



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Informe Técnico

Estudios en modelos electrónicos de columnas tectales

**José Luis Pérez Silva
Antonio Garcés Madrigal
Francisco Caviedes Contreras
Andrea Miranda Vitela**

19 de marzo de 2014

Modelos Electrónicos de Neuronas

Estudios en modelos electrónicos de columnas tectales

José Luis Pérez Silva, Antonio Garcés Madrigal, Francisco Caviedes Contreras, Andrea Miranda Vitela

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. UNAM.

Resumen

En este trabajo presentamos los procesos de evocación que se dan en el modelo simplificado de columna tectal con neuronas tipo McCulloch y Pitts e integradoras con fugas. El modelo simplificado de la columna tectal se fundamenta en el propuesto por Lara y Arbib. Este modelo es el de dos neuronas. En este trabajo mostramos como para diferentes condiciones de la columna tectal, en la neurona de salida se evocan resultados de otras configuraciones.

También estudiamos lo que sucede en una columna tectal cuando sumamos a los umbrales un ruido estocástico, que es una función del tiempo, al valor fijo del umbral. La hipótesis era que en estos modelos de columnas un pequeño ruido no sería suficiente para eliminar los procesos evocativos, pero los resultados fueron en sentido contrario ya que parece ser que los sistemas acoplados cambian su forma de acoplamiento y los procesos de evocación se reducen en forma impresionante, ya que para las mismas condiciones en la columna, sin cambio alguno, para procesos iguales tenemos diferentes resultados de plano fase en cada evento.

Continuamos el desarrollo de modelos neuronales analógicos, y descubrimos que algunos de ellos tenían oscilaciones internas per se, como si tuvieran osciladores internos acoplados. Estaba lista la posibilidad de columnas tectales modificadas con tipos diferentes de neuronas en su estructura, obteniendo, para cada una de estas columnas, los efectos de la evocación. En este trabajo presentamos los resultados comparativos de los efectos de evocación en columnas tectales con muy diferentes clases de neuronas, que puede llevarnos a la conclusión de que la estructura de la columna tectal es la causa de estos fenómenos de evocación, y no depende del tipo de neuronas que las forman.

En este trabajo vamos a estudiar la columna tectal compuestas de neuronas integradoras y no integradoras con funciones de activación rampa y sigmoide. Veremos que además de evocación, existen resonancias RS.

Índice

	Introducción.	4
1.	Procesos evocadores en modelo electrónico de columna tecta.	6
1.1	Columna tectal con dos neuronas MC Cullok modificadas	6
1.2	Columna tectal con dos neuronas integradoras con fugas	9
2.	Efectos del ruido estocástico en una columna tectal	12
2.1.	Modelo de neurona y columna tectal	12
2.2.	Experimentos	14
3.	Columna tectal con funciones de activación rampa	16
3.1.1	Columna tectal con neuronas no integradoras y función de activación rampa	16
3.1.2.	Resultados	18
3.2.	Columna tectal con neuronas integradoras y función de activación rampa	23
4.	Columna tectal, con neuronas con funciones de activación sigmoide y escalón	27
4.1.	Modelo de neurona	27
4.2.	Columna tectal con neuronas con función de activación sigmoide y escalón	29
4.3.	Resultados	31
4.4.	Columna tectal con neuronas con función de activación escalón y sigmoide	33
5.	Estudio comparativo de procesos evocados en modelos de columna tectal	36
5.1	Modelo de Neurona	36
5.2.	Columna tectal con dos neuronas con función de activación rampa	40
5.3	Columna tectal con dos neuronas con función de activación sigmoide	43
	Conclusiones	47
	Referencias	49

Introducción.

El modelo de columna tectal de Lara (Lara R, Arbib MA, 1982) modela excitaciones recurrentes, inhibición lateral y modulación. Estos modelos se han empleado para simular la facilitación del comportamiento presa-predador y cambios en el tamaño de los umbrales debidos a inhibición como una función de la motivación como lo plantea Cervantes-Pérez (Cervantes-Perez F, et al, 1985). Este modelo no se puede considerar un modelo de umbral fijo para determinar que se guarda en memoria de corto plazo, mientras que la modulación es a largo término.

En otros trabajos se han grabado campos de potencial en respuesta a la correlación existente entre comportamientos neuronales y conductuales, Grüsser (J. Grüsser, et al, 1976). Las respuestas encendidas o apagadas sugieren que la serie de pulsos que se originan de las entradas aferentes juegan un papel importante en elegir el campo de potencial y que están compuestos por dos ondas negativas que se interrumpen por ondas positivas. La sincronización entre sistemas acoplados abunda en la naturaleza. El acoplamiento ha menudo no es instantáneo, sino que se da en tiempos finitos, si contamos con tiempos finitos de retardo. En lo general los retardos producen que sistemas estables oscilen, y no pueden producir escenarios de bifurcación que nos lleven a sistemas caóticos. Para sistemas acoplados la pregunta que surge es: ¿Bajo que condiciones dos sistemas con retardos acoplados pueden caer en sincronía de fase? En nuestro caso queremos estudiar si en este tipo de estructuras ya estudiadas, como la columna tectal que se muestra en la figura 1, es posible que al cambio de las características de la columna, se replique repuestas del sistema que se dan bajo otras condiciones, fenómeno que llamamos evocación.

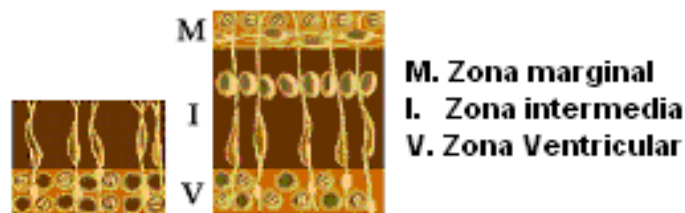


Figura 1. Modelos biológicos de columnas tectales de dos y tres capas de neuronas.

Estudiaremos dos modelos basados en la arquitectura de la columna de tectal, propuesto por Lara (Lara R, Arbib MA, 1982), pero usando neuronas Mc Cullok y Pitts modificadas por nosotros par incluir algunos hechos físicos de las neuronas biológicas, como la polarización de la membrana, la liberación en el tiempo de neurotransmisores, también retraso en el tiempo para representar el retardo de axónico, así como el retardo en la transmisión entre neuronas debido a neurotransmisores. Nuestro modelo de neurona se presenta en la figura 2.



Figura 2. Modelo de Neurona.

La sincronización entre sistemas acoplados abunda en la naturaleza. El acoplamiento a menudo no es instantáneo, sino que se da en tiempos finitos si contamos con tiempos finitos de retardo. En lo general los retardos producen que sistemas estables oscilen, y no pueden producir escenarios de bifurcación que nos lleven a sistemas caóticos.

Vamos a estudiar si en este tipo de estructuras, como la columna tectal, es posible que al cambio de las características de la columna, se repliquen respuestas del sistema que se dan bajo otras condiciones, fenómeno que llamamos evocación y que se cumple en este modelo de columna tectal.

Nuestro modelo de neurona es un modelo de neurona más complejo que contiene además de la suma y un umbral, el hecho de que la función de activación puede contar con un umbral dinámico dado por una $T(t)$, y una salida modulada en amplitud por otra función $A(t)$, por lo que el disparo y la amplitud de éste dependen del tiempo en el cual se da la acción neuronal respecto de la entrada X_i . Nuestro modelo de neurona además cuenta con un retardo axónico, y hemos demostrado que en estas circunstancias la columna tectal tiene procesos de evocación.

Así que estudiaremos lo que sucede en esta columna tectal cuando sumamos a los umbrales un ruido estocástico, que es una función del tiempo, al valor fijo del umbral. La hipótesis era que en estos modelos de columnas un pequeño ruido no sería suficiente para eliminar los procesos evocativos, pero los resultados fueron en sentido contrario ya que parece ser que los sistemas acoplados cambian su forma de acoplamiento y los procesos de evocación se reducen en forma impresionante, ya que para las mismas condiciones en la columna, sin cambio alguno, para procesos iguales tenemos diferentes resultados de plano fase en cada evento.

Estudiaremos un modelo de neurona más complejo que contiene además de la suma y un umbral, el hecho de que la función de la segunda neurona es una sigmoide. Esto es importante porque hasta el momento sólo hemos estudiado la columna tectal conformada por dos neuronas del mismo tipo, es decir las dos neuronas tienen la misma función de activación. Nuestro modelo de neurona además cuenta con un retardo axónico, y hemos demostrado que en estas circunstancias la columna tectal tiene procesos de evocación. La pregunta fundamental es si al formar una estructura con neuronas de diferente función de activación, la característica de evocación se conserva. Estudiamos lo que sucede en esta columna tectal cuando ponemos en órdenes diferentes las neuronas, es decir si la repuesta de una neurona cuya primera neurona tiene función de activación sigmoide y la segunda función de activación escalón es conmutable en orden. También estudiaremos si existen diferencias en los efectos de memoria en el hecho de que las neuronas sean integradoras o no.

1. Procesos evocadores en modelo electrónico de columna tectal

1.1. Columna tectal con dos neuronas Mc Cullok modificadas

La arquitectura propuesta se muestra en la figura 3.

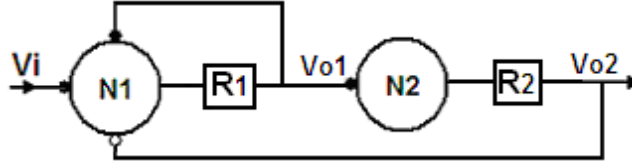


Figure 3. Modelo simplificado de columna tectal.

En la figura 4 se muestra el diagrama esquemático de nuestro modelo de neurona.

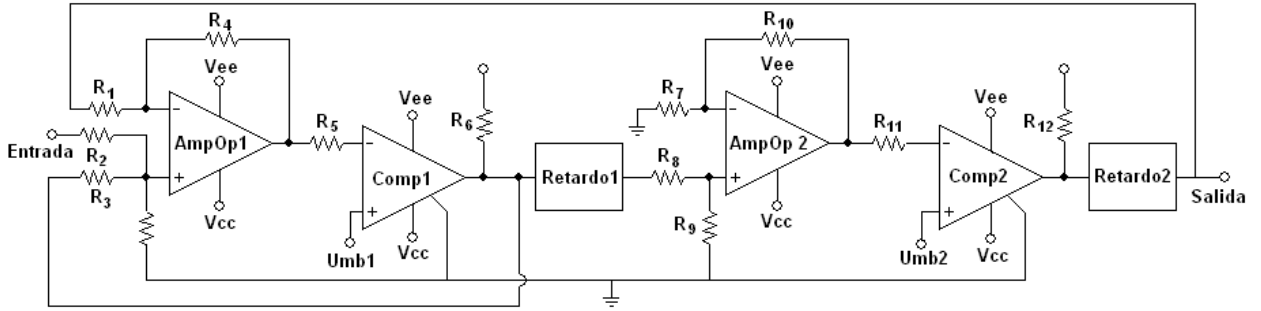


Figura 4. Diagrama esquemático del modelo de neurona integradora con fugas modificada.

Nuestro circuito de retardo de la señal es fundamental en los procesos que describiremos y nuestro circuito se muestra en la figura 5.

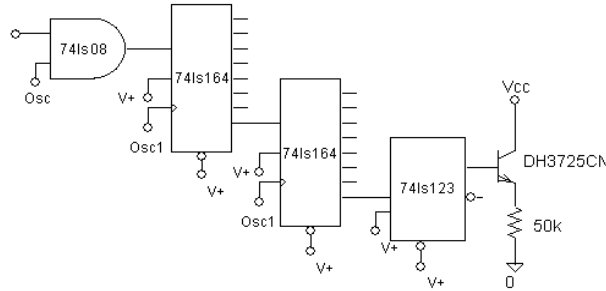


Figura 5. Circuito de retardo axónico.

Nuestro modelo además se acopla a un modelo de neurona más complejo que contiene además de la suma y un umbral, que la función de activación puede contar con un umbral dinámico dado por una $T(t)$, y una salida modulada en amplitud por otra función $A(t)$, por lo que el disparo y la amplitud de éste dependen del tiempo en el cual se da la acción neuronal respecto de la entrada X_i .

Dado el modelo de neurona que se propone la función de activación para estas neuronas será:

$$Vo(t) = \begin{cases} A(t) & \text{si } Vi \geq Th(t) \\ 0 & \text{si } Vi < Th(t) \end{cases} \quad (1)$$

donde $Vo(t)$ es la respuesta de la neurona, $A(t)$ es la amplitud de la respuesta en el tiempo y $Th(t)$ es el valor del umbral en el tiempo.

Si nos fijamos en la figura 4 veremos que para la neurona N1 existen dos formas de disparo, la primera en el tiempo t en la cual sólo está presente la señal de entrada Vi y otra un tiempo $D1$ después, en la cual está presente la autoexcitación de la misma neurona, por lo que la función de activación será en t

$$Vo_1(t) = \begin{cases} A(t) & \text{si } Vi \geq Th_1(t) \\ 0 & \text{si } Vi < Th_1(t) \end{cases} \quad (2)$$

y en $t+D1$:

$$Vo_1(t+D1) = \begin{cases} A(t+D1) & \text{si } Vi + Vo(t) \geq Th_1(t) \\ 0 & \text{si } Vi + Vo(t) < Th_1(t) \end{cases} \quad (3)$$

En el tiempo t la neurona N2 tiene entrada cero, pero en el tiempo $t+D1$ tendrá entrada $Vo_1(t)$, por lo que su función de activación tendrá la forma:

$$Vo_2(t+D1+D2) = \begin{cases} A_2(t+D1) & \text{si } Vo(t+D1) \geq Th(t) \\ 0 & \text{si } Vi + Vo(t) < Th(t) \end{cases} \quad (4)$$

Pero esta salida inhibe a la neurona N1 en el tiempo $t+D1+D2$, por lo que la señal de entrada a la primera neurona será: $Vi + Vo_1(t+D1) - Vo_2(t+D1+D2)$, por lo que la función de activación de la primera neurona está dada por:

$$Vo_1(t+D1+D2) = \begin{cases} A(t+D1+D2) & \text{si } Vi + Vo(t+D1+D2) - Vo_2(t+D1+D2) \geq Th_1(t+D1+D2) \\ 0 & \text{si } Vi + Vo(t+D1+D2) - Vo_2(t+D1+D2) < Th_1(t+D1+D2) \end{cases} \quad (5)$$

Para este modelo de columna de tectal encontramos procesos de evocación como los que mostramos en las figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11 en que las cuales se presentan los planos fase de las dos neuronas. En primer lugar el plano fase de la neurona N1 y en el segundo lugar el plano fase de la neurona N2.

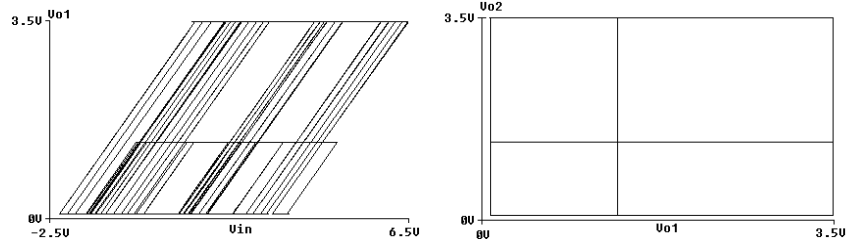


Figura 6. Entrada Senoide, $A1 = A2 = 1$ retardo de $R1 = 12$ y $R2 = 7$.

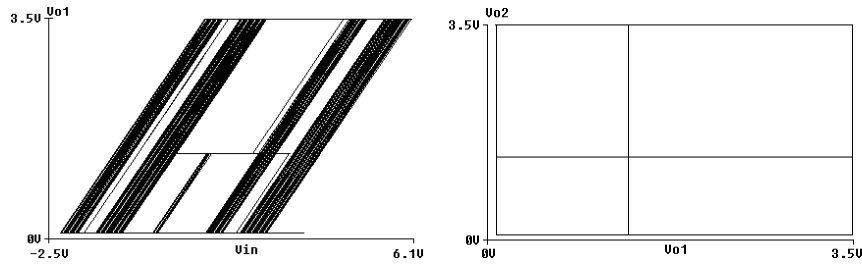


Figura 7. Entrada Senoide, $A1 = A2 = 1$ retardo de $R1 = 12$ y $R2 = 7$.

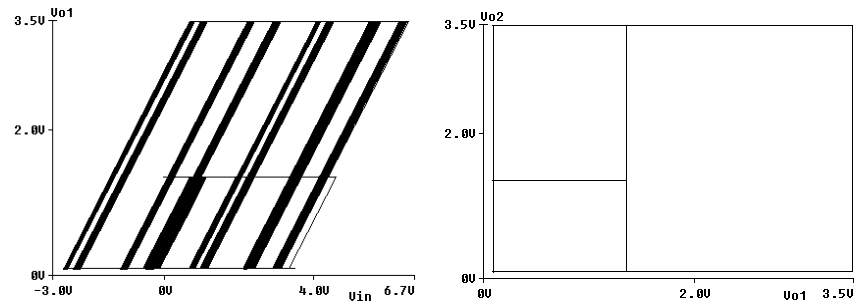


Figura 8. Entrada Triangular $R1 = 1ms$ y $R2 = 2ms$ $A1 = 2$ $A2 = 1$

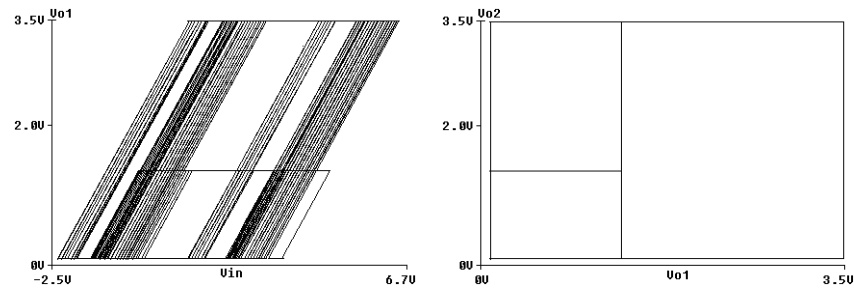


Figura 9. Entrada Senoide $A1 = A2 = 1$, $R1 = 1$ $R2 = 7$.

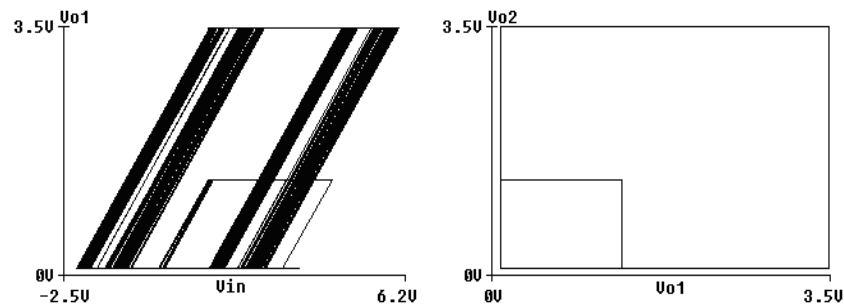


Figura 10. Entrada Triangular $A1 = 1 = A2$, $R1 = 3ms$ $R2 = 2ms$.

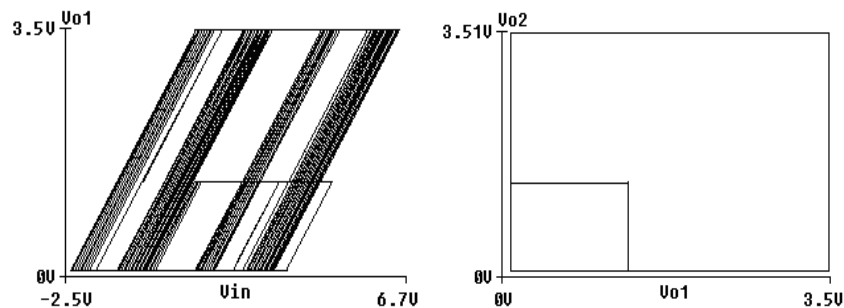


Figura 11. Entrada Senoide $A1 = 2 = A2$, $R1 = 2ms$, $R2 = 3ms$.

Como podemos ver de estos gráficos, el plano fase de la segunda neurona en cada caso es el mismo, aunque las condiciones de los parámetros de la columna tectal y la entrada para la columna sean diferentes, tenemos evocación de la entrada previa en otras condiciones.

1.2. Columna tectal con dos neuronas integradoras con fugas

Vamos a estudiar el modelo de columna tectal usando neuronas integradoras con fugas modificadas por nosotros para incluir las mismas características que las del modelo de McCullock y Pitts. El modelo de neurona se muestra en el diagrama de bloques de la figura 12.

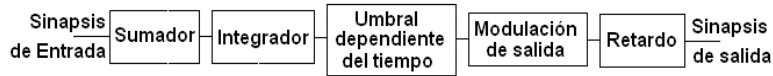


Figura 12 Modelo modificado de neurona integradora con fugas.

En la figura 13 se muestra el diagrama esquemático del circuito electrónico de la neurona.

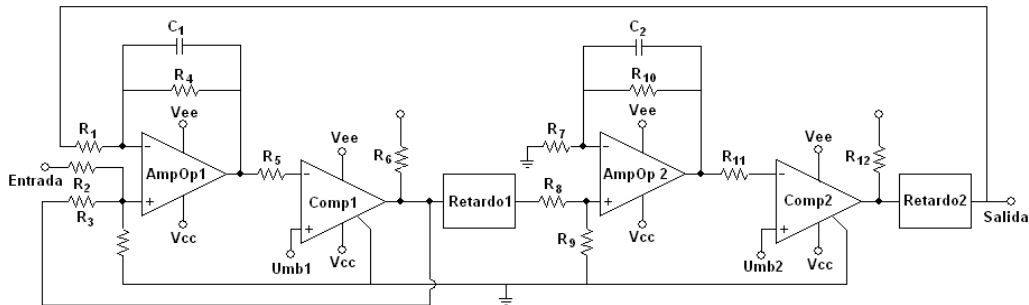


Figura 13. Diagrama esquemático del modelo de neurona integradora con fugas modificada.

También para este modelo de columna tectal encontramos procesos evocativos, como lo muestran las figuras 14, 15, 16, y 17, en las cuales se presentan los planos fase de las dos neuronas, En primer lugar el plano fase de la neurona N1 y en el segundo lugar el plano fase de la neurona N2.

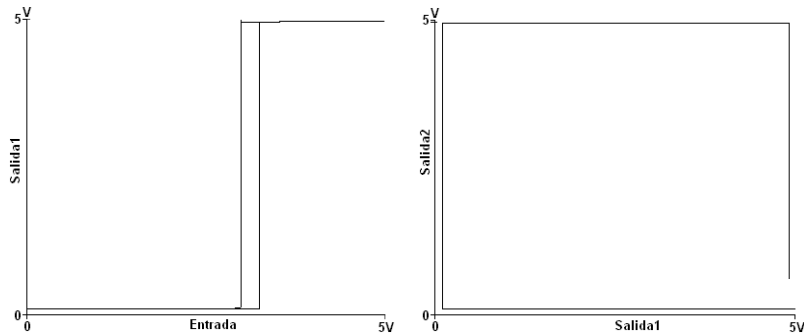


Figura 14. Entrada Triangular $R1 = 1ms$ y $R2 = 2ms$ $A1 = 2$ $A2 = 1$.

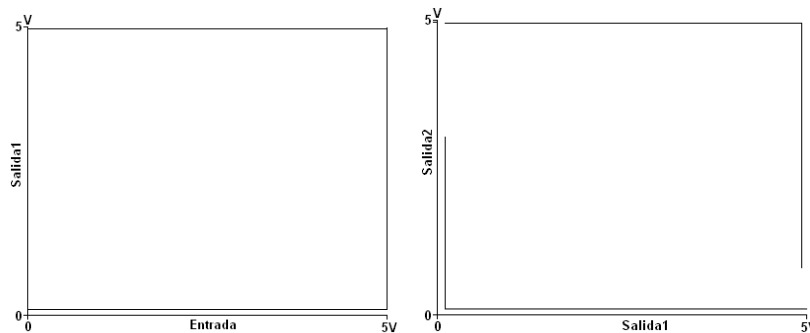


Figura 15. Entrada cuadrada $A1 = 2 = A2$ $R1 = 3ms$ $R2 = 2ms$.

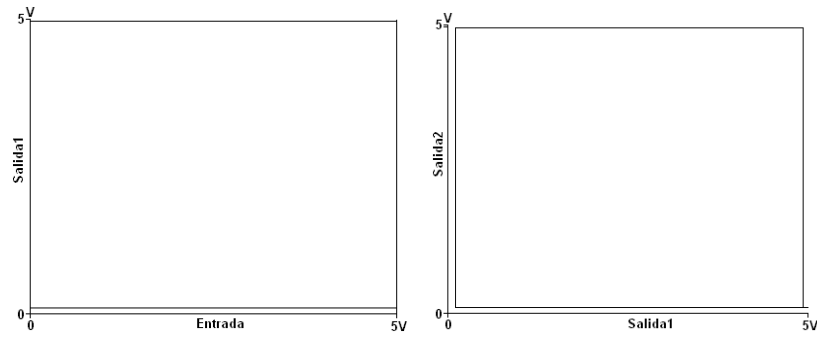


Figura 16. Entrada cuadrada $R1 = 1ms$ y $R2 = 2ms$ $A1 = 2$ $A2 = 1$.

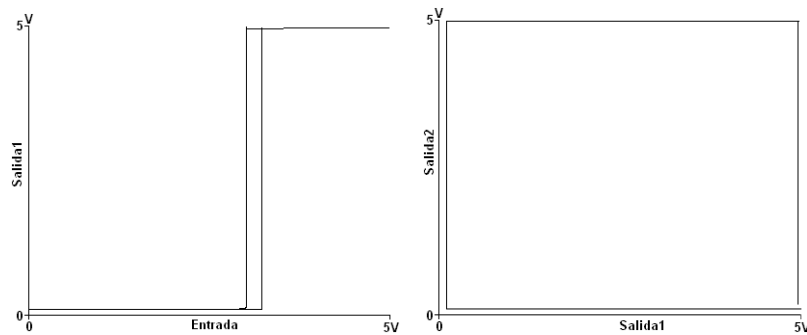


Figura 17. Entrada Triangular $R1 = 1ms$ y $R2 = 2ms$ $A1 = 2$ $A2 = 1$.

Si analizamos los dos circuitos y tomamos en cuenta que la primera neurona, en el caso del circuito de dos neuronas, está doblemente excitada, una es la excitación generada por la sinapsis excitadora y la otra es la inhibición generada por la sinapsis con la segunda neurona. Otra idea fundamental es el hecho que existen retardos axónicos entre las neuronas y estos retardos pueden o no ser el mismo. Este perfil nos da un oscilador endógeno, donde la frecuencia del mismo está dada por la diferencia en los retardos. En las figuras 18 y 19 se muestra un caso.

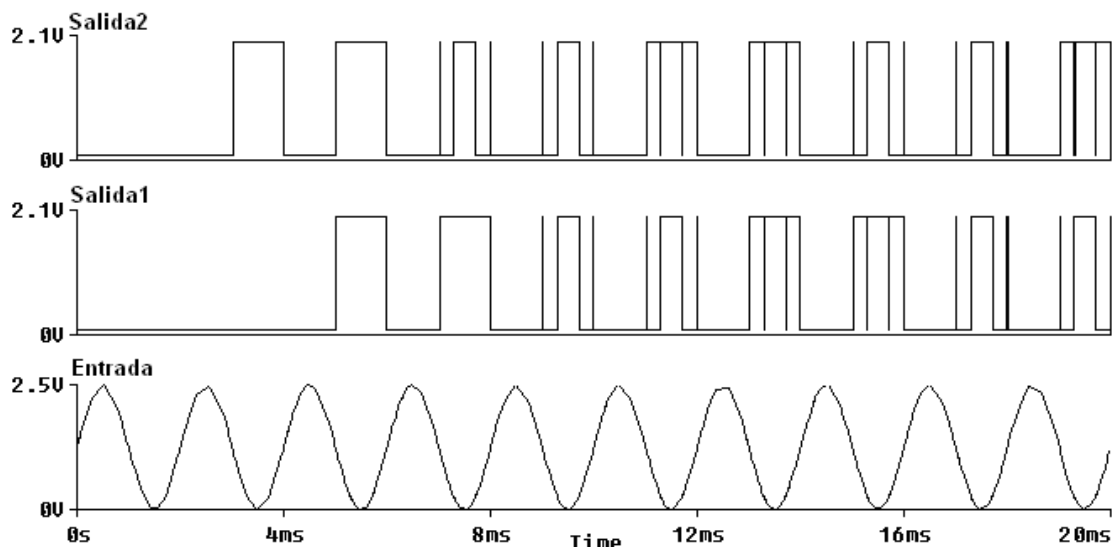


Figura 18. Neurona McCulloch

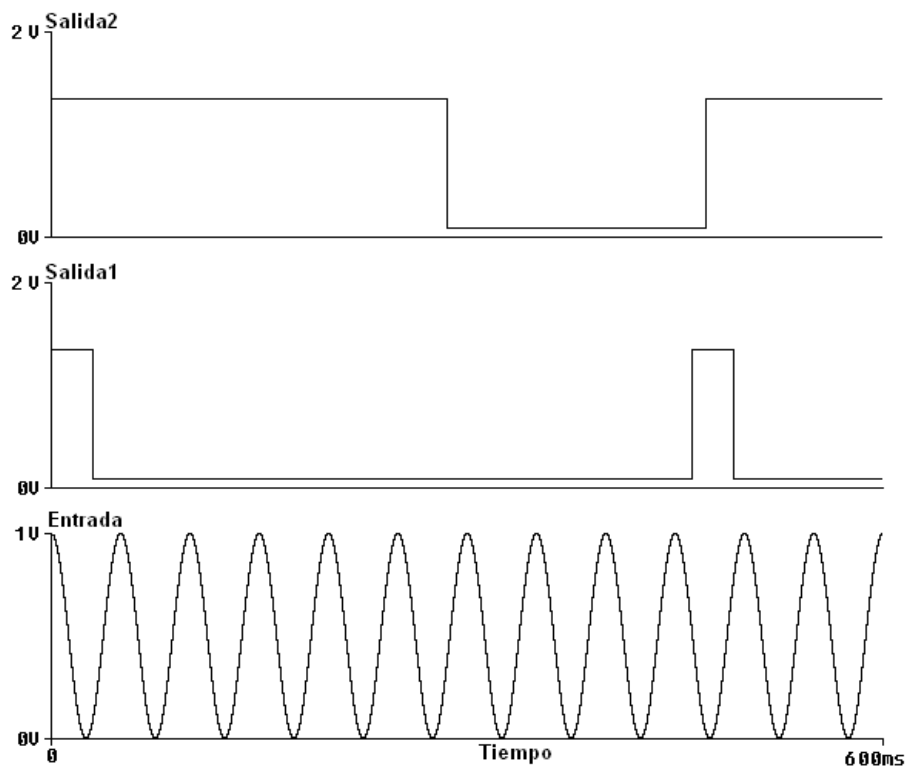


Figura 19. Neurona Integradora con Fugas

2. Efectos del ruido estocástico en una columna tectal

2.1. Modelo de neurona y columna tectal

Nuestro modelo de neurona se muestra en la figura 20.

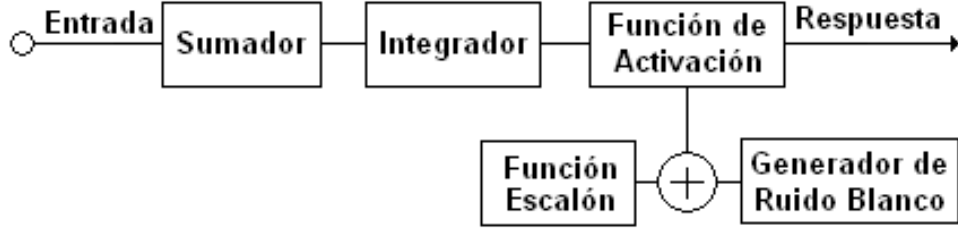


Figura 20. Modelo de neurona con umbral estocástico.

La suma sólo indica la modulación de la función escalón por el ruido blanco, con la idea de mantener el modelo original, pero saber lo que pasa cuando el ruido modula el umbral. Desde nuestro enfoque probabilístico podemos saber los efectos de las características estocásticas del modelo, cuando generamos eventos idénticos pero independientes, obtendremos respuestas diferentes, algo así como aventar monedas al aire.

En nuestro nuevo modelo matemático vamos a considerar la función de activación de la forma:

$$F_O(m(t)) = \begin{cases} A(U(t), t) & \text{if } m(t) \geq U(t) \\ 0 & \text{if } m(t) < U(t) \end{cases} \quad (6)$$

Donde A es la amplitud de la salida y U(t) es el umbral de la neurona, como la función de respuesta de la neurona. Estamos interesados en incluir la posibilidad de efectos azarosos en el umbral de la neurona, y para esto vamos a introducir el concepto de ruido blanco. El ruido blanco es un proceso estocástico que denotaremos por ξ_t y que satisface lo siguiente:

- Para cada $t \geq 0$, $E[\xi(t)] = 0$
- Para $s, t \geq 0$, $E[\xi(t)\xi(s)] = \delta_0(t - s)$
- Para cada $t \geq 0$, $\xi(t)$ es Gaussiana.

Si consideramos que el umbral de la neurona está dado por:

$$\theta(t) = \tilde{\theta}(t) + \xi(t), \quad (7)$$

donde

$$\tilde{\theta} : [0, t] \rightarrow \mathfrak{R}, \quad (8)$$

es una función determinista, por ejemplo:

$$\tilde{\theta}(t) = k \text{ con } k \in \mathfrak{R} \quad (9)$$

o

$$\tilde{\theta}(t) = \sin \lambda t, \lambda \in \mathfrak{R} \quad (10)$$

Haciendo esto se puede pensar que el valor del umbral de la neurona varía por una serie de fenómenos al azar, como por ejemplo el stress.

Nuestro modelo de columna tectal se muestra en la figura 21.

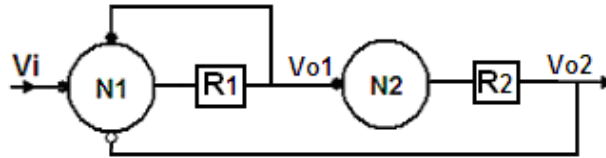


Figura 21. Modelo de columna tectal.

En la cual las neuronas N1 y N2 son del tipo que muestra la figura 20.

En la figura 22 se muestra el diagrama esquemático del circuito electrónico de la columna tectal con ruido blanco en los umbrales.

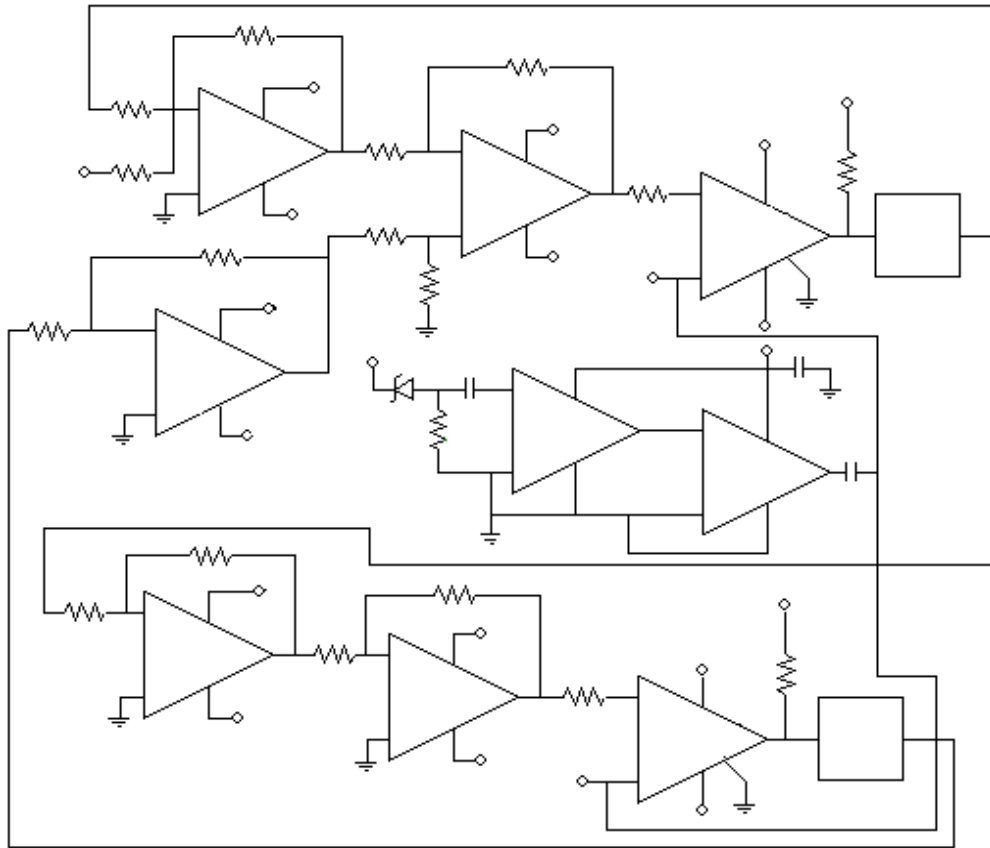


Figura 22. Diagrama esquemático de la columna tectal con ruido estocástico.

2.2. Experimentos

Establecida la columna tectal nos propusimos realizar la experiencia con señales iguales, pero de dos frecuencias diferentes, una baja frecuencia y otra ligeramente mayor. En las gráficas siguientes se presentan los resultados para varios eventos y siempre en las mismas condiciones de la columna tectal y de la entrada excitadora. En el caso de la columna tectal sin ruido, lo que se da es que siempre tendremos el mismo resultado, en otras palabras el espacio fase de la neurona de salida no cambia, independientemente del número de eventos que se den. Si ponemos ruido blanco en el umbral de la neurona lo que obtenemos se ve en las siguientes gráficas donde se presenta la entrada, la respuesta de las dos neuronas y el espacio fase de la de salida. Las figuras 23, 24, 25, 26, 27, y 28, nos muestran los resultados de cada evento.

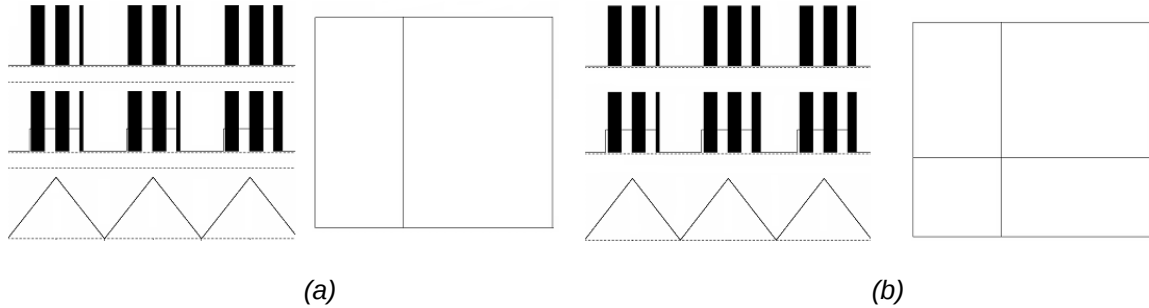


Figura 23. (a) Respuesta del primer evento. (b) Respuesta del segundo evento

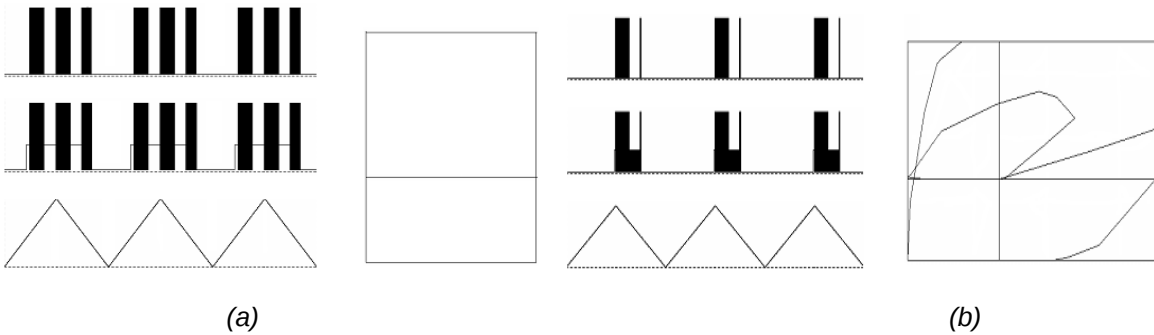


Figura 24. (a) Respuesta del tercer evento. (b) Respuesta del cuarto evento

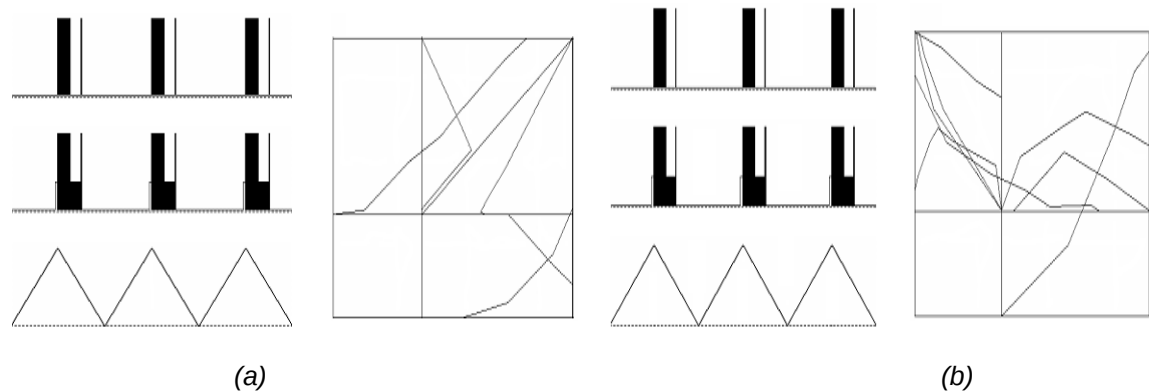


Figura 25. (a) Respuesta del quinto evento. (b) Respuesta del sexto evento

En el segundo experimento disminuimos un poco la frecuencia de la señal de entrada, pero todos los parámetros de la columna tectal los mantuvimos sin cambios y generamos las siguientes gráficas, colocadas de la forma de las anteriores.

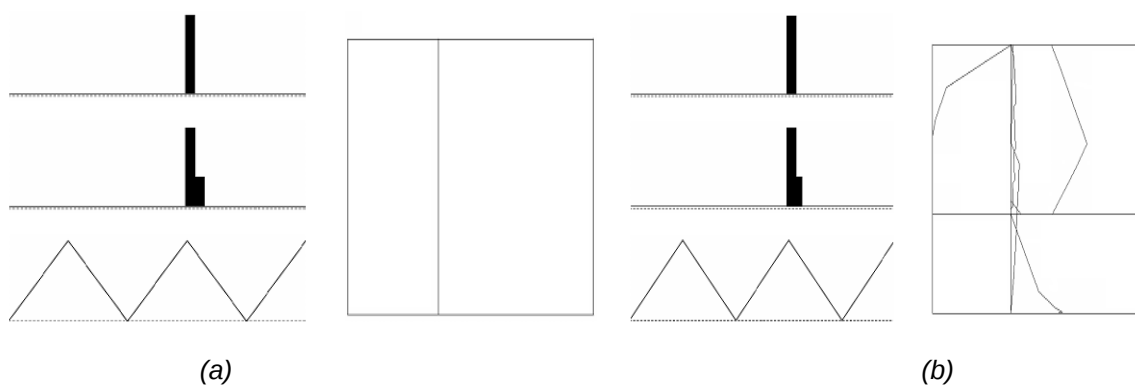


Figura 26. (a) Respuesta del primer evento. (b) Respuesta del segundo evento

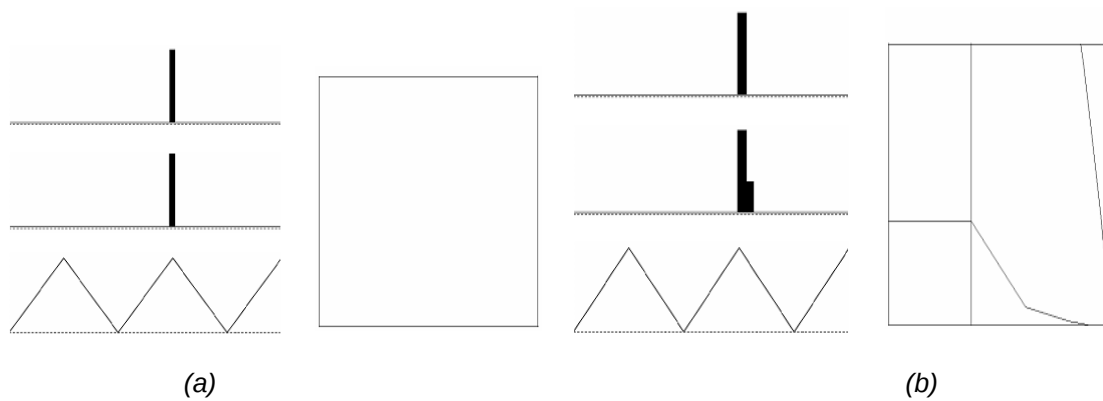


Figura 27. (a) Respuesta del tercer evento. (b) Respuesta del cuarto evento

Un último experimento consistió en elevar mucho la frecuencia para ver los efectos de su aumento significativo, y lo que obtuvimos para dos eventos fueron las dos gráficas siguientes

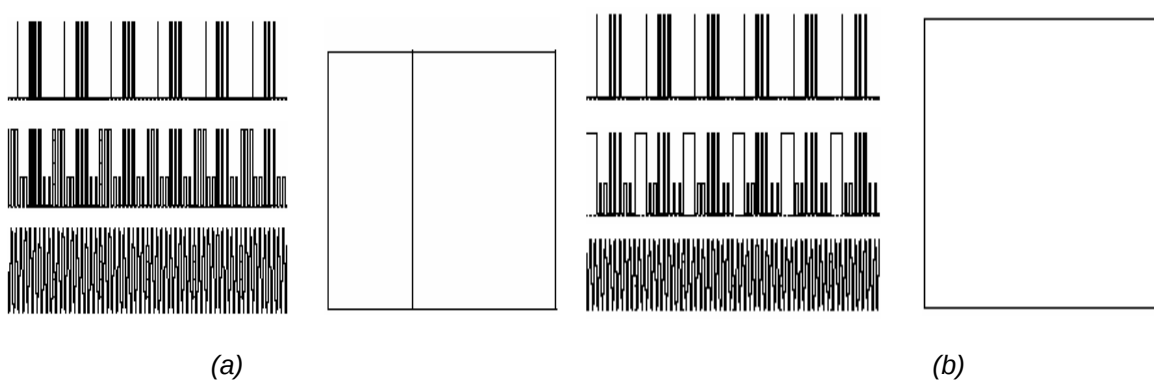


Figura 28. (a) Respuesta del cuarto evento. (b) Respuesta del quinto evento

3. Columna tectal con funciones de activación rampa

3.1. Columna tectal con neuronas no integradoras y función de activación rampa

El modelo de neurona que vamos a estudiar en esta sección es el de una neurona no integradora con función de activación rampa. En la figura 29 se muestra el diagrama de bloques de la neurona.

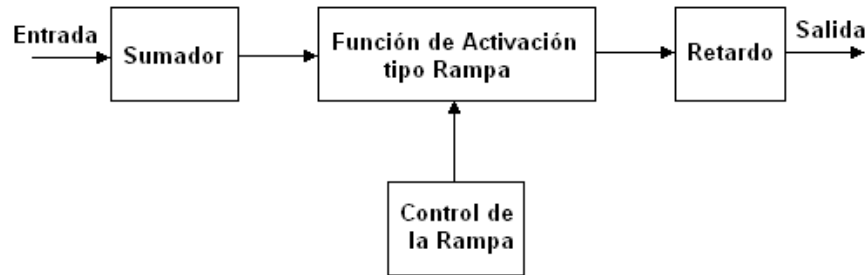


Figura 29. Modelo de neurona no integradora con función de activación rampa y retardo.

La arquitectura propuesta para la columna tectal se muestra en la figura 30.

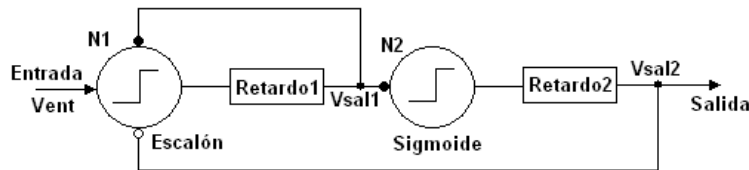


Figura 30. Modelo simplificado de columna tectal.

Donde las entradas son V_{in} las neuronas son N1 y N2 y los retardos son R1 y R2. V_{o1} y V_{o2} son los potenciales de salida de cada neurona. Los modelos de neurona que vamos a estudiar están definidos por sus funciones de activación, que en interés de este trabajo serán rampas. En la figura 31 se muestra el diagrama esquemático de nuestro modelo de columna tectal con Neuronas no integradoras y con funciones de activación para las neuronas N1 y N2 sigmoide.

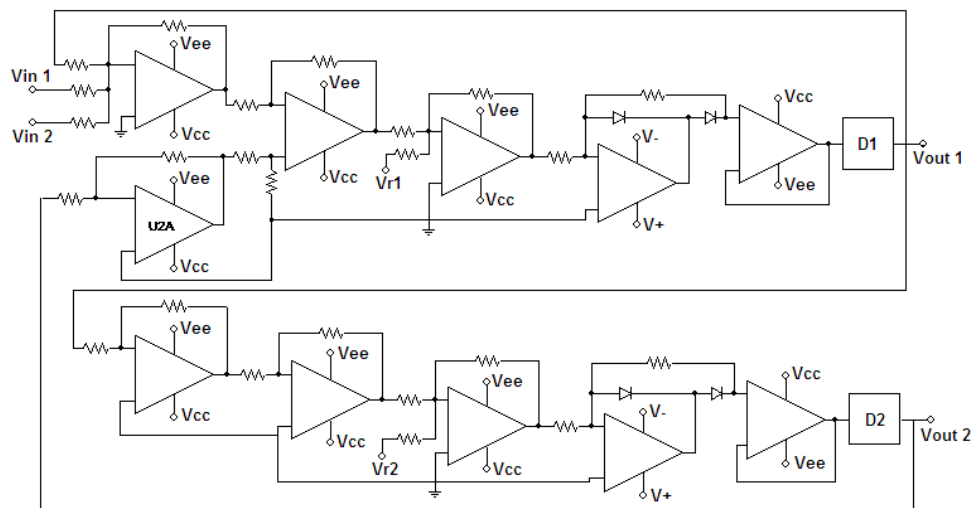


Figura 31. Diagrama esquemático de la columna tectal con neuronas no integradoras.

El diagrama esquemático tiene representados en formas de bloques las unidades de retardo. En la figura 32 se presentan el diagrama de esquemático del circuito contenido en los bloques.

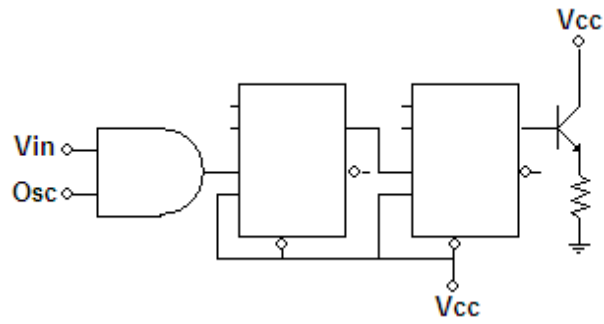


Figura 32. Diagrama esquemático de la unidad de retardo.

3.2. Resultados

De todos los posibles casos, y por razones de espacio, elegimos un caso significativo por la gran selectividad que implica. G es la ganancia de la rampa, $Vr1$ y $Vr2$ son los potenciales de umbral de las rampas y $D1$ y $D2$ son los retardos de las neuronas.

Para la primera serie de experimentos empleamos señales simples como triangular, senoide y romboide. Los primeros resultados se muestran en las figuras 33, 34 y 35.

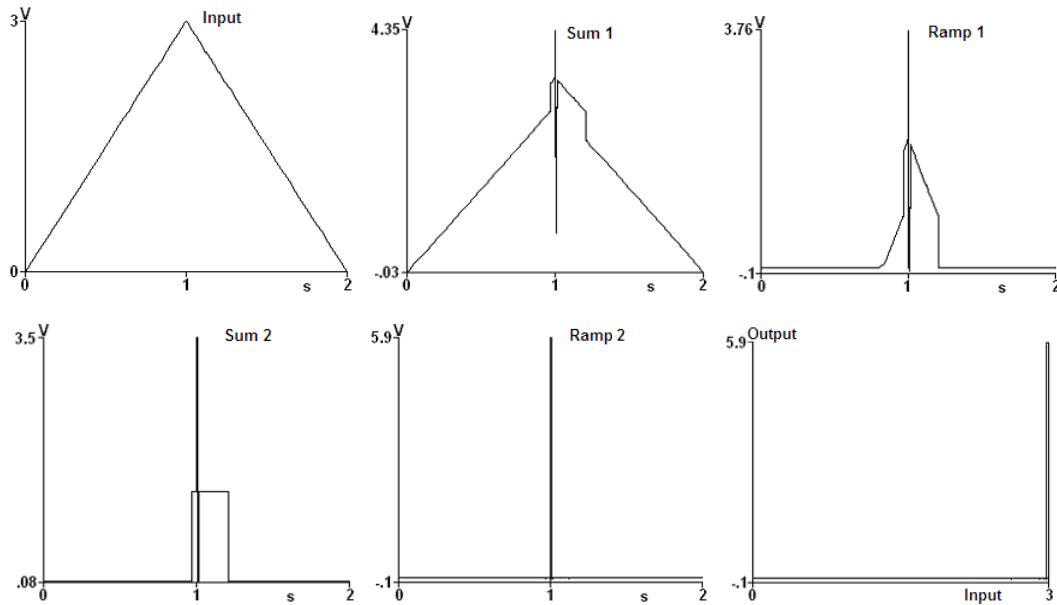


Figura 33. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada senoide, $G = 2.5$. $Vr1 = -2.465$ $Vr2 = -1.5$. $D1$ y $D2 = .5ms$.

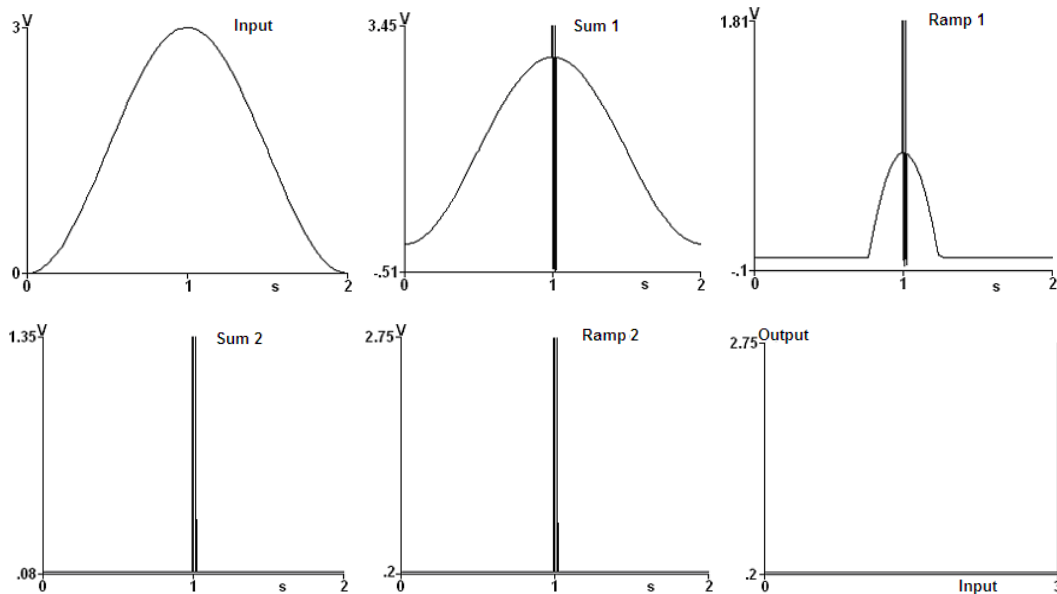


Figura 34. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.54477$ $Vr2 = -.02$. Retardo 1 y 2 = .5ms

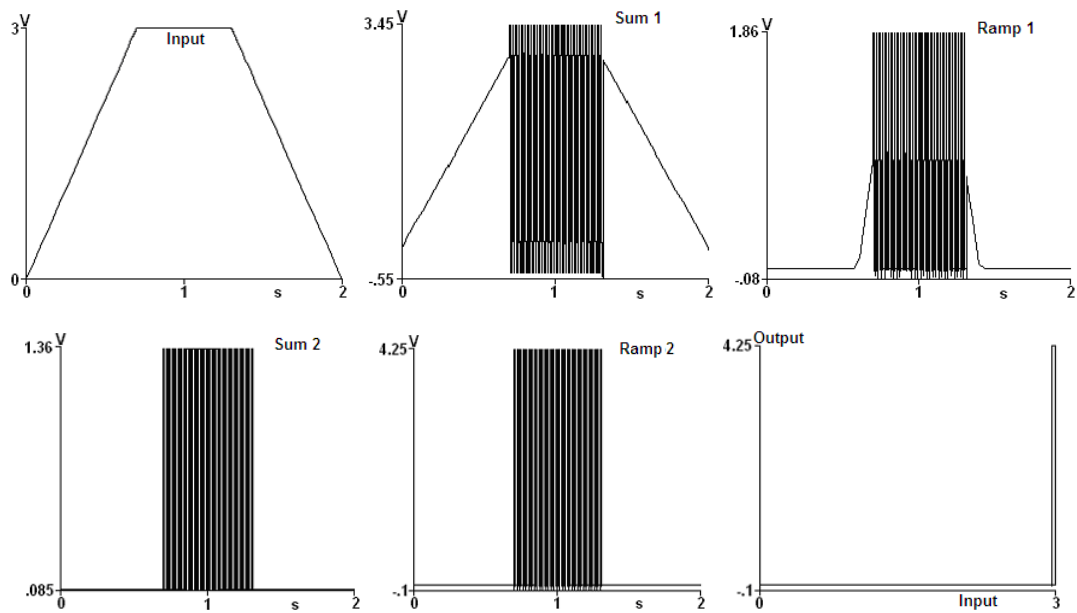


Figura 35. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada romboide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = 1.5$ $Vr2 = -1$. Retardo 1 y 2 = .5ms

En la siguiente serie de experimentos presentamos a la entrada de la columna señales de entrada más compleja, como sumas entre las tres simples. En las figuras 36, 37 y 38 se muestran los resultados.

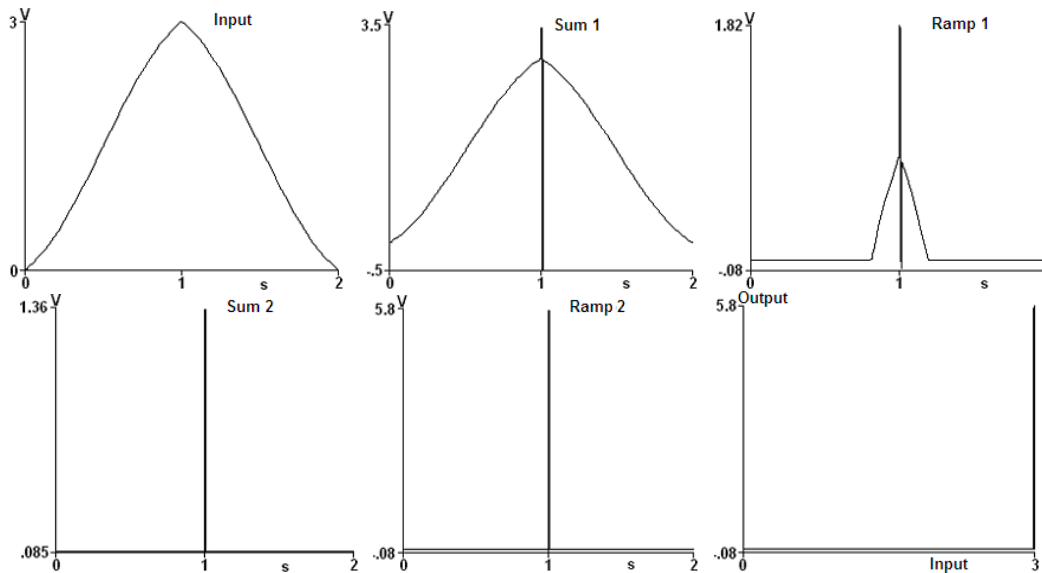


Figura 36. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada triangular + senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = 2.54$ $Vr2 = -.2$. Retardo 1 y 2 = .5ms

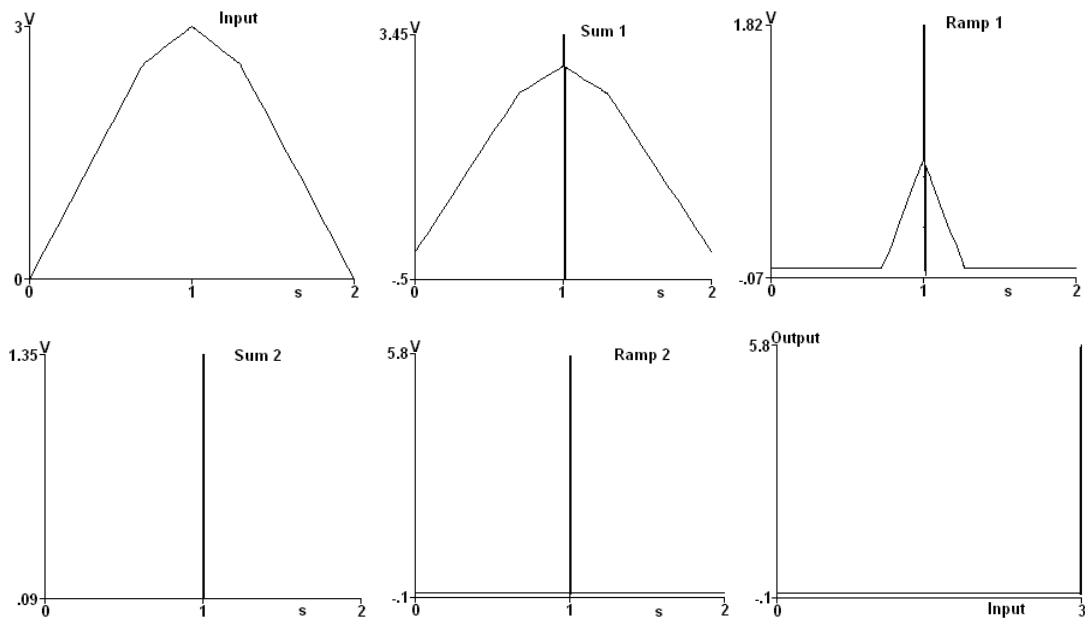


Figura 37. Columna tectal no integradora N1 Rampa, N2 Rampa, entrada romboide + triangular, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.54$ $Vr2 = -1$ Retardo 1 y 2 = .5ms

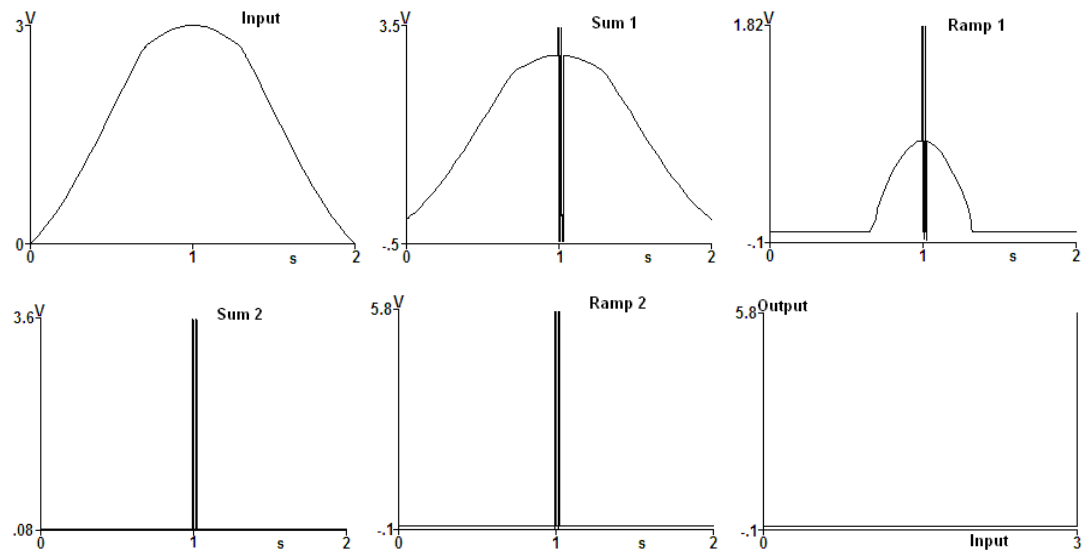


Figura 38. Columna tectal no integradora N1 Rampa, N2 Rampa, entrada romboide + senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.545307$, $Vr2 = -.2$ Retardo 1 y 2 = .5ms

Repetimos los experimentos con las señales de entrada simple pero cambiando los parámetros de las neuronas y los resultados se muestran en las figuras 39 y 40.

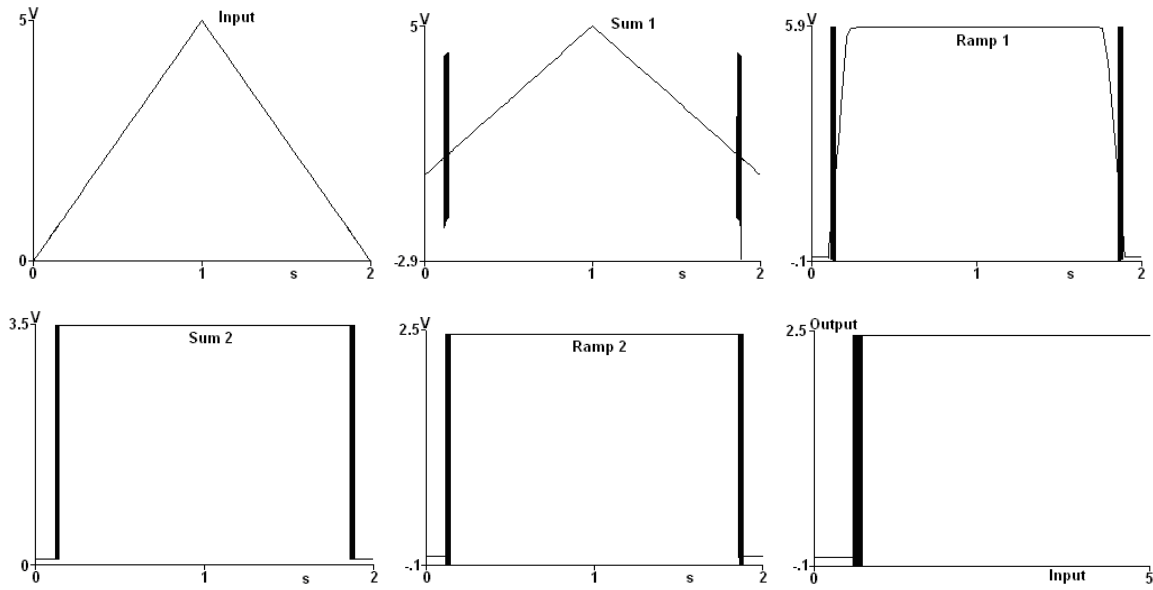


Figura 39. Columna tectal no integradora N1 Rampa, N2 Rampa, entrada triangular, $R1 = 1k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -.5$ $Vr2 = -3$. Retardo 1 y 2 = .5ms

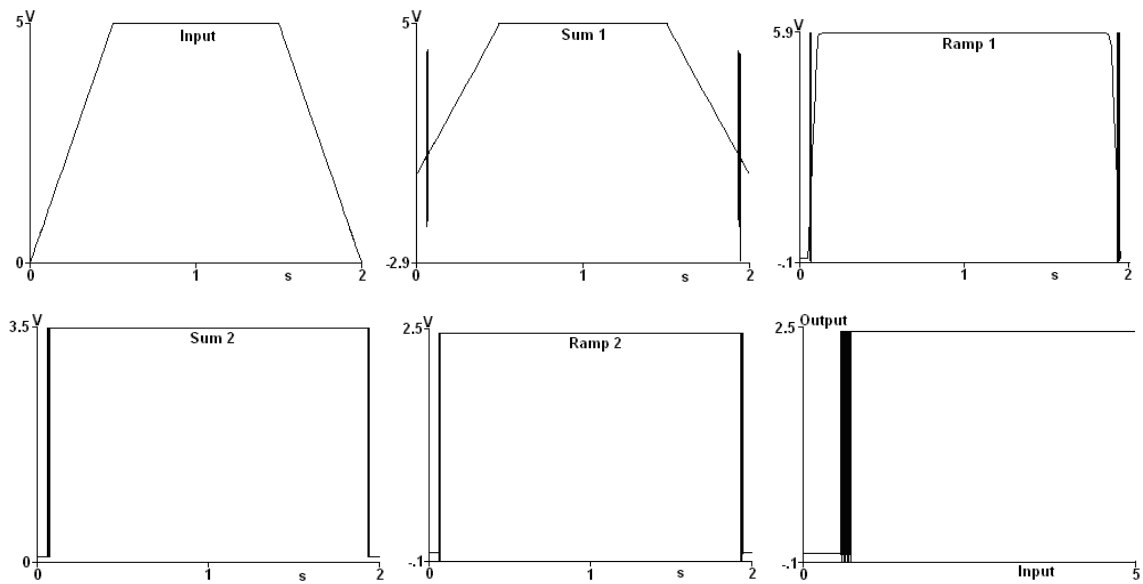


Figura 40. Columna tectal no integradora N1 Rampa, N2 Rampa, entrada romboide, $R1 = 1k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -.5$ $Vr2 = -3$. Retardo 1 y 2 = .5ms.

Repetimos los experimentos con las señales de entrada complejas pero cambiando los parámetros de las neuronas y los resultados se muestran en las figuras 41 y 42.

Columna tectal no integradora N1 Rampa, N2 Rampa, entrada triangular + romboide, $R1 = 1k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -.5$ $Vr2 = -3$. Retardo 1 y 2 = .5ms

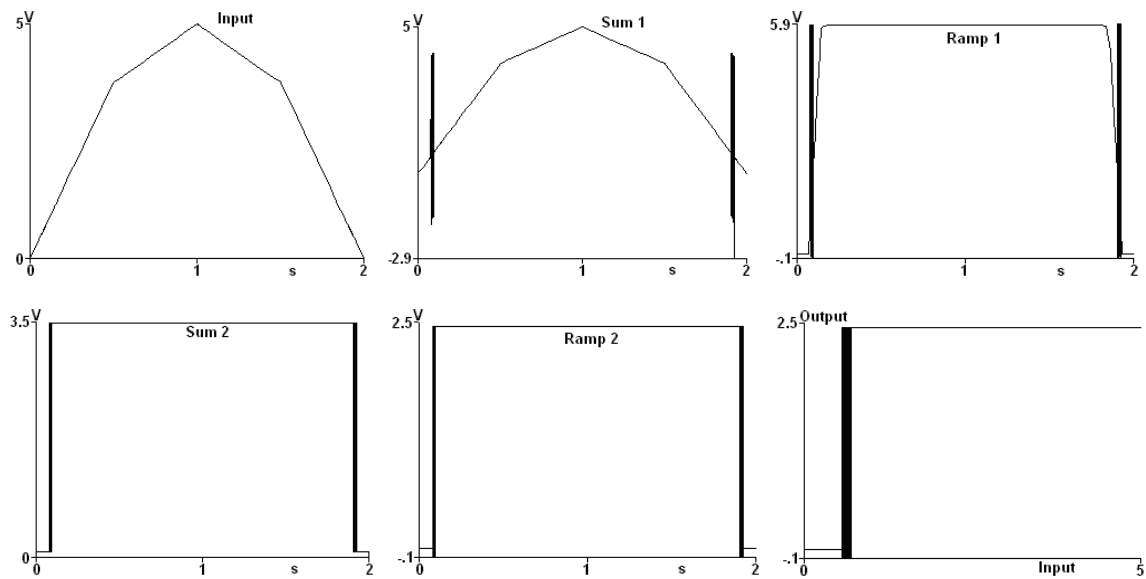


Figura 41. Columna tectal no integradora N1 Rampa, N2 Rampa, entrada triangular + romboide, $R1 = 1k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -.5$ $Vr2 = -3$. Retardo 1 y 2 = .5ms.

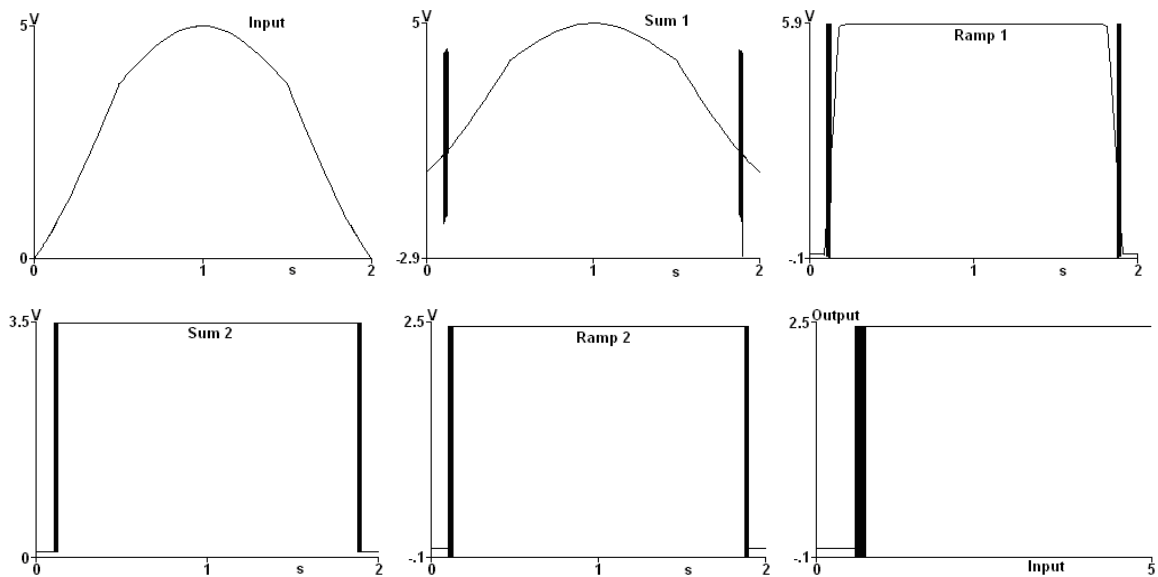


Figura 42. Columna tectal no integradora N1 Rampa, N2 Rampa, entrada senoide + romboide, $R1 = 1k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -.5$ $Vr2 = -3$. Retardo 1 y 2 = .5ms

3.3. Columna tectal con neuronas integradoras y función de activación rampa

El modelo de neurona que vamos a estudiar en esta sección es el de una neurona integradora con función de activación rampa. En la figura 43 se muestra el diagrama de bloques de la neurona.

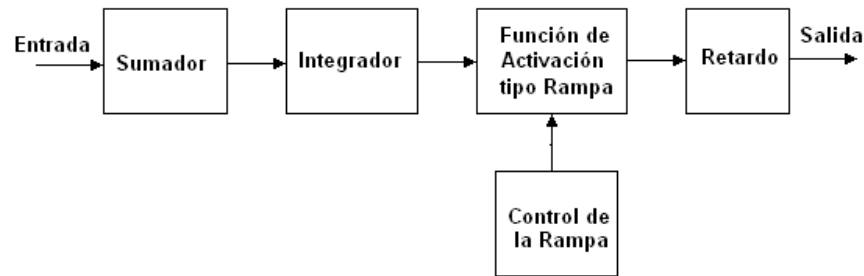


Figura 43. Modelo de neurona no integradora con función de activación rampa y retardo.

La arquitectura propuesta para la columna tectal se muestra en la figura 44.

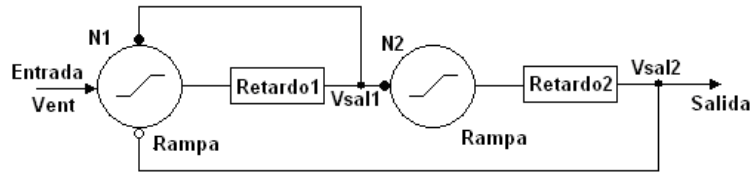


Figura 44. Modelo simplificado de columna tectal.

Donde las entradas son V_{in} las neuronas son N1 y N2 y los retardos son R1 y R2. V_{o1} y V_{o2} son los potenciales de salida de cada neurona. Los modelos de neurona que vamos a estudiar están definidos por sus funciones de activación, que en interés de este trabajo serán rampas. En la figura 45 se muestra el diagrama esquemático de nuestro modelo de columna tectal con Neuronas no integradoras y con funciones de activación para las neuronas N1 y N2 rampas.

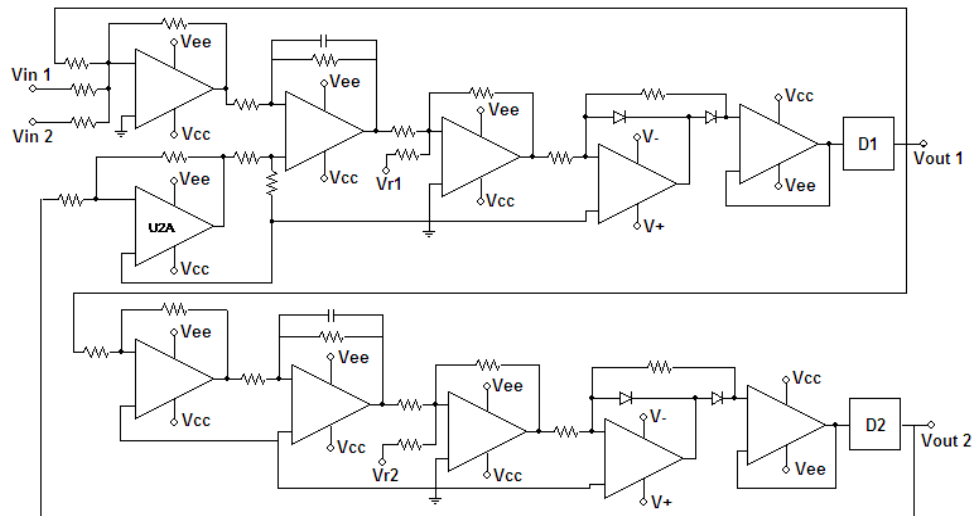


Figura 45. Diagrama esquemático de la columna tectal con neuronas integradoras.

En nuestra primera serie de experimentos empleamos señales simples como la senoide, la triangular y la romboide. Los resultados de nuestros experimentos se muestran en las figuras de la 46 a la 51.

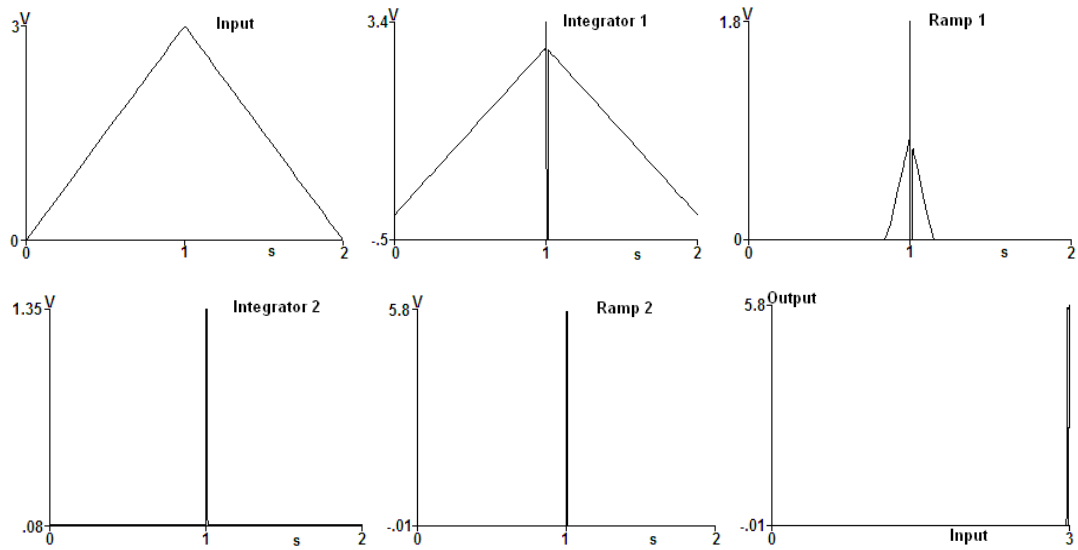


Figura 46. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada triangular, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.52$ $Vr2 = -.2$.
 $R1 = R2 = 5ms$.

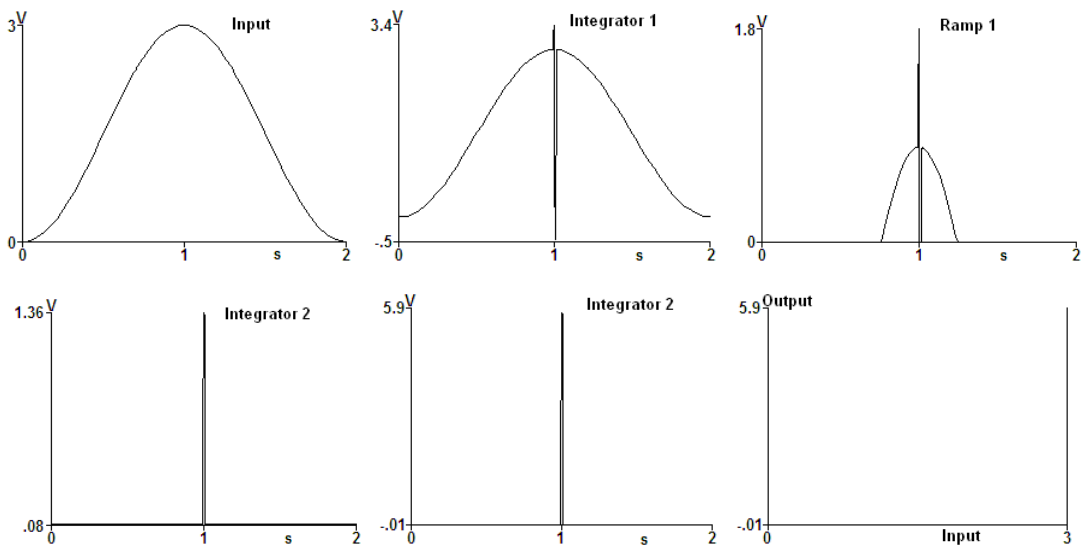
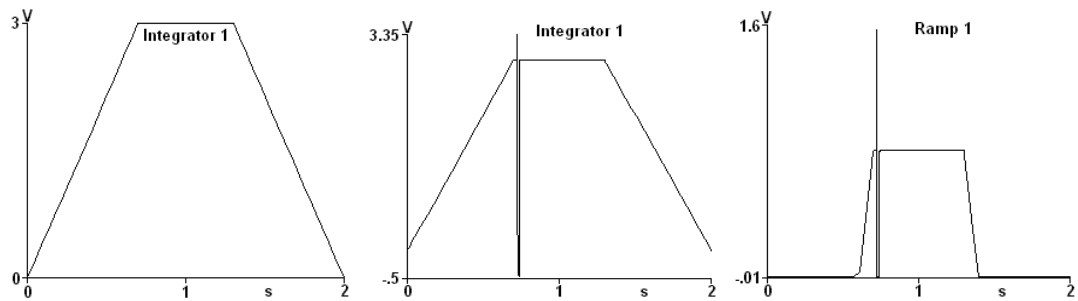


Figura 47. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.545$ $Vr2 = -.2$.
 $R1 = R2 = 5ms$.



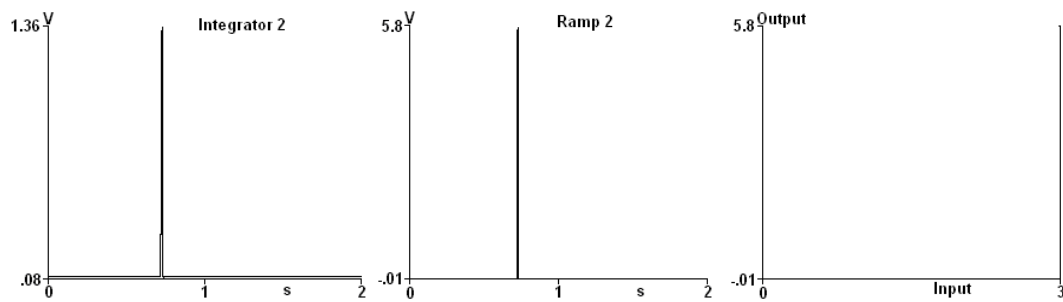


Figura 48. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada romboide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.5458975$, $Vr2 = -.2$. $R1 = R2 = 5ms$.

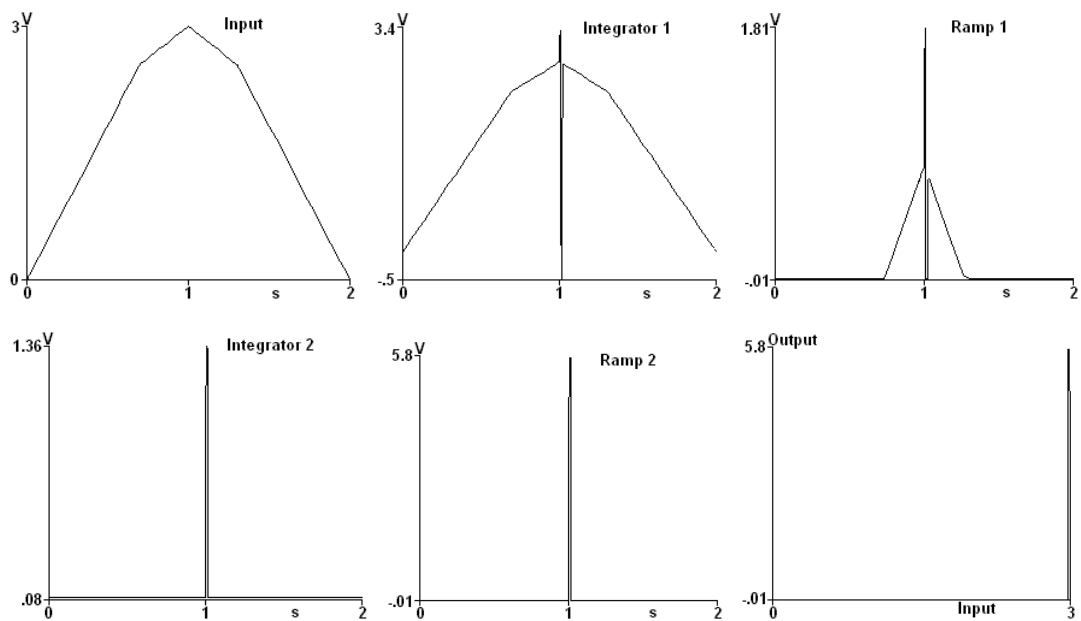
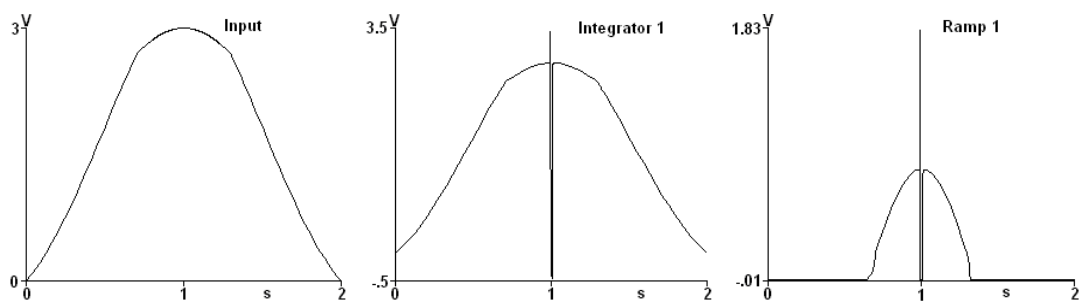


Figura 49. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada romboide + senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = 2.54$ $Vr2 = -.2$. $R1 = R2 = 5ms$.



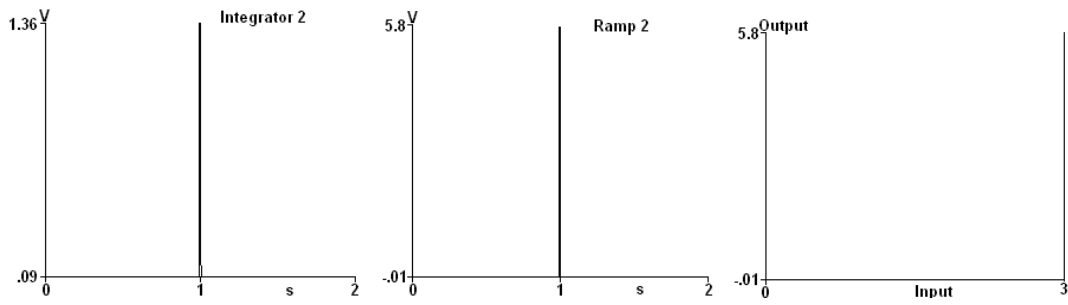


Figura 50. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada romboide + senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.545$ $Vr2 = -.2$.
 $R1 = R2 = 5ms$.

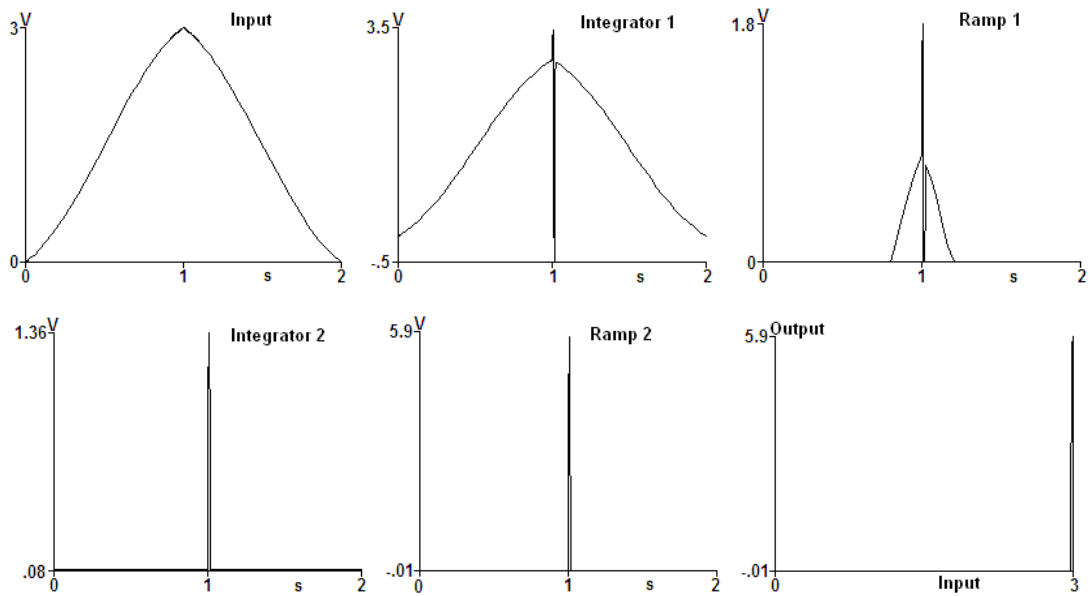


Figura 51. N1 Rampa, N2 Rampa, entrada triangular + senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.54$ $Vr2 = -.2$.
 $R1 = R2 = 5ms$

4. Columna tectal, con dos tipos de neuronas con funciones de activación escalón y sigmoide

4.1. Modelo de neurona

Estudiaremos dos modelos basados en la arquitectura de la columna de tectal, propuesto por Lara, pero usando diferentes tipos de neuronas modificadas por nosotros par incluir algunos hechos físicos de las neuronas biológicas, como la polarización de la membrana, la liberación en el tiempo de neurotransmisores, también retraso en el tiempo para representar el retardo de axónico, así como el retardo en la transmisión entre neuronas debido a neurotransmisores [1]. Nuestros modelos de neurona se presentan en la figura 52.

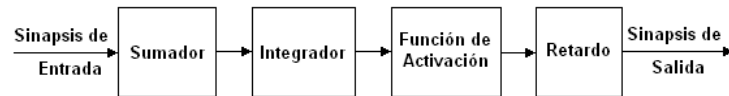


Figura 52. Modelo genérico de la neurona Integradora.

4.2. Columna tectal con neuronas con función de activación escalón y sigmoide

La arquitectura propuesta se muestra en la figura 53.

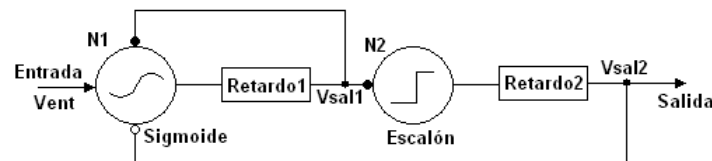


Figura 53. Modelo simplificado de columna tectal.

Donde las entradas son Vent las neuronas son N1 y N2 y los retardos son Retardo1 y Retardo2. Vsal1 y Vsal2 son los potenciales de salida de cada neurona. Los modelos de neurona que vamos a estudiar están definidos por sus funciones de activación, que en interés de este trabajo serán sigmoides y escalón. En la figura 54 se muestra el diagrama esquemático de nuestro modelo de columna tectal con funciones de activación para la N1 sigmoide y para la N2 escalón.

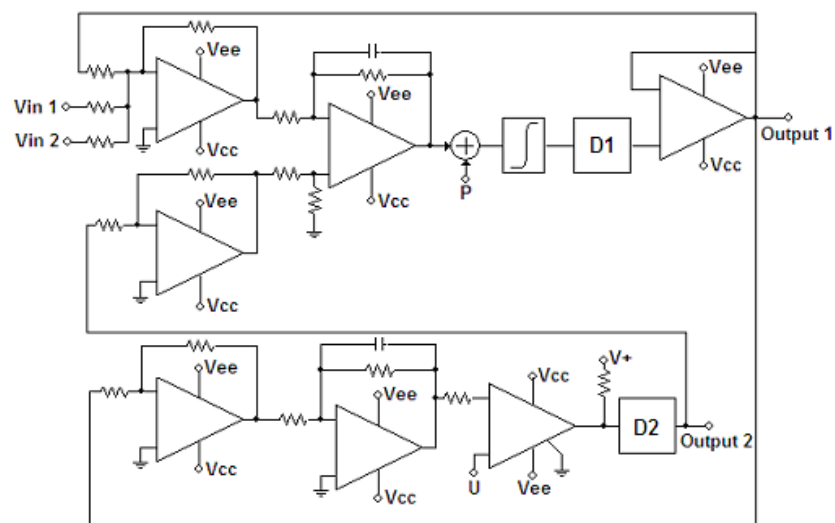


Figura 54. Diagrama esquemático de la columna tectal con neuronas con función de activación escalón y sigmoide.

El diagrama esquemático tiene representados en formas de bloques tanto las unidades de retardo como la función de activación sigmoide. En las figura 55 y 56 se presentan los diagramas de esquemáticos de los circuitos contenidos en los bloques. En la figura 55 se presenta el diagrama esquemático de la función de activación sigmoide.

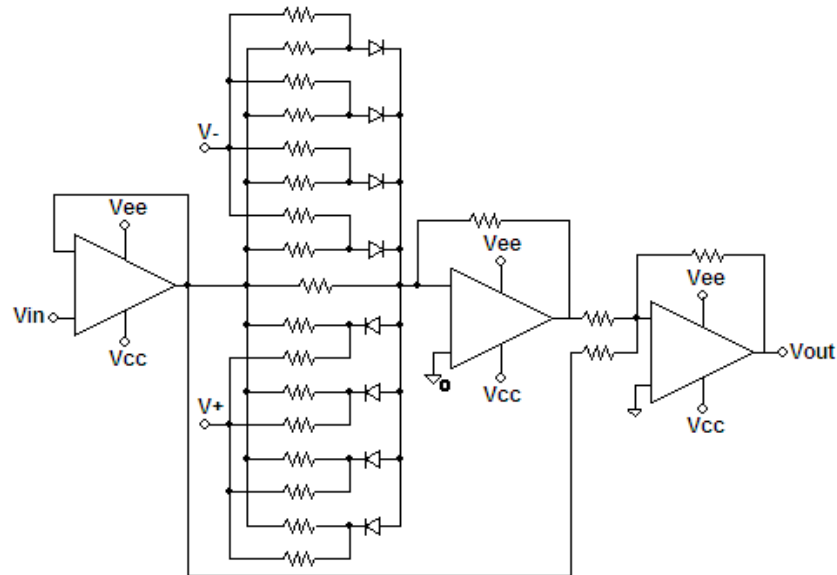


Figura 55. Diagrama esquemático de la función de activación sigmoide.

En la figura 56 se muestra el diagrama esquemático de la unidad de retardo.

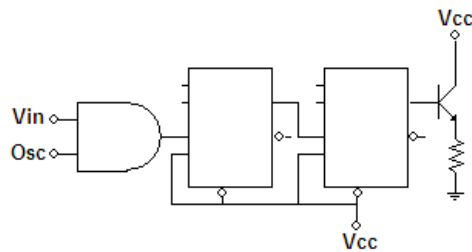


Figura 56. Diagrama esquemático de la unidad de retardo.

4.2. Resultados

De todos los posibles casos, y por razones de espacio, elegimos un caso significativo por la gran selectividad que implica. Los resultados obtenidos para este primer modelo de columna tectal se muestran en las gráficas de las figuras 57, 58, y 59.

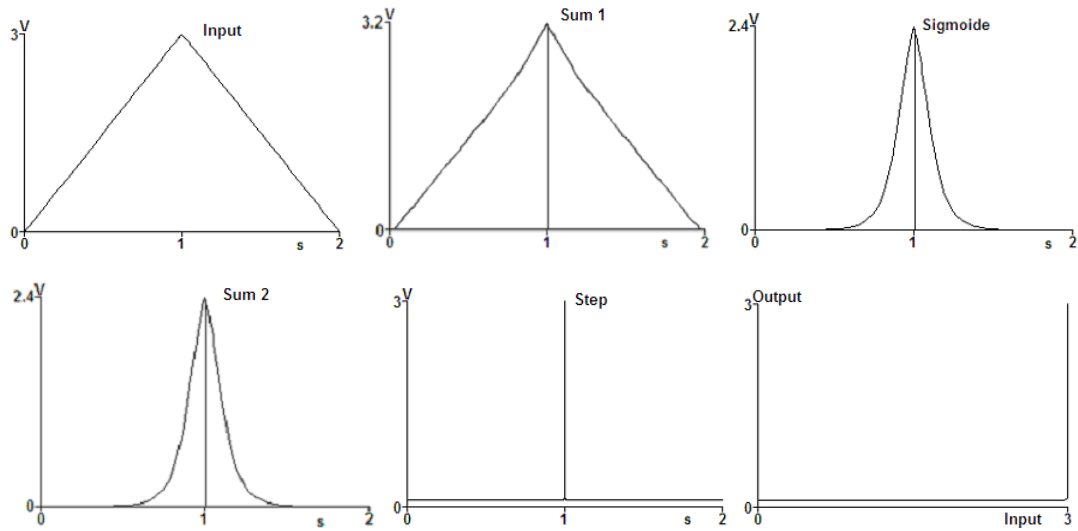


Figura 57. N1 sigmoide N2 no integradora. Entrada triangular. $R1 = 0ms$, $R2 = 5ms$, $U = 2.4$, $P = -1.334$.

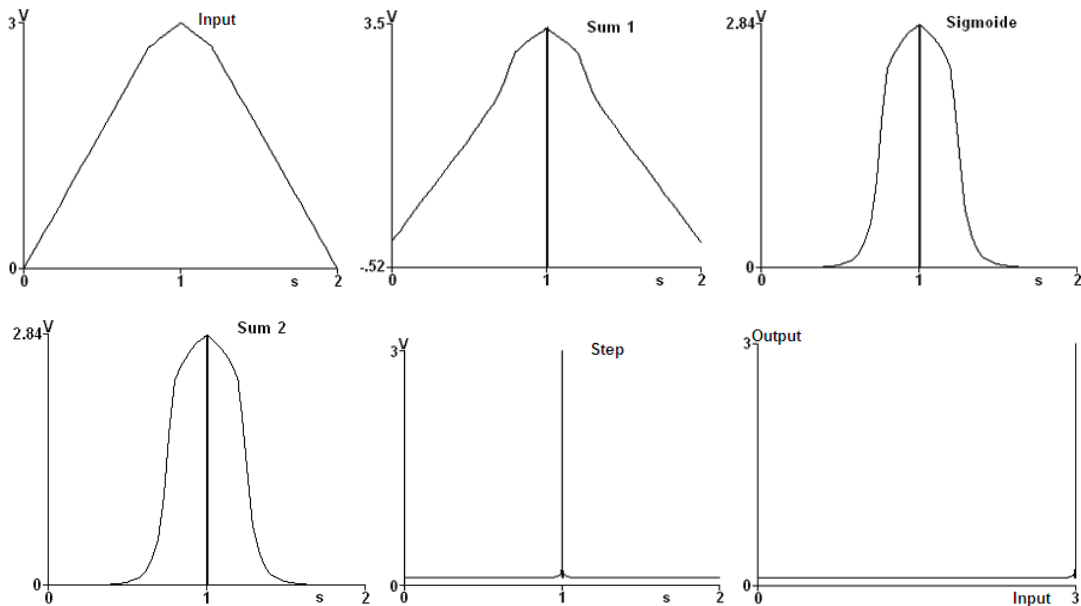


Figura 58. N1 sigmoide N2 no integradora. Entrada triangular + romboide. $R1 = 0$, $R2 = 5ms$, $U = 2.83$, $P = -1.23$.

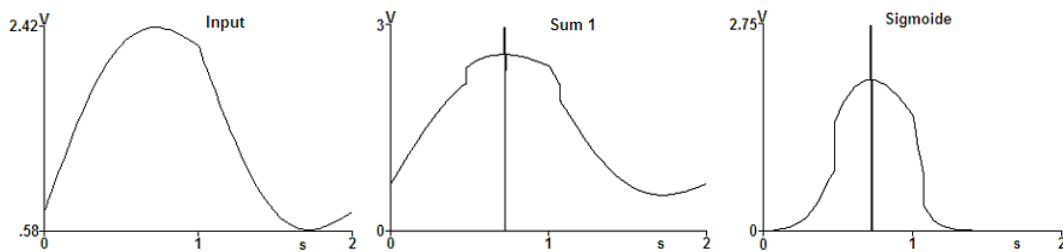




Figura 59. N1 sigmoide N2 no integradora. Entrada triangular + senoide. $R1 = 0$, $R2 = 5ms$, $U = 2.32$, $P = .8898$.

4.3. Columna tectal con neuronas con función de activación sigmoide y escalón

La arquitectura propuesta se muestra en la figura 60.

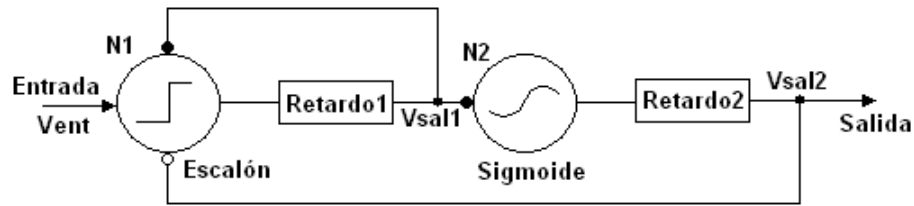


Figura 60. Modelo simplificado de columna tectal.

Donde las entradas son Vent las neuronas son N1 y N2 y los retardos son Retardo1 y Retardo2. Vsal1 y Vsal2 son los potenciales de salida de cada neurona. Los modelos de neurona que vamos a estudiar están definidos por sus funciones de activación, que en interés de este trabajo serán sigmoides y escalón. En la figura 61 se muestra el diagrama esquemático de nuestro modelo de columna tectal con funciones de activación para la N1 Escalón y para la N2 sigmoide.

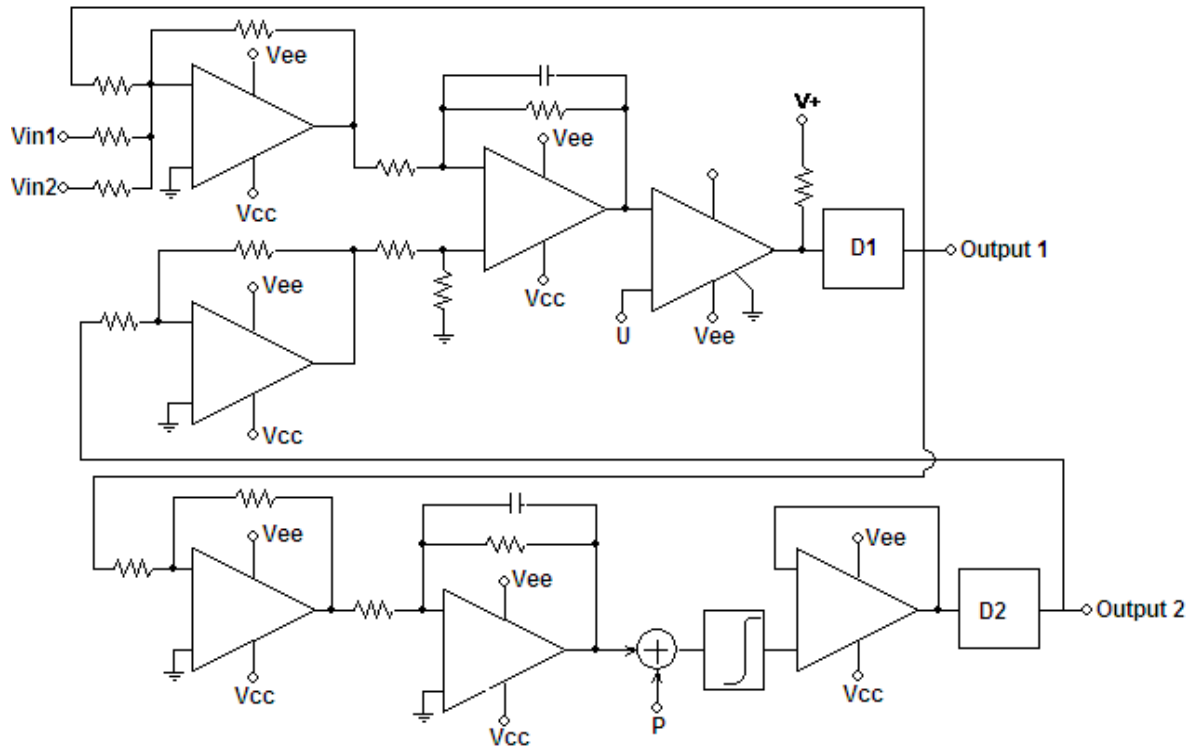


Figura 61. Diagrama esquemático de la columna tectal con N1 con función de activación escalón y N2 con función de activación sigmoide.

El diagrama esquemático tiene representados en formas de bloques tanto las unidades de retardo como la función de activación sigmoide. En las figura 62 y 63 se presentan los diagramas de esquemáticos de los circuitos contenidos en los bloques.

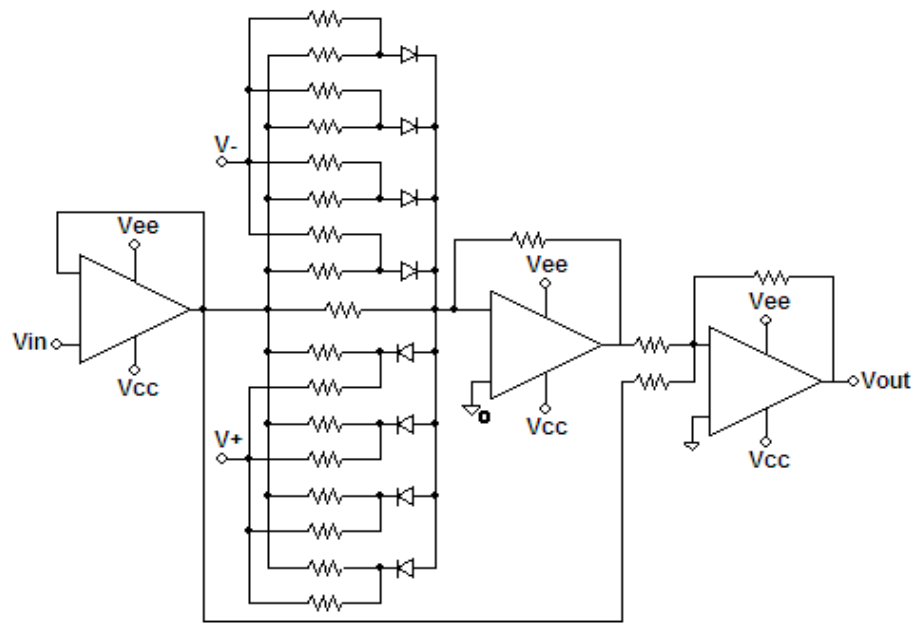


Figura 62. Diagrama esquemático de la función de activación sigmoide.

En la figura 63 se muestra el diagrama esquemático de la unidad de retardo.

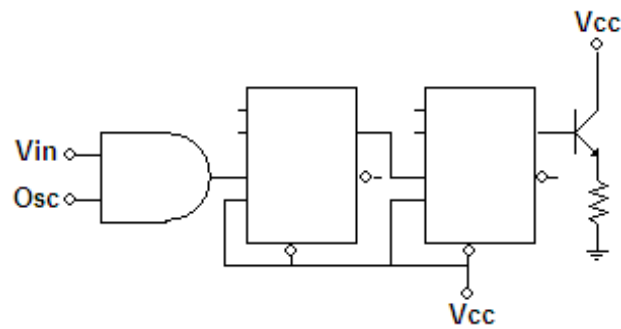


Figura 63. Diagrama esquemático de la unidad de retardo.

4.4. Resultados

Como en el caso anterior de todos los posibles casos, y por razones de espacio, elegimos un caso significativo por la gran selectividad que implica. Los resultados obtenidos para este primer modelo de columna tectal se muestran en las figuras de la 64 a la 70.

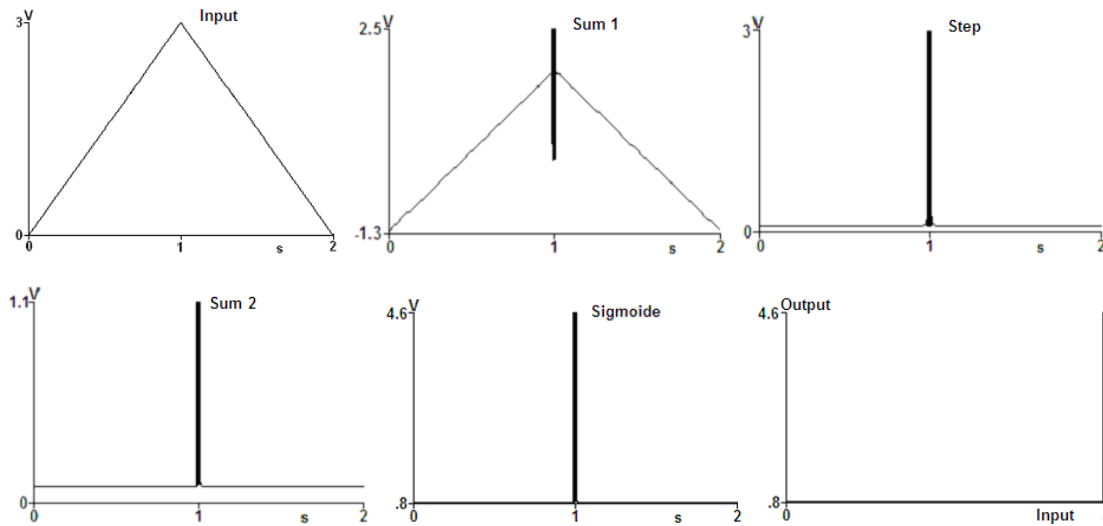


Figura 64. N1 escalón N2 Sigmoide. Señal triangular, $R1 = .05ms$, $R2 = 2ms$. $U1 = 0$, $U2 = 5$, $G = 5$, $rf = 2V$

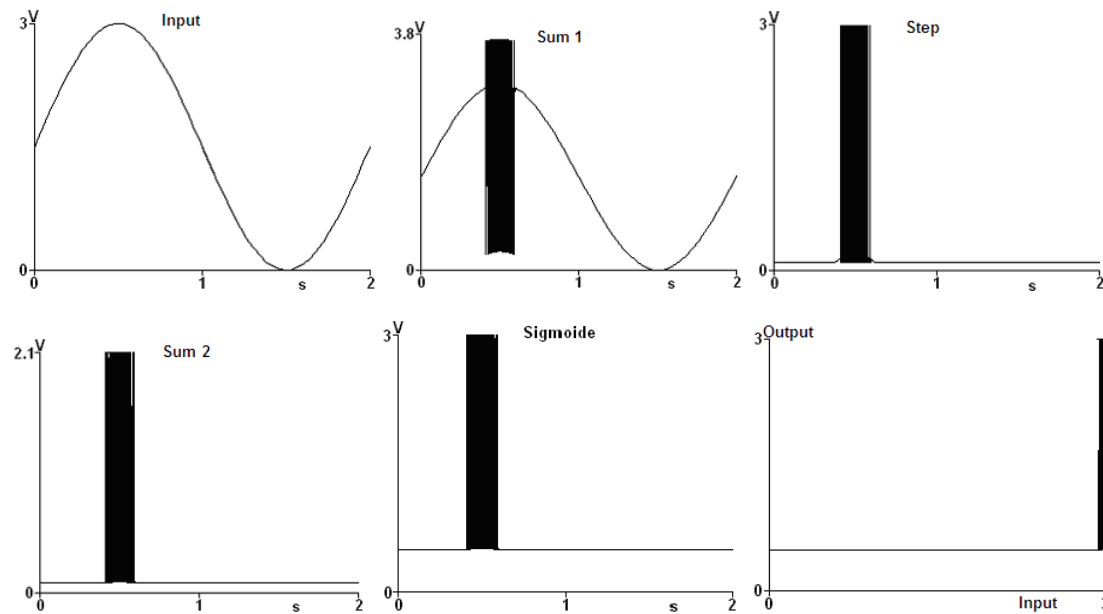


Figura 65. N1 escalón N2 Sigmoide. Senoide, $R1 = .5ms$, $R2 = 2ms$. $U1 = 0$, $U2 = 3$, $G = 3$, $rf = .8V$. $Uesc = 2.5$

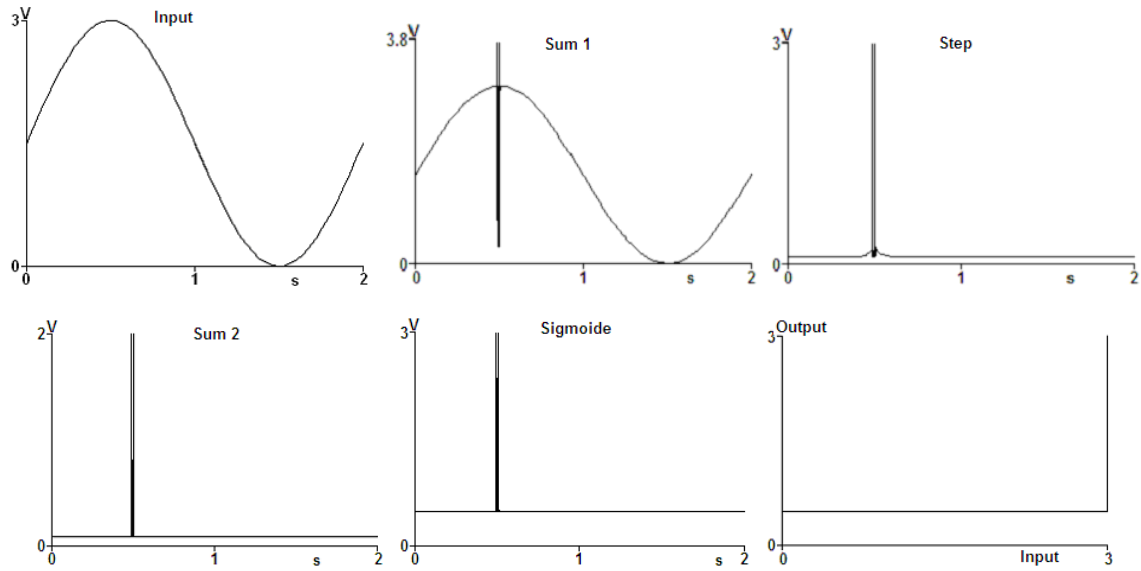


Figura 66. N1 escalón N2 Sigmoide. Señal senoide, $R1 = .5ms$, $R2 = 2ms$. $U1 = 0$, $U2 = 3$, $G = 3$, $rf = .8V$.
 $Uesc = 2.998$

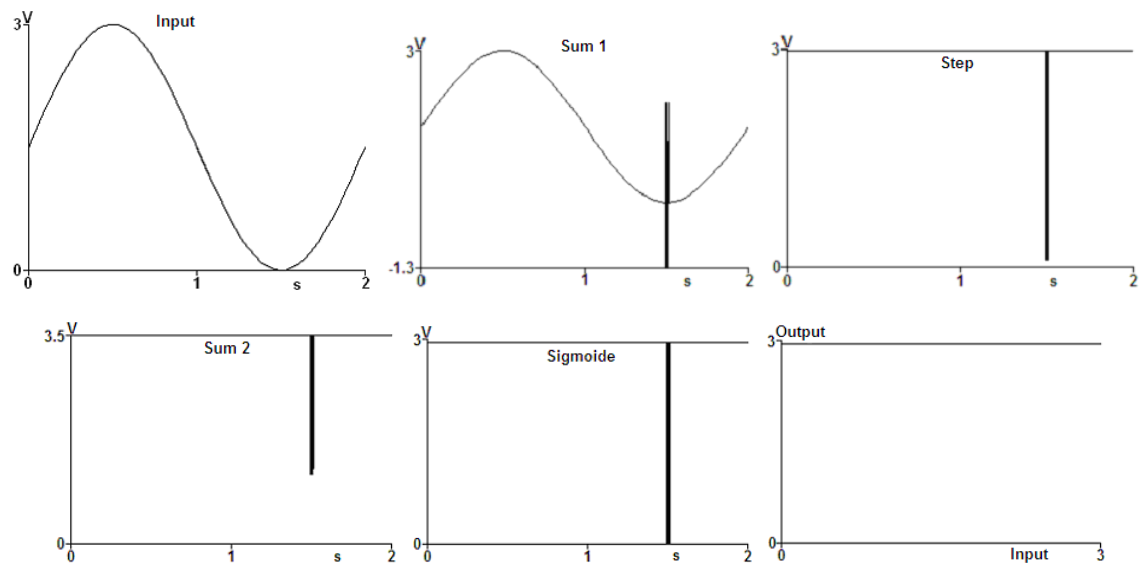
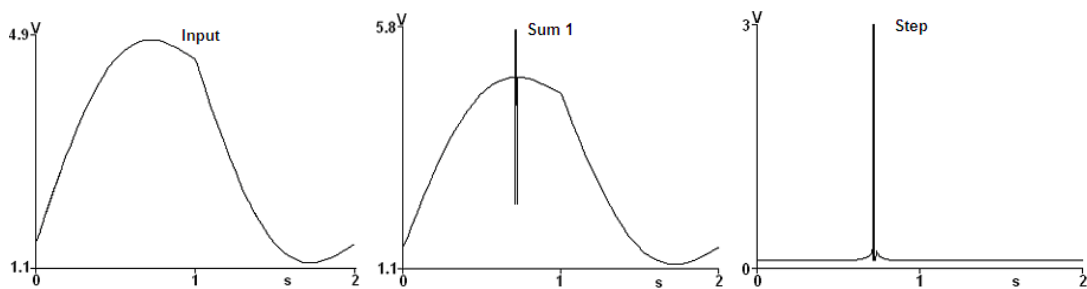


Figura 67. N1 escalón N2 Sigmoide. Señal senoide, $R1 = .5ms$, $R2 = 2ms$. $U1 = 0$, $U2 = 3$, $G = 3$, $rf = -1V$.
 $Uesc = .004V$



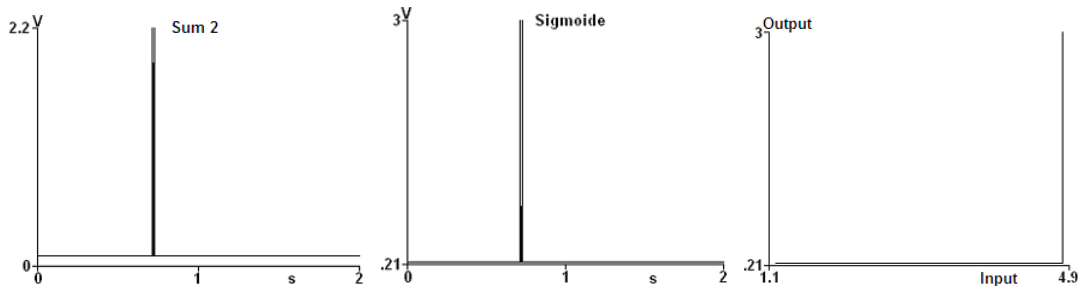


Figura 68. N1 escalón N2 Sigmoide. Señal triangular + senoide, $R1 = .5ms$, $R2 = 2ms$. $U1 = 0$, $U2 = 3$, $G = 3$, $rf = .8V$. $Uesc = 4.8151$

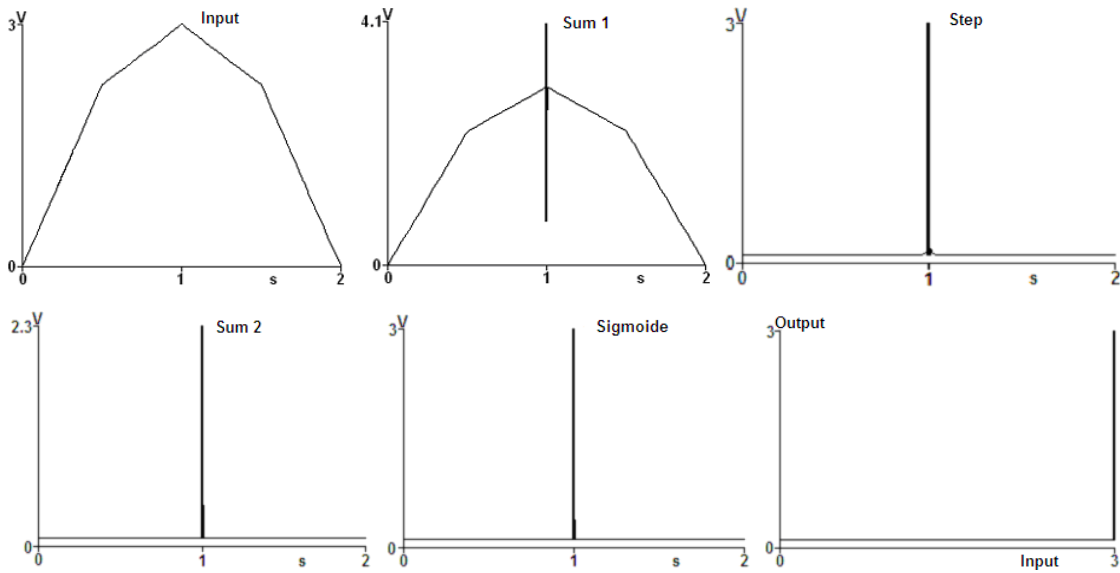


Figura 69. N1 escalón N2 Sigmoide. Señal triangular + romboide, $R1 = .5ms$, $R2 = 2ms$. $U1 = 0$, $U2 = 3$, $G = 3$, $rf = .6V$. $Uesc = 2.998$.

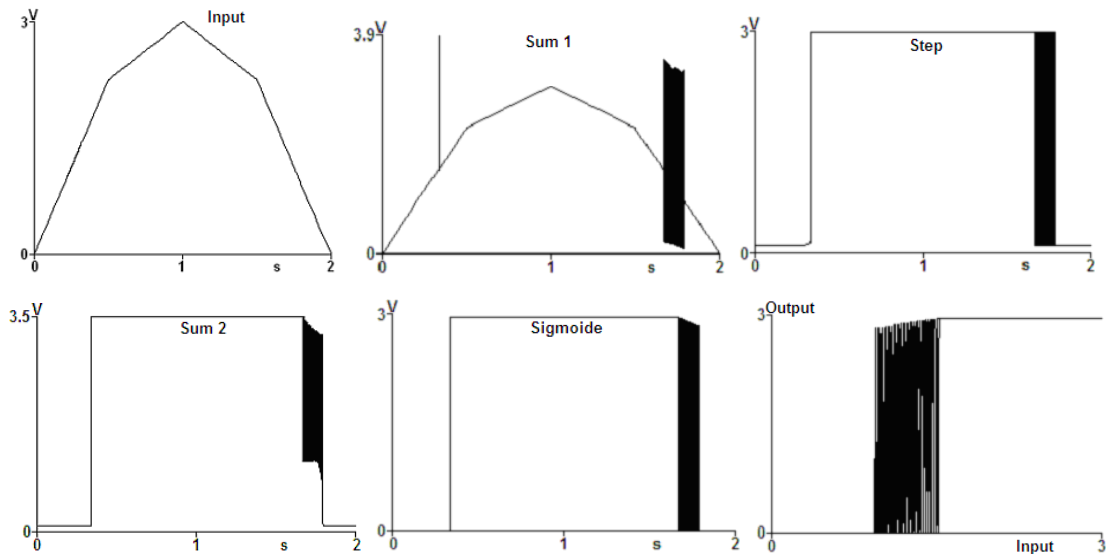


Figura 70. N1 escalón N2 Sigmoide Señal triangular + romboide, $R1 = .5ms$, $R2 = 2ms$. $U1 = 0$, $U2 = 3$, $G = 3$, $rf = -1V$. $Uesc = 1.5$

5. Estudio comparativo de procesos evocados en modelos de columna tectal

5.1. Modelo de neurona

Estudiaremos dos modelos basados en la arquitectura de la columna de tectal, propuesto por Lara, pero usando diferentes tipos de neuronas modificadas por nosotros par incluir algunos hechos físicos de las neuronas biológicas, como la polarización de la membrana, la liberación en el tiempo de neurotransmisores, también retraso en el tiempo para representar el retardo de axónico, así como el retardo en la transmisión entre neuronas debido a neurotransmisores [1]. Nuestros modelos de neurona se presentan en la figura 71.

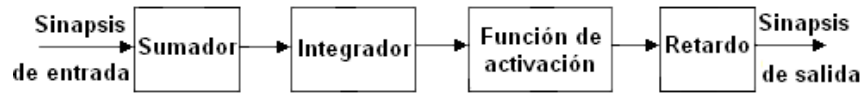


Figura 71. Modelo de Neurona.

5.2. Columna tectal con dos neuronas con función de activación rampa

La arquitectura propuesta se muestra en la figura 72.

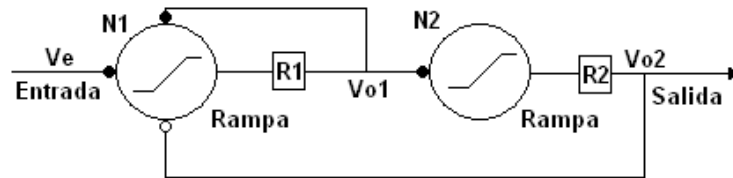


Figura 72. Modelo simplificado de columna tectal.

Donde las entradas son V_e las neuronas son $N1$ y $N2$ y los retardos son $R1$ y $R2$. V_{o1} y V_{o2} son los potenciales de salida de cada neurona. Los modelos de neurona que vamos a estudiar están definidos por sus funciones de activación, que en interés de este trabajo serán sigmoide y rampa. En la figura 73 se muestra el diagrama esquemático de nuestro modelo de neurona con función de activación rampa.

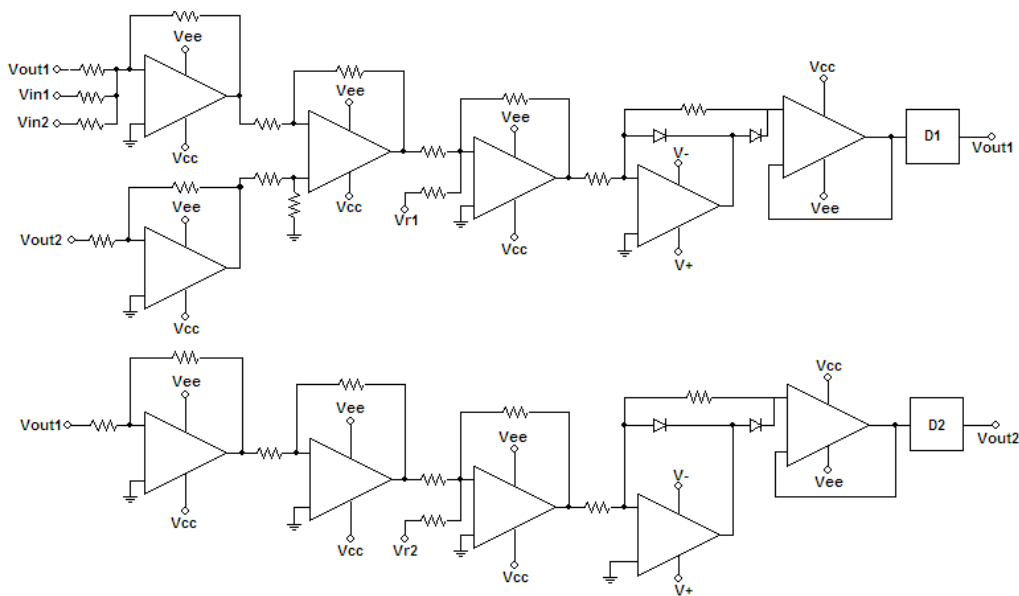


Figura 73. Diagrama esquemático de la columna tectal con neuronas con función de activación rampa.

Nuestro circuito de retardo de la señal es fundamental en los procesos que describiremos y nuestro circuito se muestra en la figura 74.

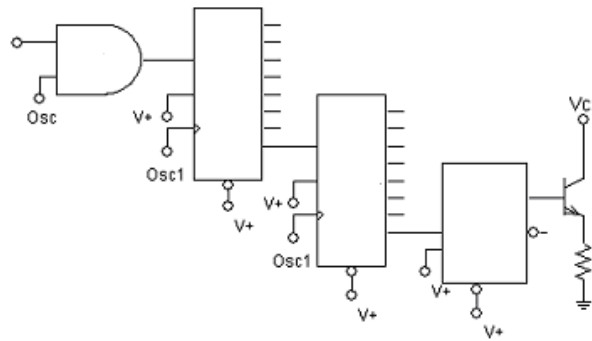


Figura 74. Circuito de retardo axónico.

Para este modelo de columna de tectal encontramos procesos de evocación como los que mostramos en las siguientes figuras, en que las cuales se presenta el plano fase de la salida de la columna tectal.

En nuestra primera serie de experimentos se emplearon como señales de entradas señales simples como la triangular, la senoide y la romboide, los resultados de estos experimentos se muestran en las figuras 75, 76 y 77.

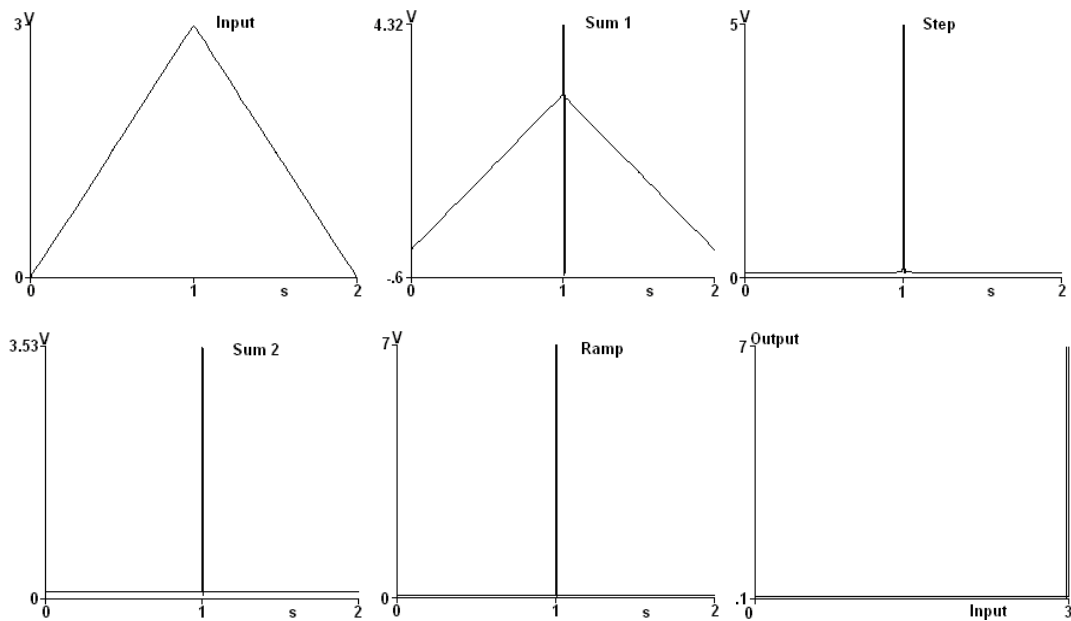
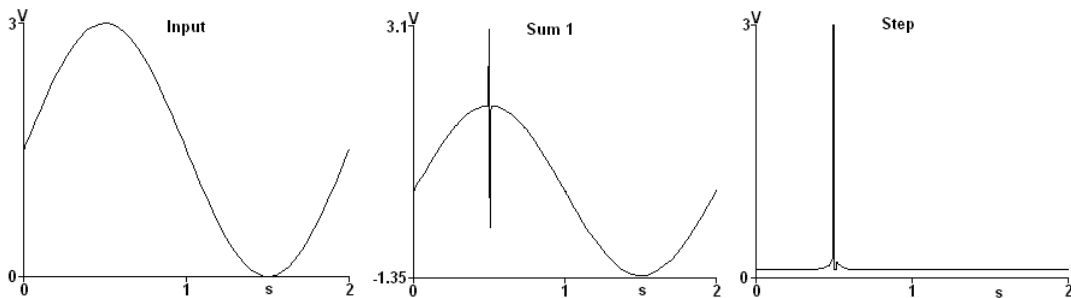


Figura 75. N1 no rampa N2 rampa. Señal triangular, R1 ms, R2 5 ms. Pendiente = 2. $U = 2.98$



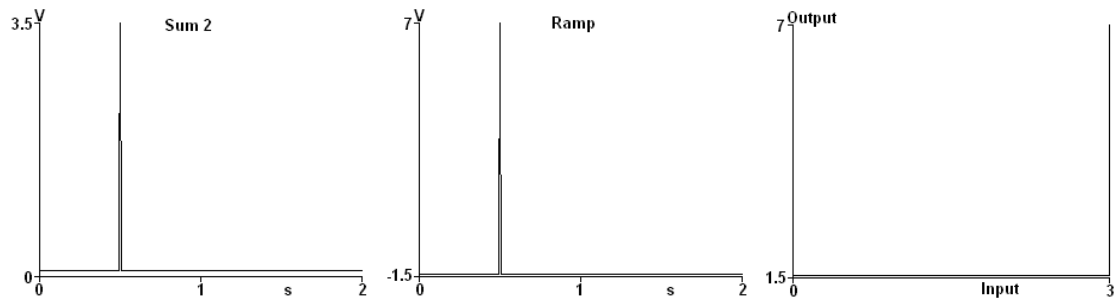


Figura 76. N1 no rampa N2 rampa. Señal senoide, R1 ms, R2 5 ms. Pendiente = 2. $U = 1.696$.

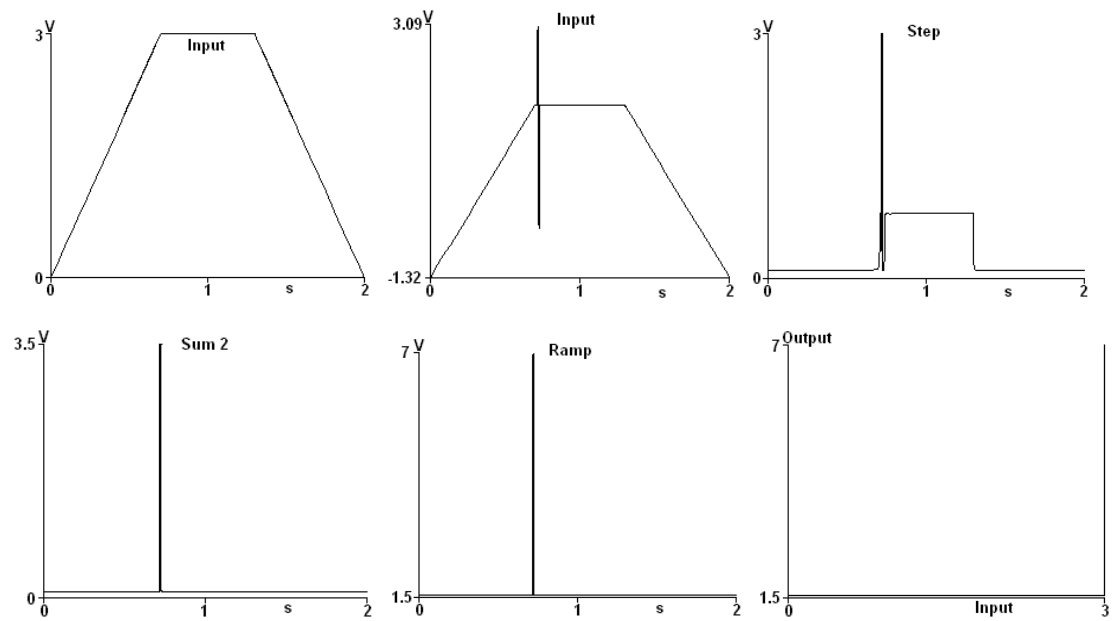
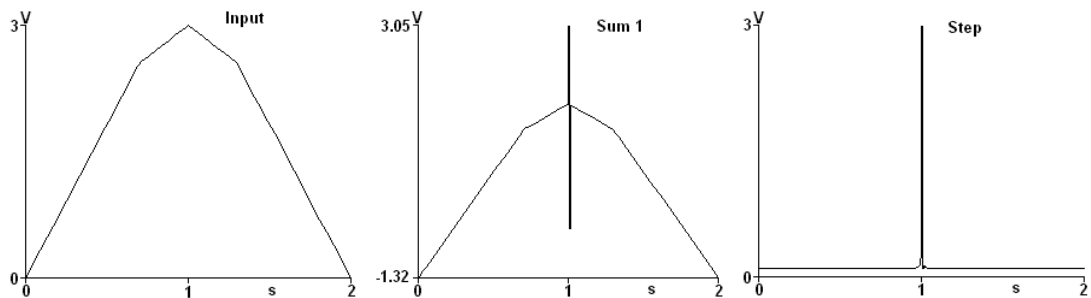


Figura 77. N1 no rampa N2 rampa. Señal romboide, R1 ms, R2 5 ms. Pendiente = 2. $U = 1.696442625$.

En la siguiente serie de experimentos usamos como señales de entradas señales más complejas que formamos con la suma de dos de las señales simples del experimento anterior. Los resultados de esta serie de experimentos se muestran en las figuras 78 y 79.



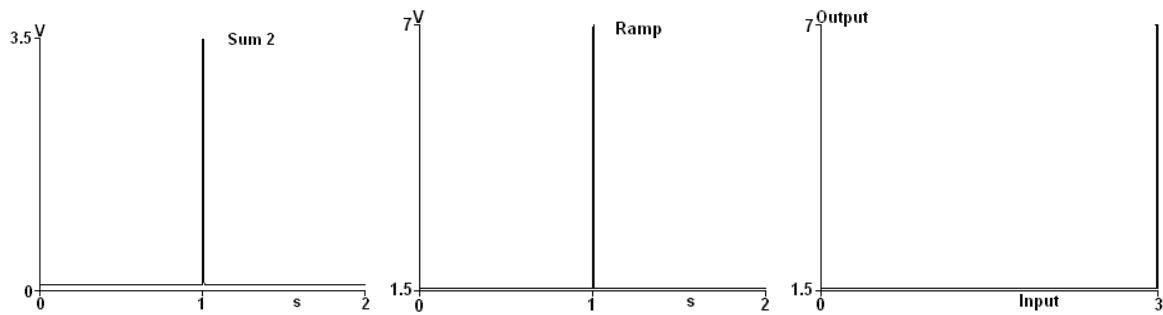


Figura 78. N1 no rampa N2 rampa. Señal triangular + romboide, R1 ms, R2 5 ms. Pendiente = 2. $U = 1.69$

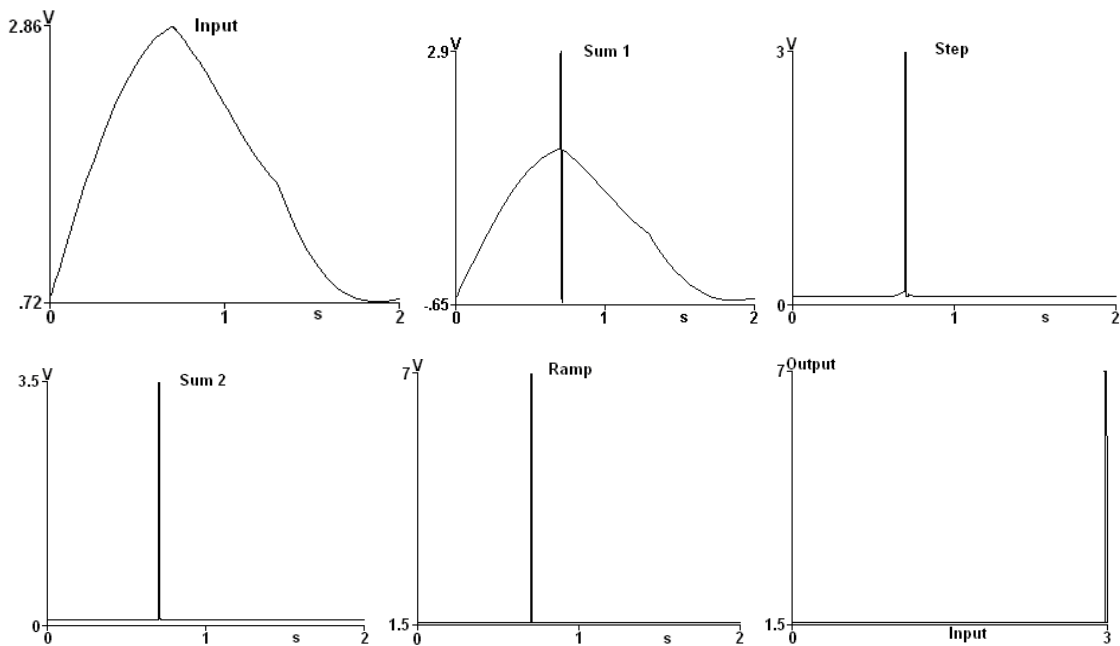


Figura 79. N1 no rampa N2 rampa. Señal senoide + romboide, R1 ms, R2 5 ms. Pendiente = 2. $U = 1.55$

Como se ve de los anteriores resultados en todos los casos el plano fase es el mismo, sin importar los parámetros de la columna tectal, y como este se presentan un continuo de casos en los cuales el efecto de evocación se da.

5.2. Columna tectal con dos neuronas integradoras con función de activación rampa

Vamos a estudiar el mismo problema pero ahora con una columna tectal que está conformada por neuronas integradoras con función de activación tipo rampa y veremos los resultados obtenidos. Para este problema presentaremos también un solo caso en el cual el proceso de evocación se da, aunque también se dan muchos otros que por espacio no podemos presentar. En la figura 80 se presenta el diagrama esquemático de la columna tectal con neuronas integradoras.

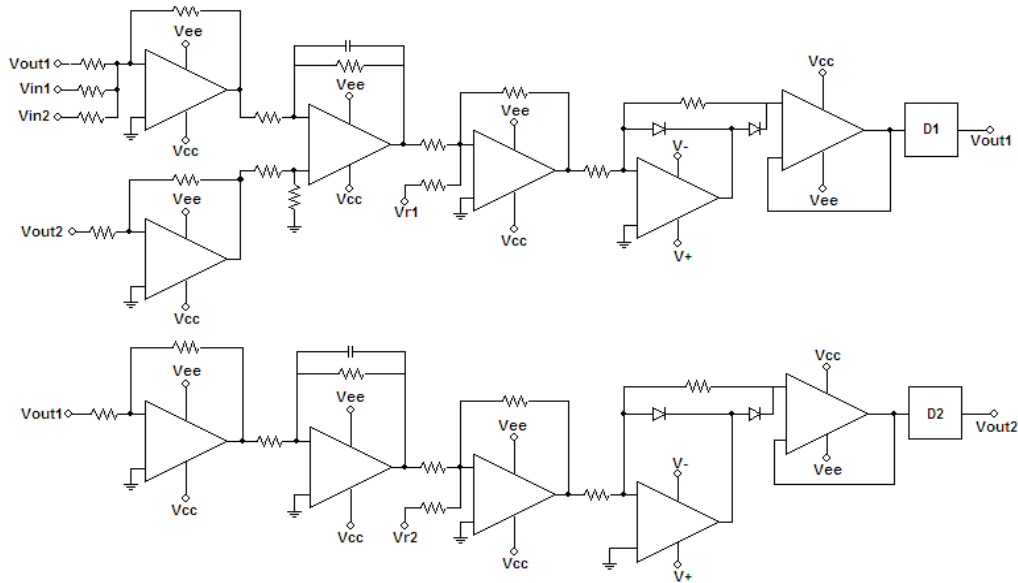


Figura 80. Diagrama esquemático de la columna tectal con neuronas integradoras y función de activación rampa.

Los resultados obtenidos son los de las figuras 81 a 85.

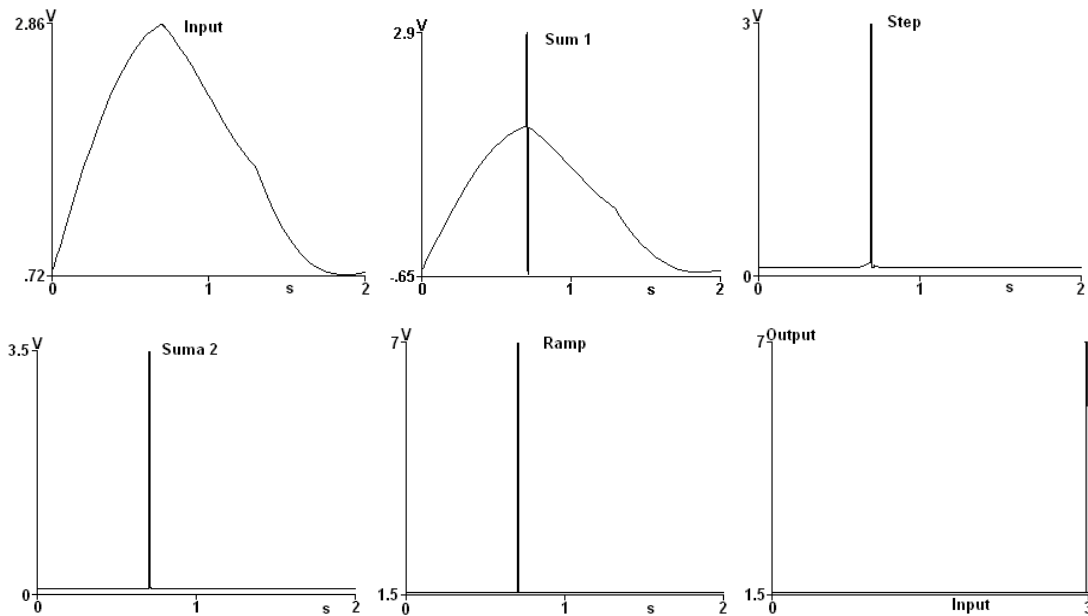


Figura 81. N1 rampa N2 rampa. Señal senoide + romboide, R1 ms, R2 5 ms. Pendiente = 2. $U = 1.55$.

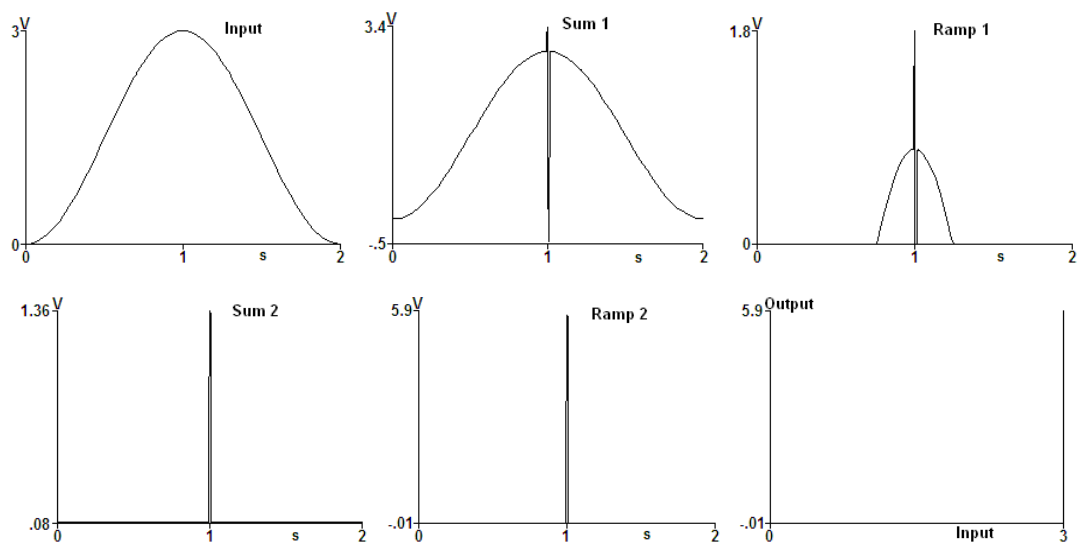


Figura 82. N1 rampa N2 rampa. Entrada senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.545$ $Vr2 = -.2$.
 $R1 = R2 = 5ms$

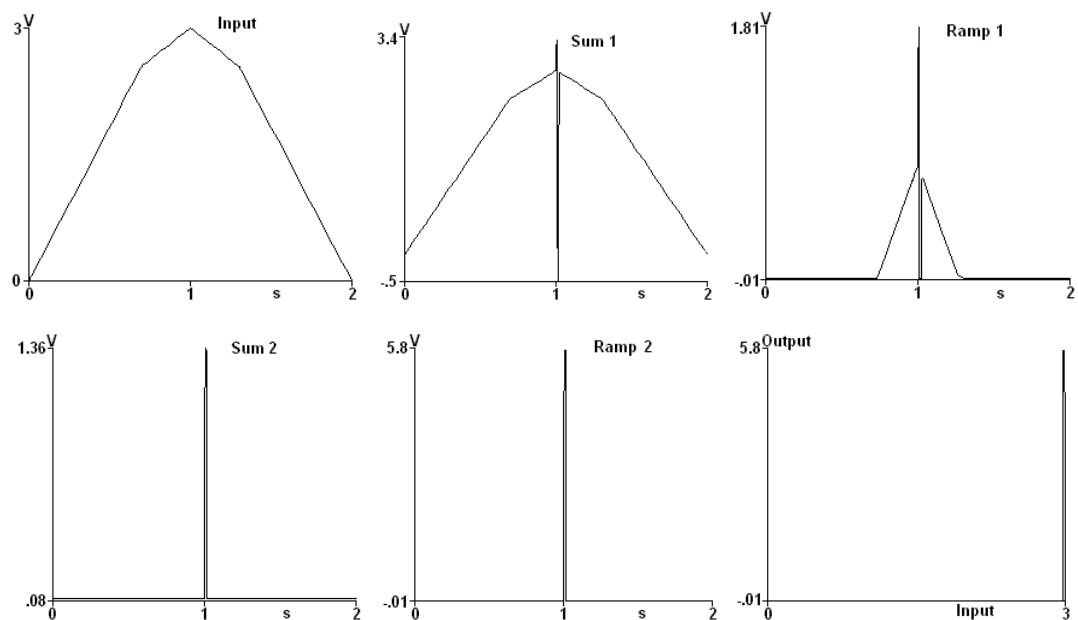
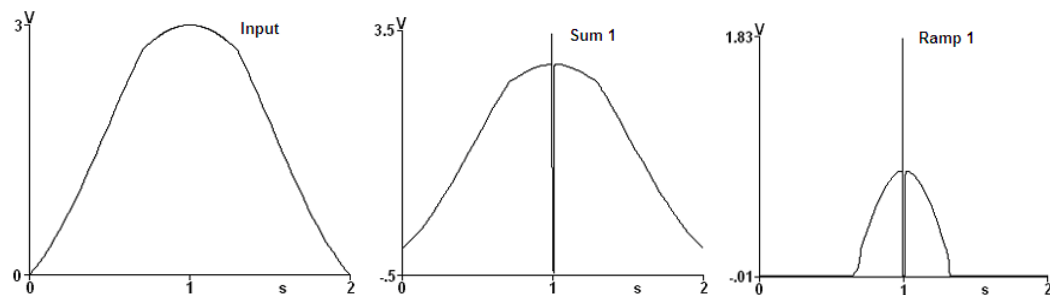


Figura 83. N1 rampa N2 rampa. Entrada romboide + senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = 2.54$ $Vr2 = -.2$.
 $R1 = R2 = 5ms$



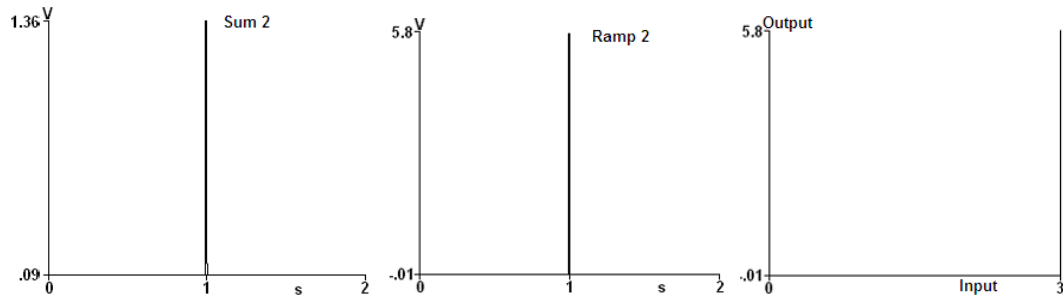


Figura 84. N1 rampa N2 rampa. Entrada romboide + senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.545$ $Vr2 = -.2$. $R1 = R2 = 5ms$

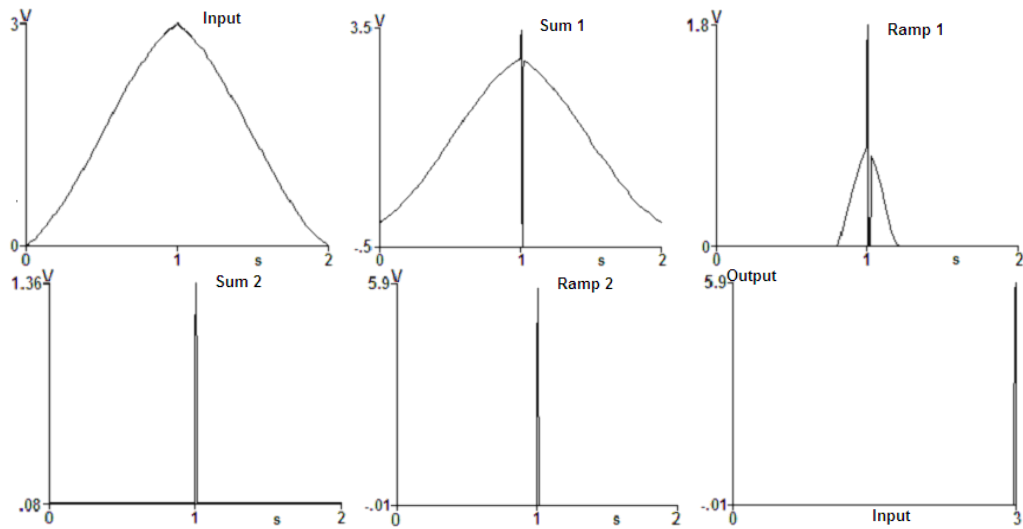


Figura 85. N1 rampa N2 rampa. Entrada triangular + senoide, $R1 = 5k$, $R2 = 2k$. $Vr1 = -2.54$ $Vr2 = -.2$. $R1 = R2 = 5ms$

Es claro que en los dos modelos de columna tectal integradoras o no integradoras el proceso de evocación se da, sin importar el tipo de neurona y el tipo de señal de entrada.

5.3. Columna tectal con dos neuronas con función de activación sigmoide

Nuestro siguiente paso será analizar lo mismo pero con columnas tectales con neuronas no integradoras pero con función de activación tipo sigmoide. En este caso la función de activación está aproximada por una función a trazos desarrollada por medio de diodos. El diagrama esquemático de la neurona se muestra en la figura 86. Nuestra función de activación está representada en este caso por otro bloque, para simplificar el diagrama y en la figura 87 se mostrará el contenido del bloque.

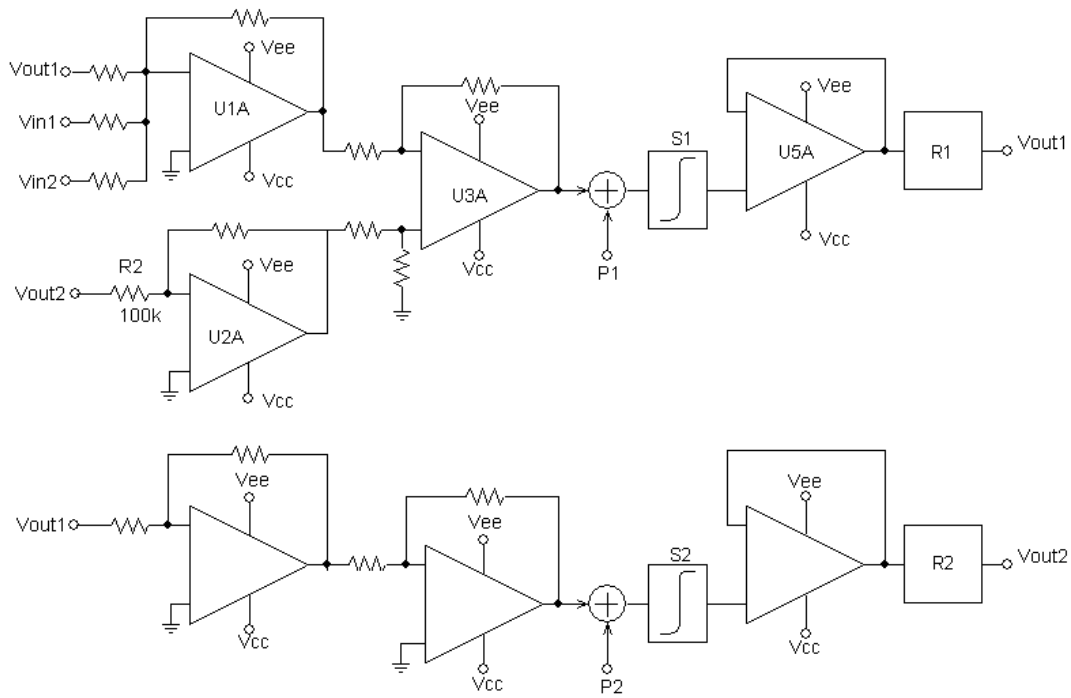


Figura 86. Diagrama esquemático de la columna tectal con neuronas con función de activación sigmoide.

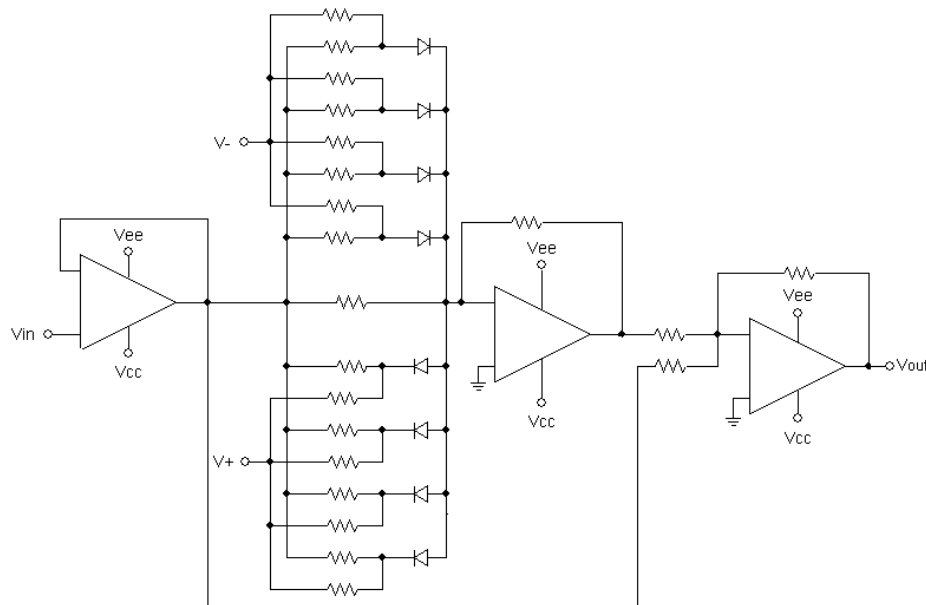


Figura 87. Función de activación sigmoide

Los resultados que se obtuvieron con esta columna tectal son los que se muestran en las siguientes figuras 88 a la 92.

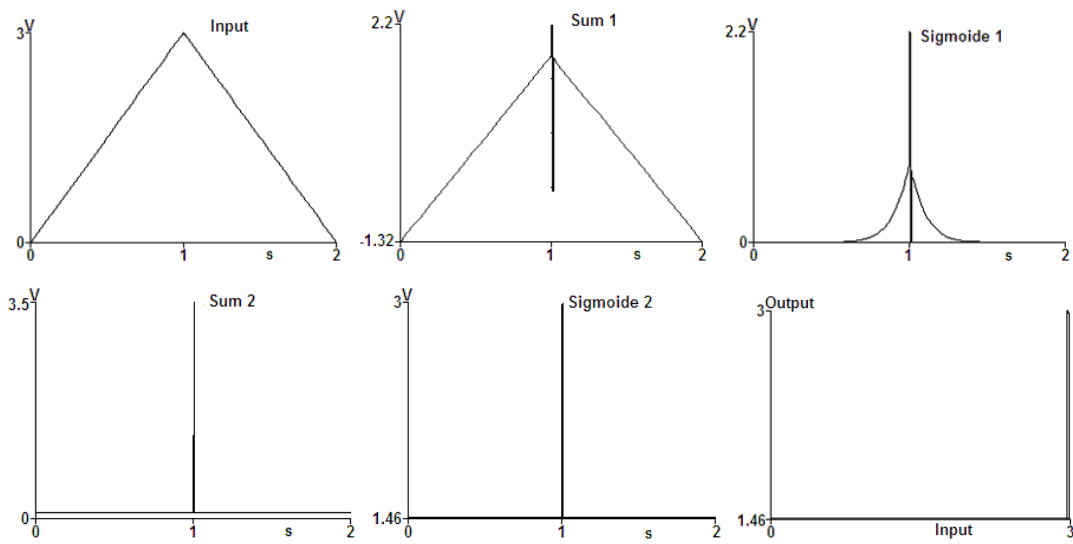


Figura 88. N1 Sigmoide N2 Sigmoide. Entrada triangular. $U1 = U2 = 3$, $G3 = G2 = 3$, $P1 = .2$, $P2 = .4739$. $ret1 = 5ms$, $ret2 = 3$.

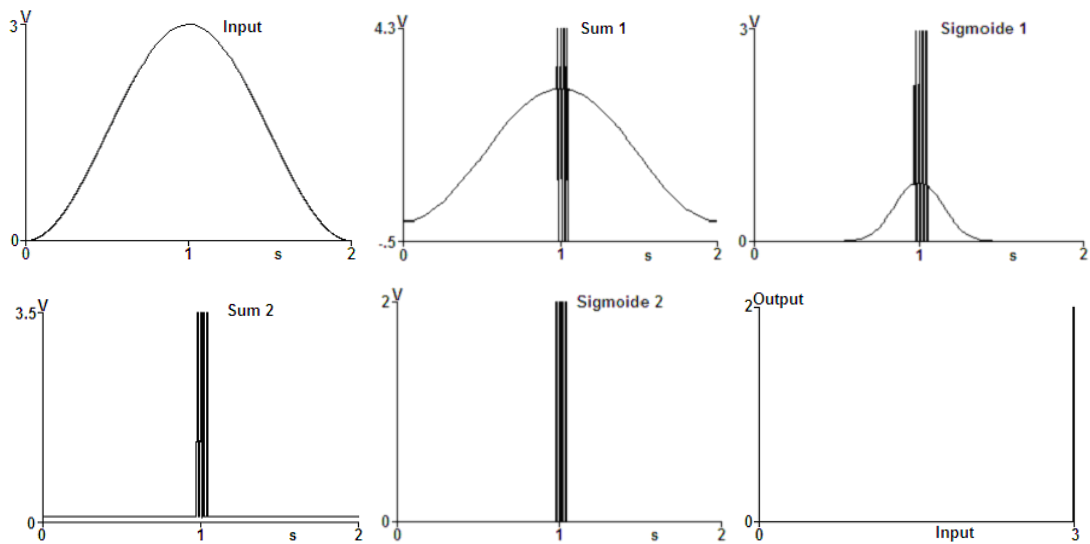
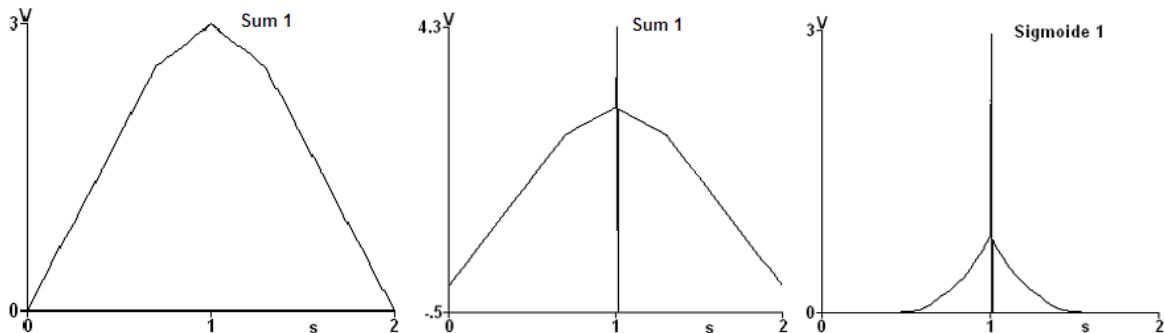


Figura 89. N1 Sigmoide N2 Sigmoide. Entrada senoide. $U1 = U2 = 3$, $G3 = G2 = 3$, $P1 = -1.69025$, $P2 = -1.82$, $ret1 = 5ms$, $ret2 = 3ms$.



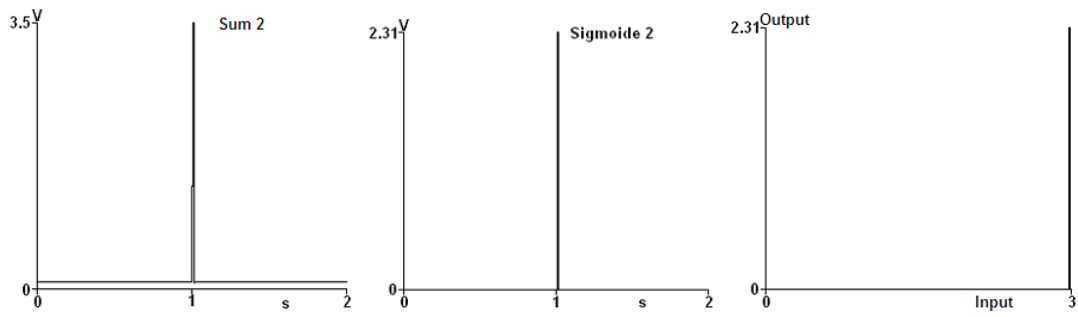


Figura 90. N1 Sigmoide N2 Sigmoide. Entrada romboide + triangular. $U1 = U2 = 3$, $G3 = G2 = 3$, $P1 = 1.69$, $P2 = -1695$, $ret1 = 0$, $ret2 = 3ms$.

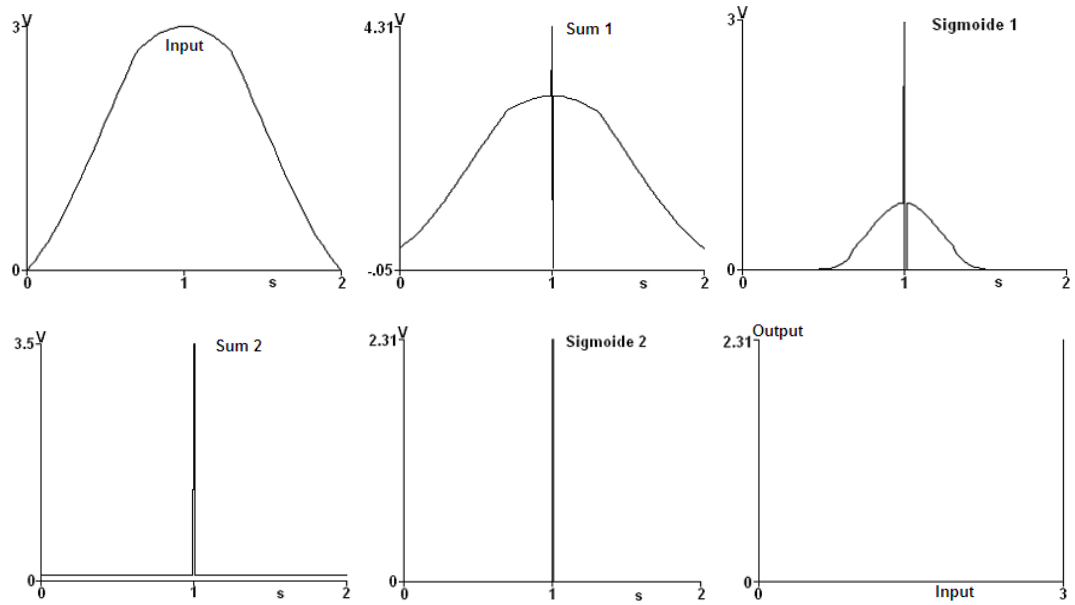
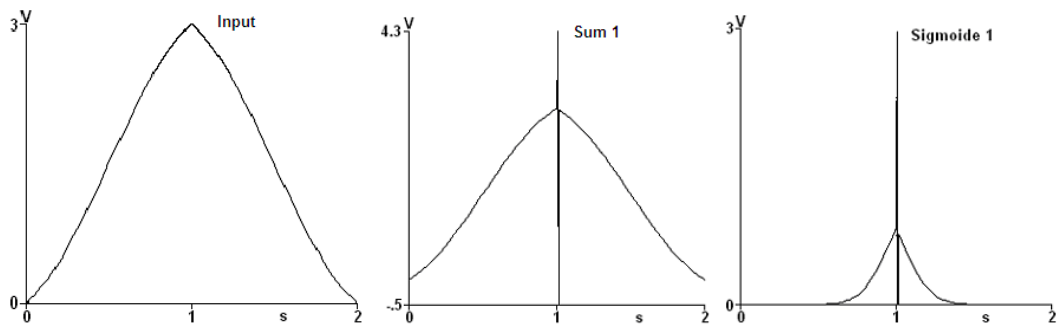


Figura 91. N1 Sigmoide N2 Sigmoide. Entrada romboide + senoide. $U1 = U2 = 3$, $G3 = G2 = 3$, $P1 = 1.6985$, $P2 = -1.67$, $ret1 = 5$, $ret2 = 3ms$.



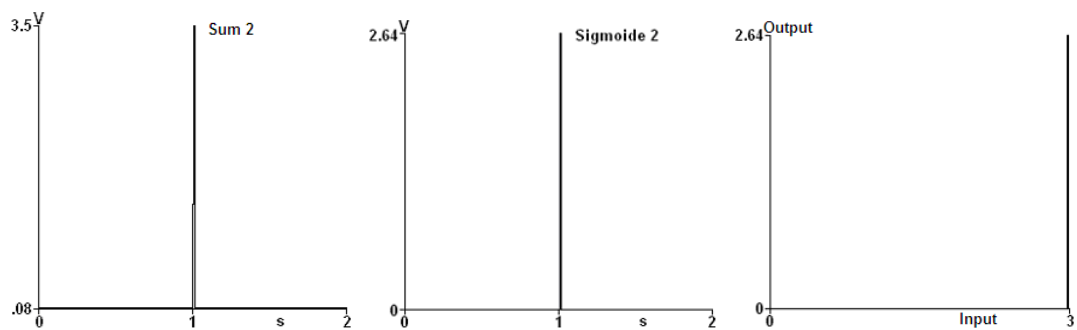


Figura 92. N1 Sigmoide N2 Sigmoide. Entrada triangular + senoide. $U1 = U2 = 3$, $G3 = G2 = 3$, $P1 = -1.69$, $P2 = -1.5$, $ret1 = 5$, $ret2 = 3ms$.

Conclusiones

Como es claro de las gráficas del punto 1, el plano fase de la segunda neurona en cada caso es igual, aunque se cambien las condiciones de los parámetros de la columna tectal y la entrada a la columna, por lo que se tiene evocación de la anterior entrada y condiciones.

En este punto se ha mostrado que se logran efectos más elaborados si nos salimos del esquema de supraumbrales y de los pesos en los modelos neuronales, y estos elementos pueden ser sustituidos por modulación de la señal sináptica y umbrales que son funciones del tiempo, más los retardos axónicos.

Es claro también que en comparación con el mismo modelo de los autores de columna tectal pero con neuronas modificadas tipo McCullock y Pitts, es mucho más suave el esquema que se presenta con las neuronas integradoras, debido al proceso de integración que suaviza la señal del potencial de acción.

Este esquema se parece a esos momentos en los cuales sin razón aparente evocamos cosas diferentes a las que atendemos.

De acuerdo con las gráficas de los experimentos del punto 2 es claro que la columna tectal continúa evocando aún en condiciones que no esperábamos. Si analizamos los resultados nos daremos cuenta que el ruido estocástico que pensábamos rompería con la evocación se da, pero no en la magnitud que se esperaba. Un ejemplo claro está en los seis eventos de alta frecuencia. Si analizamos los eventos nos damos cuenta de que no se repite en ninguno el plano fase, cosa que esperábamos de acuerdo a lo planteado en nuestro modelo, y esto se repite en todos los eventos que generamos, en ningún caso se repite el espacio fase en las mismas condiciones para el ruido blanco en el umbral de las neuronas de la columna tectal.

Lo que fue sorprendente para el grupo, ya que no lo esperábamos es que si cambiamos la condición de la entrada, en nuestro caso el cambio de frecuencia, si se evoca para eventos diferentes en condiciones diferentes, como se puede ver de las gráficas de primer caso evento en el evento 1, del segundo caso en el evento 1 y del tercer caso en el evento 1, o en el segundo caso tercer evento y en el tercer caso segundo evento.

De alguna manera podemos pensar en el caso en el que deseamos recordar un hecho, por ejemplo bajo presión, digamos un examen, y nos es imposible recordar lo que deseamos, pero si cambiamos la entrada al sistema, por ejemplo pensando en otra cosa, de repente nos acordamos de lo que no podíamos recordar. Este caso se parece a los resultados de nuestros experimentos, como se puede ver de los gráficos resultantes.

También es clara la fortaleza que presenta a la evocación la columna tectal, ya que aún bajo la presencia del ruido estocástico permite la evocación de los hechos. Es claro que bajo las mismas condiciones y bajo ruido estocástico en el umbral es imposible la evocación inmediata, aunque podemos garantizar de acuerdo al modelo matemático que bajo una serie larga de repetición del evento, se puede evocar, pero sólo en las condiciones límite del proceso de ruido. La distribución de probabilidad no nos determina que esta probabilidad sea cero, aunque es muy baja.

Es claro de los resultados que se presentan en el punto 3 y 4 que no importa el tipo de neuronas que conforman la columna tectal, ni de la forma de la señal de entrada, ni de los parámetros de las neuronas, para que los espacios fase se repitan, dándonos un efecto de evocación claro. Lo que de nuevo podemos concluir es que aparentemente es la arquitectura de la columna lo que permite el efecto de evocación, lo que de enorme importancia en nuestro estudio.

Si analizamos de los casos expuestos las formas de oscilación interna es notorio que los ciclos de histéresis que se dan en los modelos no son exactamente iguales, pero sin embargo si lo son las relaciones de plano fase.

Para poder afirmar con mayor seguridad lo anterior, es necesario continuar con la experimentación con columnas tectales conformadas por neuronas con otras funciones de activación, y combinaciones de estas en la conformación de las columnas tectales.

En estudio 4, en el caso en el cual el orden de las neuronas cambia para que la neurona con función de activación sigmoide sea la neurona N2, se presentan ejemplos de oscilaciones diferentes que en el caso en el cual la neurona N2 es la de función de activación escalón. Lo anterior nos demuestra que aunque no es conmutable el orden de las neuronas, El fenómeno de evocación se mantiene.

Si analizamos de los casos expuestos las formas de oscilación interna es notorio que los ciclos de histéresis que se dan en los modelos no son exactamente iguales, pero sin embargo si lo son las relaciones de plano fase.

Para poder afirmar con mayor seguridad lo anterior, es necesario continuar con la experimentación con columnas tectales conformadas por neuronas con otras funciones de activación, y combinaciones de estas en la conformación de las columnas tectales.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es claro que no importan la forma de la entrada ni las condiciones de la columna tectal, ni el tipo de neuronas que la conforman, los planos fase de la salida de la columna tectal son los mismos. Por todo lo anterior es claro que los procesos de evocación, son debidos a la estructura propia de la columna tectal, más que a todos los demás parámetros de las neuronas.

Referencias Bibliográficas

Cervantes-Perez F, Lara R, Arbib M (1985) A neural model of interactions subserving prey-predator discrimination and size preference in anuran amphibians. **J. theor. Biol.** 113: p.117-152

Grüsser J. O.J. and Grüsser-Cornehls, U. (1976) Neurophysiology of the anuran visual system. In: **Frog Neurobiology**, edited by R. Llinás and W. Precht. New York: Springer Verlag, p. 297–385.

Lara R, Arbib MA, Cromarty AS (1982) The role of the tectal column in facilitation of amphibian prey-catching behaviour: a neural model. **J. Neuroscience** 2(4): p.531-530