$  (155721) el valor de la amplitud del primer pico (independientemente de si  
15 es positivo o negativo) y  $V_{p2}$  (155722) el valor de la amplitud del segundo pico. Por otro lado, los tres valores temporales informan de la duración de los siguientes intervalos:

1. Un primer intervalo  $\Delta 1$  (155731) transcurrido desde la detección del potencial de acción (cuando la señal neuronal (1) sobrepasa uno de los umbrales) hasta el  
20 instante del primer valor de tensión  $V_{p1}$  (155721).
2. Un segundo intervalo  $\Delta 2$  (155732) transcurrido entre el instante del primer valor de tensión  $V_{p1}$  (155721) y el instante del segundo valor de tensión  $V_{p2}$  (155722).
3. Un tercer intervalo  $\Delta 3$  (155733) transcurrido entre el instante del segundo valor de tensión  $V_{p2}$  (155722) y la finalización del potencial de acción (es decir, hasta  
25 que la señal vuelve a estar en el rango de discriminación). Dicha finalización se determina bien por el cruce del potencial de acción por el umbral superior (15563) o inferior (15564), más cercano al segundo valor de pico  $V_{p2}$  (155722) o bien cuando se alcanza el límite temporal definido por un valor SPD (155700) configurable por el usuario y transferido al bloque de aproximación lineal a  
30 tramos (15570) de los potenciales de acción desde un bloque de configuración. Dicho valor SPD (155700) se expresa en ciclos de reloj y está comprendido, preferentemente, entre 2 ms y 3 ms, de acuerdo con estudios neurofisiológicos. En el caso en que el potencial de acción alcanza el límite temporal definido por

un valor SPD, sin que previamente se haya cruzado un umbral del rango de discriminación, el intervalo  $\Delta 3$  (155733) toma el valor:

$$\Delta 3 = SPD - \Delta 1 - \Delta 2.$$

5

En otro ejemplo de realización y suponiendo potenciales de acción monofásicos con un sólo pico, bien por encima o bien por debajo del rango de discriminación definido por las tensiones de umbrales superior (15563) e inferior (15564), la representación en el plano tiempo-tensión realizado por el bloque de aproximación lineal a tramos (15570) también comprende dos valores de amplitud (un primer valor de tensión y un segundo valor de tensión) y tres valores temporales. En este caso, el primer valor de tensión sería el valor de la amplitud del pico detectado por el bloque de aproximación lineal a tramos (15570) (independientemente de si es positivo o negativo) y el segundo valor de tensión sería el valor de la tensión umbral que marca el retorno del potencial de acción al rango de discriminación (que es el mismo umbral cuyo cruce originó la detección del potencial de acción). Por otro lado, los tres valores temporales proveen información de la duración de los siguientes intervalos:

15

1. Un primer intervalo transcurrido desde la detección del potencial de acción hasta el primer valor de tensión.
2. Un segundo intervalo transcurrido entre el instante del primer valor de tensión y el cruce del potencial de acción por el umbral más cercano a dicho primer valor de tensión.
3. Un tercer intervalo transcurrido entre el instante del cruce del potencial de acción por el umbral más cercano al primer valor de tensión y la finalización del potencial de acción definido, tal como en el caso de potenciales de acción bifásicos, por un límite temporal definido por un valor SPD (155700) configurable por el usuario y transferido al bloque de aproximación lineal a tramos (15570) de los potenciales de acción desde un bloque de configuración.

25

En todos los casos, ya sean potenciales de acción bifásicos o monofásicos, los intervalos temporales  $\Delta 1$  (155731),  $\Delta 2$  (155732) y  $\Delta 3$  (155733) se calculan mediante el recuento de pulsos de un reloj habilitado en el canal de sensado 10000.

Adicionalmente, en la figura 4 se muestran algunas de las señales auxiliares y su determinación a partir del gráfico mostrado. En particular, se muestra la señal de finalización de aproximación (15575), esto es un pulso que se ejecuta durante un tiempo determinado para señalar que se ha finalizado el análisis, un pulso de funcionamiento (15571) que indica que actualmente se está realizando un análisis y un pulso de detección de potenciales de acción (15576) que indica la presencia de un potencial de acción y este pulso se mantiene en 1 mientras la señal neuronal (1) se mantenga fuera del rango del rango de discriminación y es 0 mientras la señal neuronal (1) se mantiene dentro del rango de discriminación.

También de acuerdo con otro aspecto de la presente invención, el bloque de aproximación lineal a tramos (15570) de los potenciales de acción opera en tiempo real de modo que tanto el vector de valores de amplitud (15572), como el vector de valores temporales (15573) están disponibles a la finalización del potencial de acción detectado, aspecto que dicho bloque de aproximación lineal a tramos (15570) comunica mediante la emisión de una señal de finalización de la aproximación (15575), tal como muestra la figura 3. El procedimiento mediante el que el bloque de aproximación lineal a tramos (15570) de los potenciales de acción determina de forma dinámica los parámetros de la representación en el plano tiempo-tensión, se describe en el diagrama de flujo de la figura 5. La duración del procedimiento por cada potencial de acción detectado es SPD (155700). Aunque en las figuras 5a, 5b y 5c se muestra, a título de ejemplo, un caso en el que la detección del potencial de acción está originado por un cruce con el umbral superior (15563), el procedimiento para un cruce con el umbral inferior (15564) es completamente dual, por lo que no se detalla por simplicidad.

Tal como se muestra en el diagrama de flujo de las figuras 5a, 5b y 5c, se pueden distinguir tres fases en el procedimiento para la determinación en tiempo real de los parámetros para la representación lineal a tramos de potenciales de acción. Una primera fase (5000) (que se muestra en la figura 5a) comprende el intervalo de tiempo desde la detección del potencial de acción hasta el retorno al rango de discriminación definido por los umbrales superior (15563) e inferior (15564) (cruce por el umbral superior (15563) en el presente ejemplo). En esta fase se calculan los parámetros  $\Delta 1$ ,  $V_{p1}$  asociados a la posición de un primer pico de tensión del potencial de acción

detectado. En una segunda fase (6000) (que se muestra en la figura 5b) se determina si el potencial de acción detectado es de tipo monofásico o bifásico. En el primer caso, potencial monofásico, se proporcionan los valores de los parámetros  $V_{p2}$ ,  $\Delta 2$  y  $\Delta 3$  y concluye el procedimiento de caracterización lineal a tramos. En caso contrario, potencial bifásico, se procede a la tercera fase (7000) del procedimiento (que se muestra en la figura 5c). En dicha tercera fase (7000), se determina la posición de un segundo pico de tensión del potencial de acción detectado y se proporcionan los valores de la dupla  $\Delta 2$ ,  $V_{p2}$  asociados a dicho segundo pico. Así mismo durante la tercera fase (7000) se calcula el parámetro  $\Delta 3$ , tanto si se produce un retorno al rango de discriminación como si no, y se concluye el procedimiento de caracterización lineal a tramos.

En cuanto a la primera fase (5000), en esta fase se inicia (5001) disponiendo como entradas los valores de la señal digitalizada (14001) que, en lo sucesivo se denominará TR\_DATA y se analiza para valores en los que TR\_DATA se encuentra, de acuerdo con el ejemplo de la figura 5, sobre el umbral positivo (15560) que, en lo sucesivo, se denominará VTH+. Posteriormente, se dan valores a las variables  $\Delta 1$ , SPK, y PEAK (5002). Donde  $\Delta 1$ , tal y como se explicó anteriormente, corresponde al intervalo de tiempo hasta que se alcanza el primer valor pico  $V_{p1}$  (valor máximo del potencial de acción en la figura 5); SPK corresponde a una variable auxiliar que indica que el bloque de aproximación lineal a tramos (15570) se encuentra en funcionamiento y correspondería con el pulso de funcionamiento (15571); y PEAK corresponde a una variable auxiliar que indica que el bloque de aproximación lineal a tramos (15570) se encuentra detectando un pico.

Una vez se han dado estos valores se define el primer valor pico como el valor actual de TR\_DATA y se inicia un contador CNT (5003). A continuación se procede a analizar un nuevo dato de TR\_DATA (5004). Posteriormente, mediante un primer operador de decisión (5007) se analiza si el nuevo valor de TR\_DATA se encuentra por debajo del umbral positivo VTH+. De ser así, se considera que ya se ha alcanzado el primer valor pico por lo que se reinicia la variable auxiliar PEAK (5009), se almacenan el valor de pico  $V_{p1}$  y el intervalo  $\Delta 1$  (5010) y se procede a la segunda fase (6000) tras dar valores a un conjunto de variables de control (5011).

Si en el primer operador de decisión (5007) se determina que el valor de TR\_DATA se encuentra aún sobre el umbral positivo VTH+, se procede a un segundo operador de decisión (5008) en el que se determina si el valor de TR\_DATA es menor que el valor de amplitud Vp1. En caso de que así sea, se incrementa el contador (5005) añadiendo uno a la variable CNT y se retorna a analizar un nuevo dato de TR\_DATA (5004) y, en caso contrario, se incrementa  $\Delta 1$  (5006) en el valor del contador CNT más 1, se reinicia a cero la variable CNT y se redefine el valor de pico Vp1 (5003) como el valor actual de TR\_DATA.

Tras finalizar la primera fase (5000) se procede a una segunda fase (6000), cuyo cometido es distinguir entre potenciales de acción monofásicos y bifásicos y, en el primero de los casos, proporcionar los parámetros Vp2,  $\Delta 2$  y  $\Delta 3$  de la aproximación lineal a tramos. Estas acciones se mostrarán haciendo referencia a la figura 5b.

Inicialmente se inicia el valor de  $\Delta 2$  (6001) para lo que se le da el valor remanente de la variable CNT, de la primera fase (5000). Posteriormente, se asignan los valores de Vp2 y el contador (6002) para lo que se asigna el valor actual de la señal digitalizada TR\_DATA a la variable Vp2 y el contador CNT se reinicia a cero. A continuación, se procede a analizar el siguiente valor de la señal digitalizada TR\_DATA (6003). Mediante un tercer operador de decisión (6006) se analiza si este valor de TR\_DATA se encuentra por debajo del valor umbral negativo que, en lo sucesivo, se denominará VTH-. De ser así se asigna a la variable auxiliar PEAK un valor de uno (6007) y se continúa con la tercera etapa (7000).

En caso de que el valor de TR\_DATA se encuentre sobre el umbral VTH-, mediante un cuarto operador de decisión (6008) se analiza si el valor de  $\Delta 2 + \text{CNT}$  es inferior al parámetro SPD (que es un parámetro pre-configurado, tal y como se ha explicado anteriormente). Si dicho valor es inferior, mediante un quinto operador de decisión (6009), se analiza si el valor de la señal digitalizada actual TR\_DATA es mayor que el valor de Vp2, de ser así se incrementa en uno el contador CNT (6004) y se procede a analizar el siguiente valor de la señal digitalizada TR\_DATA (6003) y, en caso contrario, se incrementa el valor de  $\Delta 2$  en el valor del contador CNT más uno (6005) y se procede a actualizar la variable Vp2 con el valor de TR\_DATA y se reinicia el contador CNT a cero (6002).

Si en el cuarto operador de decisión (6008) se determina que el valor de  $\Delta 2 + \text{CNT}$  es superior al parámetro SPD, se determina que la señal digitalizada corresponde a un potencial monofásico y se almacenan los valores correspondientes de la aproximación lineal a tramos Vp2,  $\Delta 2$  y  $\Delta 3$  (6010) en el que el valor de Vp2 correspondería con el valor de umbral más cercano al pico (es decir el valor de umbral superior (15563)). Posteriormente se pasa a cero el valor de SPK (6011) para indicar que ha finalizado el procedimiento de compresión y se emite el pulso de finalización o pulso END y se finaliza (6012) el procedimiento.

10

En cuanto a la tercera etapa (7000), que se explica haciendo referencia a la figura 5c y, en la que ya se ha determinado que existe un valor pico negativo Vp2 y, por tanto, un potencial de acción bifásico, se inicia el valor de  $\Delta 2$  y se reinicia el contador CNT (7001). El valor de  $\Delta 2$  se define como el remanente de la variable CNT de la segunda fase (6000), se asigna el valor actual de la señal digitalizada TR\_DATA al valor de pico Vp2 y se reinicia el contador CNT a cero.

15

Posteriormente, se procede a analizar el siguiente valor TR\_DATA (7002). Mediante un sexto operador de decisión (7005) si el valor actual de TR\_DATA es mayor al umbral negativo se reinicia la variable auxiliar PEAK (7006), se almacenan los valores de Vp2 y  $\Delta 2$  (7007), se almacenan el valor de  $\Delta 3$  (7008) que será el valor actual de CNT, se asigna un cero a la variable SPK (7009) para indicar la finalización del proceso y se finaliza (7010) el procedimiento.

20

Si en el sexto operador de decisión (7005) se determina que el valor actual de TR\_DATA es menor al umbral negativo se procede a un séptimo operador de decisión (7011) en el que se determina si el valor de  $\Delta 2 + \text{CNT}$  es menor que el valor del parámetro pre-configurado SPD, de ser así, se procede a un octavo operador de decisión (7012) en el que se determina si el valor de TR\_DATA es mayor que el valor pico negativo Vp2. Si TR\_DATA es mayor que el valor pico negativo se incrementa en uno el contador CNT (7003) y se procede a analizar el siguiente valor TR\_DATA (7002), de lo contrario se incrementa  $\Delta 2$  en el valor del contador CNT más uno (7004) y se procede a actualizar la variable Vp2 con el valor de TR\_DATA y se reinicia el contador CNT a cero (7001).

30

Finalmente, si en el séptimo operador de decisión (7011) se determina que el valor de  $\Delta 2 + \text{CNT}$  es mayor que el valor del parámetro pre-configurado SPD, se almacenan los datos de  $V_{p2}$  y  $\Delta 2$  (7013), se asigna a  $\Delta 3$  el valor de  $\text{SPD} - \Delta 1 - \Delta 2$  (7014), se asigna un  
5       cero a la variable SPK (7015) para indicar la finalización del proceso y se finaliza (7016) el procedimiento.

En otro aspecto de la presente invención, cuando concluye el procedimiento de  
10       caracterización lineal a tramos de cada potencial de acción detectado por el bloque de aproximación lineal a tramos (15570), los diferentes parámetros calculados y el valor de los umbrales  $V_{TH+}$  y  $V_{TH-}$  se vuelcan en un registro (15580) a instancias del pulso de finalización del procedimiento. Dicho registro (15580) conforma una señal comprimida (15401) que, preferentemente, comprende los valores de  $V_{p1}$ ,  $V_{p2}$ ,  $\Delta 1$ ,  $\Delta 2$ ,  $\Delta 3$ ,  $V_{TH+}$  y  $V_{TH-}$ , derivados del procedimiento de las figura 5a, 5b y 5c. Cuando  
15       dicha señal comprimida (15401) está lista para ser enviada a través del módulo de transmisión de datos (15600), el registro (15580) del módulo de compresión de datos (15400) dispara un pulso de transmisión para que los medios de transmisión procedan enviarlo a un dispositivo externo al canal de sensado.

20       A modo de ilustración, la figura 6a muestra una secuencia típica de señales comprimidas (15401) junto con la señal neuronal subyacente. En particular, se pueden observar las diferencias entre la señal neuronal (1) captada por el electrodo y lo que se pretende enviar en la señal neuronal comprimida (3). Aunque, de dicha señal neuronal comprimida (3) únicamente se almacenan algunos parámetros representativos.

25       Cabe destacar que la señal comprimida (15401) permanece inactiva en tanto no se detecta un potencial de acción. En caso de que se produzca una detección, el volumen de datos transmitidos (esencialmente formado por los parámetros de la caracterización lineal a tramos, tal como se ejemplifica para un primer potencial (21) y un segundo  
30       potencial (22) en la figura 6) es muy inferior a si se transmitiera el detalle de los potenciales de acción. En conjunto, el módulo de compresión de datos (15400) proporciona una reducción del ancho de banda de señal a transmitir que puede alcanzar varios órdenes de magnitud.

A título de ejemplo, la figura 6b muestra una representación digital de un ejemplo de señal comprimida (15401). En particular, se muestran las señales para el primer potencial (21) y el segundo potencial (22) de la figura 6a. De esta figura se puede observar que los parámetros considerados como representativos de la señal neuronal comprimida (3) son Vp1 (155721), Vp2 (155722),  $\Delta 1$  (155731),  $\Delta 2$  (155732) y  $\Delta 3$  (155733).

De acuerdo con la presente invención, el módulo de transmisión de datos (15500) comprendido del procesador local de datos (15000) multiplexa las salidas de datos del canal de sensado (10000). Cuando el módulo de transmisión de datos (15500) recibe el pulso de descarga de datos, dicho módulo de transmisión de datos (15500) recibe, como mínimo, la señal comprimida (15401) y lo transfiere al puerto serial de salida (10002) del procesador local de datos (15000).

En una posible aplicación de la presente invención, una pluralidad de canales de sensado (10000) se emplearía en un sistema de adquisición y transferencia de actividad neuronal implantable como cabecera de una interfaz cerebro-máquina (BMI por sus siglas en inglés, "brain-machine interface"). Según este posible ejemplo de aplicación, el sistema adquiriría las señales provenientes del córtex motor y las enviaría al exterior para su posterior procesado con vistas a controlar autómatas u otros mecanismos que permitieran paliar algún tipo de deficiencia motora del paciente.

En otro posible ejemplo de aplicación de la presente invención, una pluralidad de canales de sensado (10000) se emplearía en un sistema de adquisición y transferencia de actividad neuronal implantable junto con un mecanismo de neuromodulación eléctrica para la predicción y tratamiento de ataques epilépticos. En esta aplicación, la activación de los neuroestimuladores estaría dictada por el análisis de las señales proporcionadas por el sistema de adquisición y transferencia de actividad neuronal implantable.

Es importante resaltar que los conceptos y especificaciones descritos en la presente invención son generales y no están estrictamente vinculados a ningún tipo de estándar en particular, ni en lo referente a la adquisición de señal ni en lo referente a las comunicaciones inalámbricas.

A lo largo de esta especificación, el término "comprende" y sus derivados no debe interpretarse en un sentido excluyente o limitativo, es decir, no debe interpretarse en el sentido de excluir la posibilidad de que el elemento o concepto al que se refiere incluya  
5 elementos o etapas adicionales.

**REIVINDICACIONES**

1. Canal de sensado (10000) neuronal del tipo que comprende:

- medios de conexión a al menos un electrodo (20000);
- medios de acondicionamiento y/o adquisición de la señal capturada mediante el electrodo (20000) que disponen como salida una señal neuronal (1);
- un convertidor analógico-digital (14000) que transforma la señal neuronal (1) en una señal neuronal digitalizada (14001);
- medios de transmisión de datos (15500); y
- al menos un procesador local de datos (15000)

en el que el procesador local de datos (15000) comprende un módulo de compresión de datos (15400) caracterizado por que dicho módulo de compresión de datos (15400) comprende un primer sub-módulo de discriminación de señales que discrimina las secciones de la señal neuronal (1) o de la señal neuronal digitalizada (14001) que se encuentran comprendidas en un rango de discriminación determinado y un segundo sub-módulo de compresión digital que comprende medios de parametrización de, al menos, parte de la señal neuronal digitalizada disponiendo como salida una señal comprimida (15401).

2. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 1, caracterizado por que los medios de parametrización parametrizan la parte de la señal neuronal digitalizada que no ha sido discriminada por el sub-módulo de discriminación de señales.

3. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 1, caracterizado por que la señal comprimida (15401) es una señal binaria.

4. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 1, caracterizado por que la señal comprimida (15401) es una señal serial.

5. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 1, caracterizado por que el sub-módulo de discriminación de señales dispone de un umbral superior (15563) y un umbral inferior (15564) que definen el rango de discriminación.

6. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 1, caracterizado por que el sub-módulo de discriminación de señales es un sub-módulo de discriminación de señales digitales.

5 7. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 6, caracterizado por que el sub-módulo de discriminación de señales dispone a su entrada de la señal neuronal digitalizada (14001).

10 8. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 7, caracterizado por que el sub-módulo de compresión digital dispone a su entrada la señal de salida del sub-módulo de discriminación de señales.

9. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 6, caracterizado por que el sub-módulo de discriminación de señales dispone a su entrada de la señal neuronal (1).

15 10. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 1, caracterizado por que los medios de parametrización son medios de parametrización lineal a tramos.

20 11. Canal de sensado (10000), según las reivindicaciones 5 y 10, caracterizado por que la señal comprimida (15401) mediante los medios de parametrización comprende un primer valor de tensión (155721), un segundo valor de tensión (155722) de la señal digitalizada (14001) y un primer intervalo de tiempo definido por el tiempo transcurrido entre el instante en que la señal neuronal (1) sobrepasa uno de los umbrales hasta el instante del primer valor de tensión (155721).

25 12. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 11, caracterizado por que la señal comprimida (15401) mediante los medios de parametrización comprende un segundo intervalo de tiempo definido por el tiempo transcurrido entre el instante del primer valor de tensión (155721) y el instante del segundo valor de tensión (155722).

30 13. Canal de sensado (10000), según las reivindicaciones 11 ó 12, caracterizado por que la señal comprimida (15401) mediante los medios de parametrización comprende un tercer intervalo de tiempo definido por el tiempo transcurrido entre el instante del segundo valor de tensión (155722) y el instante en el que señal neuronal (1) vuelve a estar comprendida en el rango de discriminación.

35

14. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 12, caracterizado por que la señal comprimida (15401) mediante los medios de parametrización comprende un tercer intervalo de tiempo definido por la substracción del primer intervalo y el segundo intervalo de tiempo a un valor predeterminado.

5

15. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 11, caracterizado por que al menos uno de los primer y segundo valor de tensión corresponde con el valor de un umbral superior (15563) o un umbral inferior (15564) definiendo dichos umbrales superior e inferior el rango de discriminación.

10

16. Canal de sensado (10000), según las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado por que los intervalos de tiempo se calculan mediante el conteo de pulsos de un reloj asociado al canal del canal de sensado (10000).

15

17. Canal de sensado (10000), según la reivindicación 1, caracterizado por que comprende medios de transmisión inalámbricos de la señal comprimida (15401).

18. Procedimiento de sensado de actividad neuronal en un canal de sensado (10000) que comprende las etapas de:

20

a) captura, mediante un electrodo (20000), de las señales bioeléctricas generadas por la actividad neuronal de un sujeto;

b) adquisición y acondicionamiento de la señal capturada por un electrodo en la etapa a) dando como resultado una señal neuronal (1);

25

c) digitalización, mediante un convertidor analógico-digital (14000), de al menos parte de la señal adquirida y acondicionada en la etapa b);

d) discriminación de, al menos, parte de las señales eléctricas de las etapas b) o c) que se encuentran en un rango de discriminación previamente definido;

30

caracterizado por que comprende, además, una etapa e) en la que la señal digitalizada (14001) obtenida tras la realización de las etapas c) o d) se comprime mediante una parametrización dando como salida una señal comprimida (15401).

19. Procedimiento, según la reivindicación 18, caracterizado por que la discriminación de las señales eléctricas de la etapa d) se realiza en el dominio analógico.

35

20. Procedimiento, según la reivindicación 18, caracterizado por que la discriminación de las señales eléctricas de la etapa d) se realiza en el dominio digital.

5 21. Procedimiento, según la reivindicación 18, caracterizado por que la parametrización de la etapa e) es una parametrización lineal a tramos.

10 22. Procedimiento, según la reivindicación 21, caracterizado por que la parametrización dispone como entrada la señal digitalizada (14001), así como la señal comprimida (15401) comprende, al menos, un primer valor de amplitud, (155721), un segundo valor de amplitud (155722) y un valor dependiente del tiempo.

15 23. Procedimiento, según la reivindicación 22, caracterizado por que al menos uno del primer o segundo valor de amplitud corresponde con el valor de un umbral superior (15563) o un umbral inferior (15564) definiendo dichos umbrales superior e inferior el rango de discriminación.

20 24. Procedimiento, según la reivindicación 22, caracterizado por que el valor dependiente del tiempo se calcula mediante el conteo de pulsos de un reloj del canal del canal de sensado.

25 25. Procedimiento, según la reivindicación 18 caracterizado por que comprende una etapa f) en la que se envía la señal comprimida (15401) a, al menos, un dispositivo externo al canal de sensado (10000).

26. Procedimiento, según la reivindicación 25, caracterizado por que dicho envío de la señal comprimida (15401) se realiza mediante medios de comunicación inalámbricos.

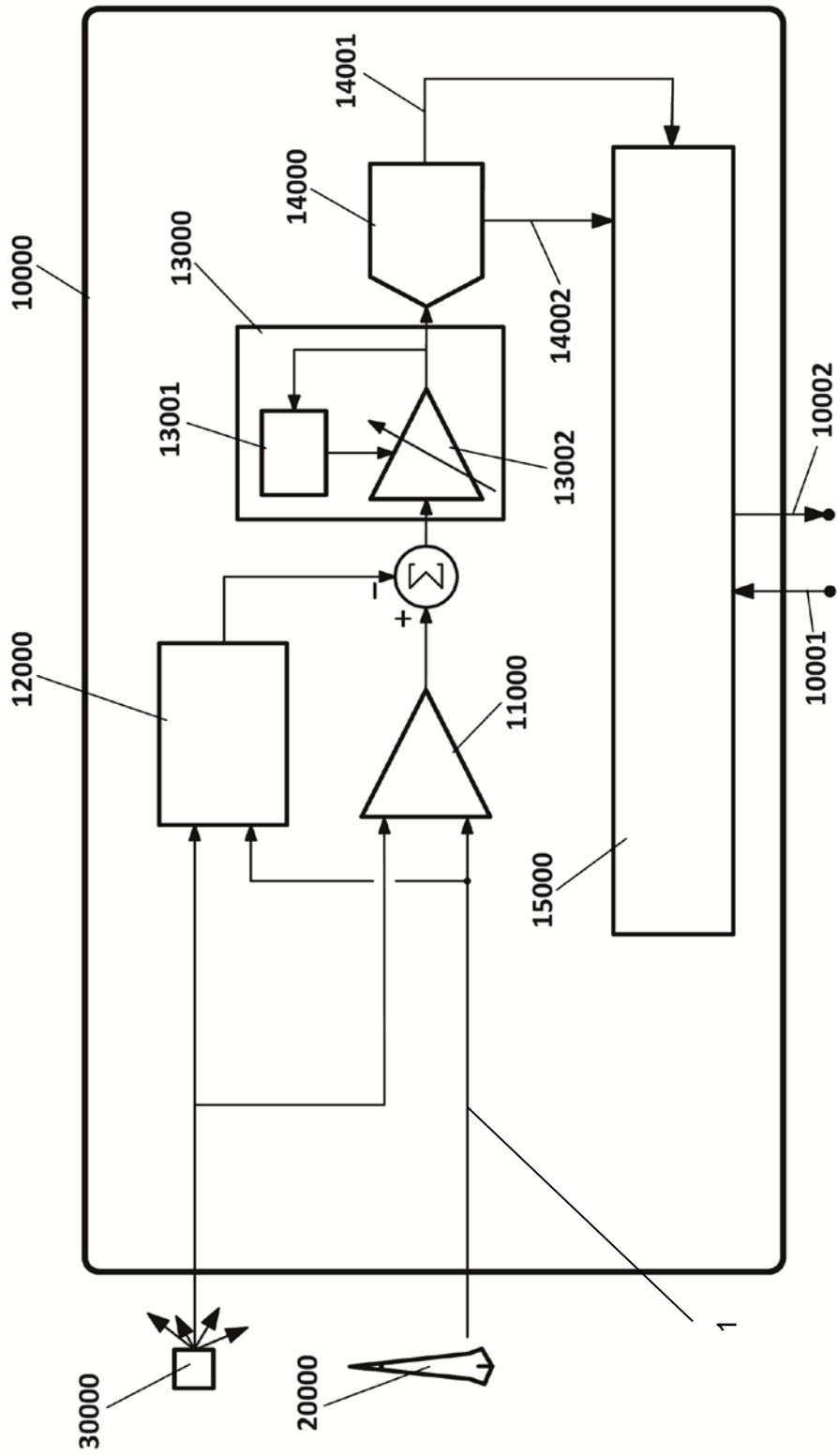
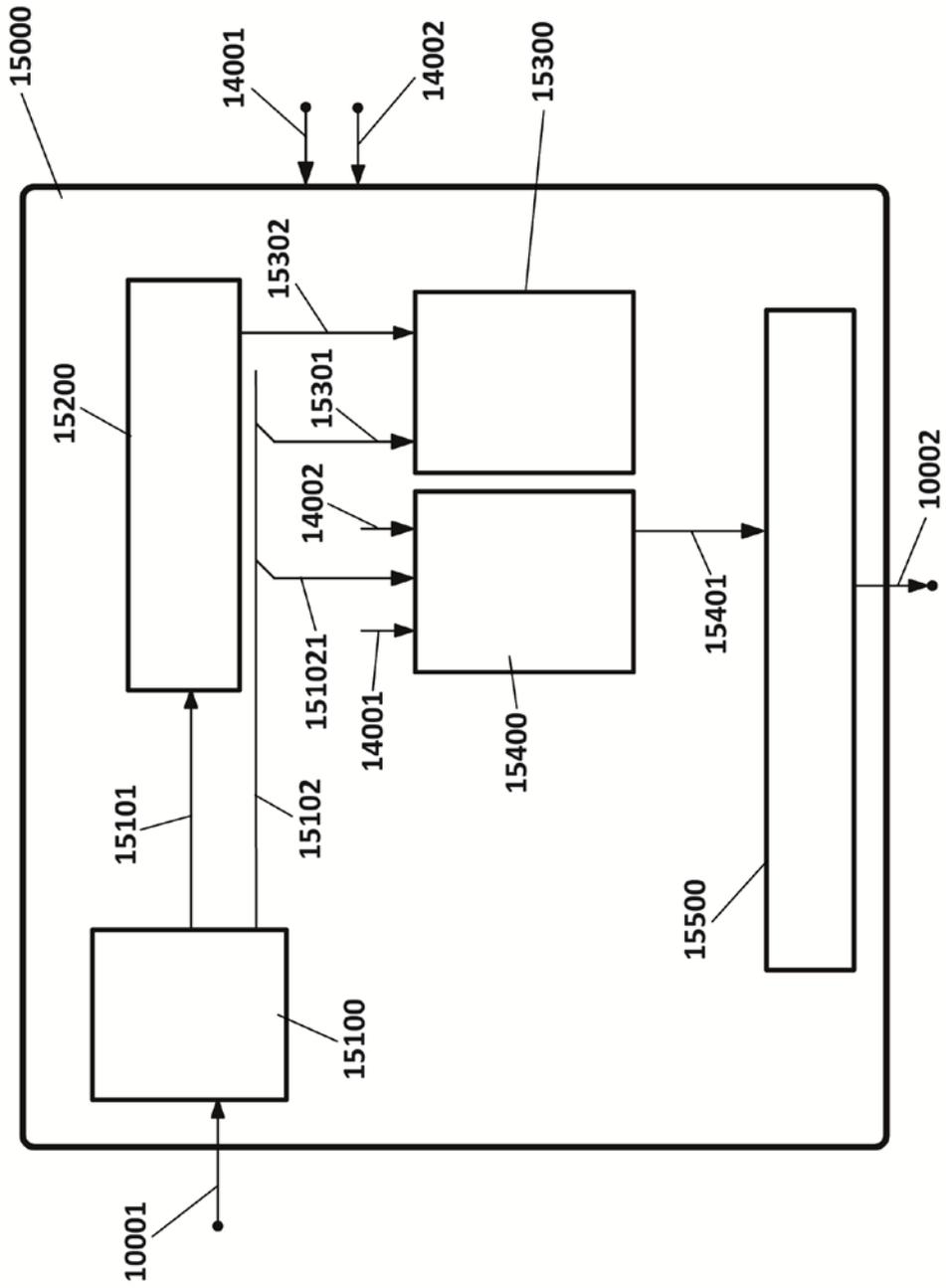


FIG. 1



**FIG. 2**

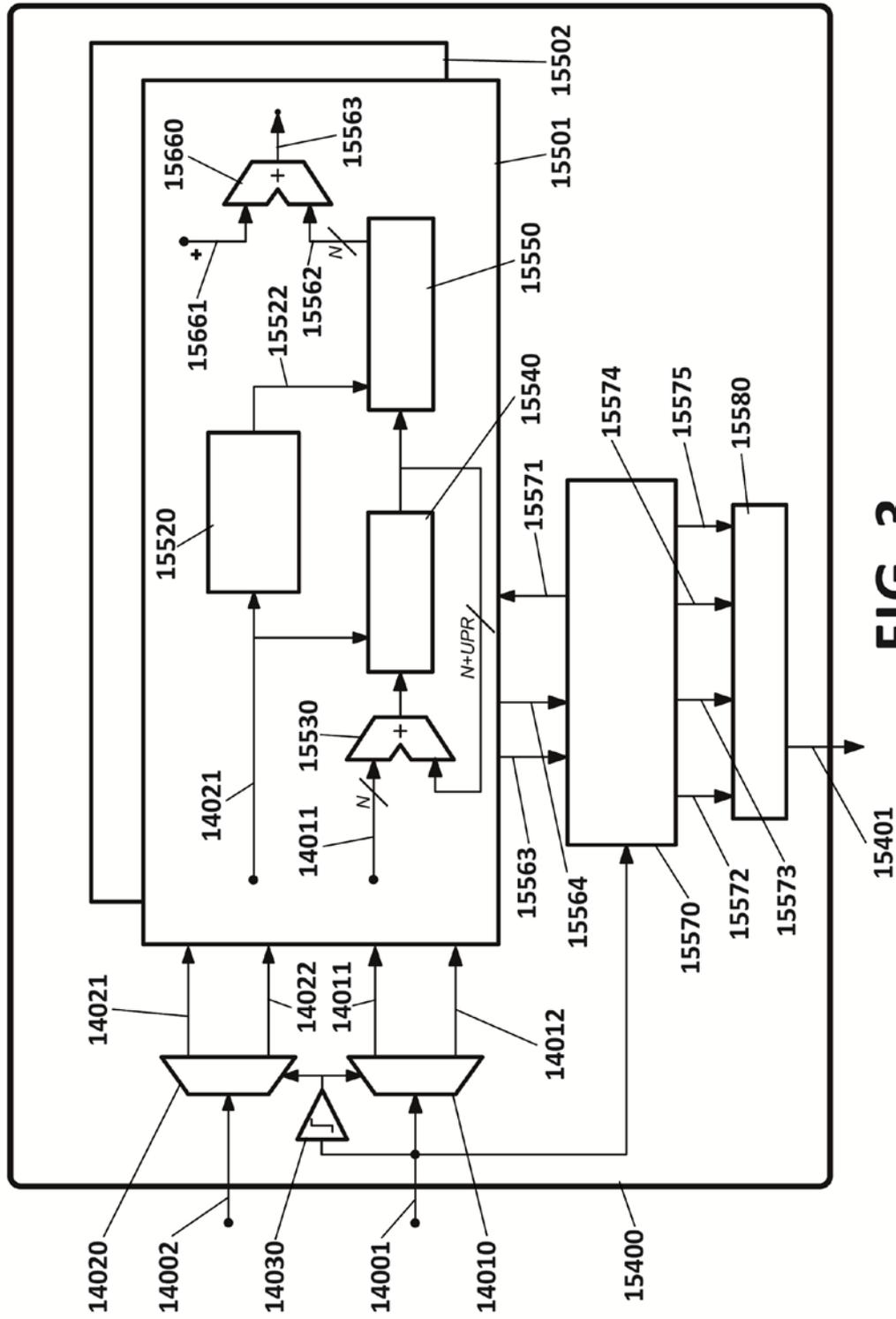
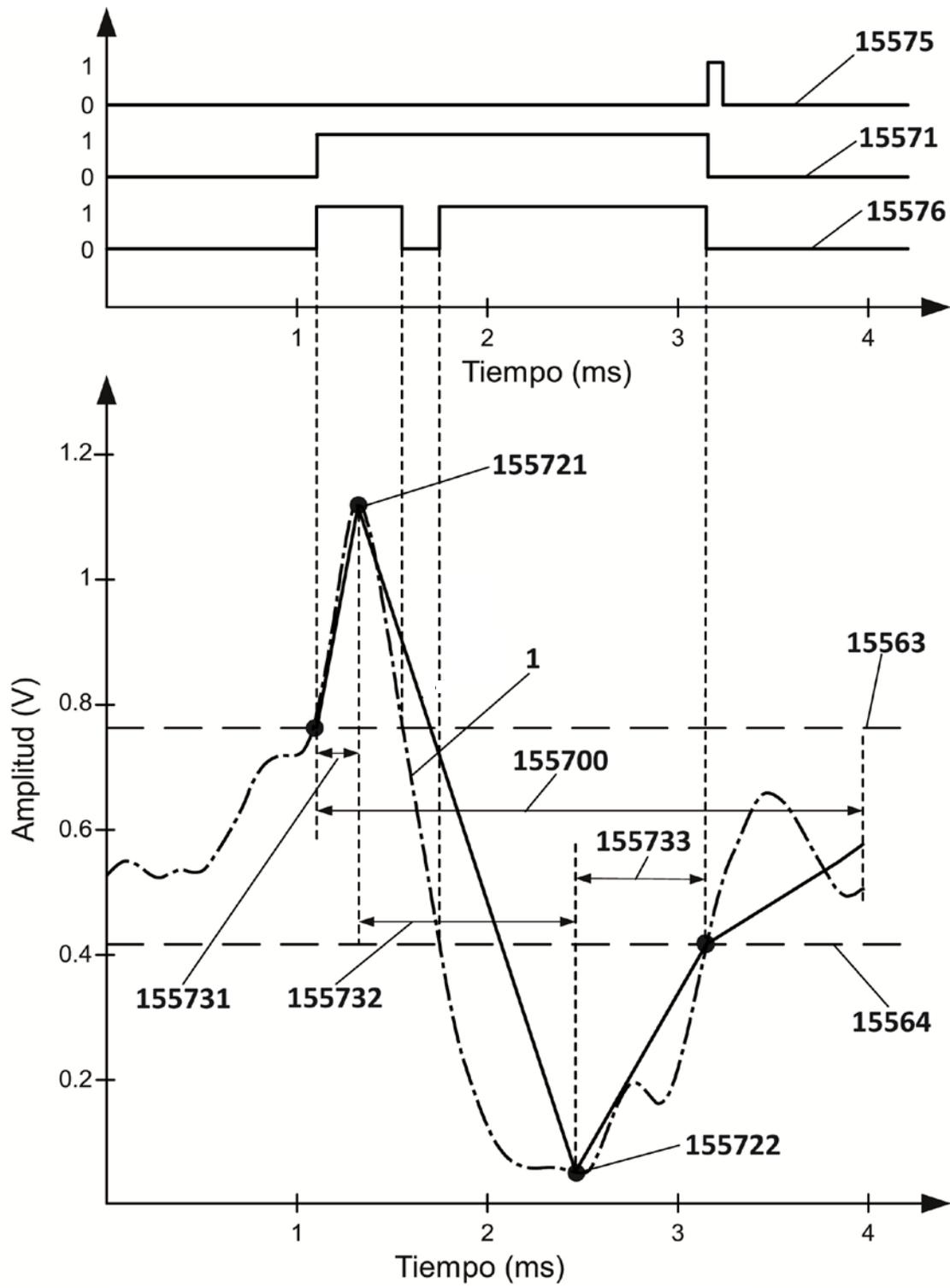


FIG. 3



**FIG. 4**

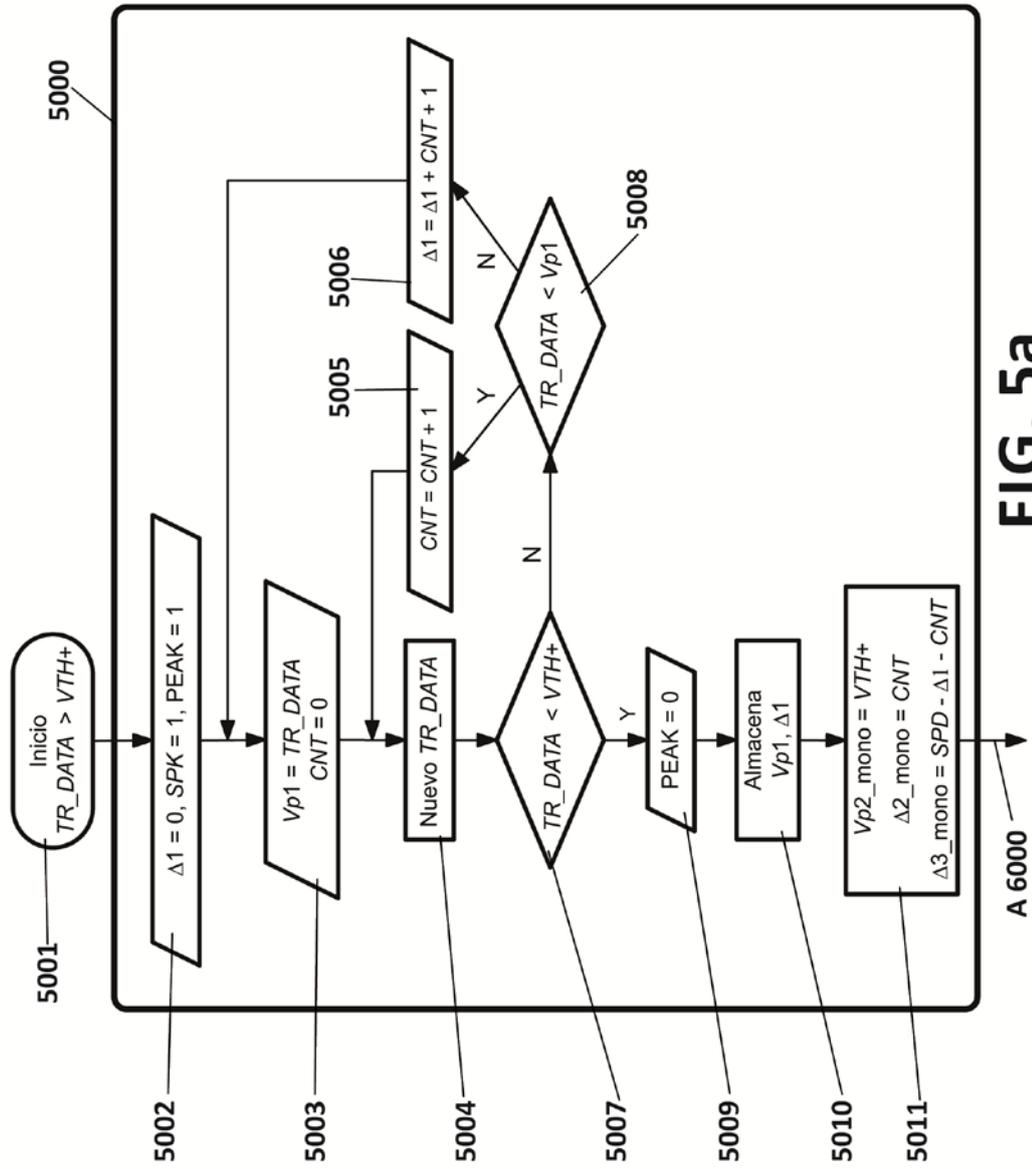


FIG. 5a

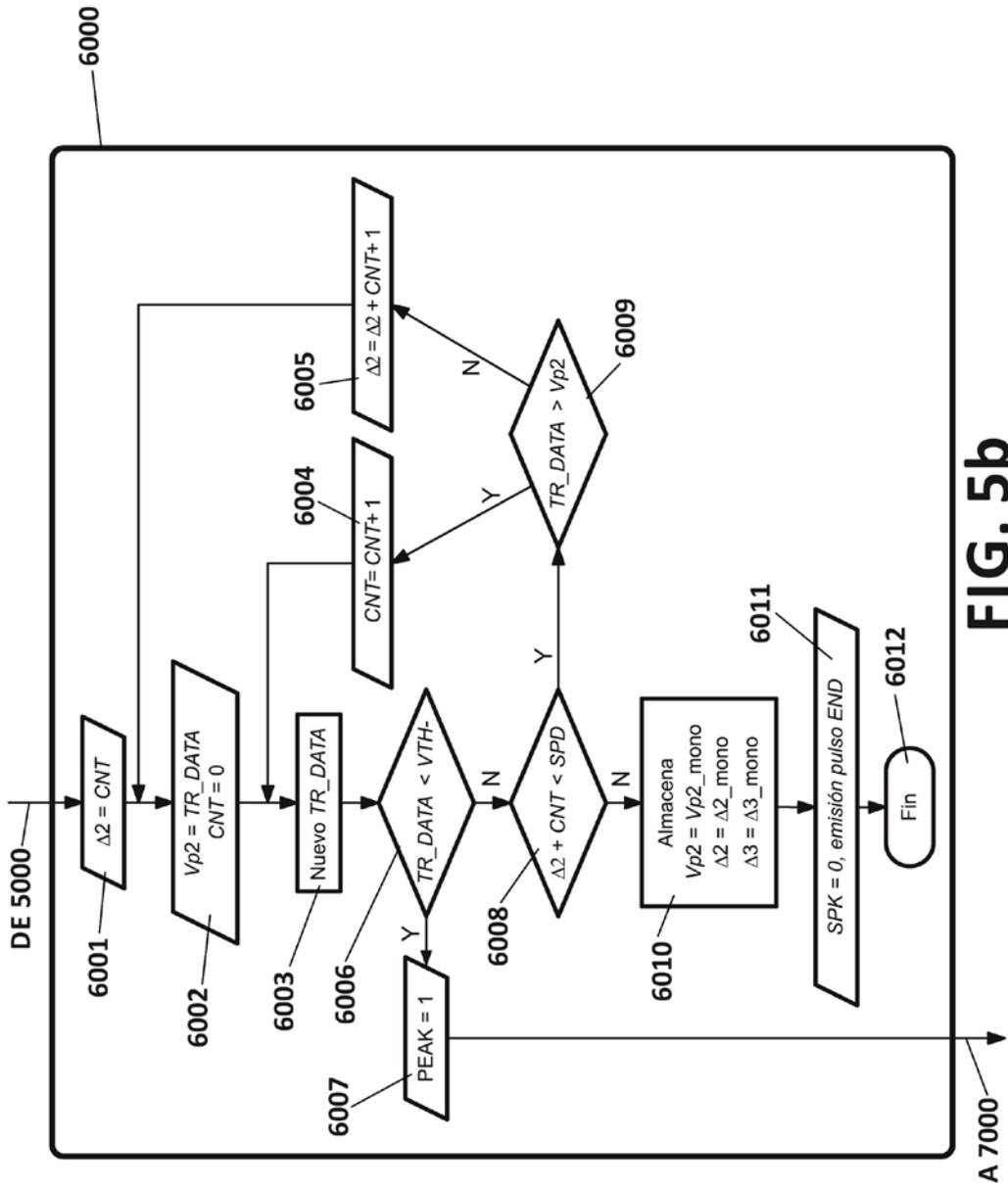
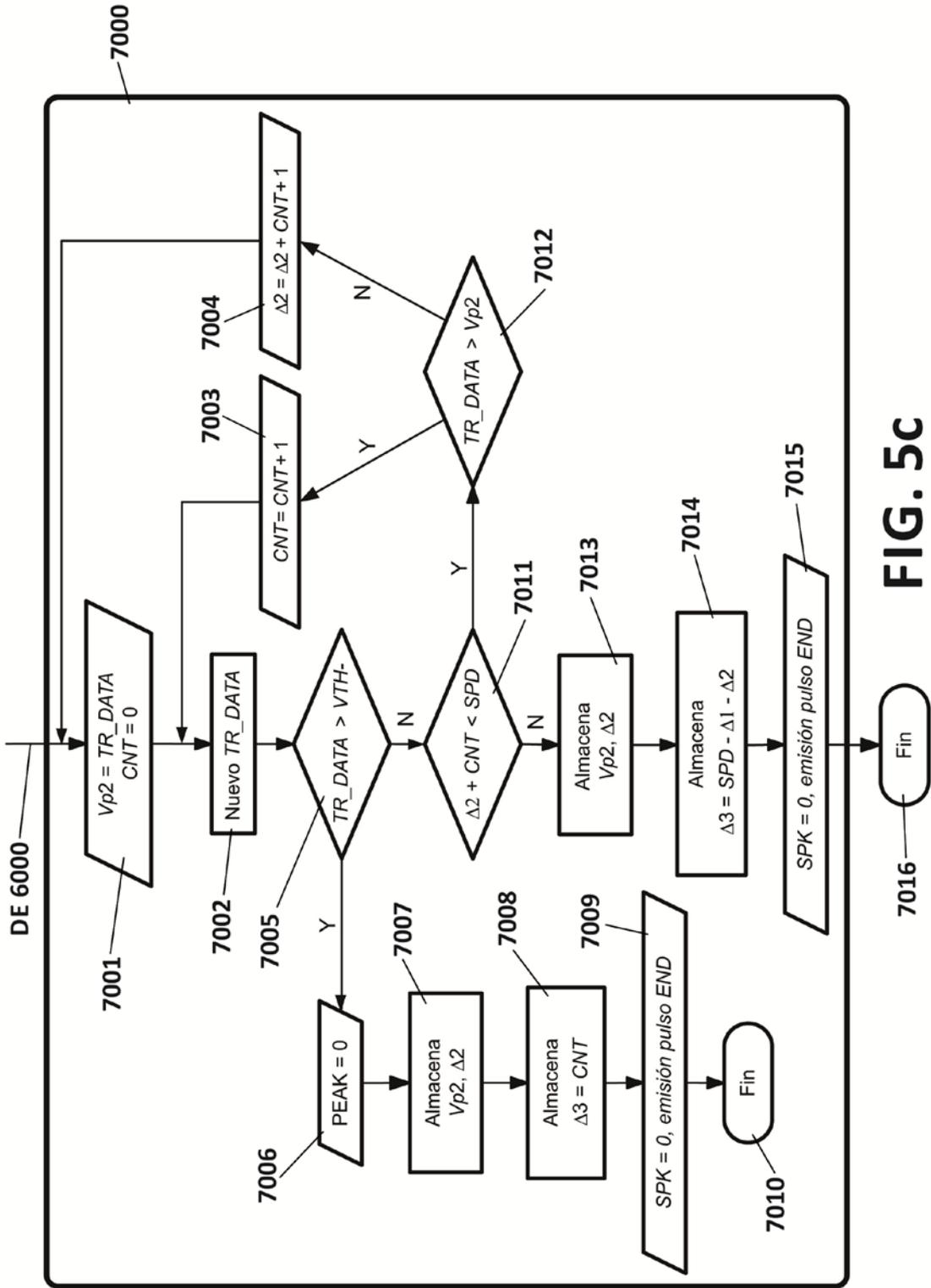
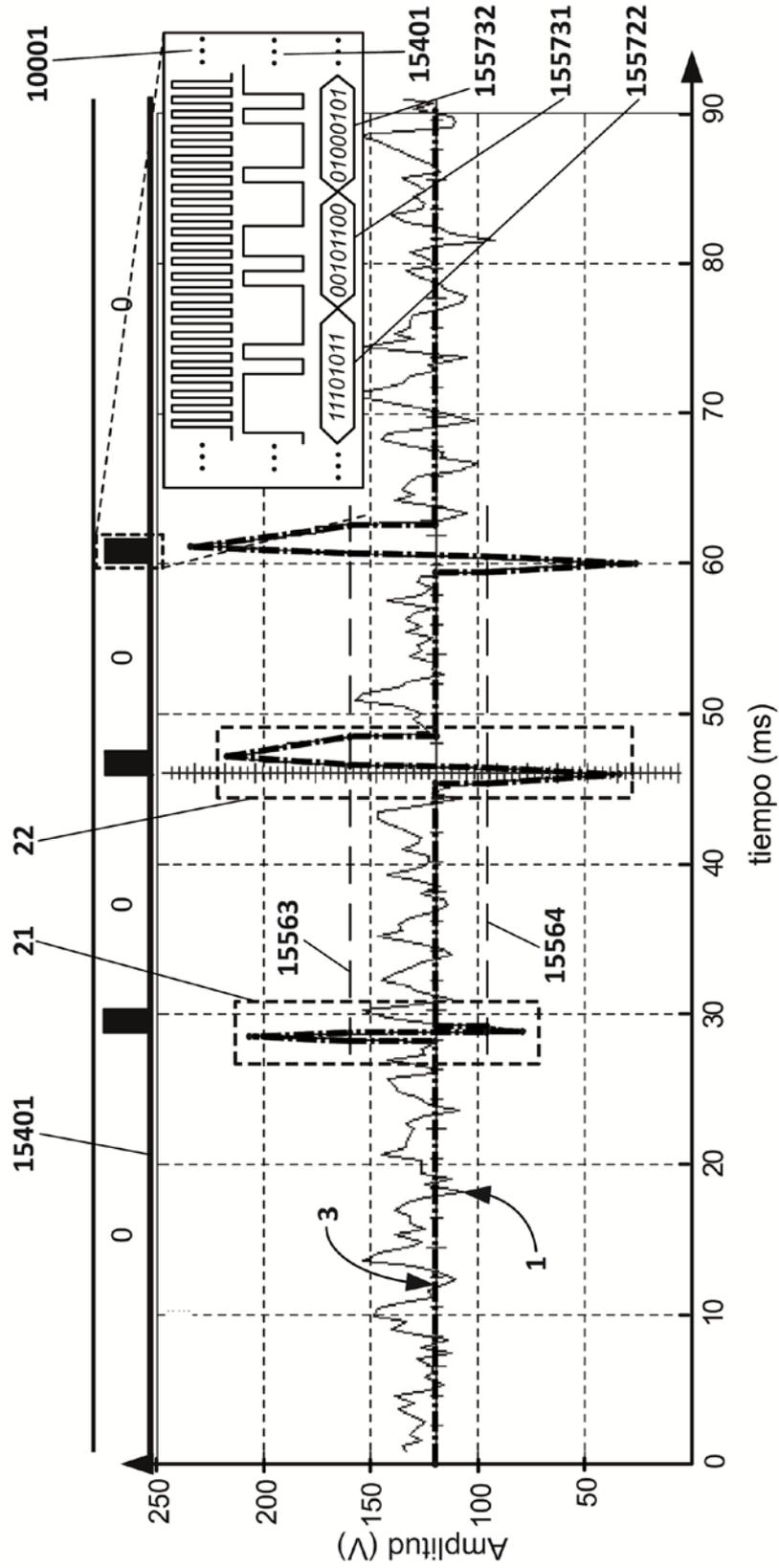


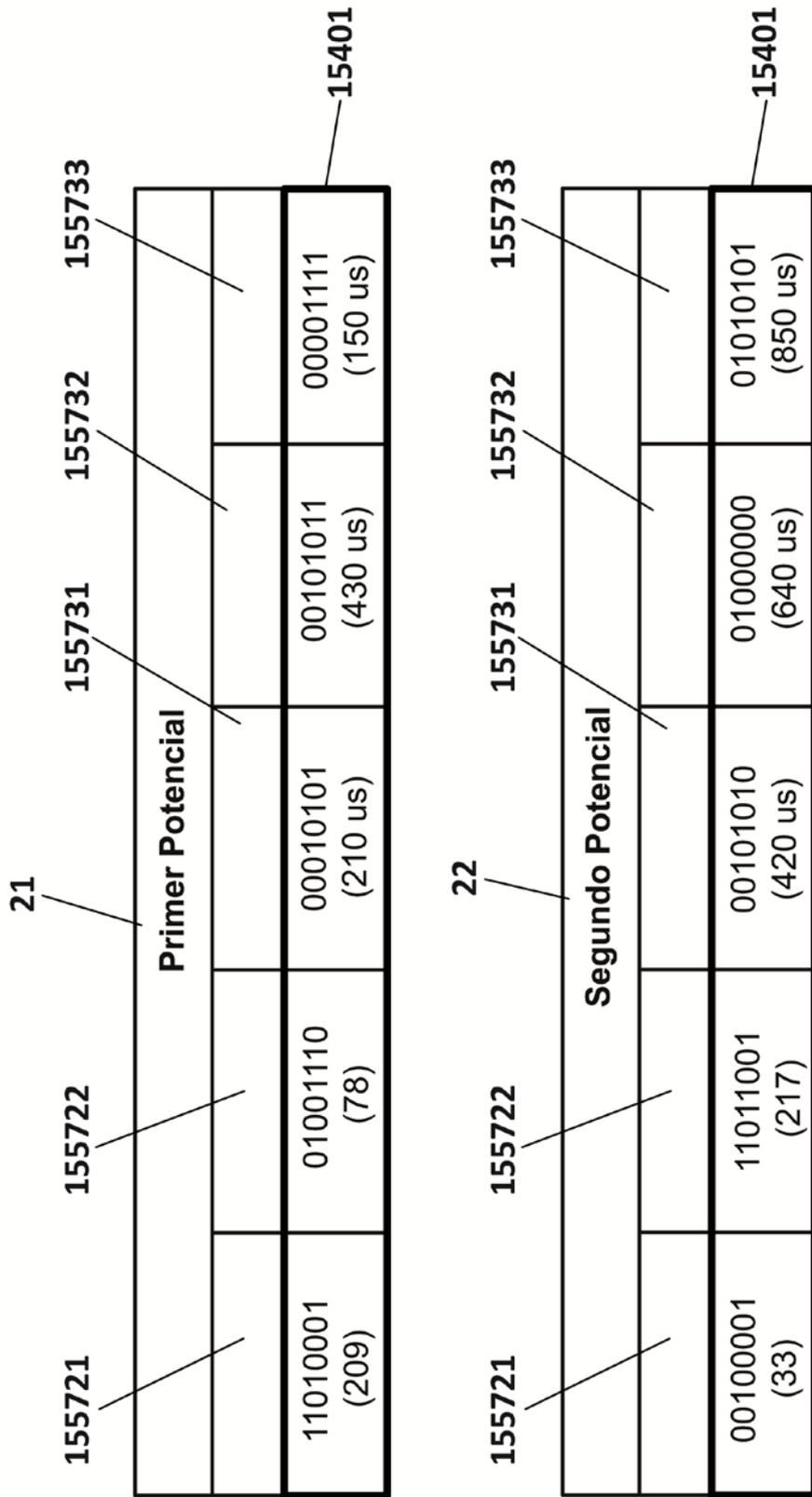
FIG. 5b



**FIG. 5c**



**FIG. 6a**



**FIG. 6b**