

Internet Electronic Journal*

Nanociencia et Moletrónica

Junio 2011, Vol. 9, N°1, pp. 1627-1638

SÍNTESIS CIRCUITAL DE UN BIOPOTENCIAL

Z. Hernández Paxtián¹, V. Jiménez Fernández² y J. Ramírez Rodríguez³

¹ Universidad de la Cañada, Cuerpo Académico UNCA-IADEX, Carretera Teotitlán-Sn Antonio Nanahuatipan Km. 1.7; Paraje Titlacuatitla, Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca; México. C.P. 68540
zpaxtian@hotmail.com

² Universidad Veracruzana, Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas, Xalapa, Veracruz; México, vicjimenez@uv.mx, ³joel290390@hotmail.com

recibido: 16.11.10

revisado: 22.02.11

publicado: 31.07.11

Citation of the article;

Z. Hernández Paxtián, V. Jiménez Fernández y J. Ramírez Rodríguez,
Sintesis Circuital de un Biopoencial, Int. Electron J. Nanoc. Moletrón, 2011, Vol. 9, N°1, pp 1627-1638

Copyright © BUAP 2011

<http://www.revista-nanociencia.ece.buap.mx>

SÍNTESIS CIRCUITAL DE UN BIOPOTENCIAL

Z. Hernández Paxtián¹, V. Jiménez Fernández² y J. Ramírez Rodríguez³

¹ Universidad de la Cañada, Cuerpo Académico UNCA-IADEX, Carretera Teotitlán-Sn Antonio Nanahuatipan Km. 1.7; Paraje Titlacuatitla, Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca; México. C.P. 68540
zpaxtian@hotmail.com

² Universidad Veracruzana, Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas, Xalapa, Veracruz; México, vicjimenez@uv.mx, ³joel290390@hotmail.com

recibido: 16.11.10

revisado: 22.02.11

publicado: 31.07.11

Internet Electron. J. Nanoc. Moletrón., 2011, Vol.9 , N° 1, pp 1627-1638

Resumen: Hoy día, los desarrollos robóticos se han centrado principalmente en la reproducción de los movimientos propios de un ser vivo, por ejemplo la locomoción, sin embargo, estos movimientos no han podido reproducirse en su totalidad debido a que aún no logramos descifrar los circuitos neuronales que conforman al Sistema Nervioso Central (SNC) y que gobiernan nuestros movimientos. SNC está formado por células llamadas neuronas. Las neuronas biológicas tienen un comportamiento bastante complejo que ha sido estudiado durante cientos de años, sin embargo, lejos queda aún el día en que podamos entender en su totalidad su funcionamiento y por ende el del SNC. Con base a lo anterior surge la tarea de crear modelos del comportamiento neuronal. En el presente trabajo, proponemos una síntesis circuital que emplea componentes electrónicos básicos capaces de replicar un potencial de acción (biopotencial) que es la señal con la que las neuronas se comunican entre sí.

Palabras Clave: Síntesis circuital, biopotencial artificial, neurona artificial

1. Introducción

La historia de las redes neuronales artificiales comenzaría con el científico aragonés Santiago Ramón y Cajal, descubridor de la estructura neuronal del SNC [1]. En 1888 Ramón y Cajal demostró que el SNC estaba compuesto por una red de células individuales, las neuronas, ampliamente interconectadas entre sí [2]. Pero no sólo observó a través del microscopio los pequeños espacios vacíos que separaban unas neuronas de otras, sino que también estableció que la información fluye en la neurona desde las dendritas hacia el axón, atravesando el soma (Figura 1) [3]. El descubrimiento de Ramón y Cajal fue básico para el desarrollo de las neurociencias en el siglo XX, causó en la época una verdadera conmoción en la forma de entender el SNC, concediéndosele el premio Nobel en medicina en 1906. Hoy en día el trabajo de Ramón y Cajal, Textura, se sigue publicando para la comunidad científica [1].

Desde un punto de vista funcional, las neuronas constituyen procesadores de información sencillos [1]. Como todo sistema de este tipo, poseen un canal de entrada de información, las dendritas, un órgano de cómputo, el soma, y un canal de salida, el axón (Figura 1). La unión entre dos neuronas se denomina sinapsis. En el tipo de sinapsis más común no existe un contacto físico entre las neuronas, sino que estas permanecen separadas por un pequeño vacío de unas 0.2 micras. En relación a la sinapsis, se habla de neurona presináptica (la que envía las señales) y postsináptica (la que recibe la señal). Las sinapsis son direccionales, es decir, la información fluye en un único sentido (Figura 1) [3,4]. Las señales nerviosas se pueden transmitir eléctrica o químicamente. La transmisión química prevalece fuera de la neurona, mientras que la eléctrica lo hace en el interior. La transmisión química se basa en el intercambio de neurotransmisores, mientras que la eléctrica hace uso de descargas que se producen en el cuerpo celular, y que se propagan por el axón [3,4].

El fenómeno de la generación de la señal nerviosa está determinado por la membrana neuronal y los iones presentes a ambos lados de ella (Figura 1). En estado de reposo el protoplasma del interior de la neurona permanece cargado negativamente en relación al medio externo, existiendo entre ambos una diferencia de potencial de aproximadamente -70 mV [3,4].

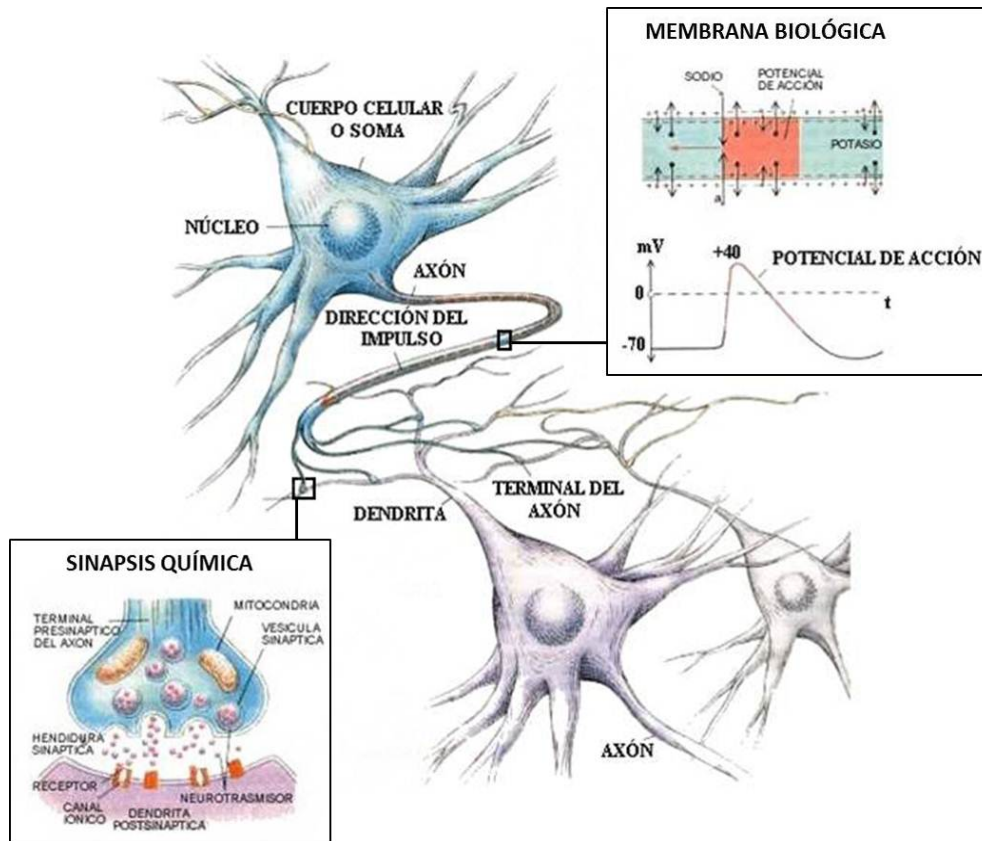


Figura 1. Neurona Biológica. Estructura de una neurona biológica típica, sinapsis y generación de la señal nerviosa.

La membrana se comporta como un capacitor, que se carga al recibir corrientes debido a especies iónicas presentes, contiene canales iónicos selectivos al tipo de ión, algunos son pasivos (consisten en simples poros de la membrana) y otros activos (poros que solamente se abren bajo ciertas circunstancias). En esencia, las especies iónicas más importantes, que determinan buena parte de la generación y propagación del impulso nervioso, son Na^+ , K^+ y Ca^{2+} [3]. Si la neurona ha recibido una cantidad considerable de estímulos, su nivel de voltaje o potencial neuronal llega a -45 mV (umbral de disparo): en ese momento se abren bruscamente los canales de Na^+ , permitiendo el paso de este ión al interior de la célula, provocándose así la despolarización brusca de la neurona, que pasa de un potencial de reposo de -70 mV a un potencial de $+40$ mV, este proceso constituye la generación de un potencial de acción, también llamado biopotencial, que al propagarse a lo largo del axón da lugar a la transmisión eléctrica de la señal nerviosa[3,4]. Tras haber sido provocado un potencial de acción, la neurona

sufre un periodo refractario, durante el cual no puede generarse un nuevo biopotencial [3]. Un hecho importante es que el pulso así generado es “digital”, en el sentido de que existe o no existe pulso [1].

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos de la síntesis circuital de un biopotencial, es decir, se propone el diseño e implementación de un circuito electrónico, neurona artificial, capaz de reproducir un potencial de acción (Figura 2).

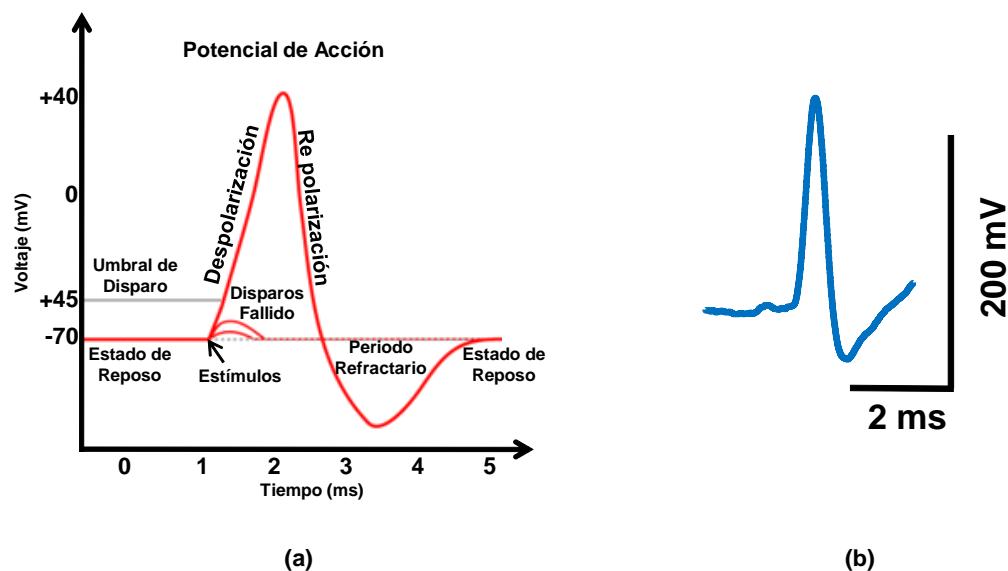


Figura 2. Biopotencial. (a) Niveles de voltaje que conforman a un potencial de acción o biopotencial. Modificado de [3]. (b) Biopotencial obtenido como respuesta de una neurona motora (de un gato) a una estimulación. Tomado de [4].

2. Material y Metodología.

2.1. Material y Equipo.

3 Amplificadores Operacionales TL081CN.	3 Resistores de 100Ω.	Protoboard
3 Capacitores electrolíticos de 10uF.	1 Resistor de 220 Ω.	Osciloscopio
	2 Resistores de 10 KΩ.	Fuente de voltaje de +/- 15v
	2 Resistores de 33 KΩ..	

2.2. Metodología.

De acuerdo con [6] los componentes electrónicos utilizados en la implementación de neuronas artificiales son: capacitores (representan a la membrana biológica), resistencias (representan a los canales iónicos) y amplificadores operacionales (representan el comportamiento del soma). El diseño del circuito electrónico propuesto para implementar una neurona artificial y que esta genere un biopotencial consta de dos etapas: una etapa en la que se genera una señal senoidal, la cual llamamos etapa de generación, y una etapa de acondicionamiento cuyo objetivo es el de adecuar dicha señal hasta lograr las características que definen al biopotencial (Figura 2 (a)).

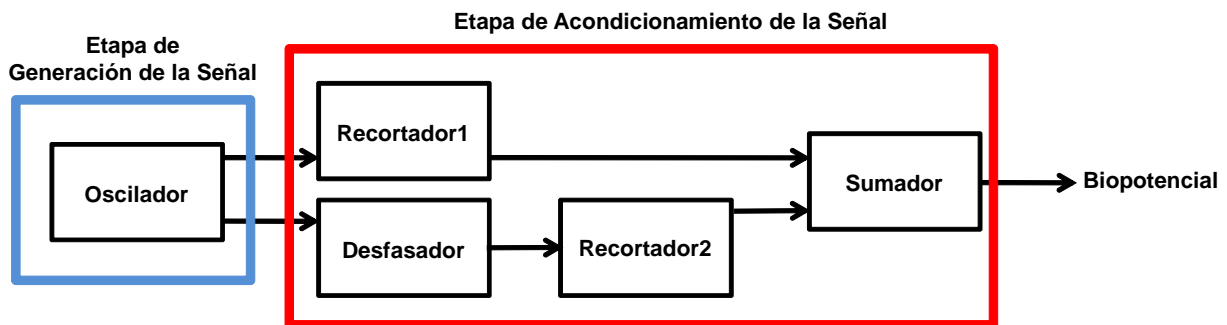


Figura 3. Diagrama a bloques. Se muestran las etapas propuestas en el diseño de una neurona artificial así como sus bloques funcionales.

En las secciones descritas a continuación, se presentan los resultados obtenidos al simular los circuitos propuestos, para dicho fin se utilizó el simulador LTSPICE.

2.2.1. Etapa de Generación de la Señal.

Para generar la señal senoidal utilizamos un circuito oscilador puente de wein (Figura 4), debido a que esta configuración puede generar una señal de baja distorsión y estable en amplitud. La frecuencia de oscilación depende de los valores propuestos para los capacitores (C_1 y C_2) y resistencias (R_1 y R_2), los cuales están relacionadas como se aprecia en la ecuación (1). La ganancia del circuito se obtiene de las resistencias de retroalimentación R_3 y R_4 , una relación que proporciona una ganancia suficiente es $R_3 = 2 \cdot R_4$ [7].

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \quad (1)$$

2.2.2. Etapa de Acondicionamiento de la Señal.

Como puede apreciarse en las Figuras 1 y 2(a), un biopotencial está constituido por diferentes niveles de voltaje, para poder replicarlos artificialmente, en esta etapa se utiliza un circuito desfasador y dos circuitos recordadores, estos últimos contruidos a partir de amplificadores operacionales y por último un circuito sumador.

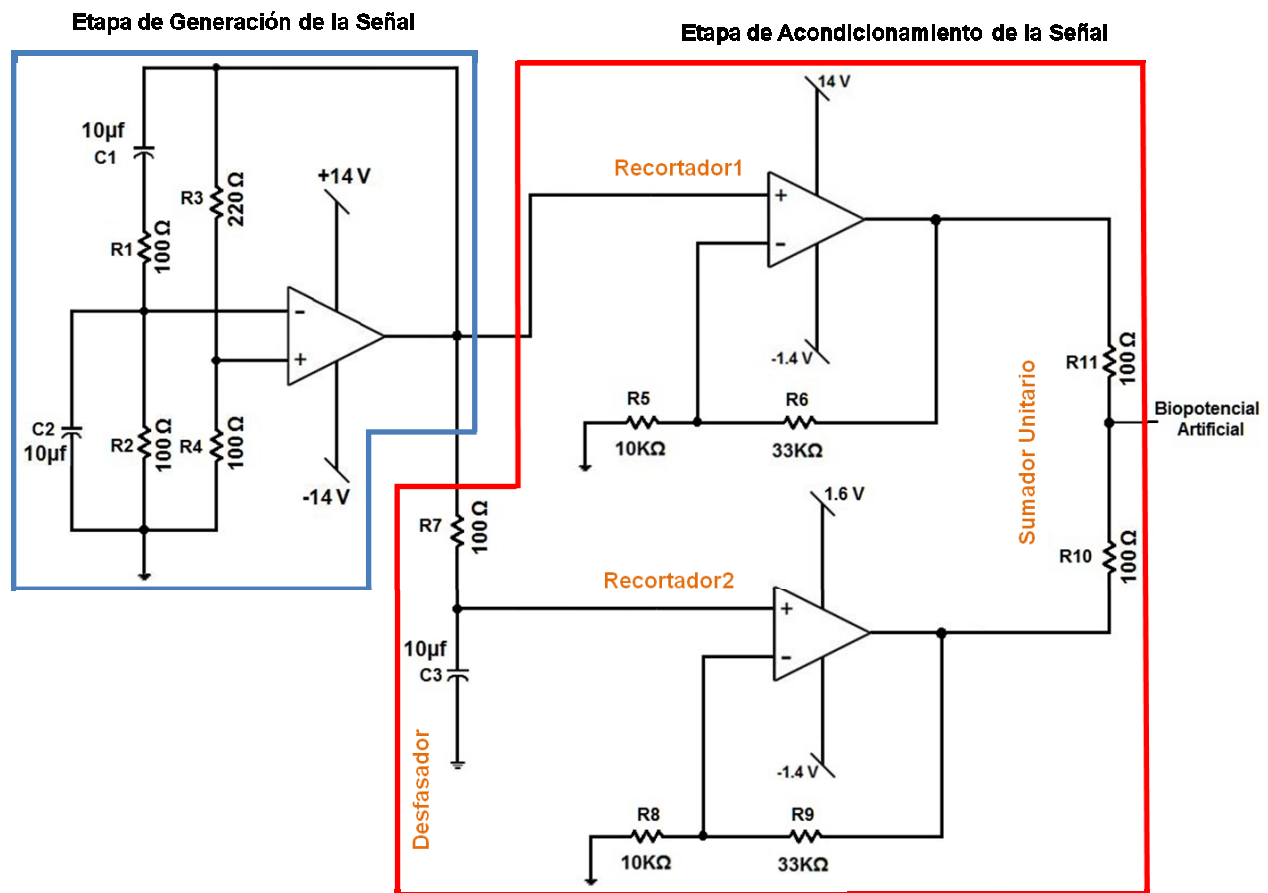


Figura 4. Neurona Artificial. Para la Etapa de Generación de la Señal, se diseñó para operar a una frecuencia de oscilación de 160Hz y una β de 2.2. Para los circuitos recortadores la β es de 3.3.

La función del bloque Recortador1 consiste es generar el voltaje correspondiente al tiempo de reposo del biopotencial, esto es, cuando la neurona se encuentra alrededor de -70mV, para lograrlo el amplificador no se alimenta de manera simétrica, debido a esto, el amplificador se satura y la señal de entrada es recortada, Figura 5 [8].

Para reproducir el efecto de despolarización del biopotencial, esto es cuando la neurona pasa de -70mV a +40mV (Figura 2(a)), en el acondicionamiento de la señal se emplea un circuito desfasador común. Dicho circuito es un arreglo resistivo – capacitivo en serie

(Figura 4). La señal obtenida tendrá la misma frecuencia que la señal original, pero con un tiempo de desfase determinado por la constante de tiempo τ , del circuito RC serie. Para este caso, los valores propuestos son tales que $\tau = 1\text{ms}$, mientras que el voltaje de salida respecto al de entrada guarda una relación de $\frac{1}{2}$, Figura 5 [8].

La señal desfasada se manipulara para formar la parte del biopotencial que corresponde a la repolarización (Figura 2(A)), esta operación estará a cargo del bloque recortador2. Obsérvese que los niveles de voltaje que constituyen al biopotencial se generaron por separado, el siguiente paso es unir estos potenciales, para ello se empleo un sumador unitario. Un sumador unitario es una etapa en la cual la señal desfasada (obtenida del desfasador) y recortada (obtenida del Recortador2) y la señal recortada (obtenida del Recortador1) son introducidas y sumadas de una forma muy sencilla. Un sumador unitario consiste en 2 resistores en serie al cual llegan ambas señales, Figura 4. Al realizar el análisis del circuito sumador unitario podemos observar que: Si $R1=R2$ entonces: $V_{\text{salida}} = V1 + V2$.

El proceso de reconstrucción del potencial de acción neuronal, biopotencial artificial se puede apreciar en la Figura 5.

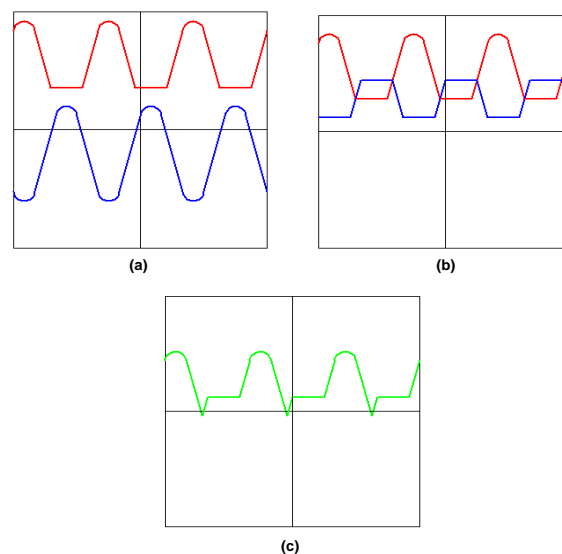
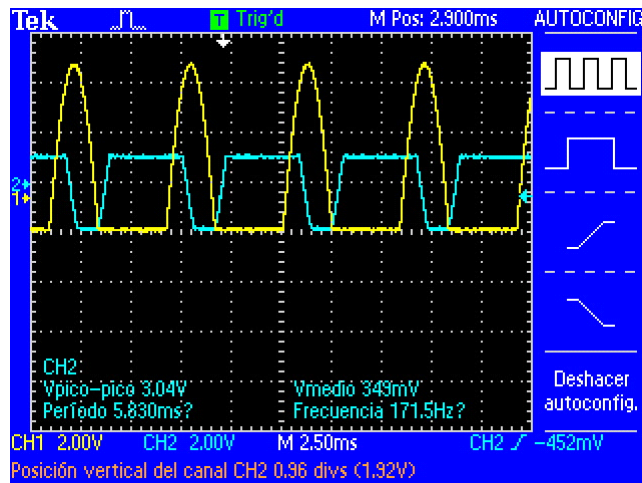


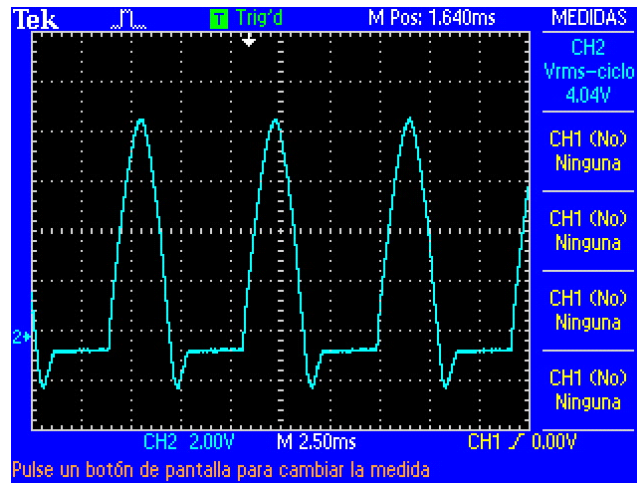
Figura 5. Reconstrucción del Biopotencial Artificial. Resultados obtenidos al simular la neurona artificial (Figura 4). (a) Señal recortada (rojo) y Señal desfasada (azul). (b) Señal recortada (rojo) y Señal desfasada invertida y recortada (azul), (c) Sumatoria de señales.

3. Resultados.

La neurona artificial de la Figura 4 se implemento y se probó en el laboratorio, se utilizó un osciloscopio Tektronik para la visualización y digitalización del biopotencial artificial, Figura 6.



(a)



(b)

Figura 6. Reconstrucción del Biopotencial Artificial. Resultados obtenidos implementar en el laboratorio la neurona artificial (Figura 4). (a) Señal recortada (rojo) y Señal desfasada invertida y recortada (azul), (c) Sumatoria de señales, biopotencial artificial.

4. Conclusión

La información en nuestro SNC se transmite de una neurona a otra mediante señales eléctricas y químicas. Las señales eléctricas, conocidas como potenciales de acción o biopotenciales son particularmente importantes para el transporte de información sensitiva ya que pueden viajar de manera rápida y cubrir largas distancias, es por ello la importancia de su estudio.

En el presente trabajo se propuso y construyó una neurona artificial con componentes electrónicos básicos: resistencias, capacitores y amplificadores operaciones. Las ventajas que ofrece el uso de dichos componentes se hacen evidentes cuando se desea trasladar este tipo de electrónica a un circuito integrado, es decir, al momento de diseñar, integrar y sintetizar el circuito con la función deseada, podremos alcanzar altos niveles de integración debido a la naturaleza de la electrónica básica utilizada.

Lo atractivo de nuestra síntesis circuital, es la flexibilidad para cambiar los valores de ganancia y así ajustarnos a los valores de los potenciales requeridos para emular el comportamiento de neuronas biológicas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la simulación (Figura 5) y en la implementación (Figura 6) se aprecia que nuestra neurona artificial es capaz de generar un biopotencial artificial con las características que se muestra en la Figura 2. El siguiente paso es llevar nuestra propuesta a un circuito integrado.

Nuestra propuesta representa un eslabón que sentará las bases para más adelante, poder implementar circuitos neuronales complejos. Un ejemplo de ello sería la implementación del circuito neuronal de la vía nociceptiva (percepción del dolor) lo que podría utilizarse para dotar a partes robóticas de sensaciones, y lo que es más poder incorporar sensibilidad a las prótesis para pacientes que han perdido alguna extremidad.

Bibliografía

- [1] Martín del Brío, B. y Sanz, A., *Redes neuronales y sistemas difusos*. Ed. Alfaomega Rama. Primera edición. Madrid. España. 3-40, (1992).
- [2] Ramón y Cajal, S., *Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados*. Tomo I, Imprenta y Librería de Nicolás Moya, Madrid; Ed. Herederos de Santiago Ramón y Cajal y Gráficas Vidal Leuda. Gobierno de Aragón. Madrid. 239-282, (1901).
- [3] Kandel, E. R., Schwartz, J. H. y Jessell, T. M., *Principios de Neurociencia*. Ed. Mc Graw Hill Interamericana. p. Madrid. 713-755. (2001)
- [4] Stratton, D.B., *Neurofisiología*. Ed. Limusa. Primera edición. México. p. 49-84. (1984).
- [5] Hernández Paxtián Z., (2006) "*Análisis de las fluctuaciones de las respuestas reflejas monosinápticas bilaterales en la médula espinal del gato*". Tesis Doctoral. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

- [6] Hopfield, J. y Tank, D. (1984) Neurons with graded response have collective computational properties like those two-state neurons. *Proceeding of the National Academic of Sciences*. Vol.81: 3088-3092.
- [7] Boylestad R., Nashelsky L., *Electrónica – Teoría de circuitos*. Prentice Hall. Cuarta edición. México. (1989).
- [8] Coughlin, R. y Driscoll, F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Ed. Prentice Hall. Quinta edición. México. 147-183. (1999).

