

Diseño de una Neurona Artificial usando Circuitos Reconfigurables

R.E. Lozoya-Ponce¹, M. T. Ramírez-Torres², E. Jiménez-López³ y R.O. Lozoya-Ponce²

¹Escuela de ingeniería y ciencias, Tecnológico de Monterrey campus San Luis

²Instituto de investigación en comunicación óptica, UASLP

San Luis Potosí, México

³El Colegio Mexiquense, Estado de México, México

ricardo.lozoya@itesm.mx

tulio.torres@alumnos.uaslp.edu.mx

ejimenez@cmq.edu.mx

rogeliolozoya@gmail.com

Abstract— El sistema propuesto está basado en la estructura física de una celda lógica reconfigurable, utilizando amplificadores operacionales como núcleos de proceso. Esta implementación le permite al sistema trabajar con señales continuas o discretas para altos y bajos niveles de voltaje, obteniendo así un circuito que presenta cierta analogía con el comportamiento de las neuronas.

I. INTRODUCCIÓN

Desde los primeros años del siglo XX se han propuesto diversos modelos que han intentado emular el comportamiento del cerebro humano [1]. Aunque existe una gran cantidad de modelos propuestos, la mayoría se basa en el hecho de ver a las neuronas como procesos numéricos que involucran los estados de otros procesos, según sus interconexiones.

El primer modelo de neurona artificial propuesto por McCulloch y Pitts, presentaba un modelo de estructura donde su funcionamiento consideraba a las neuronas como dispositivos con n entradas con una única salida y sólo dos estados posibles: activa o inactiva. Por lo tanto, este primer modelo propuesto consiste de un dispositivo binario donde existe un umbral de operación fijo que hay que superar para que se realice un cambio de estado.

Para realizar dicha tarea se propone considerar el uso de una estructura reconfigurable; normalmente, cuando se habla de circuitos reconfigurables inevitablemente vienen a la mente sistemas como DSP's (Digital Signal Processor) y FPGA's (Field Programmable Gate Array); los cuales son sistemas donde su reconfiguración se realiza vía software. Por otro lado, también existen los dispositivos que son reconfigurables vía hardware, donde mediante la variación de parámetros de sintonización (voltajes de entrada), es posible hacer que la lógica de un circuito, sea diferente. La estructura utilizada mantiene una gran semejanza con los circuitos propuestos en [2], ya que de manera análoga al modelo de neurona propuesto en [3], podemos observar que la metodología de operación se basa en la asignación de pesos en las entradas y en la definición de un umbral de operación.

II. MARCO TEÓRICO

A. Neurobiología

Una neurona típica posee el aspecto que se presenta en la Fig. 1, en este esquema se pueden observar las partes básicas que la conforman: dendritas, cuerpo celular, núcleo y el axón. La mayoría de las neuronas codifican sus salidas como una serie de breves pulsos periódicos, llamados potenciales de acción, que se originan cercanos al soma de la célula y se propagan a través del axón. Luego este pulso llega a las sinapsis y de ahí a las dendritas de la neurona siguiente.

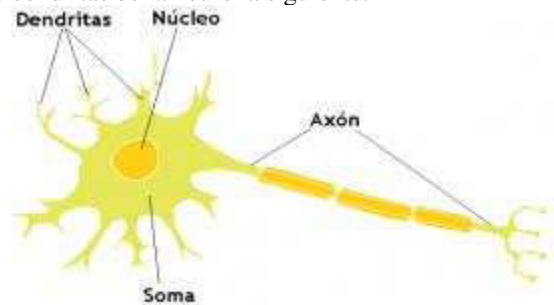


Fig. 1 Partes de una neurona

Una sinapsis es una interconexión entre dos neuronas, en ella, el tipo más común es la sinapsis química, donde una señal neural eléctrica pre-sináptica, llega al botón sináptico, ver Fig.2; allí esta hace que las vesículas sinápticas (en color azul) se rompan, liberándose así una sustancia llamada neurotransmisor. Esta sustancia se difunde a través del espacio entre las neuronas. Luego, es captada por la dendrita, en donde estimula la emisión de un nuevo impulso eléctrico. Así vemos que las dendritas son las zonas receptoras de una neurona y por su parte el axón una línea de transmisión que llega a los botones, los cuales son como terminales que comunican los impulsos a otras neuronas.

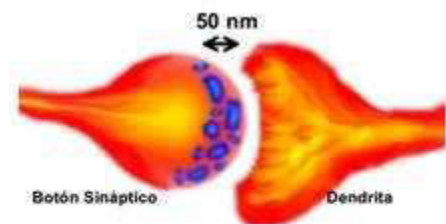


Fig. 2 Sinapsis

Dos comportamientos que destacan en este modelo son:

-El impulso que llega a una sinapsis y el que sale de ella no son iguales en general, debido a que una sinapsis modifica el pulso, ya sea reforzándolo o debilitándolo.

-En el soma se suman las entradas de todas las dendritas. Si las entradas sobrepasan un cierto umbral, entonces se envía el pulso a lo largo del axón, en caso contrario no transmitirá. Considerando estas características se propone el siguiente modelo neuronal.

B. Modelo neuronal

Cabe mencionar que este modelo se ha utilizado en varias aplicaciones para el diseño de redes neuronales artificiales [4], lo cual permite la solución de diferentes problemas de lógica compleja.

En el diagrama de la Fig. 3 se representa el modelo teórico de una neurona artificial. En principio se aplica un conjunto de entradas a la neurona, donde cada entrada se multiplica por un “peso” o ponderación (a_n) analógicamente al grado de conexión de la sinapsis.

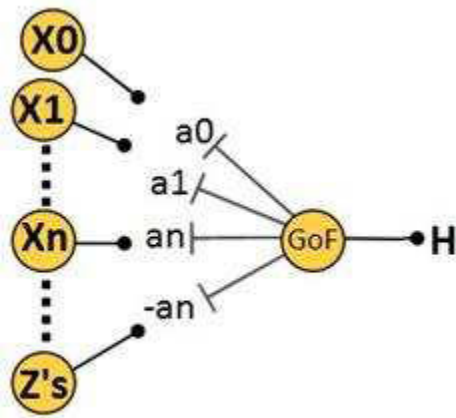


Fig. 3 Esquema de neurona

Posteriormente todas las entradas ponderadas se suman y se determina el nivel de excitación o activación de la neurona. Es entonces cuando la neurona se activa si la entrada total supera un cierto umbral, esta función de activación será definida en la siguiente sección utilizando un arreglo de amplificadores operacionales.

En el modelo realizado por McCulloch las neuronas son de tipo binario $\{0,1\}$, los umbrales y las sinapsis se mantienen fijas y la función de activación es del tipo escalón, como se muestra en la Fig. 4. En este modelo se demostró que varias funciones lógicas se pueden describir mediante la combinación de varias neuronas, lo que en principio daría pie a la teoría de que cualquier función lógica podría ser obtenida utilizando una red de neuronas artificiales.

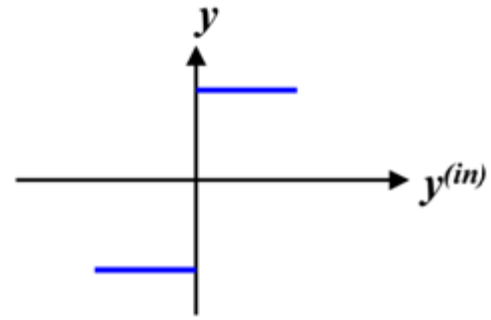


Fig. 4 Función activación tipo escalón

III. METODOLOGIA DE DISEÑO

Primero consideramos que el sistema está dado por la ecuación:

$$F(\mathbf{x}) = A^T \mathbf{x} + B \quad (1)$$

Donde $A^T, \mathbf{x} \in R^n$ y $B \in R$. B Es un parámetro para sintonización, $A^T = [a_0, a_1, \dots, a_{N-1}]$ corresponde a los pesos que se agregan a cada entrada mediante la sinapsis y \mathbf{x} es un vector de N entradas $\mathbf{x}^T = [x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]$ las cuales tienen su analogía directa con las dendritas de la neurona. Los valores que puede tomar \mathbf{x} son binarios, es decir $x_i \in \{0,1\}$; la función de que describe la activación está dada de la siguiente manera:

$$g(z) = \begin{cases} 1, & z \in (m_{inf}, m_{sup}) \\ 0, & \text{para otro caso.} \end{cases} \quad (2)$$

En general las dos ecuaciones que modelan a la neurona artificial propuesta son:

$$F(\mathbf{x}) = a_0 x_0 + a_1 x_1 + \dots + a_{N-1} x_{N-1} + b \quad (3)$$

$$y_j = (GoF)(X) = \begin{cases} 1, & F(x_i) \in (m_{inf}, m_{sup}) \\ 0, & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad (4)$$

La ecuación (3) describiría el proceso de la asignación de los pesos en la sinapsis y de la suma de señales en el soma, mientras que la ecuación (4) corresponde a la función de activación, donde el umbral está definido por las cotas m_{inf} y m_{sup} .

Existen 3 formas directas de modificar el resultado de este grupo de ecuaciones, la primera es modificando los valores de los pesos a_0, a_1, \dots, a_n , la siguiente es semejante y consiste en variar el valor de b , el cual afecta de manera proporcional sumando una constante al valor de las entradas y el tercer método consiste en variar el umbral de activación, donde se puede definir un umbral con valores negativos, positivos e incluso aumentar o disminuir el tamaño del mismo.

La respuesta de estas funciones se representa en la Fig. 5, donde se muestra los posibles valores que pueden tomar las ecuaciones (3) y (4) para un caso hipotético, en a) observamos como las señales de entrada tienen un peso diferente y como está definido el umbral de acción, se observa como la magnitud de algunas de las entradas están dentro del umbral de acción, posteriormente en b) como cada de uno de los pulsos que caen

dentro del umbral generan un valor de 1 en la salida, mientras que para los demás casos un 0.

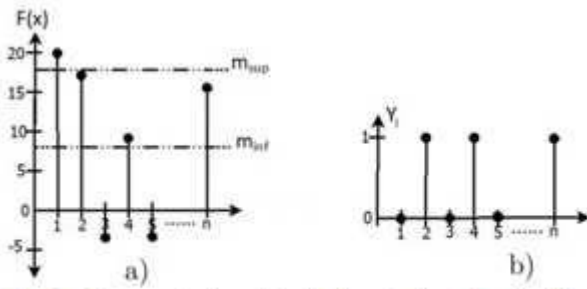


Fig. 5 a) Representación gráfica de las entradas y el umbral de acción, b) Representación gráfica de las salidas.

Para la ecuación (3) se propone el diseño de un amplificador operacional en modo sumador inversor, como el que se muestra en la Fig. 6.

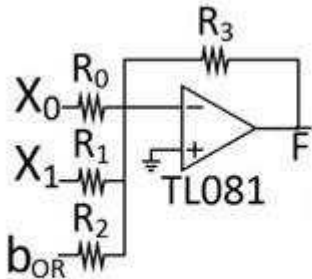


Fig. 6 Circuito que asigna los pesos de las señales y simula la función del soma en una neurona.

Este diseño permite controlar las ganancias de cada una de las entradas, mediante la relación de las resistencias de entrada y de referencia como se muestra en la siguiente ecuación

$$F(x) = -\frac{R_3}{R_0}x_0 - \frac{R_3}{R_1}x_1 - \frac{R_3}{R_2}b \quad (5)$$

Donde $a_0 = -\frac{R_3}{R_0}$, $a_1 = -\frac{R_3}{R_1}$ y $a_b = -\frac{R_3}{R_2}$.

Para el circuito de la ecuación (4), se utilizan un par de amplificadores operacionales en modo de circuito ventana, como el diseño que se muestra en la Fig. 7, este tiene 4 entradas que son los valores de las cotas superior e inferior del umbral de acción, la señal (F) que está dada por la ecuación (4) y un voltaje de referencia V que se dejara fijo en 5V. De esta forma, cuando el valor de la señal F este dentro del umbral de acción a la salida se presentará un valor de 5V y 0 para el caso contrario.

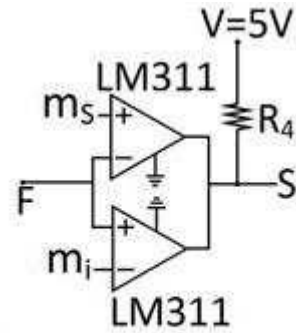


Fig. 7 Circuito que define el umbral de operación y emula la función de activación en la neurona.

IV.RESULTADOS

En esta sección se presentan los casos en que una misma neurona artificial es capaz de resolver las funciones lógicas OR y XOR. En la Tabla 1 se presentan los valores de los pesos en las entradas, las cuales toman un valor de 5V en un estado activo y 0V para el otro caso, también se muestran los voltajes que definen al umbral de operación para la función OR y el voltaje de referencia que se implementa en la función de activación.

TABLA I

Parámetros de configuración en la neurona artificial, modo OR.

a_0	$-\frac{1}{5}$
a_1	$-\frac{2}{5}$
a_b	-0
m_{Sup}	-0.5V
m_{Inf}	-3.5V
V_{Ref}	5V

En la Tabla 2 se representan las diferentes combinaciones que puede tomar la celda en el modo OR.

TABLA II
Combinaciones que presenta la neurona artificial en modo OR (Umbral de acción entre -0.5V y -3.5).

x_1	x_0	Función F	Voltaje(V)	Salida
0	0	0	0	0
0	1	$-a_0x_0$	-1	1
1	0	$-a_1x_1$	-2	1
1	1	$-a_0x_0 - a_1x_1$	-3	1

En la Fig. 8 se muestran los resultados para el circuito funcionando en modo OR; la línea amarilla representa el la cota superior del umbral de acción (m_{sup}), la línea azul la cota inferior (m_{inf}), de color morado la señal producida por la ecuación (3) y en color verde la salida.

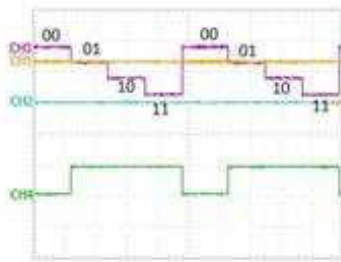


Fig. 8 Resultado físico de la neurona artificial en modo OR.

V.CONCLUSIONES

En este trabajo se abre una nueva brecha hacia el diseño de neuronas artificiales, ya que en la mayoría de los casos estas se simulan o se realizan mediante dispositivos costosos como lo son DSP's y FPGA's, mientras que en esta investigación se muestra cómo es posible obtener un sistema equivalente usando componentes económicas, como los amplificadores operacionales de propósito general y de comparación.

Este trabajo se pretende realizar un pequeño aporte al diseño físico de sistemas neuronales artificiales, actualmente existen estudios más avanzados sobre el funcionamiento del cerebro, sin embargo hemos aplicado físicamente un modelo simple, el cual nos brinda la posibilidad de resolver diferentes funciones lógicas.

El manejo de amplificadores operacionales, incrementa el número de aplicaciones a este circuito, ya que es posible manejar señales de diversos voltajes y no solo señales discretas,

si no bien señales continuas como lo son funciones senoidales, señales aleatorias, caóticas, etc.

El circuito propuesto maneja diferentes vías de reconfiguración, esto permite poder modelar diversas funciones que varíen incluso en su complejidad, incluso el mismo esquema puede ser usado para la solución de circuitos combinacionales o funciones lógicas específicas.

Cabe mencionar que el esquema propuesto presenta escalabilidad en el número de entradas, lo que permite que el sistema siga incrementando su nivel de complejidad, además de que debido a su sencilla estructura es posible conectar varias neuronas artificiales, proponiendo así un nuevo diseño para redes neuronales artificiales.

RECONOCIMIENTOS

Ramírez-Torres y R.O. Lozoya-Ponce son estudiantes de doctorado del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en el programa de posgrado "Ciencias aplicadas" en IICO-UASLP.

REFERENCIAS

- [1] W. S. McCulloch and W. Pitts. "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", *Bulletin of Mathematical Biology*, 5 (4): 115-133, 1943.
- [2] R.E. Lozoya-Ponce and I. Campos-Cantón, "Estructura reconfigurable: comparador/multiplexor/demultiplexor", *Revista Mexicana de Física* 59: 107-116, 2013
- [3] Simon Haykin, *Neural Networks* Prentice-Hall, New Jersey, USA, 1999.
- [4] Anderson, James. En: *Redes Neuronales*. Ed. Alfa Omega Editores, D.F., México. (2007).