



CCADET

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

Informe Técnico

Estudios en modelos electrónicos de columnas tectales con función de activación zona muerta

3

**José Luis Pérez Silva
Antonio Garcés Madrigal**

Abril de 2015

Modelos Electrónicos de Neuronas

Financiamiento interno

Estudios en modelos electrónicos de columnas tectales con función de activación zona muerta

José Luis Pérez Silva, Antonio Garcés Madrigal.

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico
Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

En este Informe Técnico se muestra el comportamiento dinámico de un modelo electrónico analógico de neurona integradora con fugas y otro tipo McCulloch y Pitts, ambos con función de activación escalón zona muerta. Los modelos presentan respuestas relacionadas con fenómenos de histéresis, debido a retardos axónicos. Esto a su vez produce características de memoria a corto plazo en los modelos de neurona debido a que el tiempo del estímulo de entrada con respecto al de salida no son los mismos, hay un desfase entre entrada y salida provocado por retardos en el axón.

Para llevar a cabo este trabajo fue necesario construir el modelo integrador con fugas y otro tipo McCulloch, y haber implantado la función de activación escalón zona muerta, además de construir un circuito de retardo. Los resultados aquí mostrados nos permiten conocer a los modelos analógicos de neuronas con precisión. La caracterización del procesador neuronal a través de diferentes retardos permite modular los efectos de memoria al representar su plano-fase.

También en este informe se estudia el comportamiento de columnas tectales con este tipo de neuronas, sean las dos neuronas con función de activación zona muerta o combinadas con otros tipos de funciones de activación como rampa y sigmoide.

En cada caso se muestran los resultados para las diferentes etapas de la columna tectal, así como el plano fase para la memoria a corto plazo, para diferentes entradas.

Se busca encontrar efectos de evocación en estos experimentos.

ÍNDICE

	Introducción	3
1.	Procesador neuronal e integrador con fugas	4
2.	Diagrama general del procesador neuronal	4
2.1.	Confluencia y agregación	5
2.2.	Función de activación escalón zona muerta	6
2.3.	Circuito de retardo axónico	6
2.4.	Resultados	8
3.	Columna tectal no integradora con neuronas con función de activación zona muerta	16
3.1.	Resultados de la columna tectal no integradora con función de activación zona muerta	17
4.	Columna tectal integradora con neuronas con función de activación zona muerta	26
4.1.	Resultados de la columna tectal integradora con función de activación zona muerta	27
5.	Columna tectal integradora con neuronas con función de activación zona muerta y rampa	36
5.1.	Resultados de la columna tectal integradora con función de activación zona muerta y rampa	37
6.	Columna tectal no integradora con función de activación zona muerta y sigmoide	46
6.1.	Resultados de la columna tectal no integradora con función de activación zona muerta y sigmoide	48
	Conclusiones	57
	Referencias	58

INTRODUCCIÓN

Los procesadores neuronales analógicos, los cuales en su gran mayoría son electrónicos, nos ofrecen gran cantidad de comportamientos dinámicos, que se ven influenciados por sus elementos constituyentes como son sus funciones de activación como escalón, sigmoides, rampas etc.; el tipo de modelo como McCulloch y Pitts (McCulloch y Pitts, 1943) o integrador con fugas; así como las señales de entrada y los retardos axónicos. Dentro de esta colección de procesadores analógicos, las funciones de activación juegan un papel fundamental, ya que ellas conforman la respuesta del procesador neuronal.

Los retardos axónicos involucran fenómenos de memoria a corto plazo, aunque hemos demostrado en otros trabajos, (Pérez Silva, et al, 2009) que una neurona electrónica aislada con diversas funciones de activación tiene comportamientos de memoria, aún sin la presencia de retardos.

En otros trabajos mostramos el comportamiento dinámico de los procesadores analógicos neuronales, integrador con fugas y Mc Cullock y Pitts con función de activación escalón zona muerta (Pérez Silva, et al, 2009). Los procesadores presentan respuestas relacionadas con fenómenos de histéresis, debido a los retardos axónicos. Esto a su vez produce características de memoria a corto plazo en el procesador neuronal debido a que el tiempo del estímulo de entrada con respecto al de salida no son los mismos, es decir hay un desfase entre la entrada y la salida provocado por los retardos axónicos y los retardos electrónicos en el procesador. Los modelos neuronales que hemos venido estudiando proporcionan una descripción de la relación entrada-salida, y caracterizamos su respuesta por medio de los umbrales.

En este trabajo deseamos estudiar cómo se comporta una columna tectal (Lara R, et al, 1982) formada por dos neuronas integradoras con fugas con función de activación tipo escalón. Lo importante en este ejercicio es ver si con este tipo de neuronas se mantiene el efecto de evocación que hemos encontrado en otras columnas tectales conformadas por diferentes tipos de procesadores neuronales, como son McCulloch y Pitts, Rampa y sigmoide (Pérez Silva y Garcés Madrigal, 2014).

Se presentarán el comportamiento dinámico para señales periódicas de entrada que actúan como estímulos externos. Se analizan las variaciones en las respuestas obtenidas dadas por los umbrales. La caracterización de la columna tectal a través de diferentes parámetros permite modular los efectos de memoria al representar su plano-fase.

1. PROCESADOR NEURONAL E INTEGRADOR CON FUGAS

De acuerdo a la representación del modelo generalizado de una neurona artificial, se describe el modelo de neurona genérica. Este modelo de neurona generalmente lo podemos describir como un sistema de múltiples entradas que mapea un espacio de R^n a una salida en R , a través de una función no lineal. En la figura 1 se muestra el procesador neuronal, con el proceso de mapeo entrada-salida. Las operaciones de los elementos internos del procesador neuronal se presentarán más adelante.

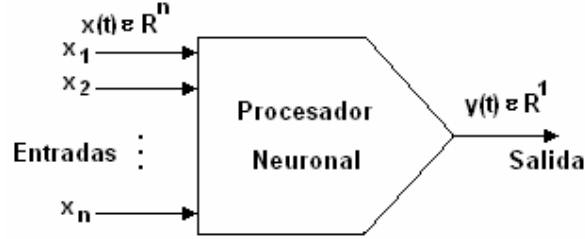


Figura 1. Procesador Neuronal.

Las expresiones del modelo integrador con fugas para un procesador neuronal toman en cuenta a los elementos internos del procesador neuronal, sumador, integrador, función de activación y retardo.

$$\tau \frac{dm_i}{dt} = -m_i + S_i + I_i + m_0 \quad (1)$$

o bien, cuando se integra directamente se obtiene la expresión en forma de solución,

$$m(t) = m_0 + S - S e^{-t/\tau} \quad (2)$$

Para condiciones iniciales de las entradas internas I_i nulas, y al potencial de reposo como $m(t_0) = m_0$, y donde S es la suma ponderada de las entradas, $m(t)$ es el potencial de acción, τ la constante de integración. Después de la integración, la ecuación (2) se encuentra seguida de la función de activación Ψ para obtener la salida, que se expresa como:

$$y(t) = \psi(m(t)) \quad (3)$$

Como la respuesta de la neurona $y(t)$ se retarda en el tiempo, entonces la salida se obtiene un tiempo $t+t_0$ después, es decir:

$$y(t + t_0) = \psi(m(t)) \quad (4)$$

Estas expresiones contemplan el proceso neuronal como la suma ponderada de la entrada, integrada, seguida de la función de activación y retardada. La expresión (4) proporciona los efectos de memoria, al manipular el retardo.

2. DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESADOR NEURONAL

El modelo de neurona está constituido por cuatro bloques fundamentales que realizan las funciones centrales del proceso neuronal y permiten analizar su comportamiento dinámico. Estas funciones son: suma, integración, activación y retardo. Aunque en realidad se presentan como tres etapas dada la operación de agregación como lo muestra la figura 2. El retardo puede considerarse también parte de la activación, aunque en este caso se prefiere presentar un bloque específico para ésta etapa, dada su importancia en el procesador neuronal al incrementar su magnitud, como se muestra en la figura 3.

Los diagramas de las figuras 2 y 3 contienen los elementos del modelo generalizado de una neurona artificial, Mc Cullock y Pitts e integradora con fugas con su operación de confluencia (sináptica y agregación) también llamada operación somática, su operación de activación y además el elemento de retardo. Se puede observar también que en el diagrama la parte de agregación tiene dos elementos, sumador e integrador, que facilita el diseño del modelo.

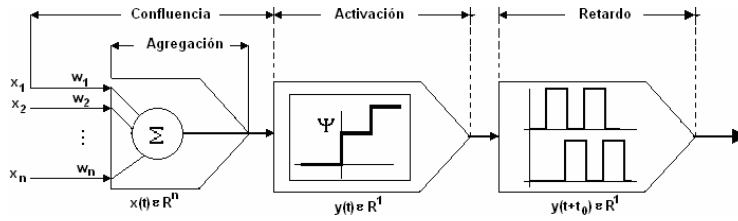


Figura 2. Diagrama del Procesador Neuronal Mc Cullock y Pitts con retardo.

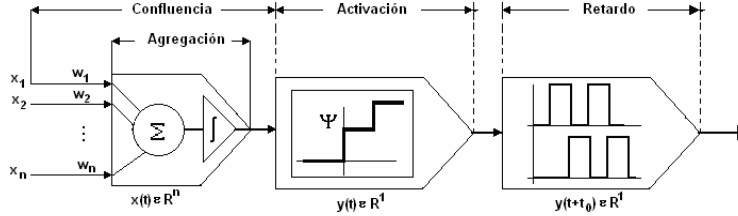


Figura 3. Diagrama del Procesador Neuronal Integrador con fugas con retardo.

Para facilitar la presentación de la implantación electrónica del procesador neuronal tipo Mc Cullock y Pitts, lo dividimos en etapas tomando como base el diagrama de la figura 2.

2.1. CONFLUENCIA Y AGREGACION

El circuito esquemático para la etapa de confluencia consiste del sumador de las entradas excitadoras e inhibitoras ponderadas. El circuito sumador consiste a su vez de un par de amplificadores operacionales, uno para las entradas excitadoras y otro para las entradas inhibidoras en configuración seguidor de señal. Las ponderaciones de las entradas se llevan a cabo mediante potenciómetros conectados a la entrada de cada amplificador, como se muestra en la figura 4. Esta configuración del circuito para la operación sináptica permite ponderar las entradas por separado. Las entradas excitadoras e inhibitoras ponderadas se suman en otro amplificador en configuración de sumador.

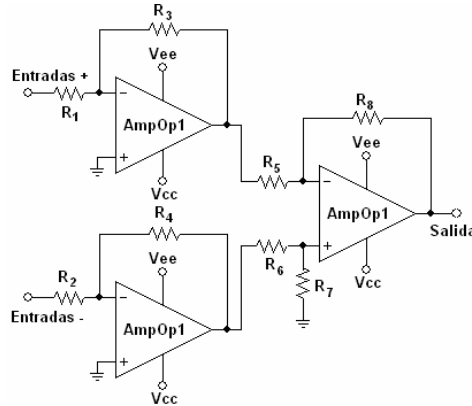


Figura 4. Circuito Sumador.

Para el caso de la neurona integradora con fugas se suma un amplificador en configuración de integrador, que realiza el papel de integrar la suma ponderada de las entradas. Esta etapa integradora tiene una constante de tiempo τ fija, dada por el circuito RC. De acuerdo a la siguiente expresión se obtiene el potencial de integración,

$$V_{\text{intg}} = -\frac{1}{RC} \int V_{\text{Sum}} dt + C_1, \quad (5)$$

con C_1 igual a una constante de integración, y V_{Sum} la suma ponderada de las entradas. En la figura 5 se muestra en diagrama esquemático.

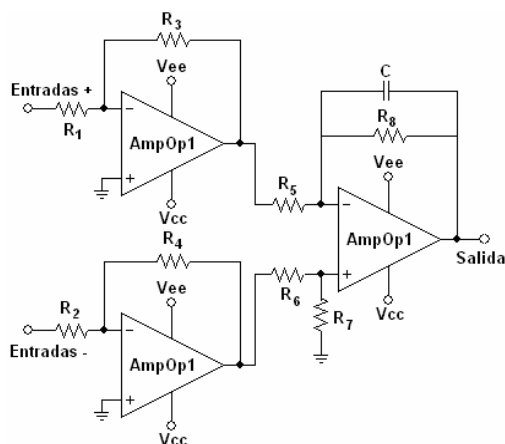


Figura 5. Circuito Integrador.

2.2. FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ESCALÓN ZONA MUERTA

La segunda etapa de la figura 2, muestra la operación de activación, la cual se lleva a cabo mediante una función no lineal. La función de activación escalón con zona muerta es una función lineal a trazos también llamada doble comparador. Esta función determina la forma de la respuesta conforme a los valores de umbral. Para ésta función de activación se describirá su modelo matemático y su implantación electrónica por medio de amplificadores operacionales.

En la zona muerta de la función de activación EZM, como su nombre lo indica, no existe respuesta alguna del procesador neuronal o permanece constante en un cierto nivel el cual puede ser un potencial de reposo o un primer umbral de activación de la neurona. La respuesta del procesador neuronal tendrá dos activaciones a partir de los niveles de umbral fijos de manera instantánea y el tamaño de la zona muerta estará determinado por la separación que hay entre estos dos umbrales. La activación de la respuesta del procesador neuronal es muy parecida a la del modelo de neurona McCulloch y Pitts pero ahora con dos umbrales. Un aspecto importante que se debe mencionar es que cuando esa separación entre umbrales sea nula entonces la zona muerta desaparecerá, por consecuencia esta función se convertirá en una función de activación escalón. La descripción de esta función de activación zona muerta se da ampliamente en el reporte técnico II-TINF-2009-021 Modelos electrónicos de neuronas. (Pérez Silva et al, 2009).

2.3. CIRCUITO DE RETARDO AXÓNICO

Este circuito tiene la capacidad de retrasar en el tiempo la salida V_{comp} de la función escalón zona muerta. El circuito consiste de dos circuitos integrados temporizadores configurados como monoestables, tres compuertas lógicas, y un amplificador operacional para conformar la señal de salida retrasada.

El diseño para esta etapa de retardo axónico se muestra en la figura 6.

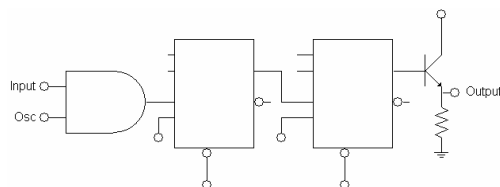


Figura 6. Circuito esquemático para la etapa de retardo.

En las figuras 7 y 8 se muestran los diagramas esquemáticos de los dos procesadores neuronales. La figura 7 nos muestra el circuito de la neurona tipo Mc Cullock y Pitts con función de activación zona muerta con retardos y la figura 10 nos muestra la neurona integradora con fugas y función de activación zona muerta con retardos.

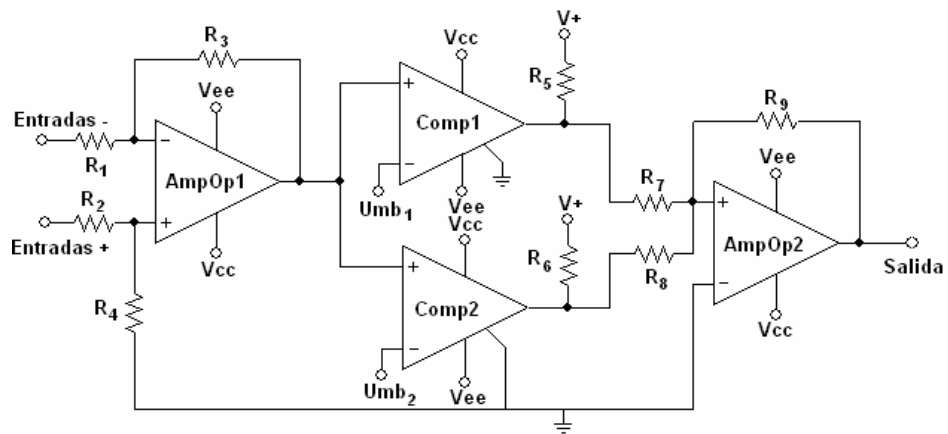


Figura 7. Circuito de la neurona tipo Mc Cullock y pitts con función de activación zona muerta.

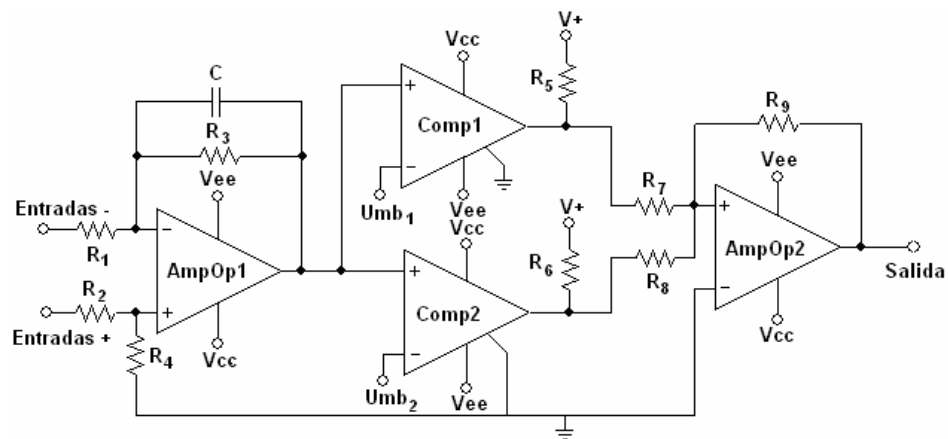


Figura 8. Circuito de la neurona integradora con fugas y función de activación zona muerta.

2.4. RESULTADOS

Para analizar nuestro modelo de procesador neuronal empleamos como señales excitadoras las siguientes: señal triangular, señal senoide, señal romboide y señal cuadrada. Los umbrales para la zona muerta en la función de activación se denominaran U_1 , U_2 , y A_1 y A_2 , son las amplitudes de disparo de los comparadores. En este trabajo analizamos lo que sucede al cambiar las señales y los valores de umbrales para los dos comparadores, manteniendo el retardo fijo en 50 ms, para cada comparador. Los resultados se muestran de la forma siguiente: (a) Señal de entrada (b) la señal en el primer comparador, (c) la señal en el segundo comparador (d) Salida, (e) plano fase.

Primero trabajamos con la neurona tipo Mc Cullock y Pitts y los resultados obtenidos se muestran a continuación. En la figura 9 se muestran los resultados para un primer experimento en el cual dimos como señal de entrada a la neurona una señal triangular.

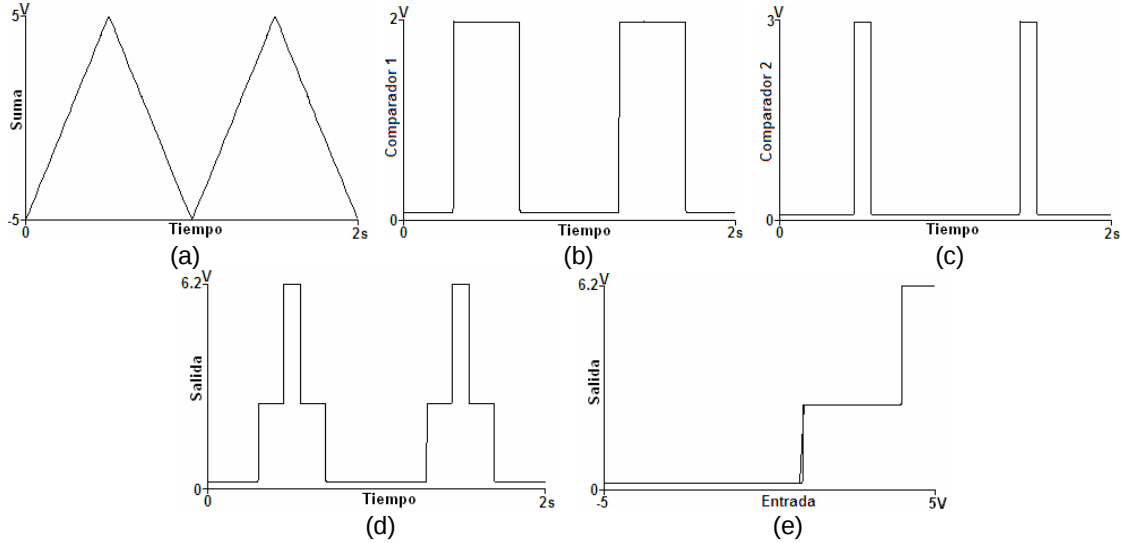


Figura 9. La señal de entrada es triangular, $U_1 = 1$, $U_2 = 4$. $A_1 = 2$, $A_2 = 3$.

Se realizó un segundo experimento con señal triangular pero en este caso se invirtieron los valores de los umbrales. En la figura 10 se muestran los resultados

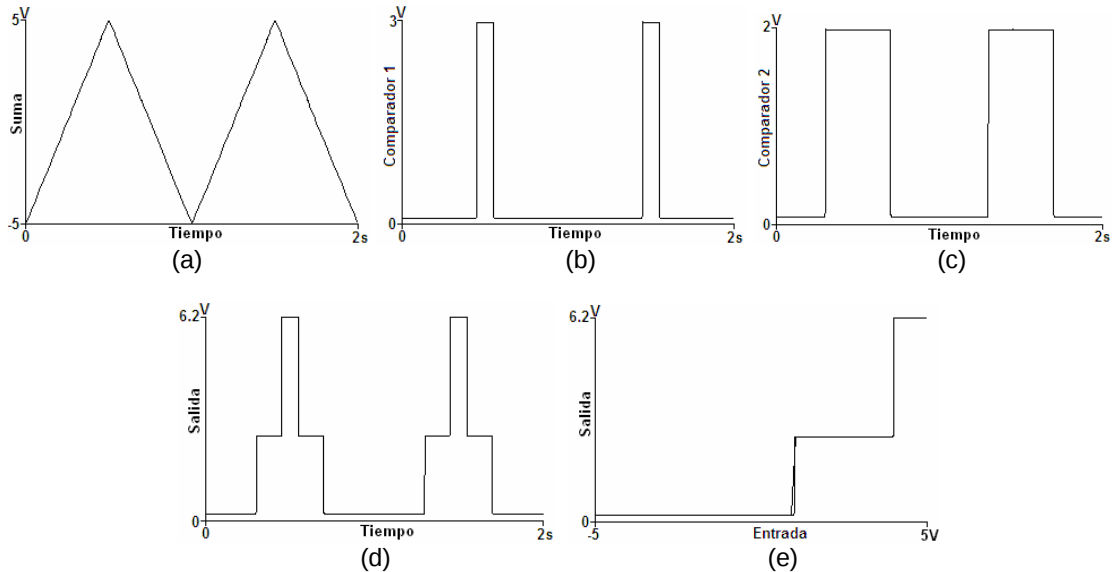


Figura 10. La señal de entrada es triangular, y los umbrales son $U_1 = 4$, $U_2 = 1$, $A_1 = 3$, y $A_2 = 2$.

Como se ve de las figuras 9e y 10e, no se dan cambios significativos en la respuesta de la neurona ante el cambio de los umbrales de la zona muerta, por lo que la neurona es invariante ante la

alternancia de los umbrales de la zona muerta. Este resultado es importante, ya que nos permite no volver a experimentar sobre esto.

Se realizaron los experimentos para una señal de entrada senoide y los resultados que se obtuvieron en un primer experimento para esta señal son los que se muestran en la figura 11.

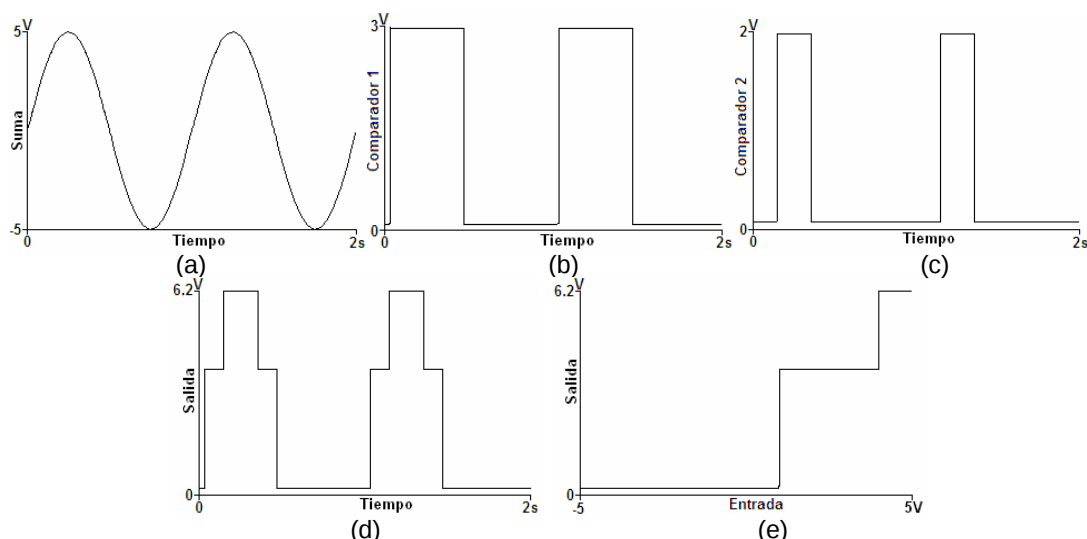


Figura 11. La señal de entrada es senoide y los umbrales son $U1 = 1$, $U2 = 4$, $A1 = 2$ y $A2 = 3$.

Se realizó un segundo experimento con señal senoide pero en este caso se cambiaron los valores de las amplitudes de disparo de los comparadores. En la figura 12 se muestran los resultados

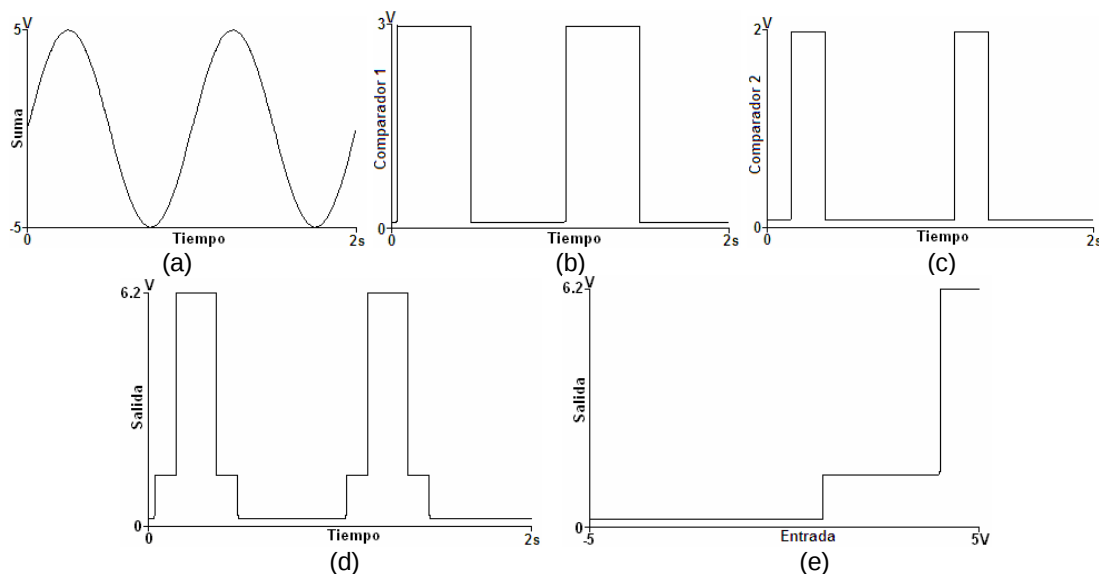


Figura 12. La señal de entrada es senoide y los umbrales son: $U1 = 1$, $U2 = 4$, $A1 = 1$, $A2 = 4$.

Es claro que los cambios en los valores de las amplitudes de disparo de los umbrales, cambian la respuesta de la neurona.

En nuestro siguiente experimento cambiamos la señal de entrada a una señal más compleja formada por señal triangular más una senoide, es decir la entrada eran dos señales al sumador de la primera neurona.

Los resultados que obtuvimos en este experimento se muestran en la figura 13.

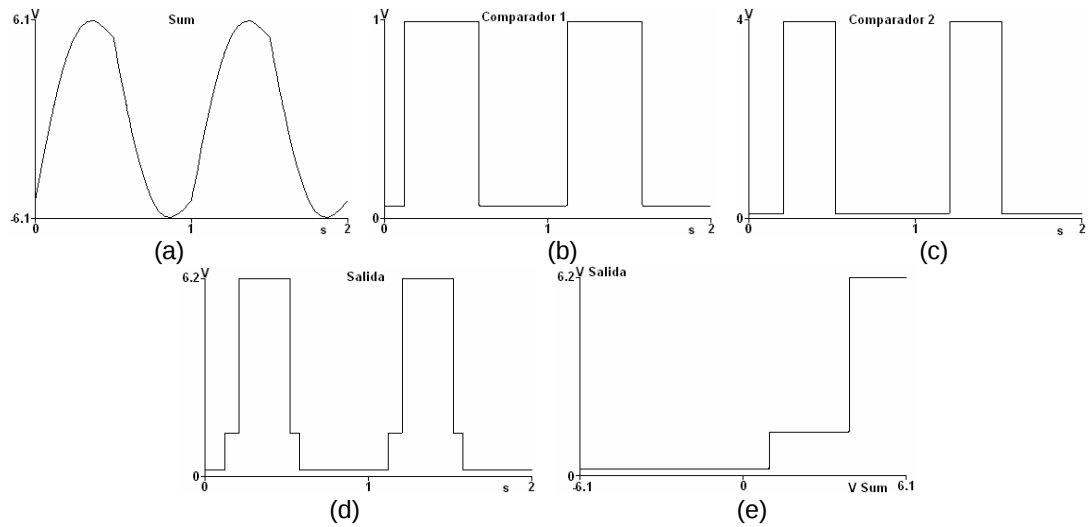


Figura 13. Señales de entrada triangular + senoide, umbrales $U1 = 1$, $U2 = 4$, $A1 = 1$, $A2 = 4$.

Decidimos involucrar más armónicos en la señal de entrada y por eso les dimos una señal cuadrada y una triangular sumadas. Los resultados para este experimento se muestran en la figura 14. $U1 = 2$, $U2 = -2$. Señal triangular + cuadrada, $A1 = 2.5$, $A2 = 2.5$.

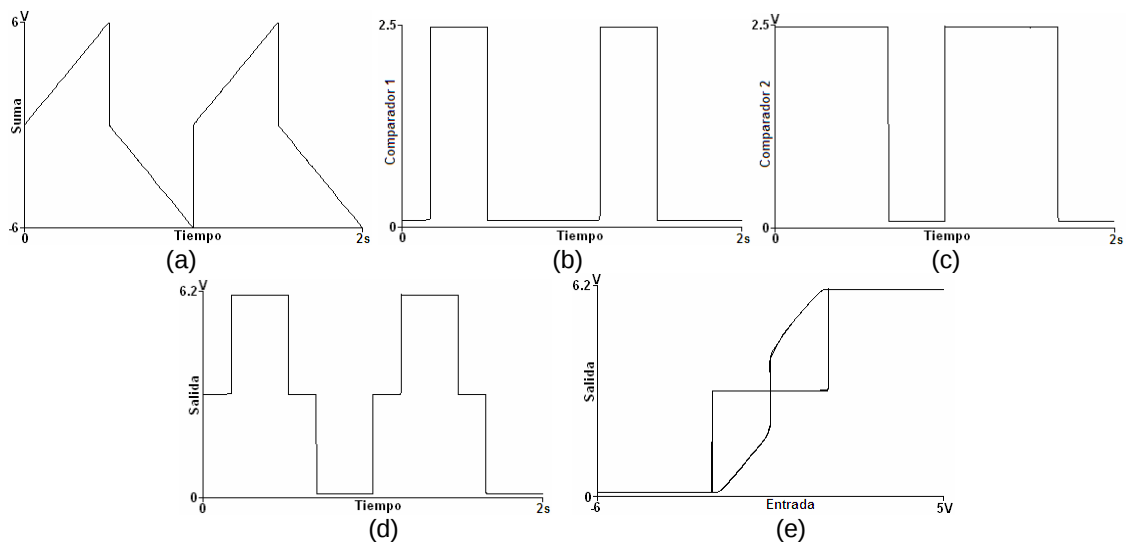


Figura 14. Señal de entrada triangular + una cuadrada, umbrales $U1 = 2$, $U2 = -2$, $A1 = 2.5$, $A2 = 2.5$.

El siguiente experimento busco menos armónicos en la combinación de entrada al sumar una triangular más una senoide. Los resultados se muestran en la figura 15.

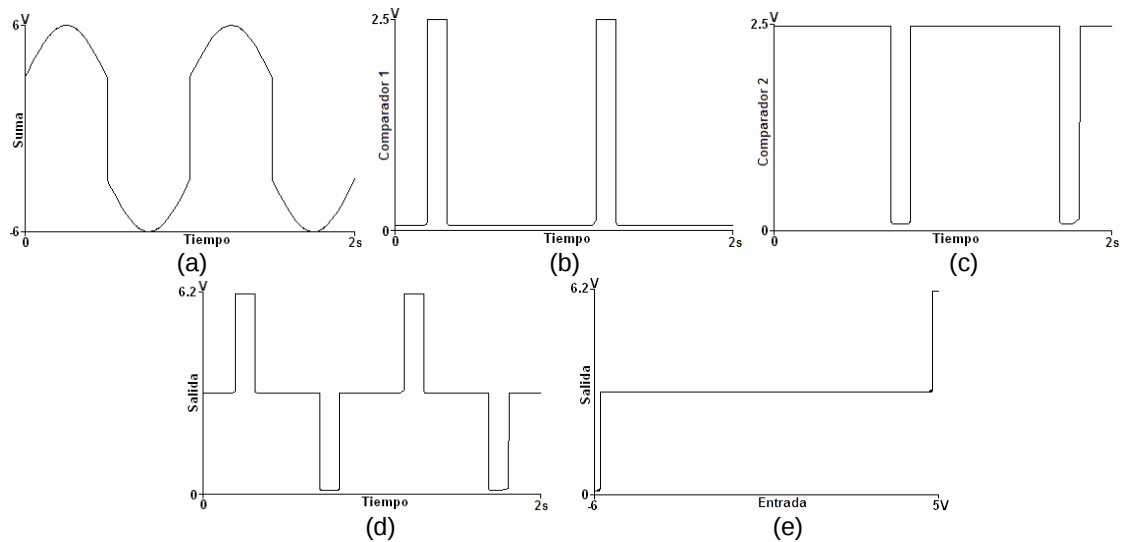


Figura 15. Señal de entrada Señal triangular + senoide, umbrales $U_1 = 2$, $U_2 = -2$, $A_1 = 2.5$, $A_2 = 2.5$.

Es claro que el cambio de la señal de entrada da un cambio de la respuesta de la neurona.

Para el segundo conjunto de experiencias trabajamos con las neuronas integradoras con fugas. Los umbrales para la zona muerta en la función de activación se denominaran U_1 , U_2 , y A_1 y A_2 , son las amplitudes de disparo de los comparadores. En este trabajo analizamos lo que sucede al cambiar las señales y los valores de umbrales para los dos comparadores, manteniendo el retardo fijo en 50 ms, para cada comparador. Los resultados se muestran en cada gráfica como: (a) Señal de entrada, (b) salida del Integrador, (c) la señal en el primer comparador, (d) la señal en el segundo comparador, (e) Salida, (f) plano fase.

En nuestro primer experimento con neuronas integradoras con fugas empleamos como señal de entrada una triangular y los resultados se muestran en la figura 16, 17 y 18.

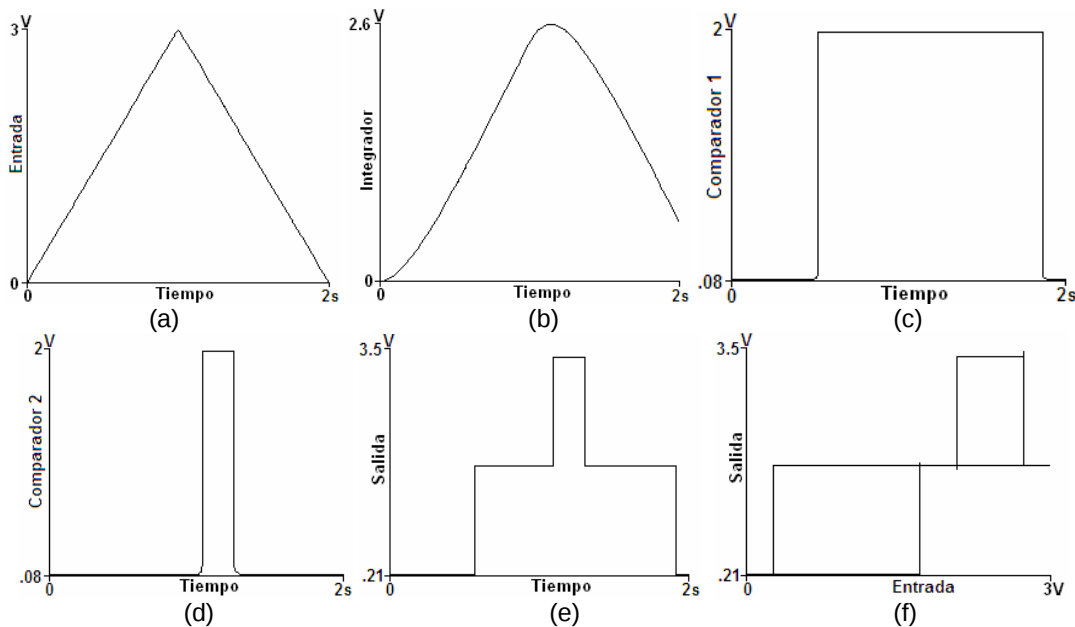


Figura 16. Señal de entrada triangular, umbrales $U_1 = 1$, $U_2 = 2.5$. Retardos $R_1 = R_2 = 50\text{ms}$.

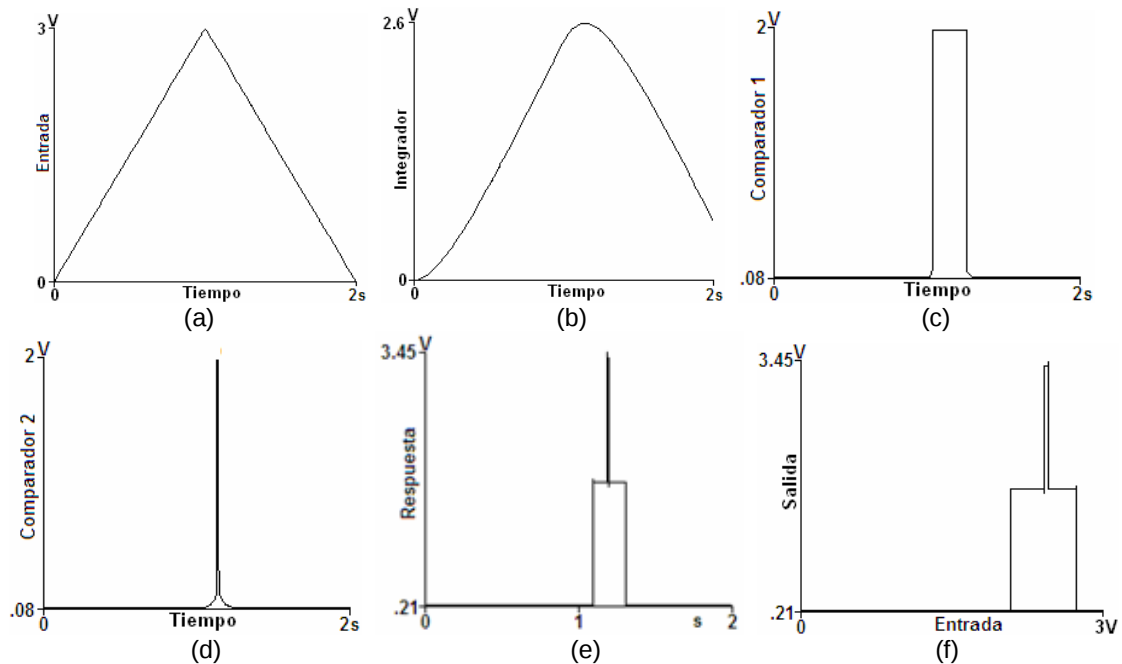


Figura 17. Señal de entrada triangular, umbrales $U1=2.5$, $U2=2.58592$. Retardos $R1=R2=50ms$.

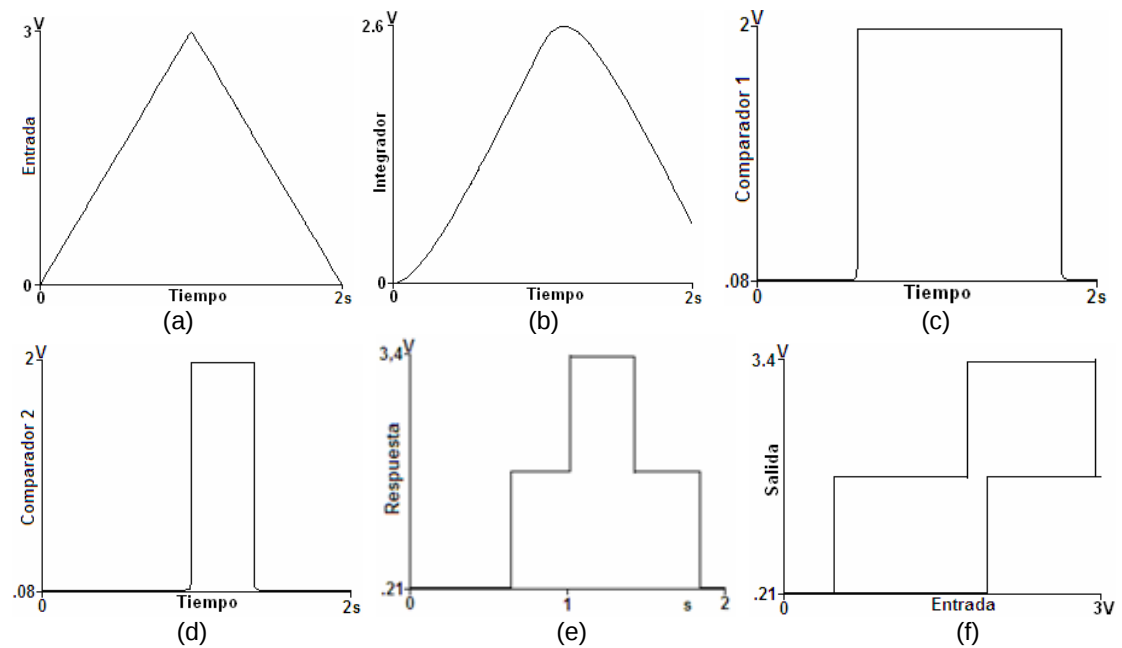


Figura 18. Señal de entrada triangular, umbrales $U1=1.5$, $U2=2.5$, Retardos $R1=R2=50ms$.

Se vislumbra la posibilidad de un efecto de memoria por la forma que se puede observar entre la figuras 16f y 18f. La figura 17f, nos presenta una alta selectividad en la espiga superior de la respuesta,

Para la siguiente ronda de experimentos decidimos usar una señal sin armónicos como señal de entrada por lo elegimos una senoide. En la figura 19 se muestran los resultados

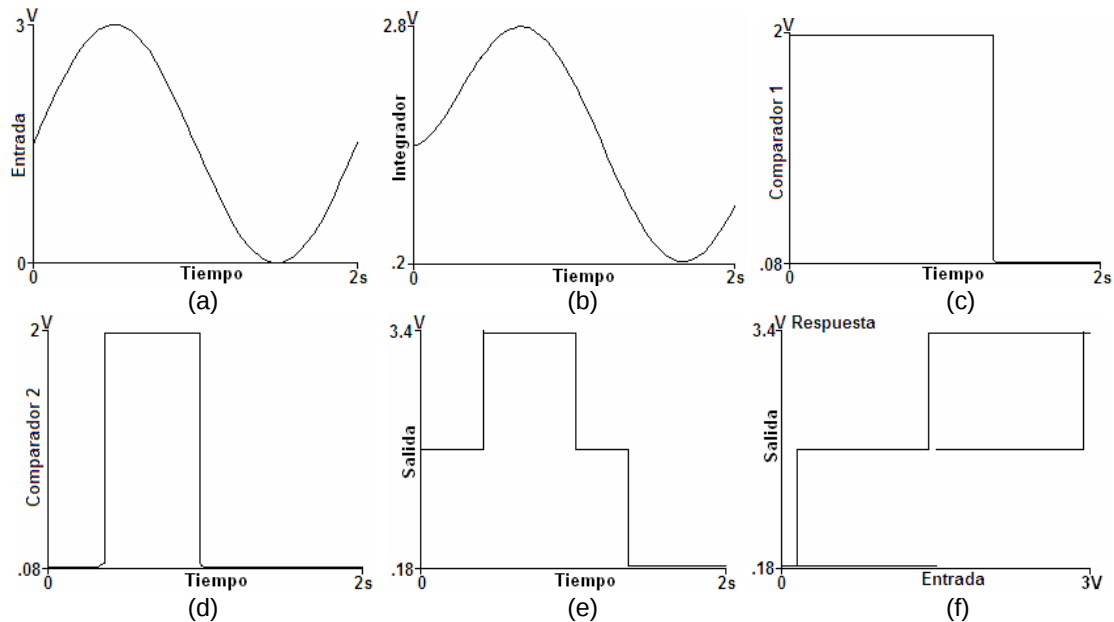


Figura 19. Señal de entrada triangular, umbrales $U1= 1$, $U2 = 2.5$, Retardos $R1 = R2 = 50ms$.

En búsqueda de señales más complejas empleamos en nuestro siguiente experimento una señal romboide, con las mismas condiciones de la neurona del último experimento de la figura 19. Los resultados se muestran en la figura 20.

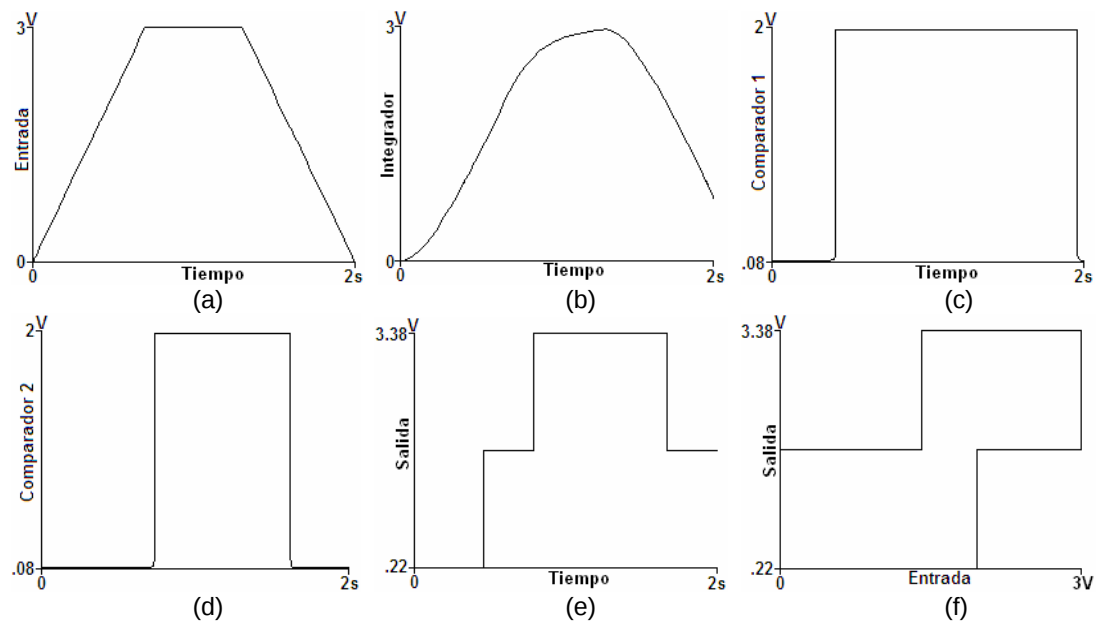


Figura 20. Señal de entrada romboide, umbrales $U1= 1$, $U2 = 2.5$, Retardos $R1 = R2 = 50ms$.

En vista de los resultados de la figura 17 para una entrada triángulo decidimos buscar esa selectividad para una entrada senoide en el experimento cuyos resultados se muestran en la figura 21.

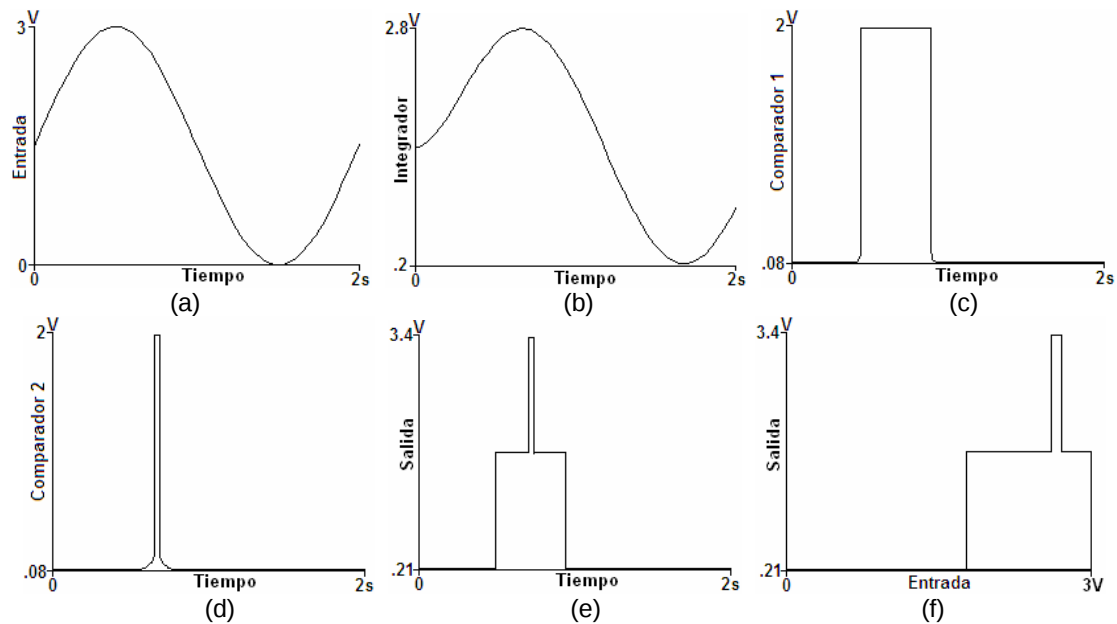


Figura 21. Señal de entrada senoide, umbrales $U1 = 2.5$, $U2 = 2.58592$, Retardos $R1 = R2 = 50\text{ms}$.

Es claro que tanto en la senoide como en la triangular existe un pico máximo que puede facilitar la selectividad a una espiga, ¿pero con una señal romboide pasaría lo mismo? Para eso realizamos el experimento con una señal romboide y obtuvimos los resultados de la figura 22.

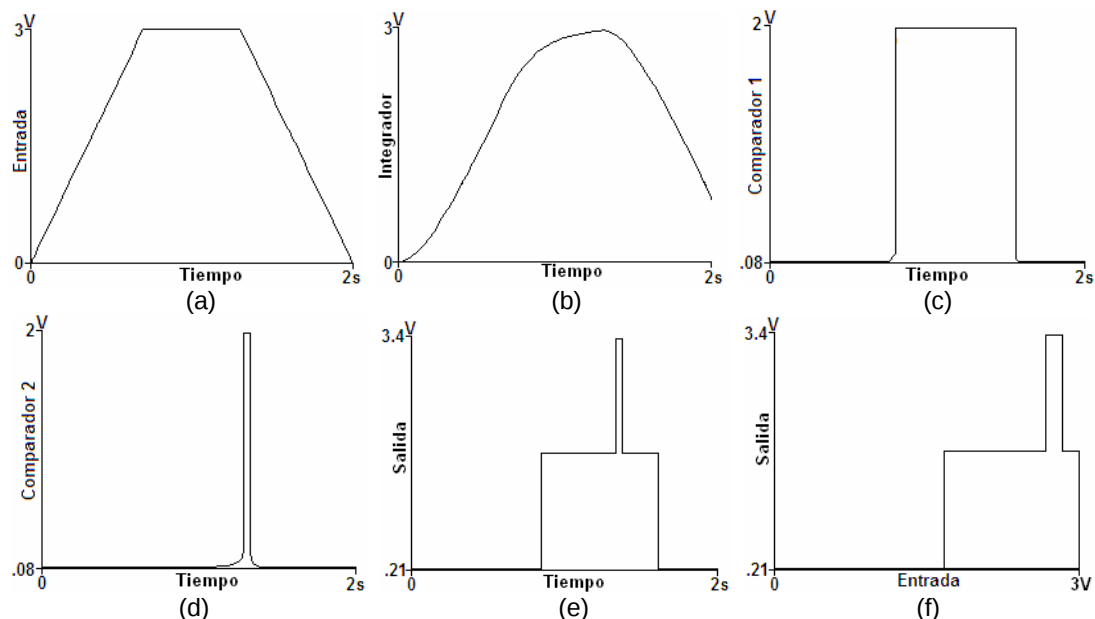


Figura 22. Señal de entrada romboide, umbrales $U1 = 2.95$, $U2 = 2.956$, Retardos $R1 = R2 = 50\text{ms}$.

Lo anterior nos motivó a buscar en una señal cuadrada, ya que es obvio que la integración de la señal es fundamental, por lo que en una cuadrada después de integrarse tendríamos un pico a seleccionar por lo que realizamos el experimento y obtuvimos los resultados de la figura 23.

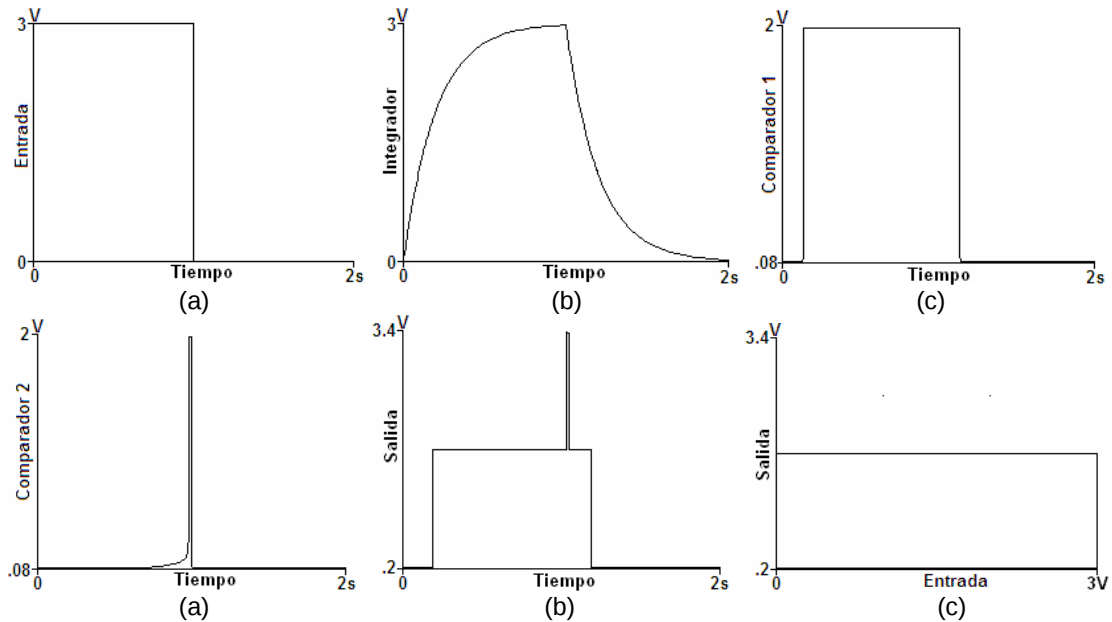


Figura 23. Señal de entrada cuadrada, umbrales $U1= 1.5$, $U2 = 2.9777$, Retardos $R1 = R2 = 50ms$.

Decidimos continuar los experimentos con señal cuadrada, y obtuvimos los resultados de la figura 24.

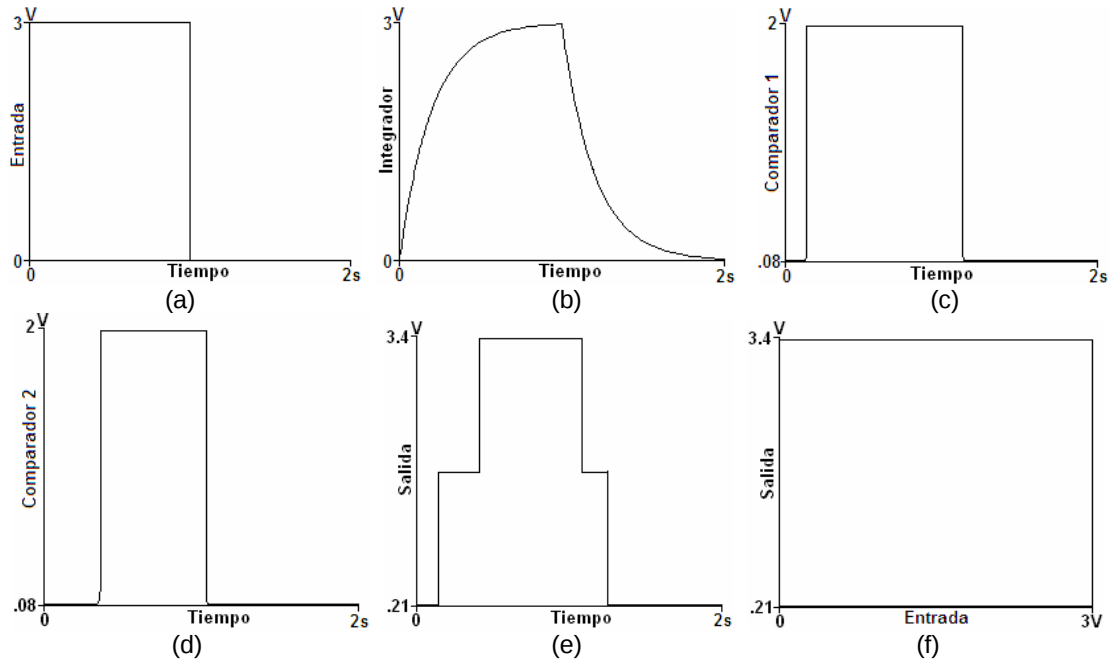


Figura 24. Señal de entrada cuadrada, umbrales $U1= 1.5$, $U2 = 2$, Retardos $R1 = R2 = 50ms$.

Vamos a entender como memoria de forma, cuando las figuras de los espacios fase se asemejan en la forma aunque no sean idénticas en todos los sentidos, por lo que en las figuras 21f y 22f esto se cumple, además de los efectos de un pico máximo que puede facilitar la selectividad a una espiga.

Estudiada la neurona con función de activación zona muerta pasaremos al tema de este reporte que es el de las columnas tectales con neuronas con este tipo de función de activación.

3. COLUMNA TECTAL NO INTEGRADORA CON NEURONAS CON FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ZONA MUERTA

El modelo de columna tectal de Lara (Lara R, *et al*, 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-Pérez 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. Estudiaremos dos modelos basados en la arquitectura de la columna de tectal propuesta por Lara, pero usando neuronas con función de activación zona muerta. En la figura 25 se muestra el diagrama de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

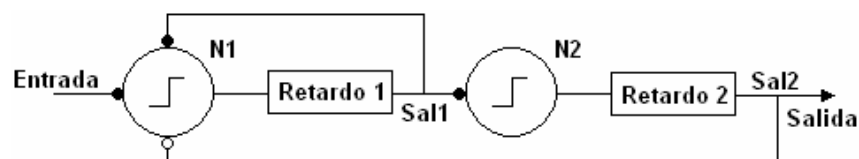


Figura 25. Esquema de la columna tectal con funciones de activación zona muerta

En la figura 26 se muestra el diagrama electrónico del modelo de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

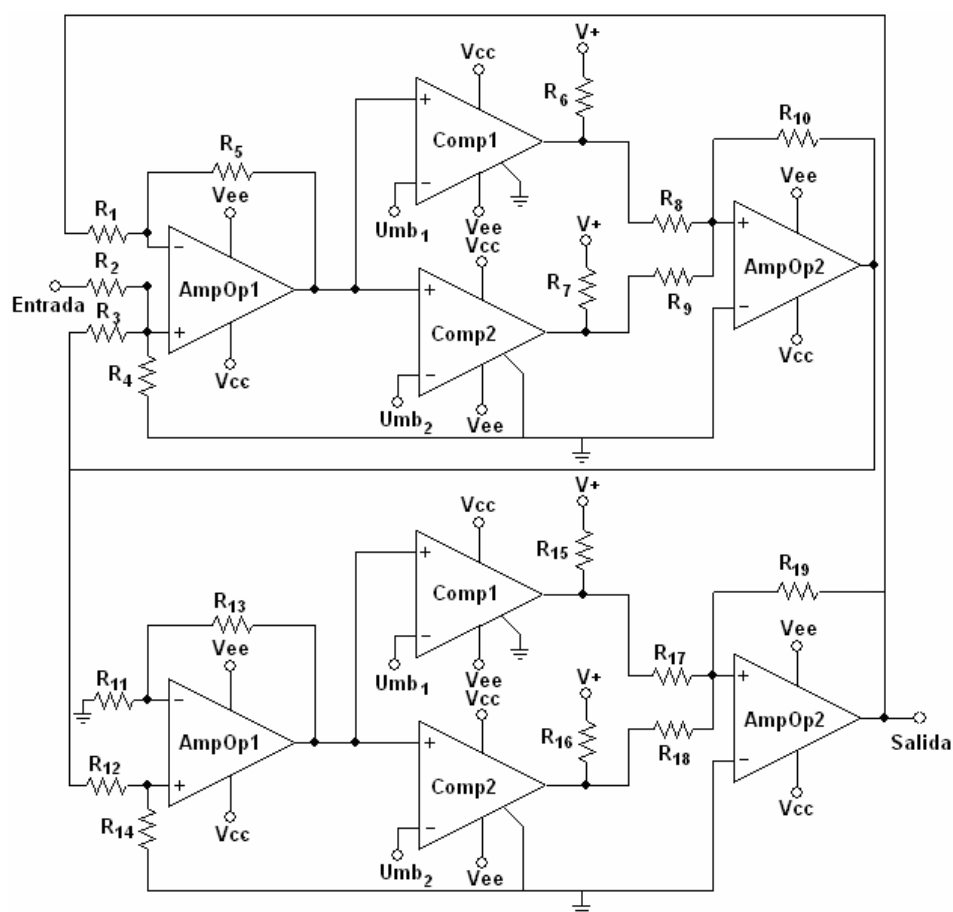


Figura 26. Diagrama electrónico de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

3.1. RESULTADOS DE LA COLUMNA TECTAL NO INTEGRADORA CON FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ZONA MUERTA.

Para analizar nuestro modelo de columna tectal con procesadores neuronales con función de activación zona muerta. Los umbrales para la zona muerta en la función de activación se denominaran V_{ref1} , V_{ref2} , V_{ref3} , V_{ref4} . En este trabajo analizamos lo que sucede al cambiar las señales y los valores de umbrales para los comparadores de las dos neuronas, y variando los retardos R_1 y R_2 para cada neurona. Los resultados se muestran como: (a) señal de entrada, (b) suma de la primera neurona, (c) salida de la primera neurona, (d) suma de la segunda neurona, (e) salida de la segunda neurona (e) plano fase.

Nuestro primer experimento consistió de una entrada triangular y los resultados se muestran en la figura 27, 28, y 29.

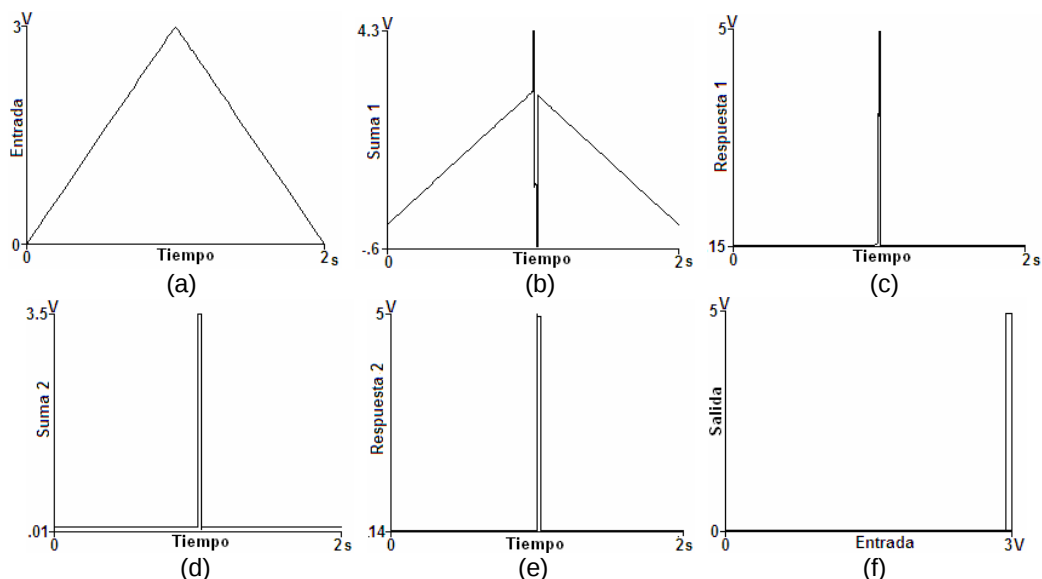


Figura 27. Entrada triangular. $V_{ref1} = 2.92$, $V_{ref2} = 3$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 2$. $R_1 = R_2 = 10ms$.

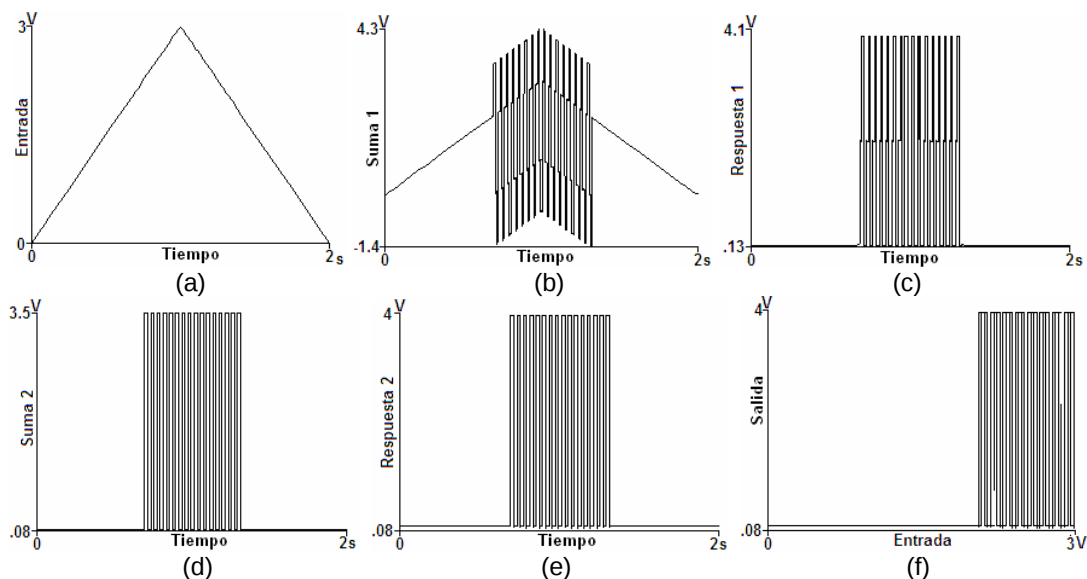


Figura 28. Entrada triangular. $V_{ref1} = 2$, $V_{ref2} = 2.8$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R_1 = R_2 = 10ms$.

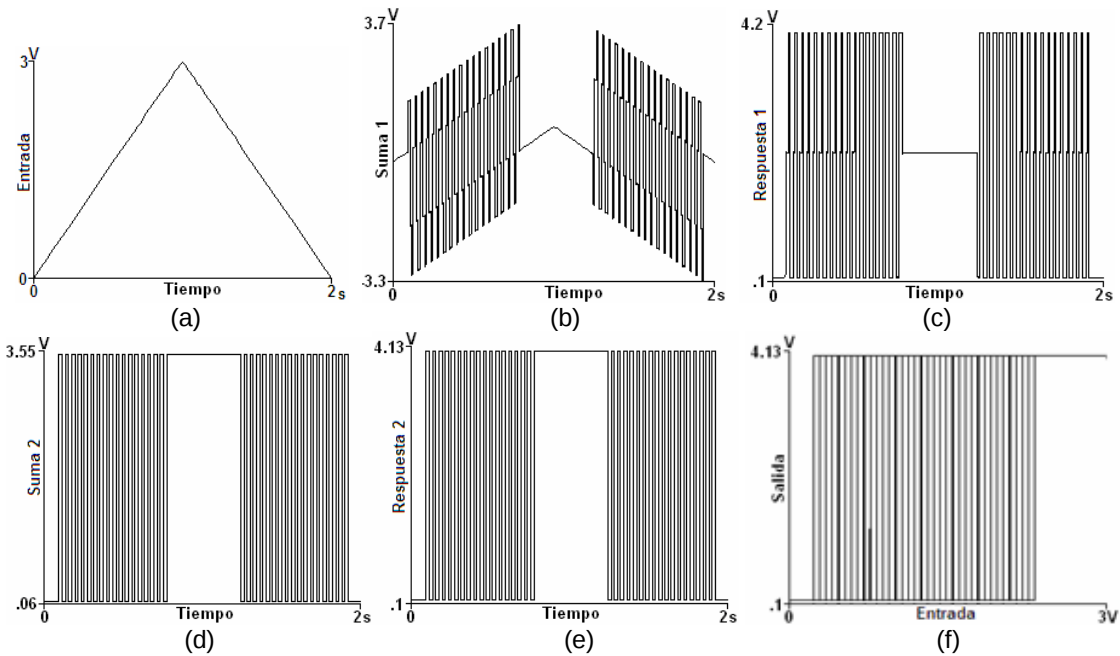


Figura 29. Entrada triangular. $V_{ref1} = .2$, $V_{ref2} = 1.5$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

Sólo se encuentra alta selectividad en la respuesta de la figura 27, en todos los demás casos cambia mucho la respuesta. Vamos a entender por mala selectividad cuando el espacio fase de la columna tectal es una delta de Dirac.

Después cambiamos la señal de entrada a una senoide y los resultados obtenidos al cambiar los parámetros de las neuronas en la columna se muestran en las figuras 30, 31, y 32.

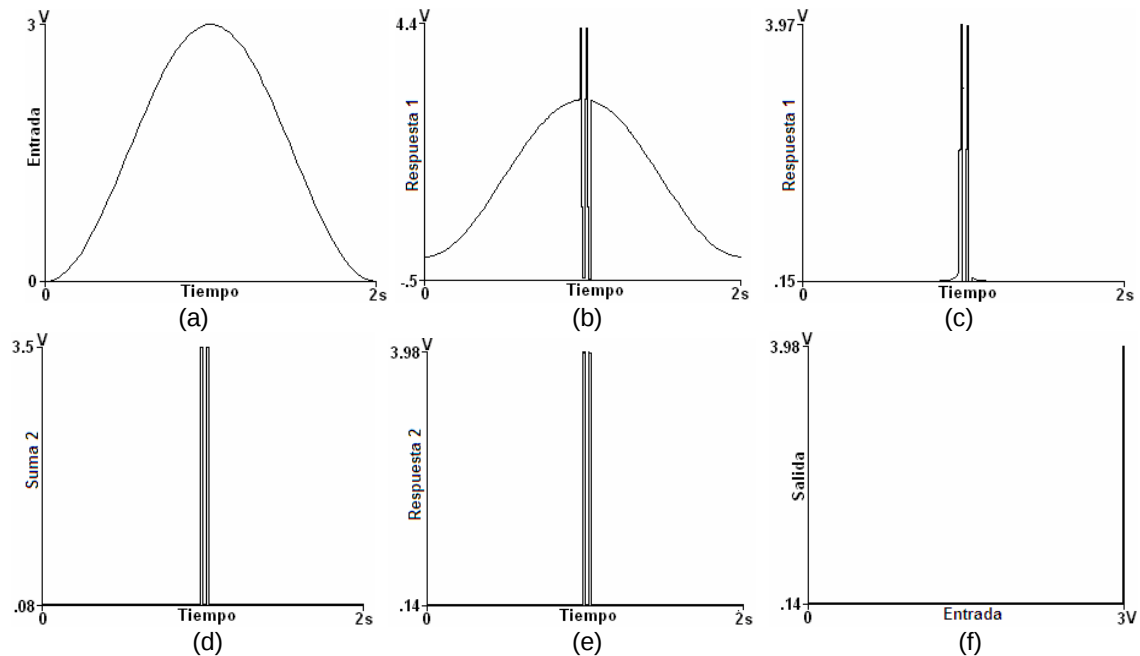


Figura 30. Entrada senoide. $V_{ref1} = 2$, $V_{ref2} = 2.8$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

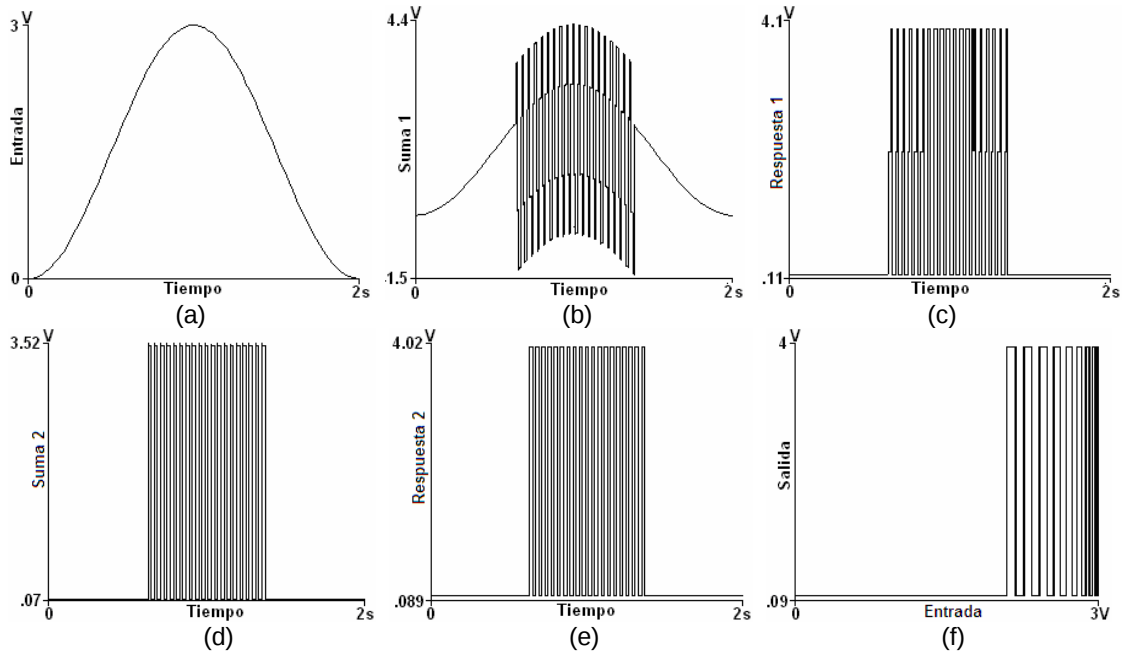


Figura 31. Entrada senoide. $V_{ref1} = 2$, $V_{ref2} = 2$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

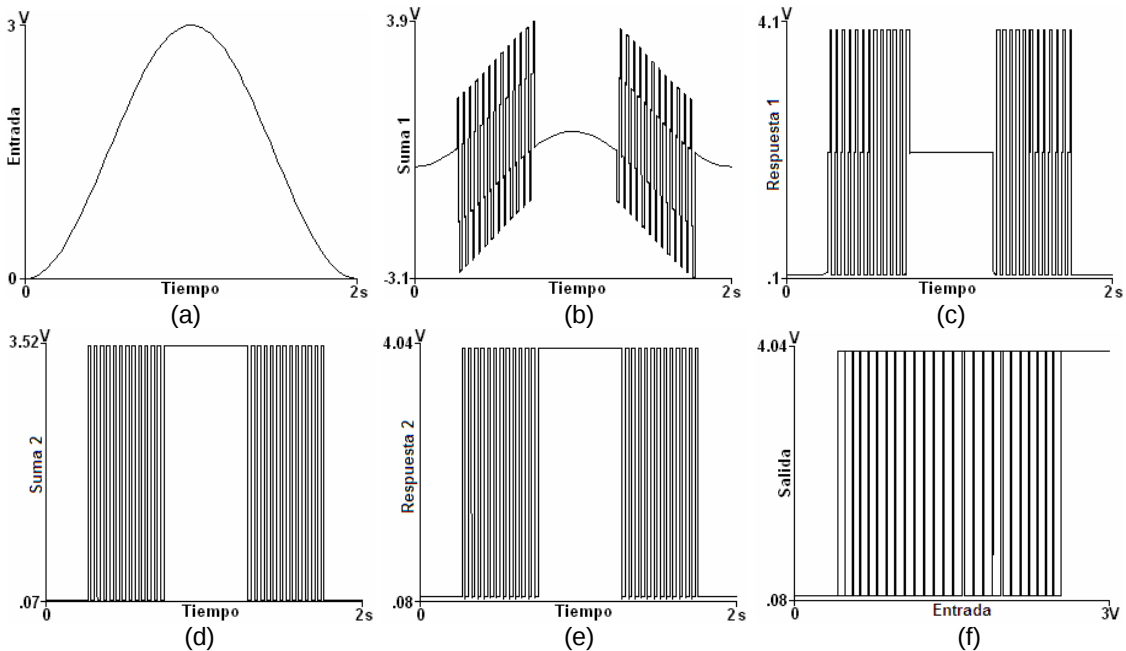


Figura 32. Entrada senoide. $V_{ref1} = 2$, $V_{ref2} = 1.5$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

De nuevo encontramos alta selectividad en la respuesta de la figura 30f, pero encontramos procesos evocados entre las respuestas de las figuras 29f y 32f, y entre las figura 28f y 31f encontramos memoria de forma.

Vamos a llamar procesos evocados, o evocación, cuando el plano fase de la columna tectal sea invariante ante cambio de parámetros o de entrada a la columna.

La memoria de forma es aquella en la cual la forma del plano fase de la columna tectal se mantiene sin cambios ante los cambios de parámetros

En la siguiente serie de experimentos decidimos usar una forma de onda más compleja por lo que elegimos a la señal romboide como señal de entrada. Los experimentos realizados dieron como resultados los que se muestran en las figura 33 y 34.

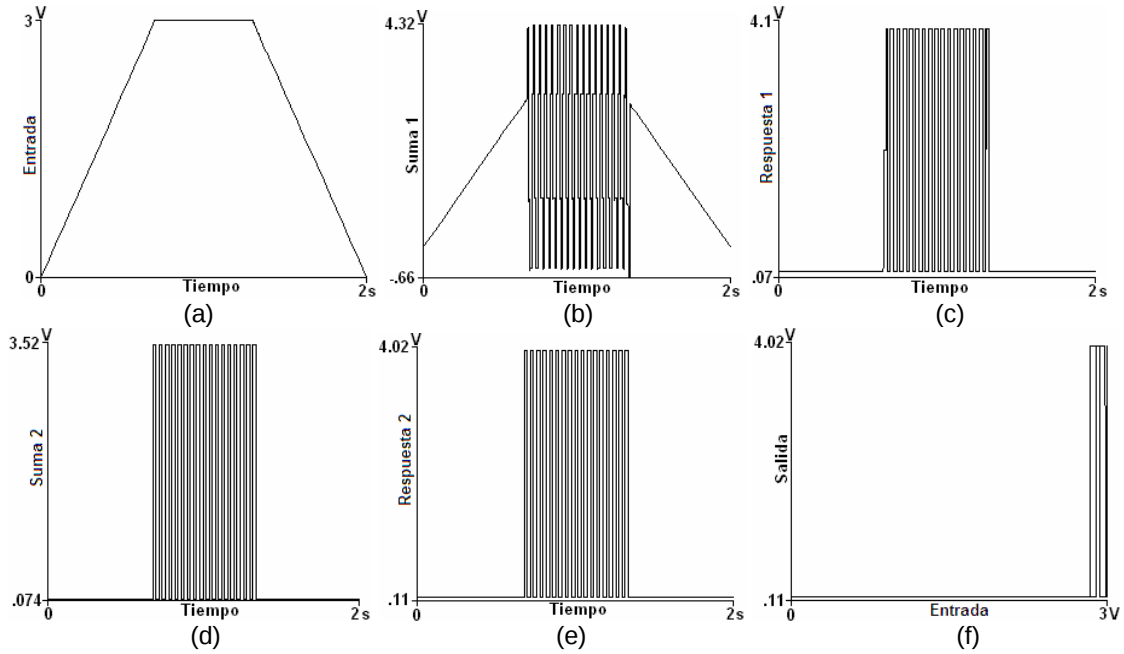


Figura 33. Entrada romboide. $V_{ref1} = 2.9$, $V_{ref2} = 2.8$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

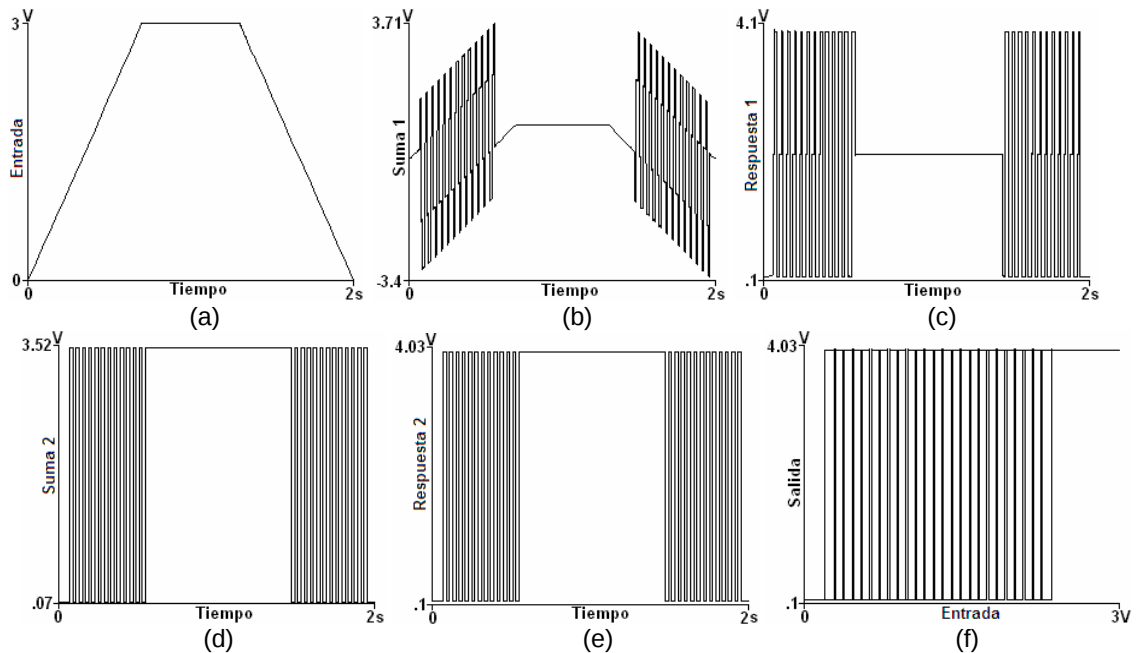


Figura 34. Entrada romboide. $V_{ref1} = .2$, $V_{ref2} = 1.5$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

Vamos a entender por evocación cuando a la salida de la columna tectal podemos encontrar los mismos planos fase aunque los parámetros de la red no sean los mismos como vemos en las figuras las figuras 32f y 34f en las cuales tenemos diferente entrada, por lo que podemos afirmar que tenemos evocación entre ellos.

Para analizar mejor el comportamiento de la columna tectal ante señales de entrada más complejas decidimos sumar señales para complicar la señal de entrada. En la siguiente serie de experimentos se empleó una señal de entrada compuesta de la suma de una triangular + romboide, lo que dio por resultados los mostrados en las gráficas 35, 36 y 37.

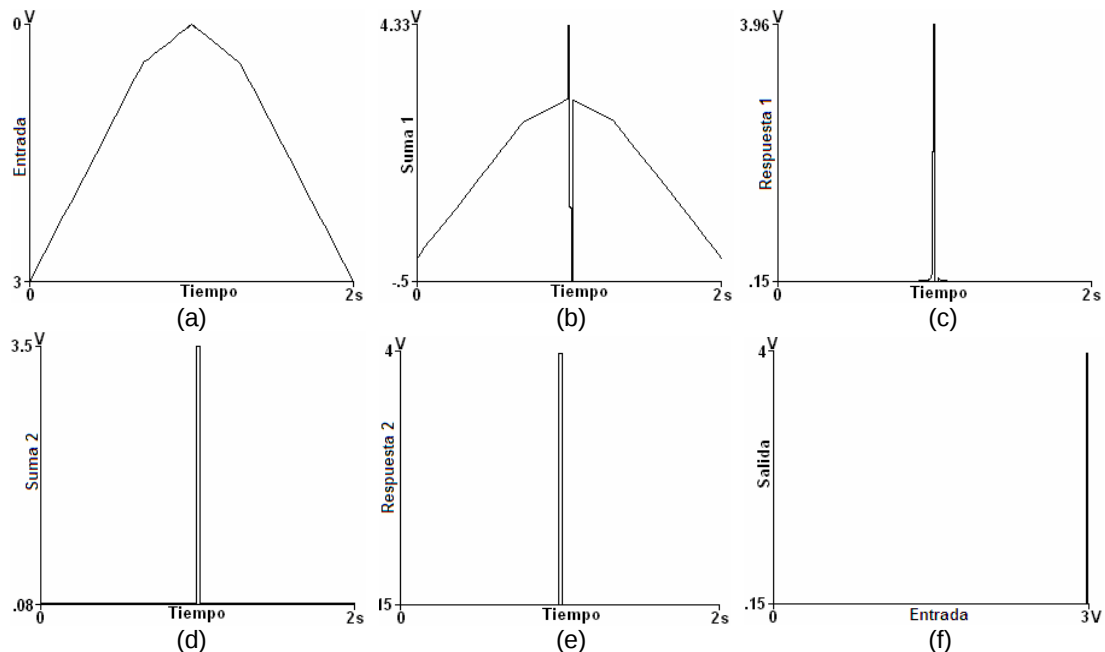


Figura 35. Entrada triangular + romboide. $V_{ref1} = 2.9$, $V_{ref2} = 2.96$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

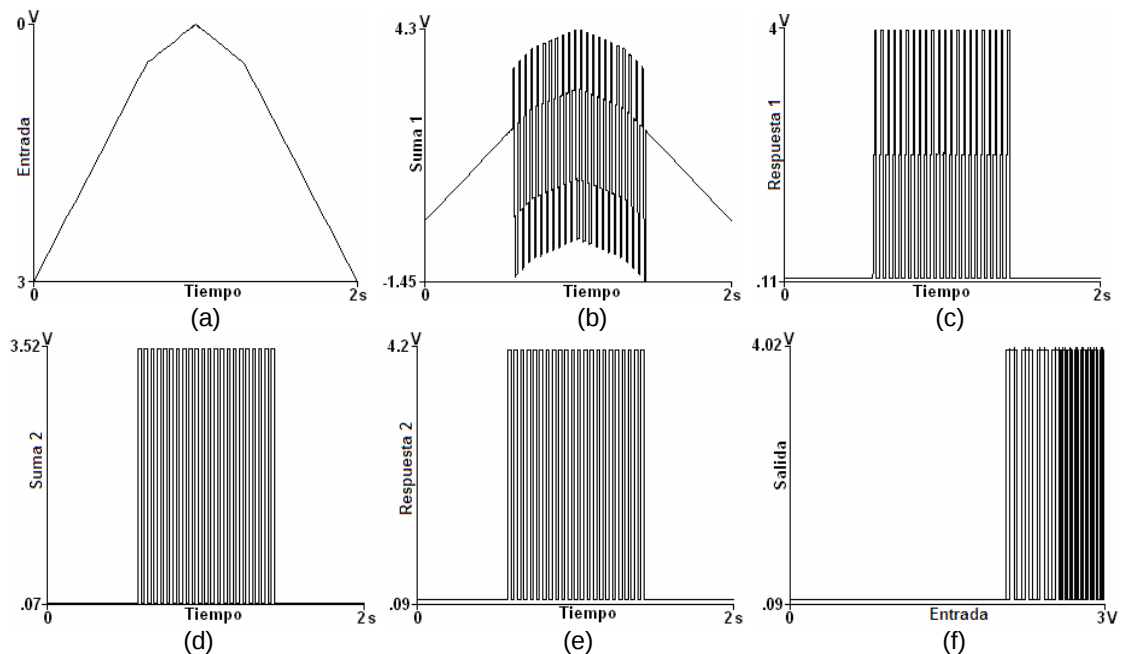


Figura 36. Entrada triangular + romboide. $V_{ref1} = 2$, $V_{ref2} = 2$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

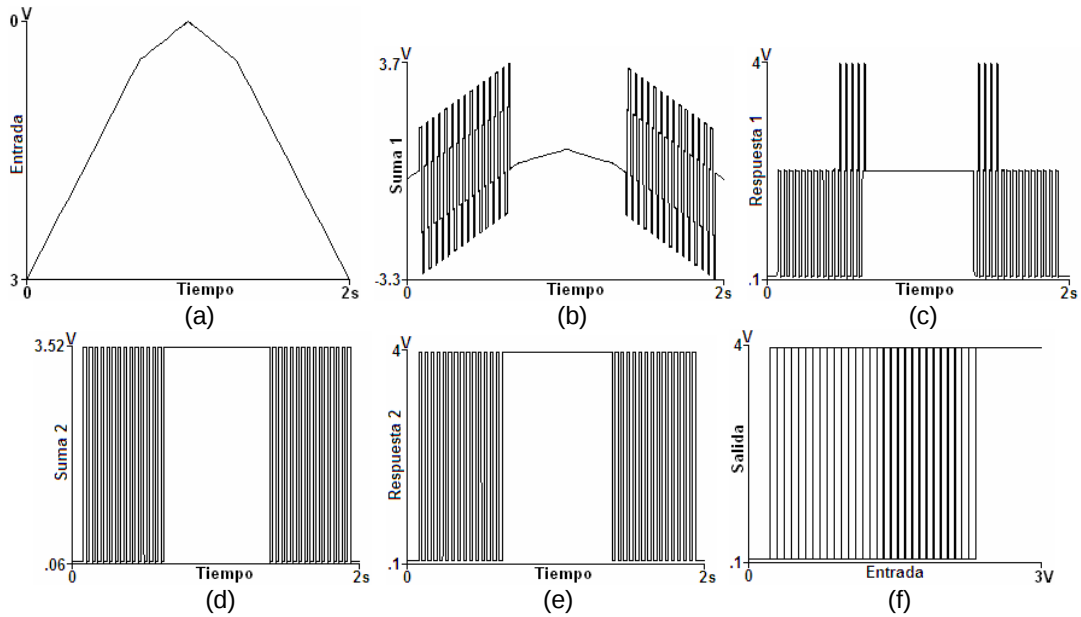


Figura 37. Entrada triangular + romboide. $V_{ref1} = .2$, $V_{ref2} = 1.5$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

Las figuras 27f, 30f y 35f presentan una alta selectividad y son también procesos evocados. También encontramos evocación de las respuestas entre las figura 32f, 34f y 37f.

La siguiente serie de experimentos se realizaron con una entrada senoide sumada a una señal romboide, lo que dio por resultados los que se muestran en la gráficas 38, 39 y 40.

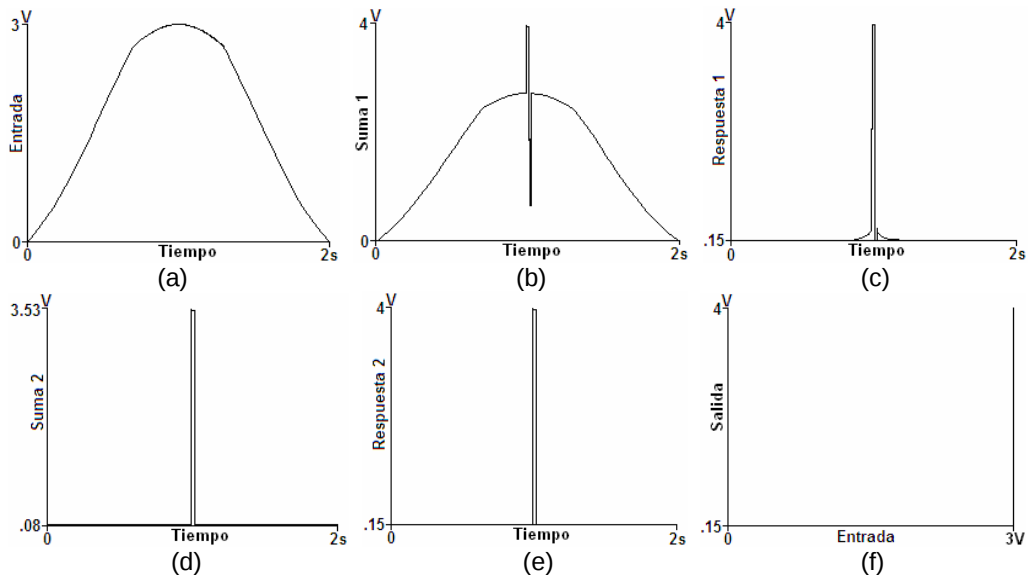


Figura 38. Entrada senoide + romboide. $V_{ref1} = 2.98$, $V_{ref2} = 2.975$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

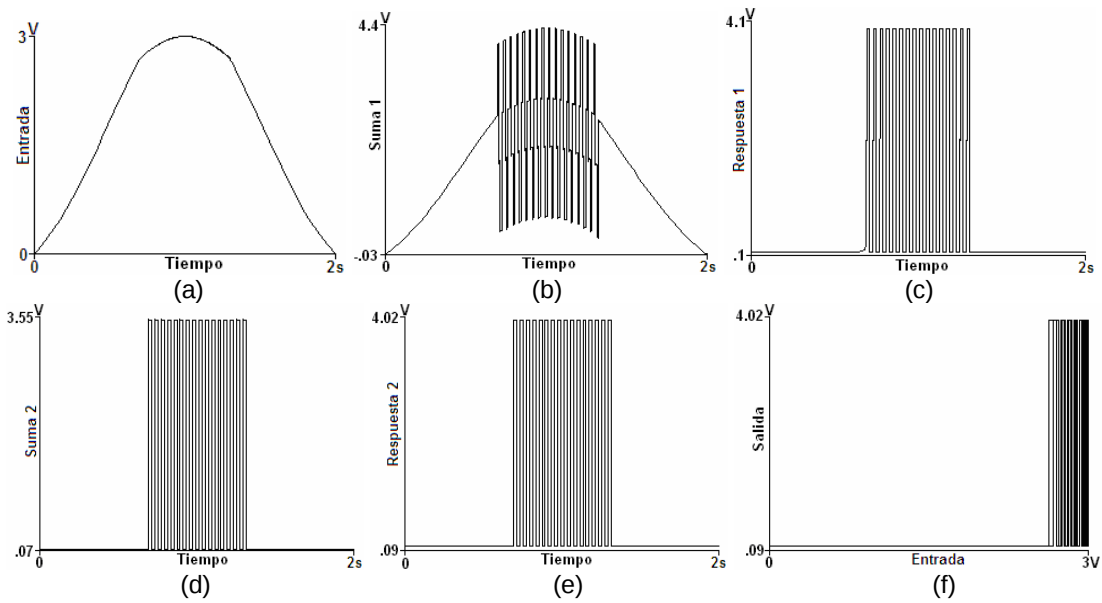


Figura 39. Entrada senoide + romboide. $V_{ref1} = 2.6$, $V_{ref2} = 2.8$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

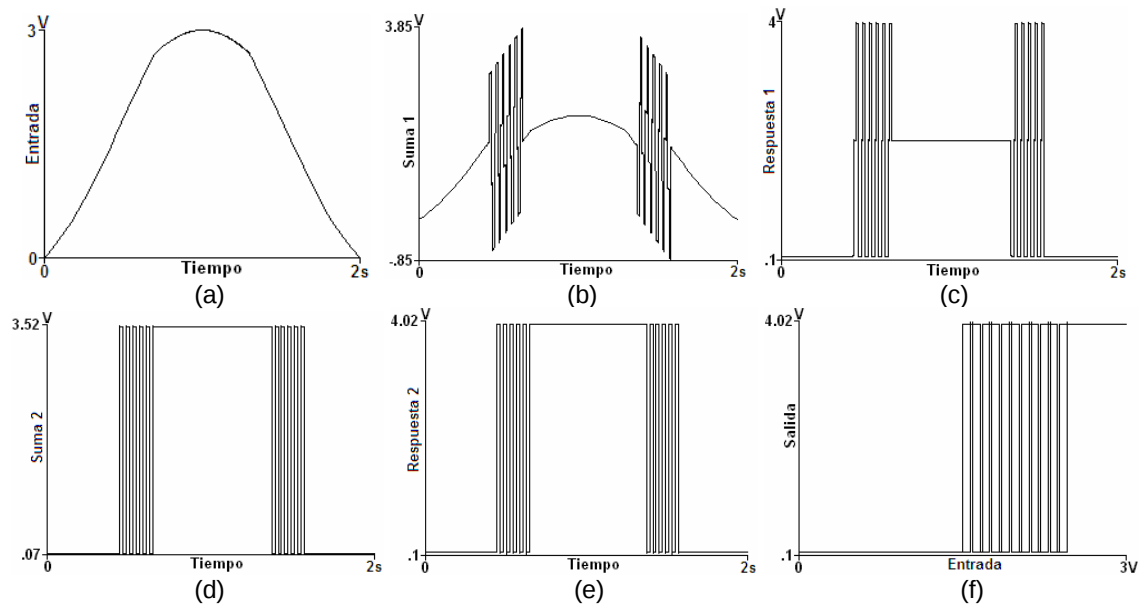


Figura 40. Entrada senoide + romboide. $V_{ref1} = 2.6$, $V_{ref2} = 2$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

En las figuras 39f y 40f sólo encontramos memoria de forma de ellas con las figuras 28f y 31f.

Recordemos que la memoria de forma es aquella en la cual el plano fase de la columna tectal tiene la misma forma aunque tengamos cambios en los parámetros de la columna tectal, o una señal de entrada diferente.

La siguiente serie de experimentos se realizaron con una entrada senoide sumada a una señal triangular, lo que dio por resultados los que se muestran en la gráficas 41, 42 y 43.

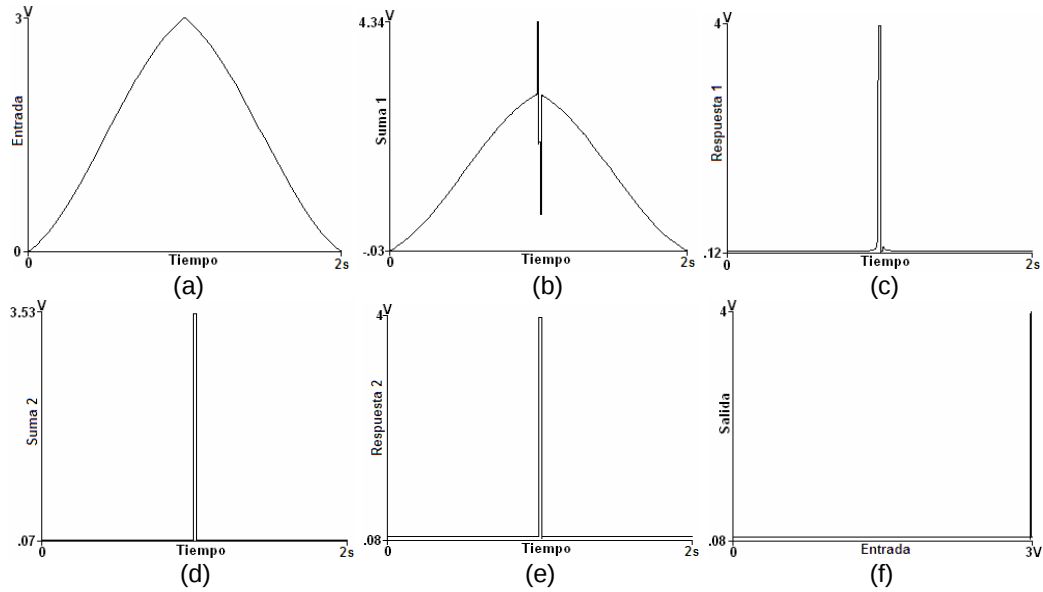


Figura 41. Entrada senoide + triangular. $V_{ref1} = 2.95$, $V_{ref2} = 2.96$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

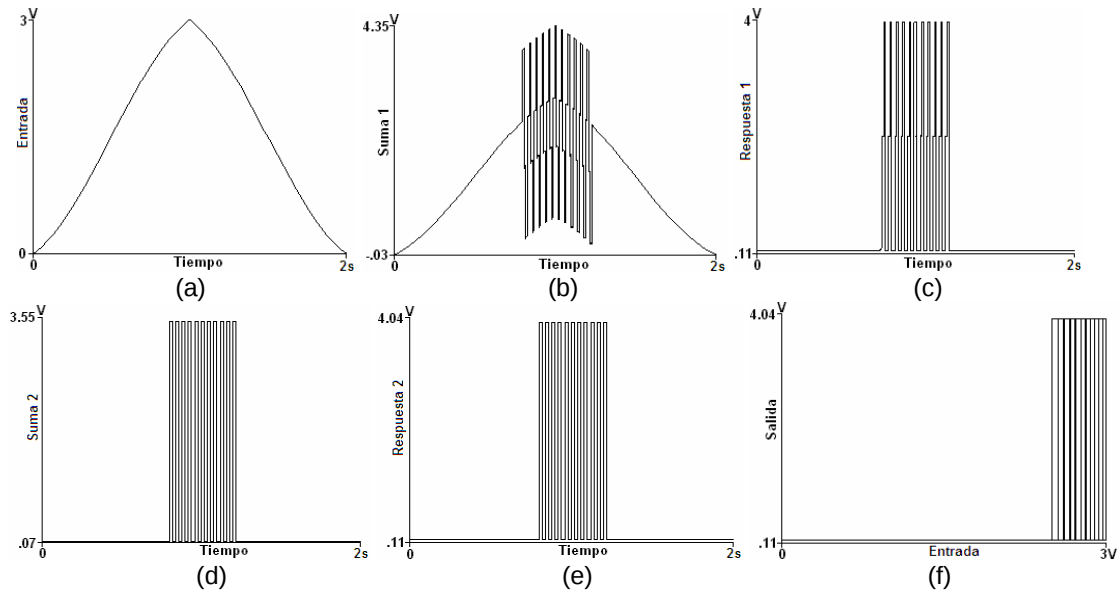


Figura 42. Entrada senoide + triangular. $V_{ref1} = 2.5$, $V_{ref2} = 2.96$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

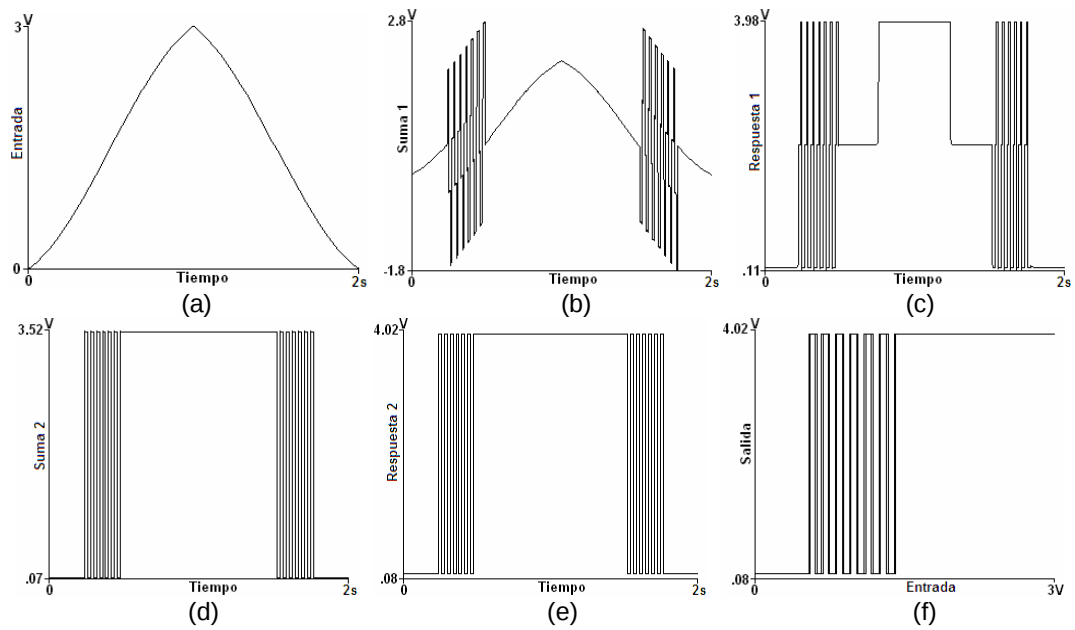


Figura 43 Entrada senoide + triangular. $V_{ref1} = .5$, $V_{ref2} = 2.96$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

La figura presenta 41f alta selectividad y procesos de evocación con las figuras 35f, 38f y 41f.

Las figuras 38f y 36f presentan memoria de forma, así como las figuras 36f y 42f.

4. COLUMNA TECTAL INTEGRADORA CON NEURONAS CON FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ZONA MUERTA Y RAMPA

Estudiaremos dos modelos basados en la arquitectura de la columna de tectal, propuesto por Lara (Lara R, Arbib MA, 1982), pero usando neuronas con función de activación zona muerta. En la figura 44 se muestra el diagrama de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

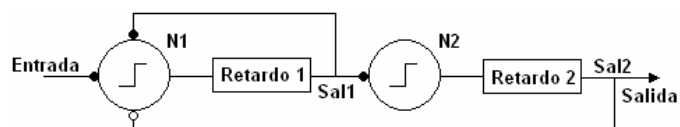


Figura 44. Esquema de la columna tectal con funciones de activación zona muerta

En la figura 45 se muestra el diagrama electrónico del modelo de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

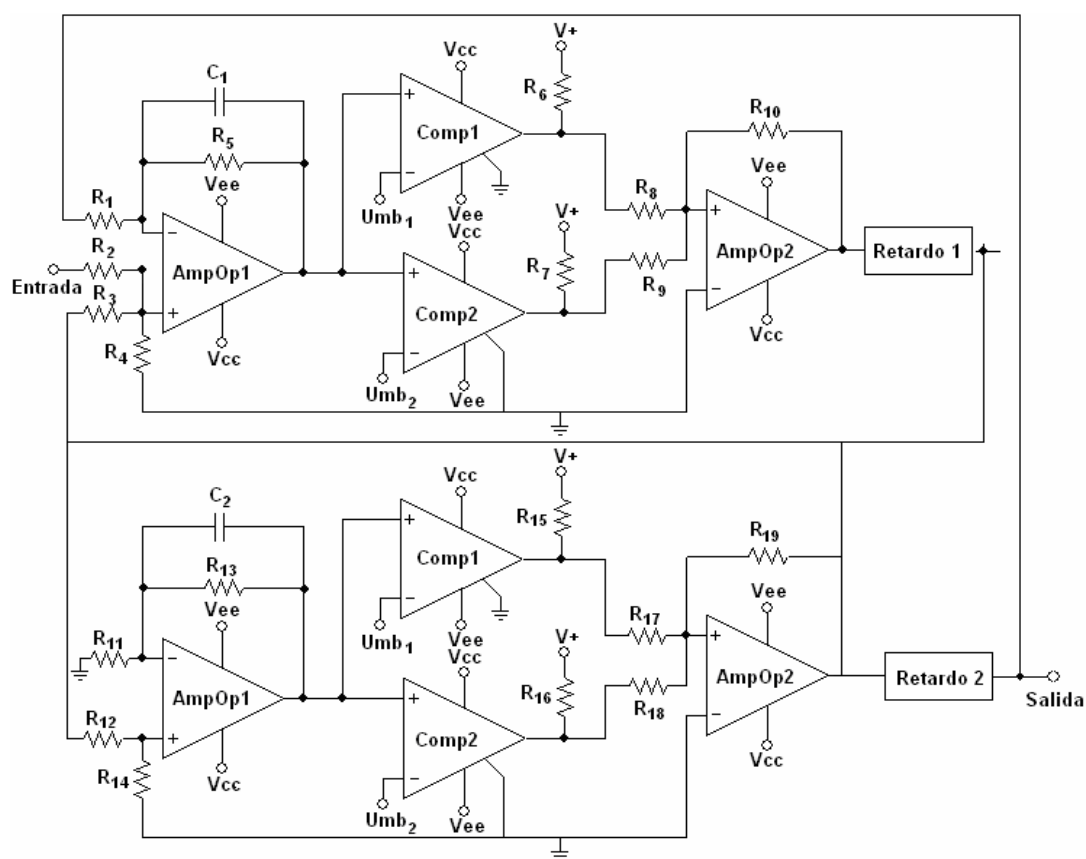


Figura 45. Diagrama electrónico de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

4.1. RESULTADOS DE LA COLUMNA TECTAL INTEGRADORA CON FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ZONA MUERTA Y RAMPA.

En las siguientes gráficas veremos los resultados a los experimentos realizados con la columna tectal con neuronas integradoras con función de activación zona muerta.

En nuestros primeros experimentos usamos una señal de entrada triangular, y los resultados que obtuvimos se muestran en las figuras 46, 47 y 48. Los resultados se muestran como: (a) señal de entrada, (b) suma de la primera neurona, (c) salida de la primera neurona, (d) suma de la segunda neurona, (e) salida de la segunda neurona (e) plano fase.

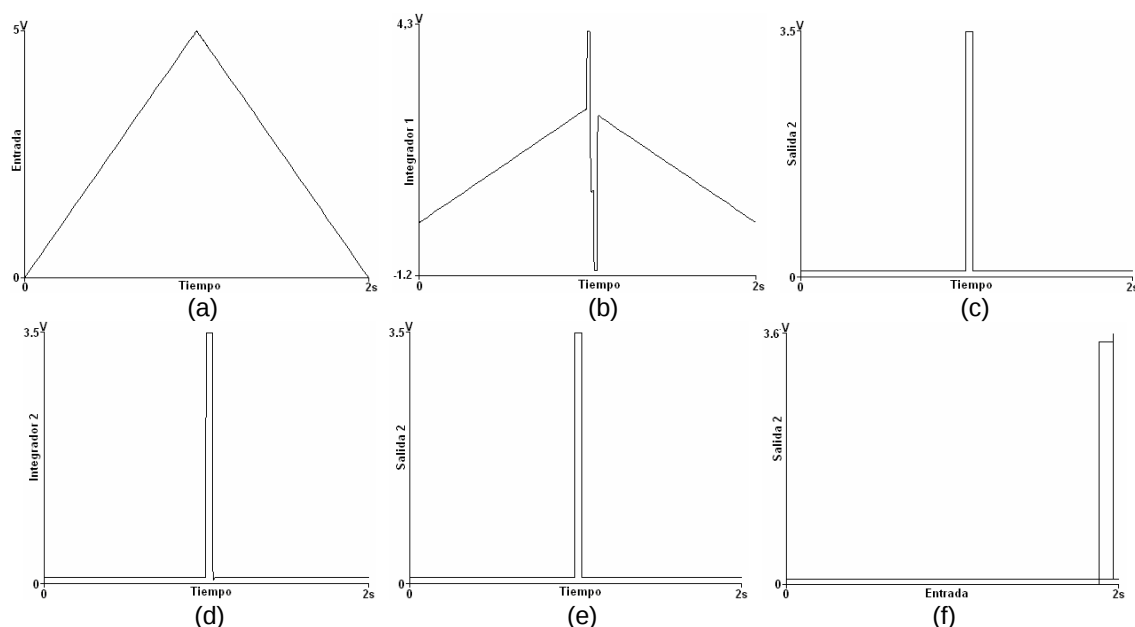


Figura 46. Entrada triangular. $V_{ref1} = 2.4$, $V_{ref2} = 3$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 2$. $R1 = R2 = 10ms$.

En el siguiente experimento usamos una entrada triangular con voltajes de referencia $V_{ref1} = 1$, $V_{ref2} = 2$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

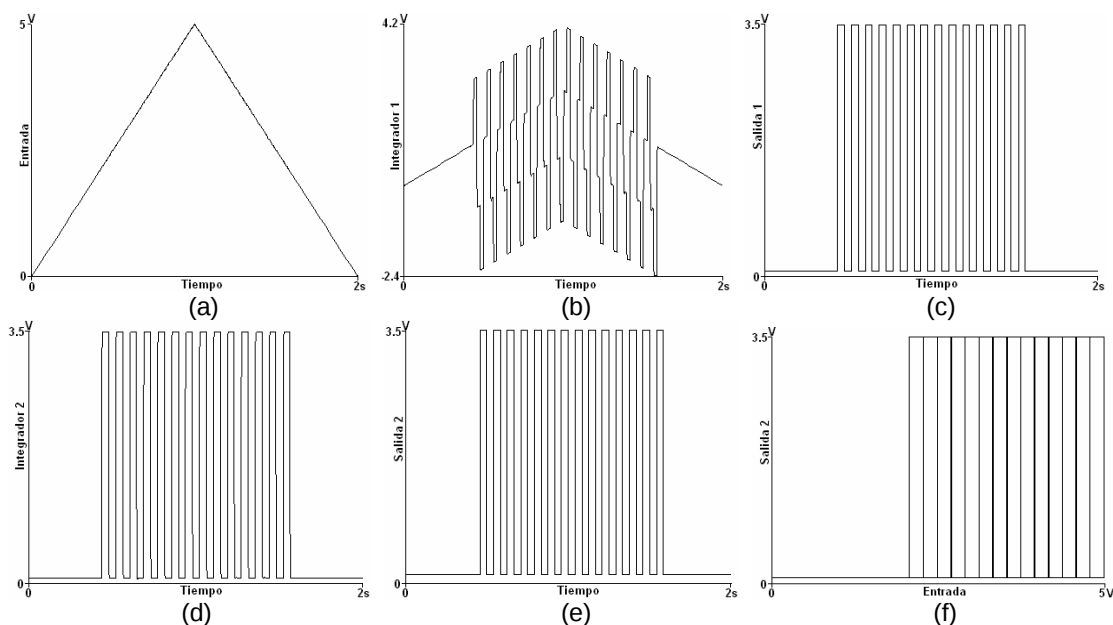


Figura 47. Entrada triangular. $V_{ref1} = 1$, $V_{ref2} = 2$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

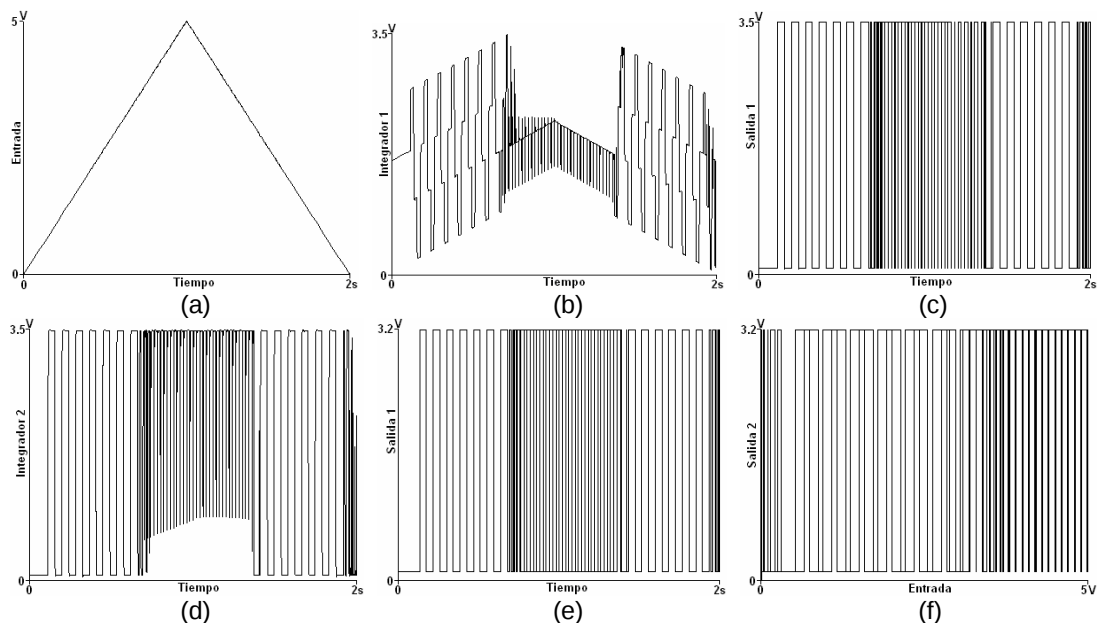


Figura 48. Entrada triangular. $V_{ref1} = .2$, $V_{ref2} = 1.5$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

Existe memoria de forma entre las salidas de las figura 49f y 50f, y existe evocación entre las figuras 37f, 38f y 41f.

Los resultados para una entrada senoide se muestran en la figuras 49, 50 y 51.

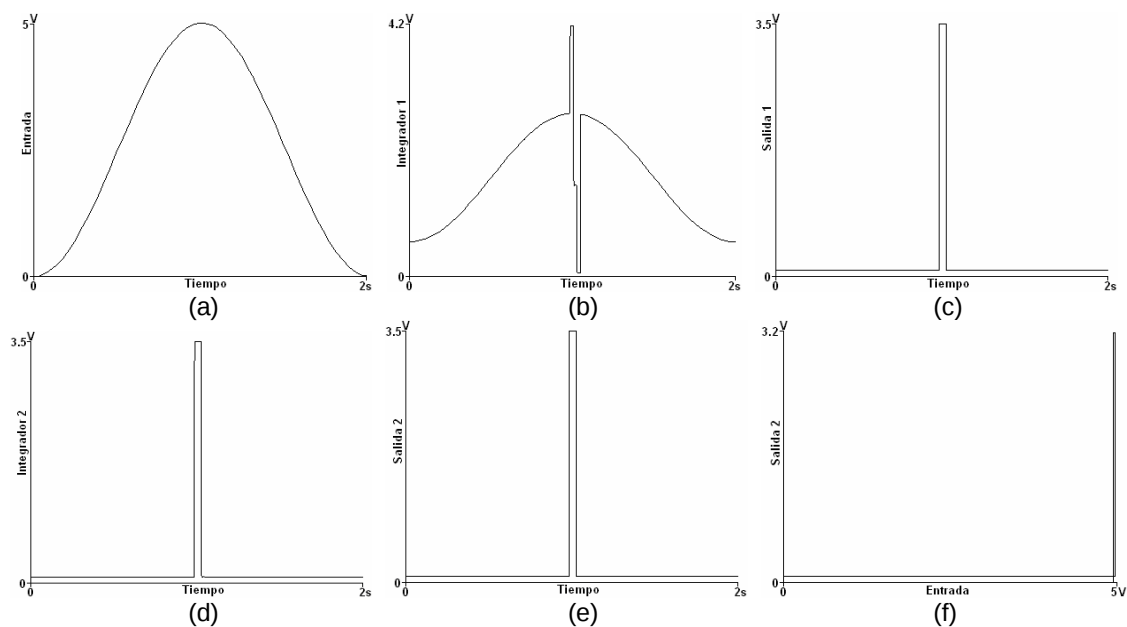


Figura 49. Entrada senoide. $V_{ref1} = 2.4$, $V_{ref2} = 3$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 2$. $R1 = R2 = 10ms$.

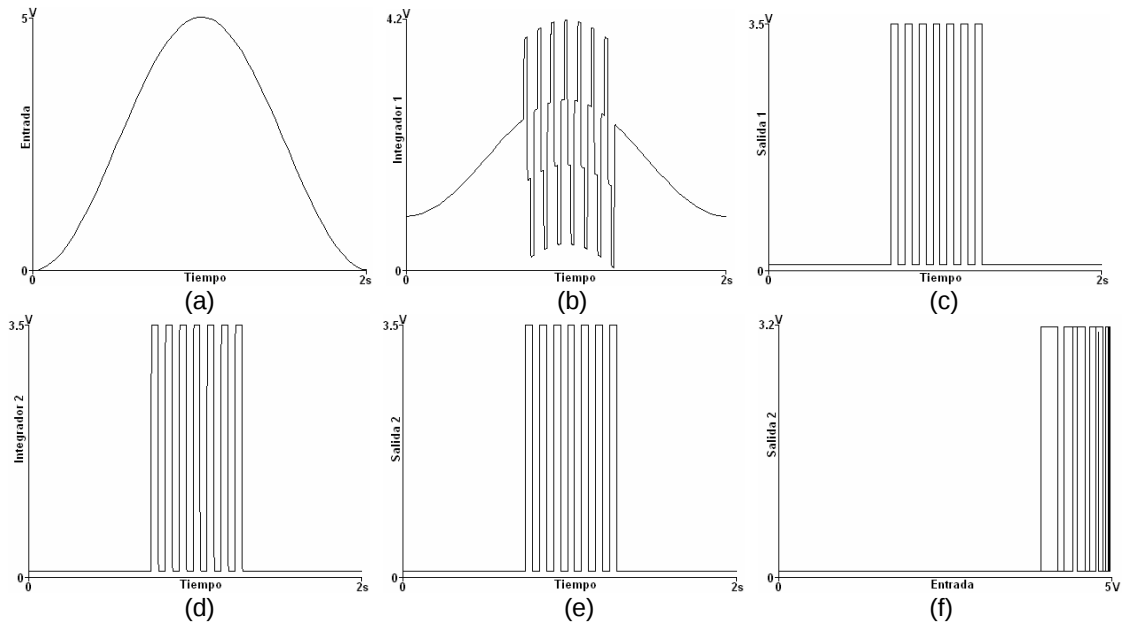


Figura 50. Entrada senoide. $V_{ref1} = 2$, $V_{ref2} = 2.8$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

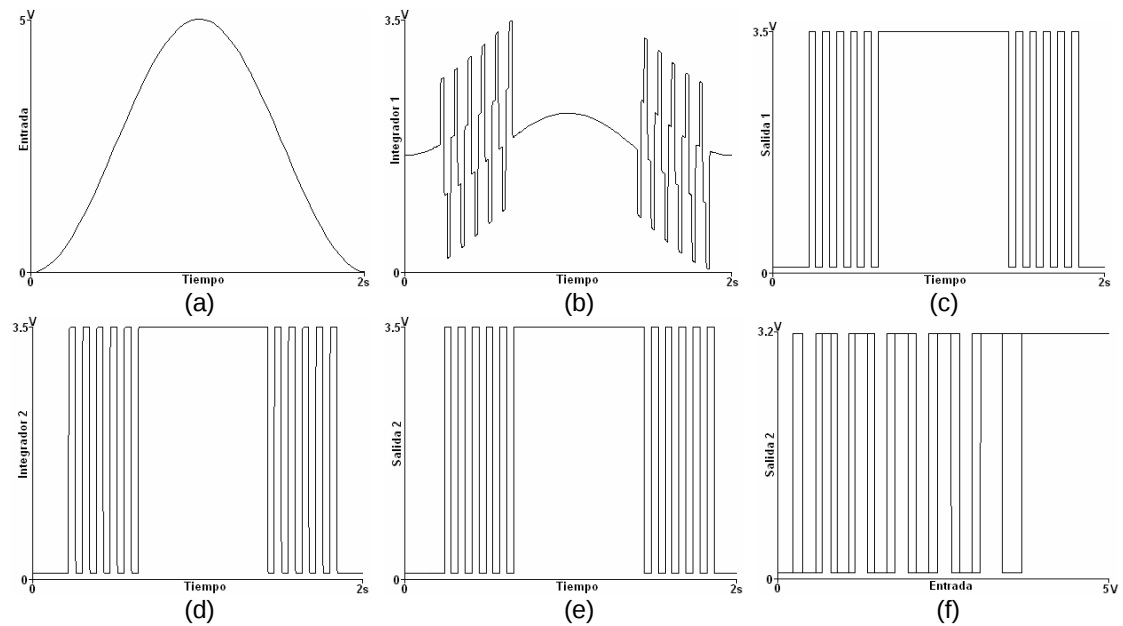


Figura 51. Entrada senoide. $V_{ref1} = 0.2$, $V_{ref2} = 2.8$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

Existen evocación y alta selectividad entre la figura 49f y las figuras 35f, 38f y 41f.

Los resultados para una entrada romboide se muestran en la figuras 52, y 53.

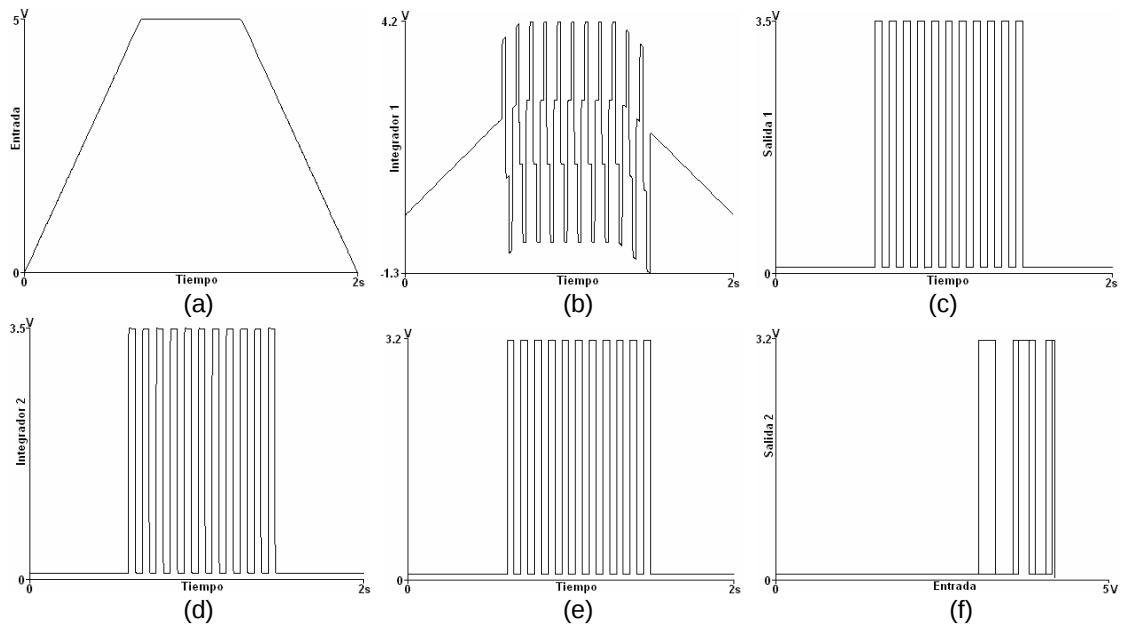


Figura 52. Entrada romboide. Vref1 = 2, Vref2 = 2.5, Vref3 = 1, V ref4 = 3. R1 = R2 = 10ms.

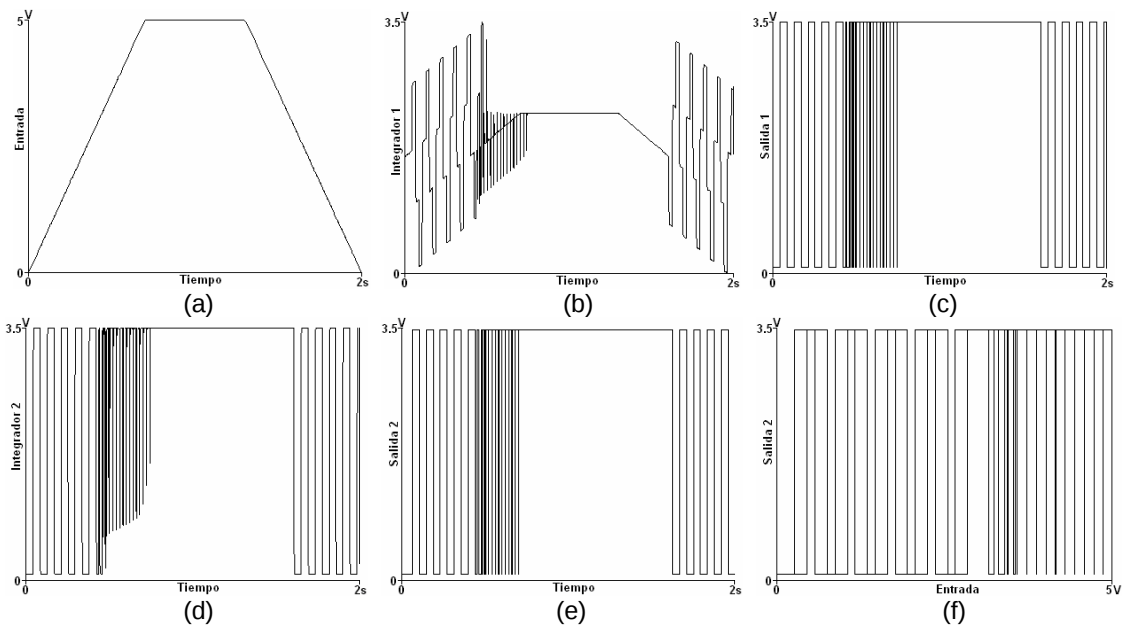


Figura 53. Entrada romboide. Vref1 = .2, Vref2 = 1.5, Vref3 = 1, V ref4 = 3. R1 = R2 = 10ms.

Existe memoria de forma entre las figures 43f y 50f y 48f y 53f, y existe evocación entre las figuras 32f, 35f, 38f y 45f.

Podemos darnos cuenta de los resultados hasta ahora obtenidos que cada vez que existe alta selectividad, existe evocación.

Para complicar de nuevo la señal de entrada sumamos una señal triangular con una señal romboide y los resultados obtenidos se muestran en las figuras 54, 55 y 56.

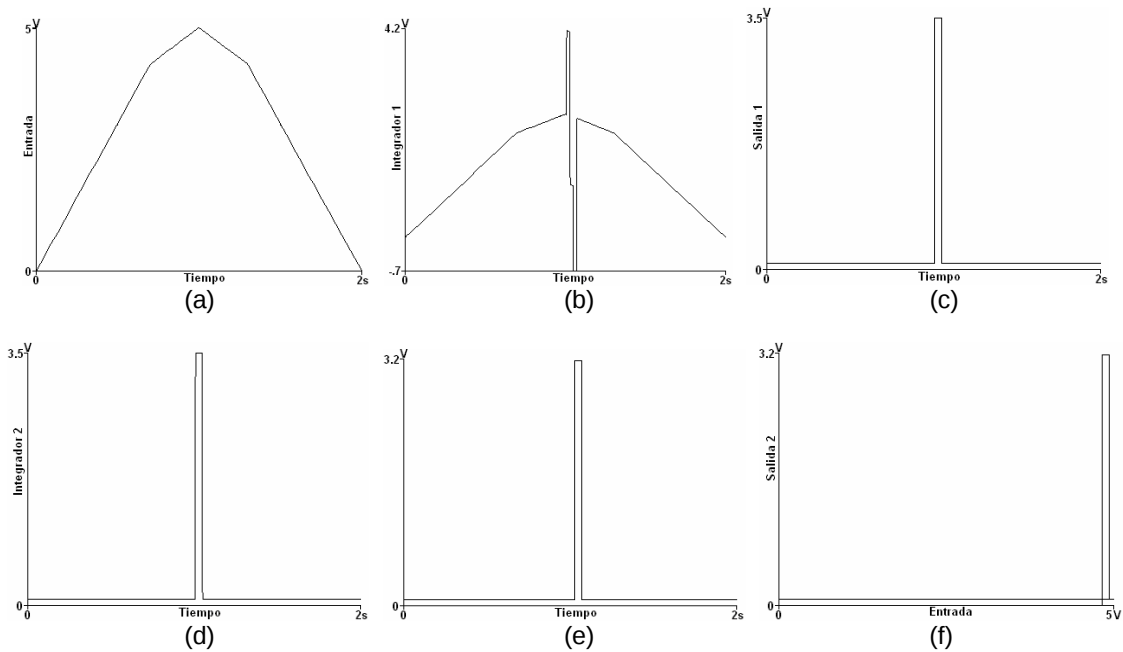


Figura 54. Entrada triangular + romboide. $V_{ref1} = 2.9$, $V_{ref2} = 2.96$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

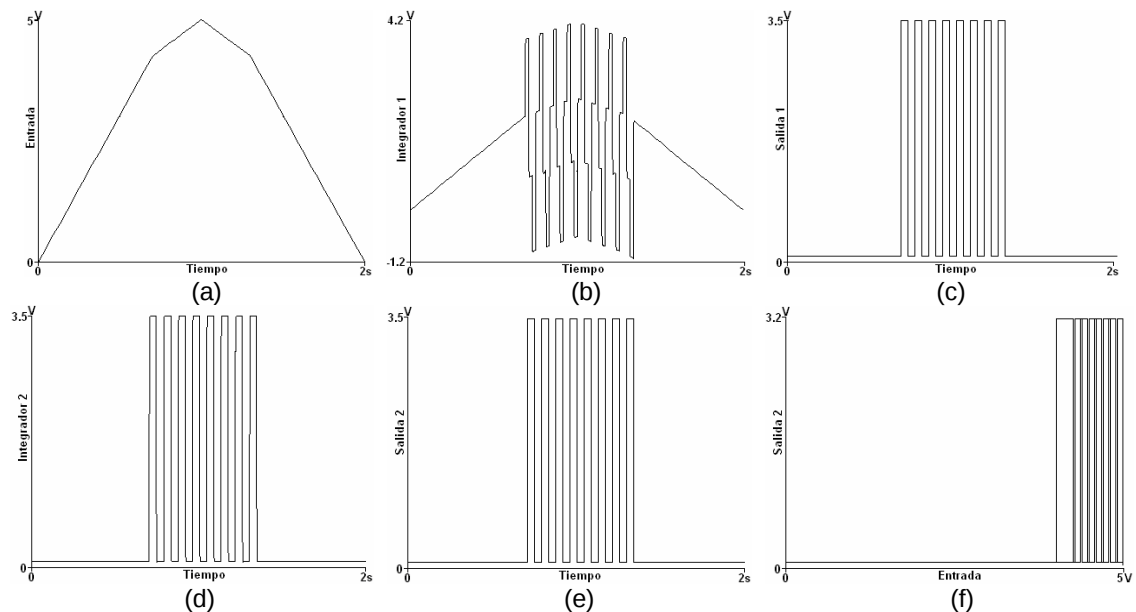


Figura 55. Entrada triangular + romboide. $V_{ref1} = .2$, $V_{ref2} = 2.96$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

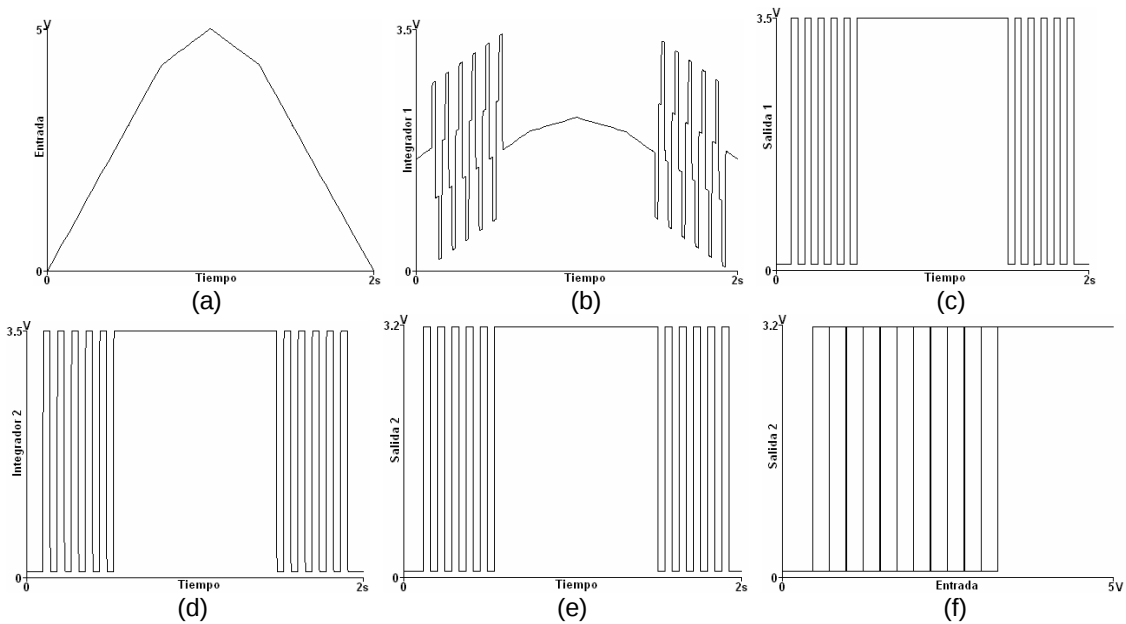


Figura 56. Entrada senoide + romboide. $V_{ref1} = 2.6$, $V_{ref2} = 2.8$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

De nuevo encontramos memoria de forma entre las figuras 51 y 56.

Los resultados para una señal de entrada senoide más romboide, se muestran en las figuras 57, 58 y 59.

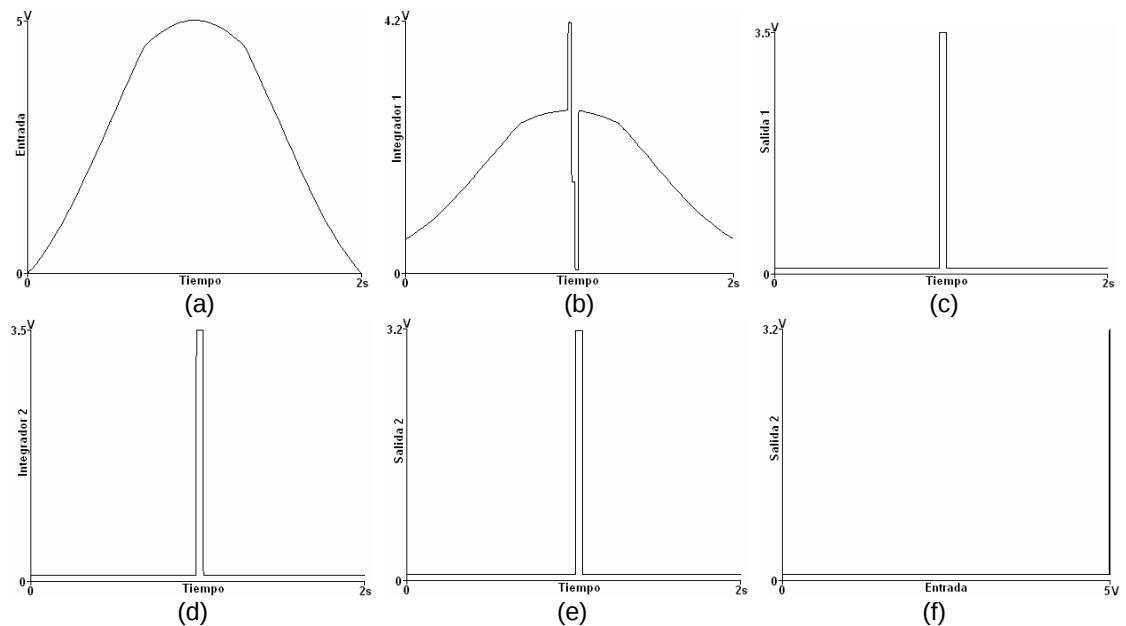


Figura 57. Entrada senoide + romboide. $V_{ref1} = 2.465$, $V_{ref2} = 3$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

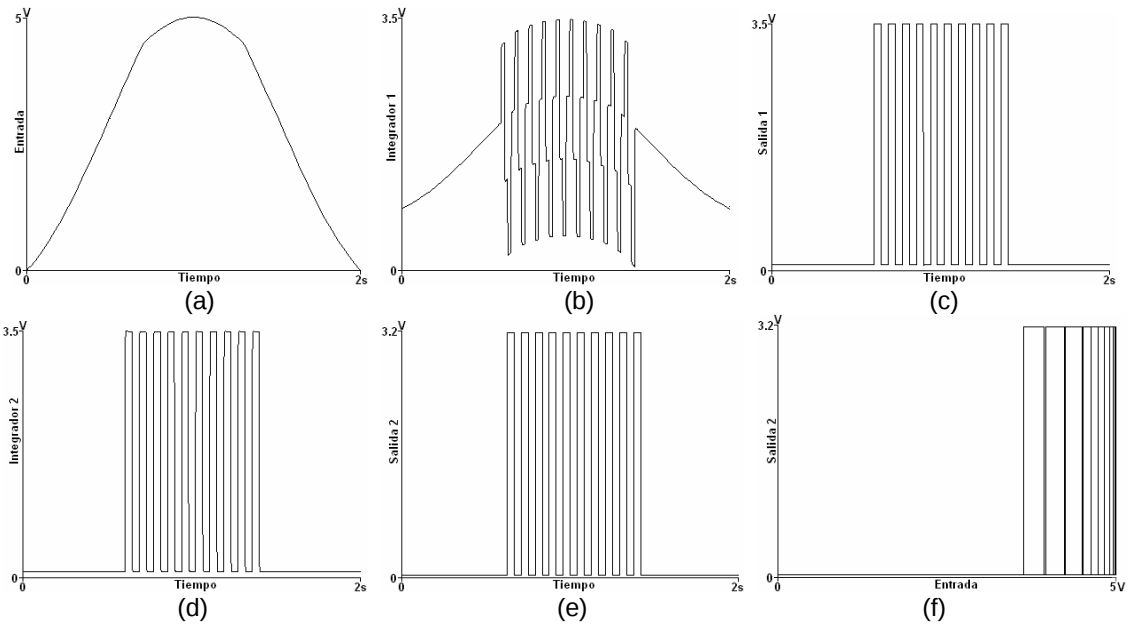


Figura 58. Entrada senoide + romboide. $V_{ref1} = 1.8$, $V_{ref2} = 2$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

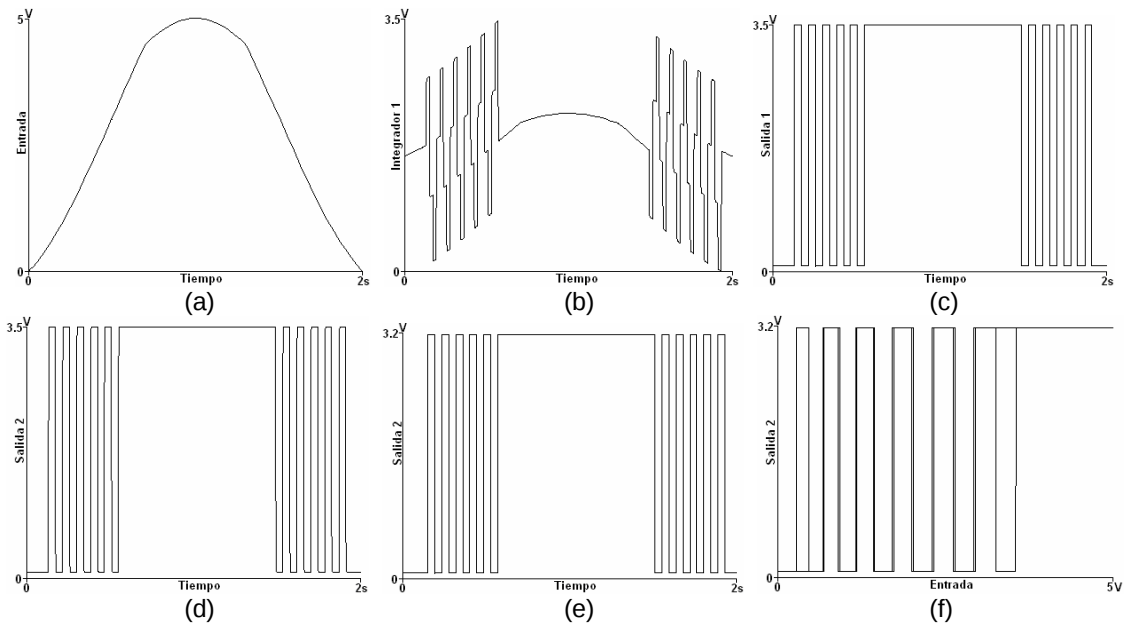


Figura 59. Entrada triangular + romboide. $V_{ref1} = 0.2$, $V_{ref2} = 1.5$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

De nuevo se replica que con alta selectividad existe una evocación, en este caso se da entre las figuras 49f y 57f. También existe memoria de forma entre las respuestas de las figuras 55e y 58e y 56e y 59e.

Los resultados para una señal de entrada senoide más triangular se muestran en las figuras 60, 61 y 62.

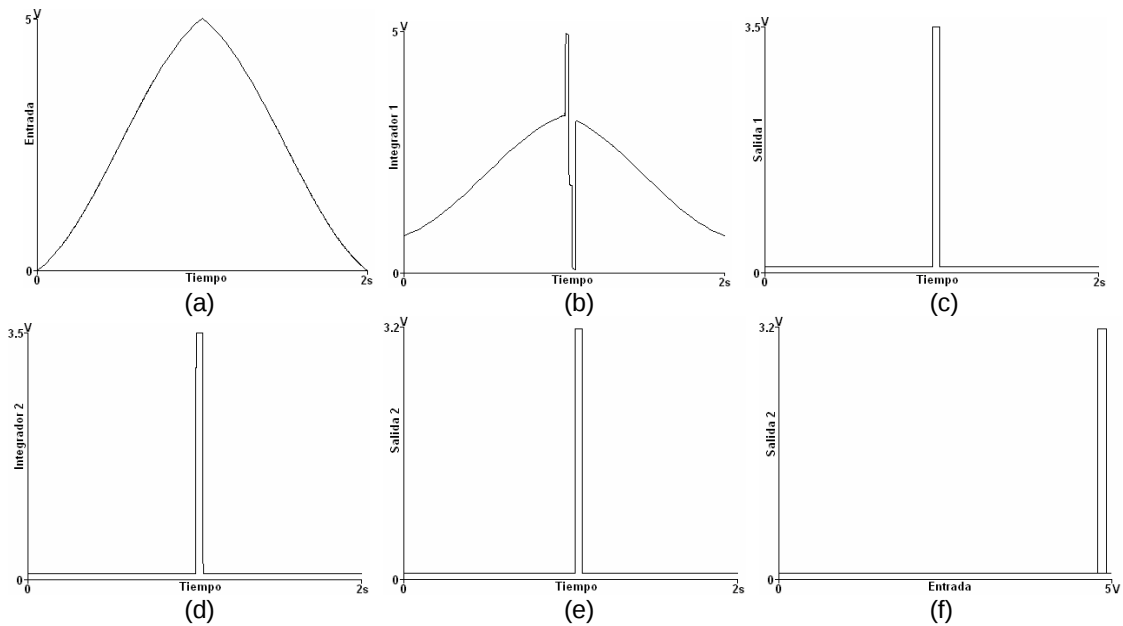


Figura 60. Entrada senoide + triangular. $V_{ref1} = 2.45$, $V_{ref2} = 3$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

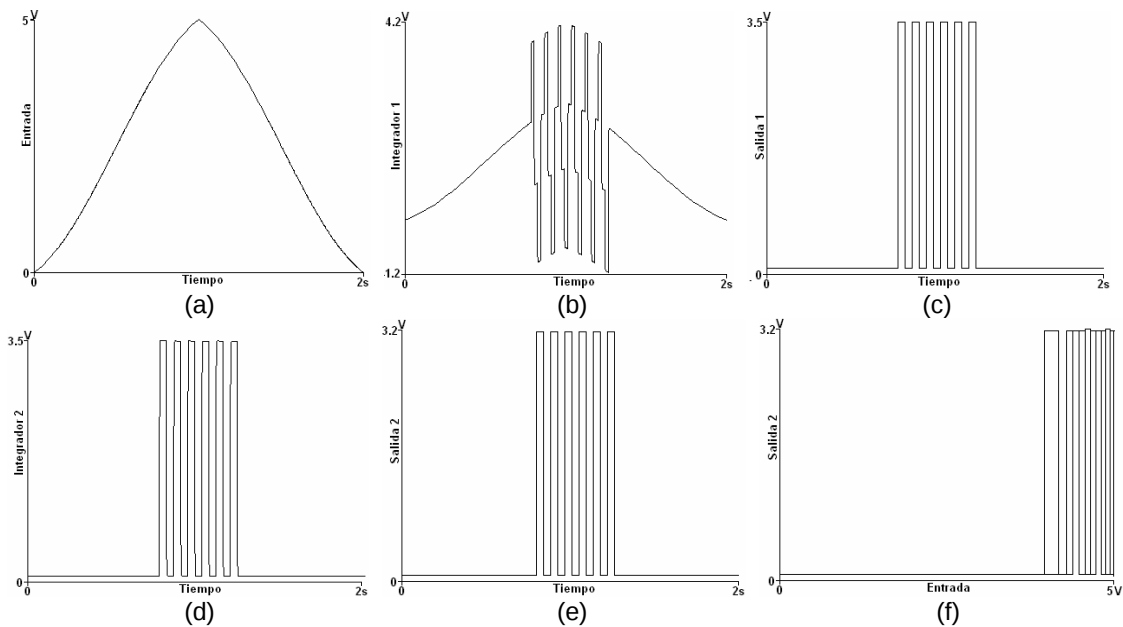


Figura 61. Entrada senoide + triangular. $V_{ref1} = 2.5$, $V_{ref2} = 2.96$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$.
 $R1 = R2 = 10ms$.

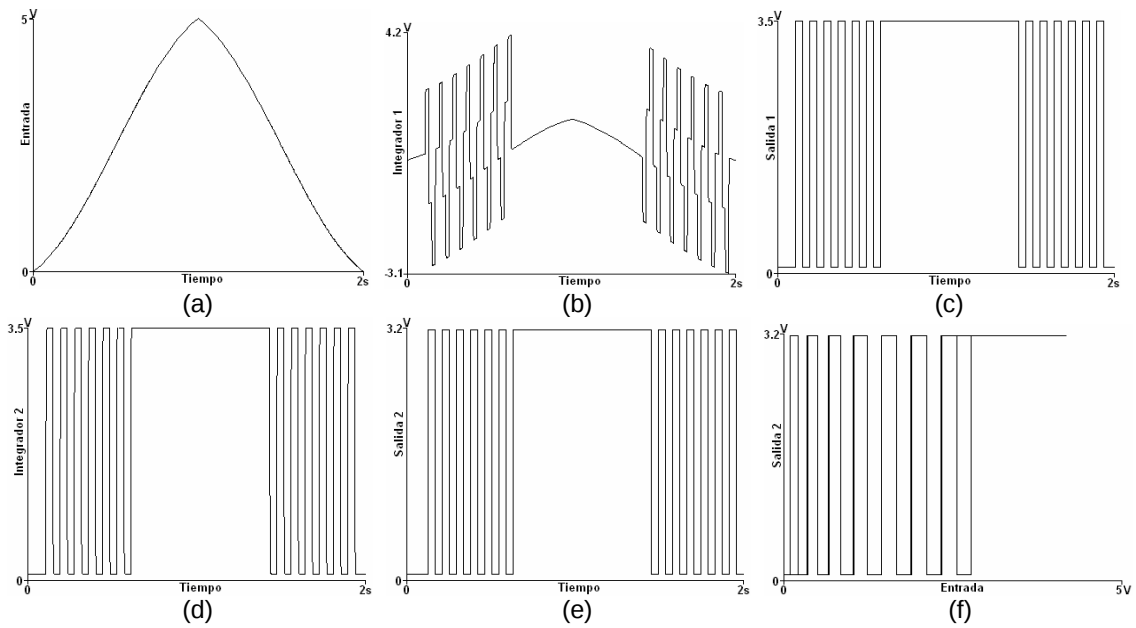


Figura 62. Entrada senoide + triangular. $V_{ref1} = .1$, $V_{ref2} = 2$, $V_{ref3} = 1$, $V_{ref4} = 3$. $R1 = R2 = 10ms$.

Existe memoria de forma entre las figura 61f y 54f.

5. COLUMNA TECTAL NO INTEGRADORA CON NEURONAS CON FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ZONA MUERTA Y RAMPA

Estudiaremos dos modelos basados en la arquitectura de la columna de tectal, propuesto por Lara (Lara R, Arbib MA, 1982), pero usando neuronas con función de activación zona muerta en la primera neurona, y función de activación rampa en la segunda. En la figura 63 se muestra el diagrama de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

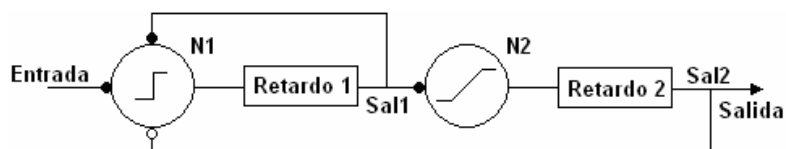


Figura 63. Esquema de la columna tectal con funciones de activación zona muerta

En la figura 64 se muestra el diagrama electrónico del modelo de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

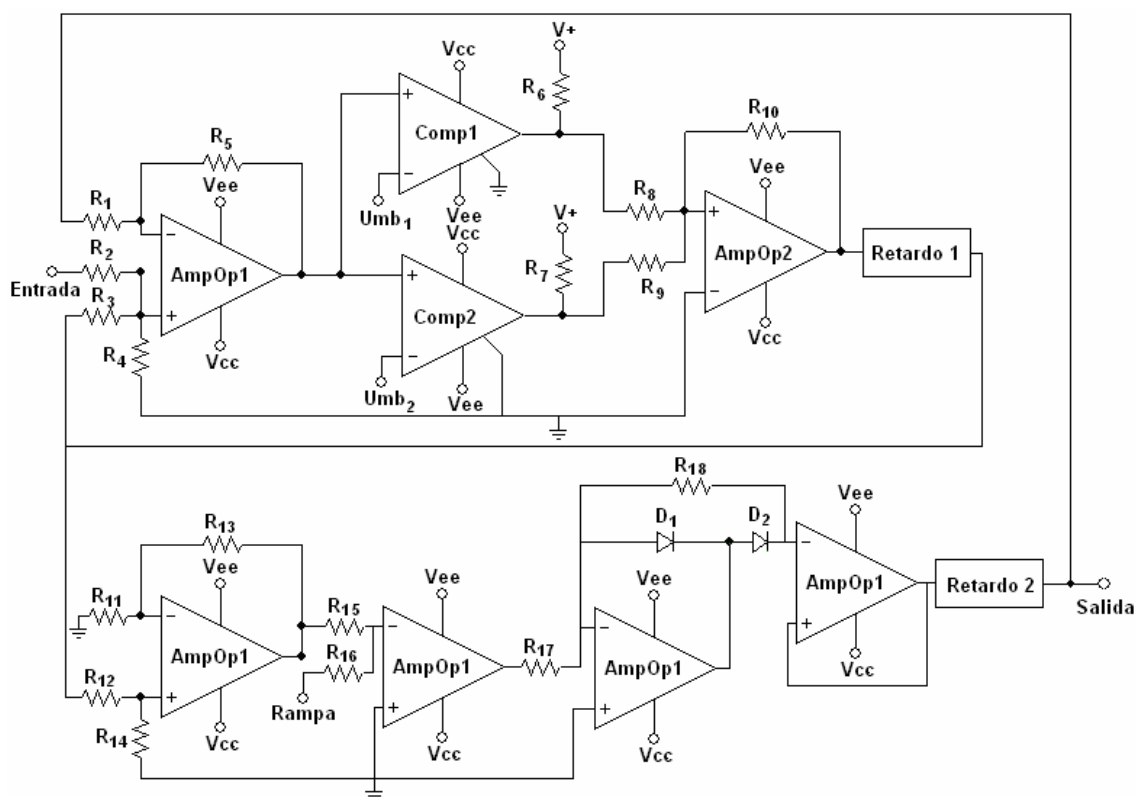


Figura 64. Diagrama electrónico del modelo de la columna tectal con funciones de activación zona muerta y rampa.

5.1. RESULTADOS DE LA COLUMNA TECTAL INTEGRADORA CON FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ZONA MUERTA Y RAMPA.

En las siguientes gráficas veremos los resultados a los experimentos realizados con la columna tectal con función de activación zona muerta. En nuestros experimentos tendremos como variables los umbrales de la zona muerta U_1 y U_2 así como la pendiente de la rampa. Los resultados se presentan como: (a) señal de entrada, (b) suma de la primera neurona, (c) salida de la primera neurona, (d) suma de la segunda neurona, (e) salida de la segunda neurona (e) plano fase.

En nuestro primer experimento usamos una entrada triangular. Los resultados se muestran en las figuras 65, 66 y 67.

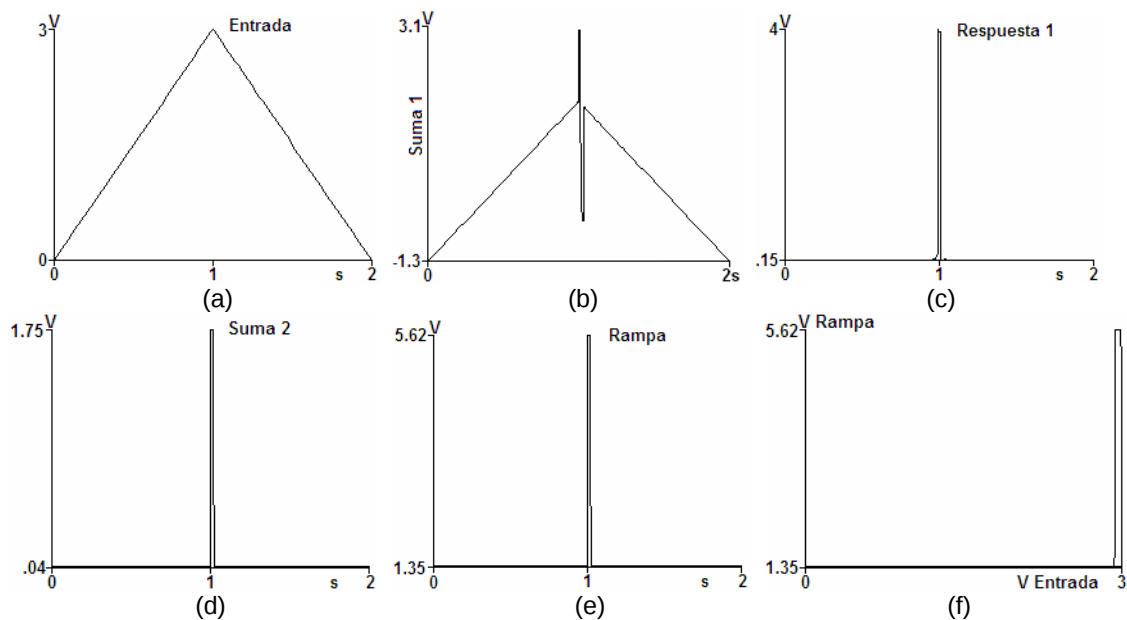


Figura 65. Entrada triangular. $U_1 = 1.7$ $U_2 = 1.65$. $P = .5$. $R_1 = R_2 = 10ms$

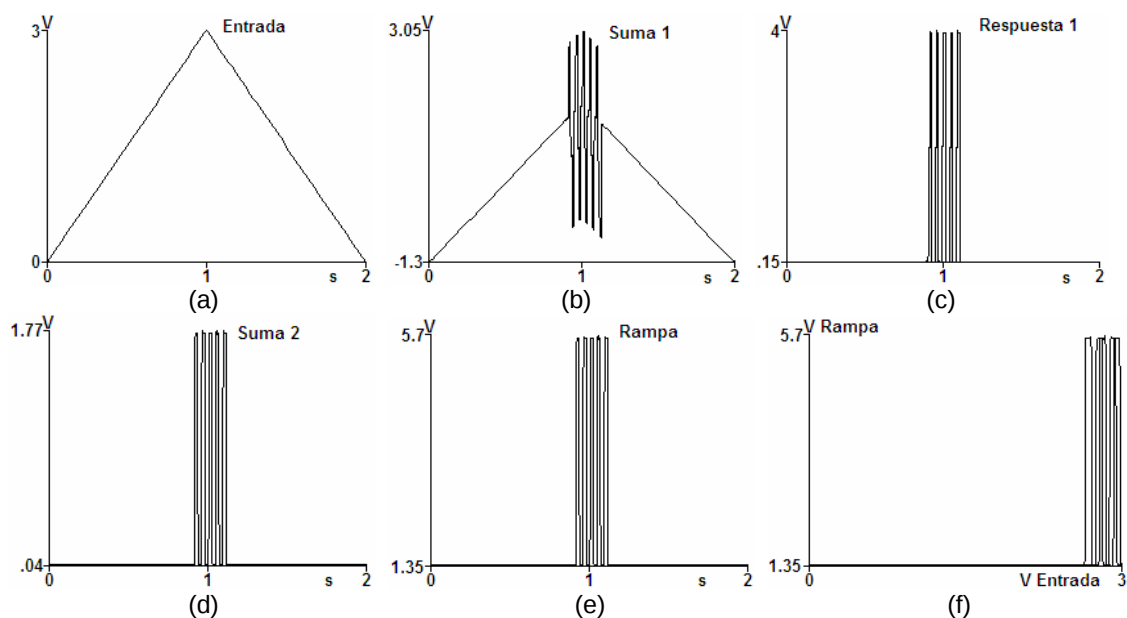


Figura 66. Entrada triangular. $U_1 = 1.4$ $U_2 = 1.65$. $P = .5$. $R_1 = R_2 = 10ms$

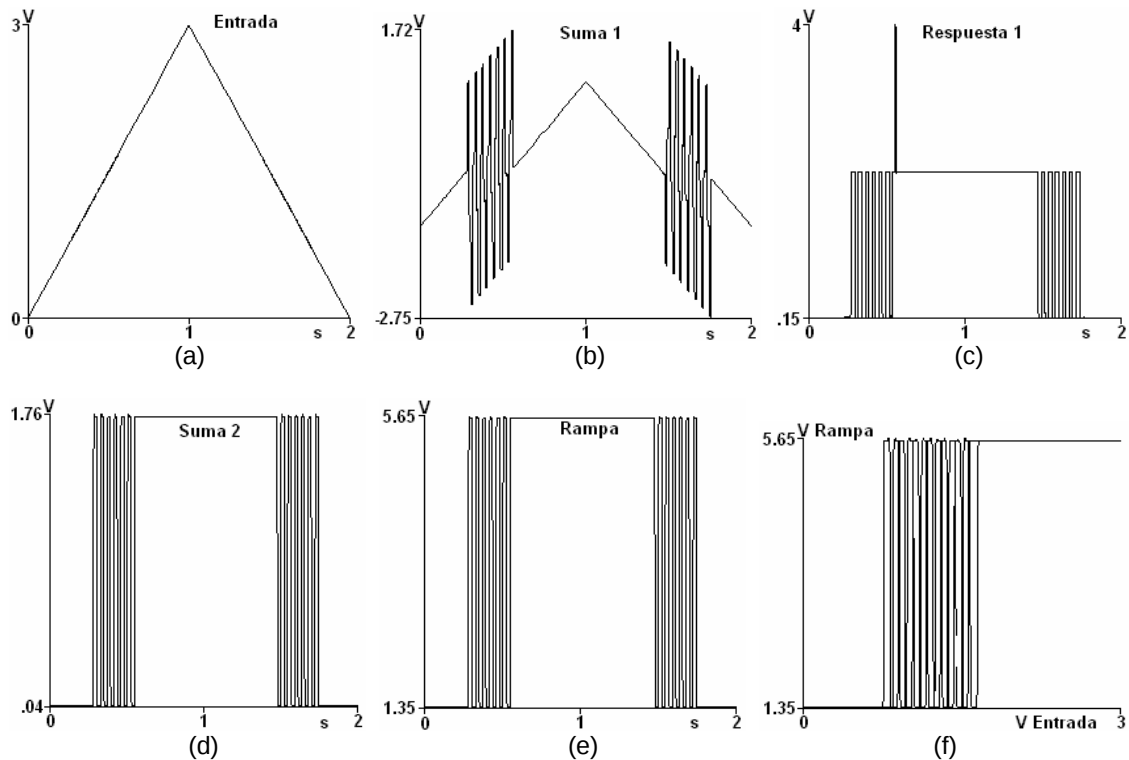


Figura 67. Entrada triangular. $U1 = 1.7$ $U2 = -.5$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$

Vemos de estos resultados efectos de memoria de forma, pero lo importante es que no existe una selectividad tal alta, pero existe evocación entre las figuras 65 y 60.

Para poder estudiar las respuestas pusimos una entrada senoide y variamos parámetros de las neuronas. Los resultados se muestran en las gráficas 68, 69 y 70.

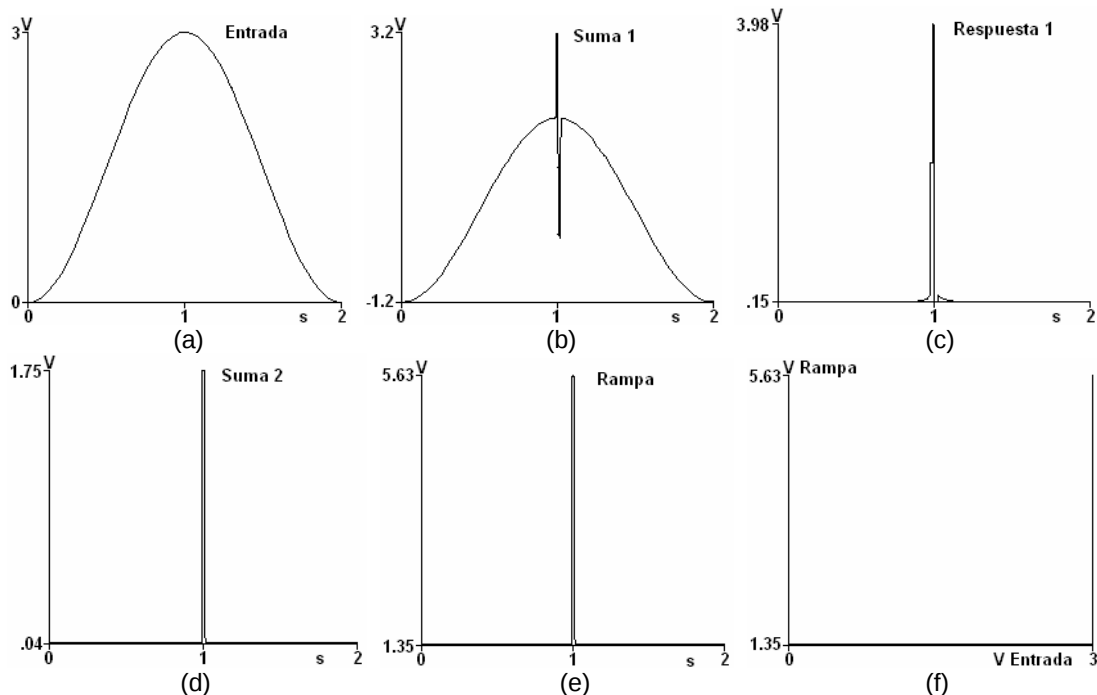
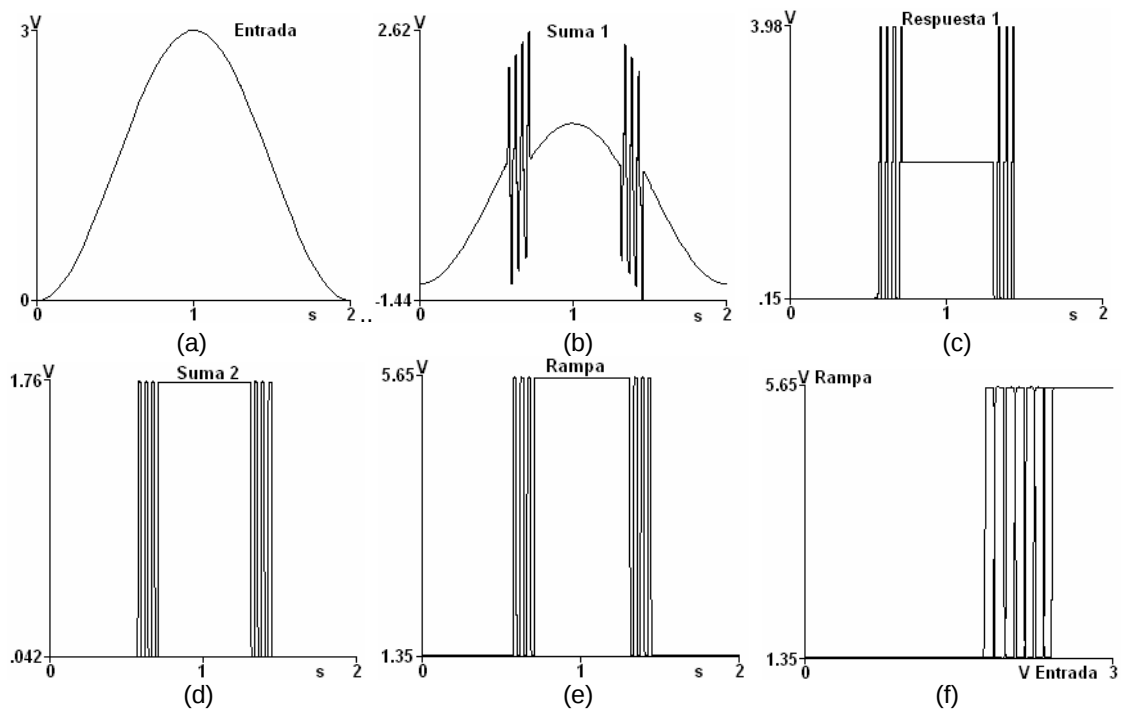
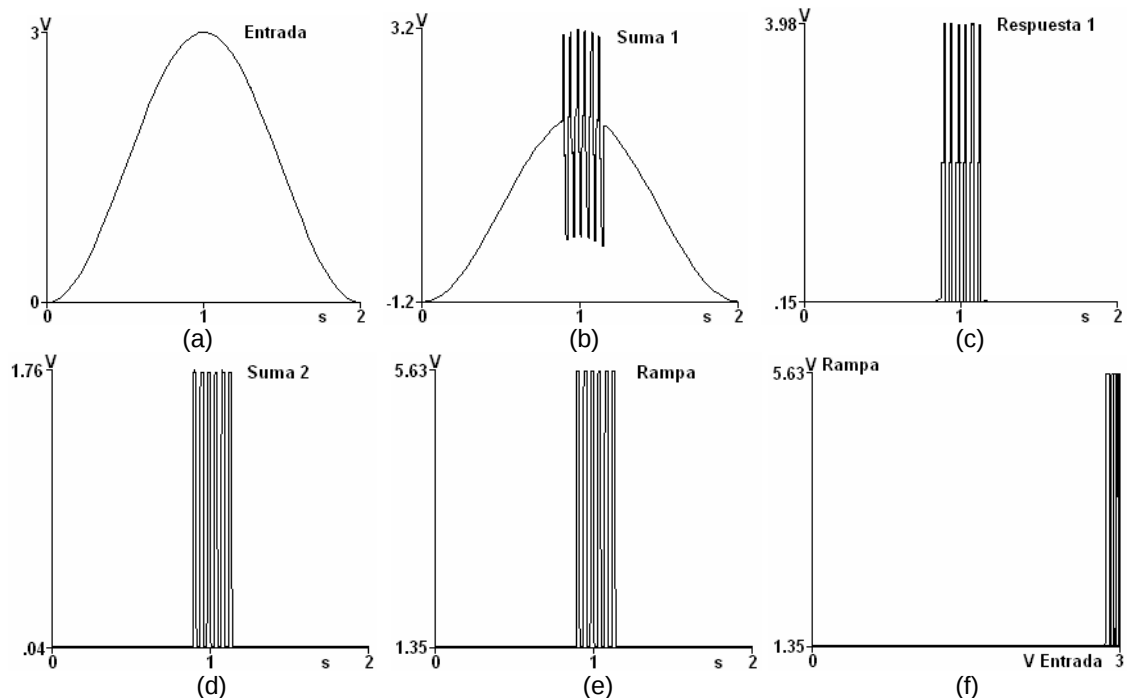


Figura 68. Entrada senoide. $U1 = 2.5$ $U2 = 1.805$. $P = -.5$. $R1 = R2 = 10ms$



De nuevo alta selectividad en la figura 68f y por lo mismo evocación con las figuras 38f, 49f, y 57f.

Los resultados para una entrada romboide se muestran en las figuras 71, 72 y 73.

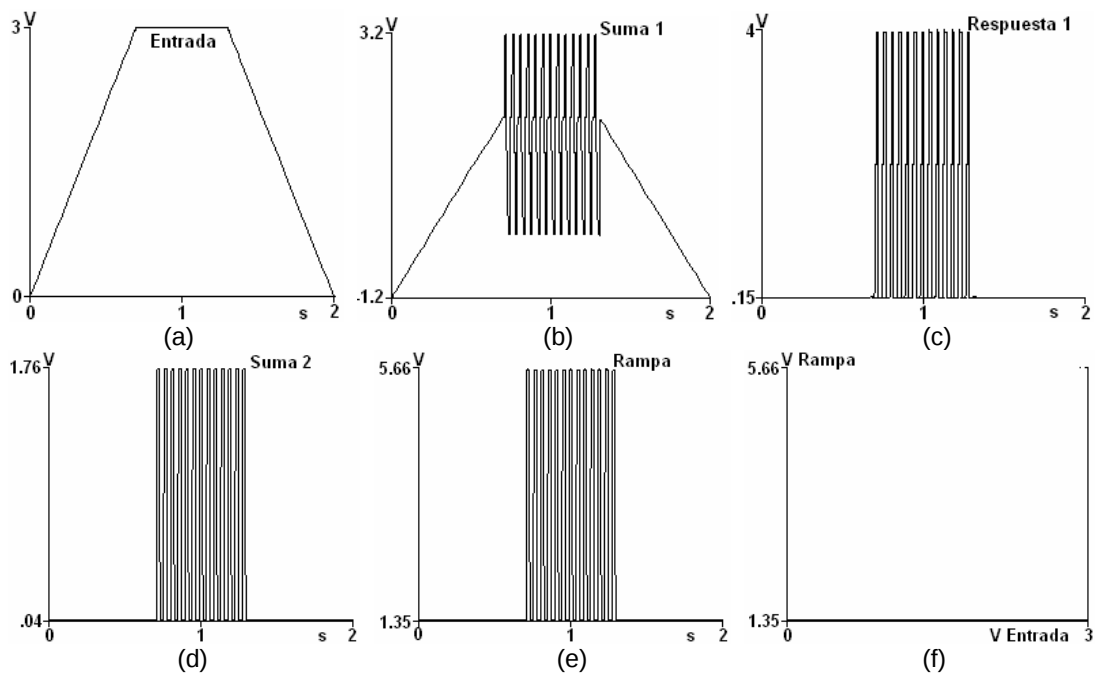


Figura 71. Entrada romboide. $U1 = 1.8$ $U2 = 2.35$. $P = .6$. $R1 = R2 = 10ms$

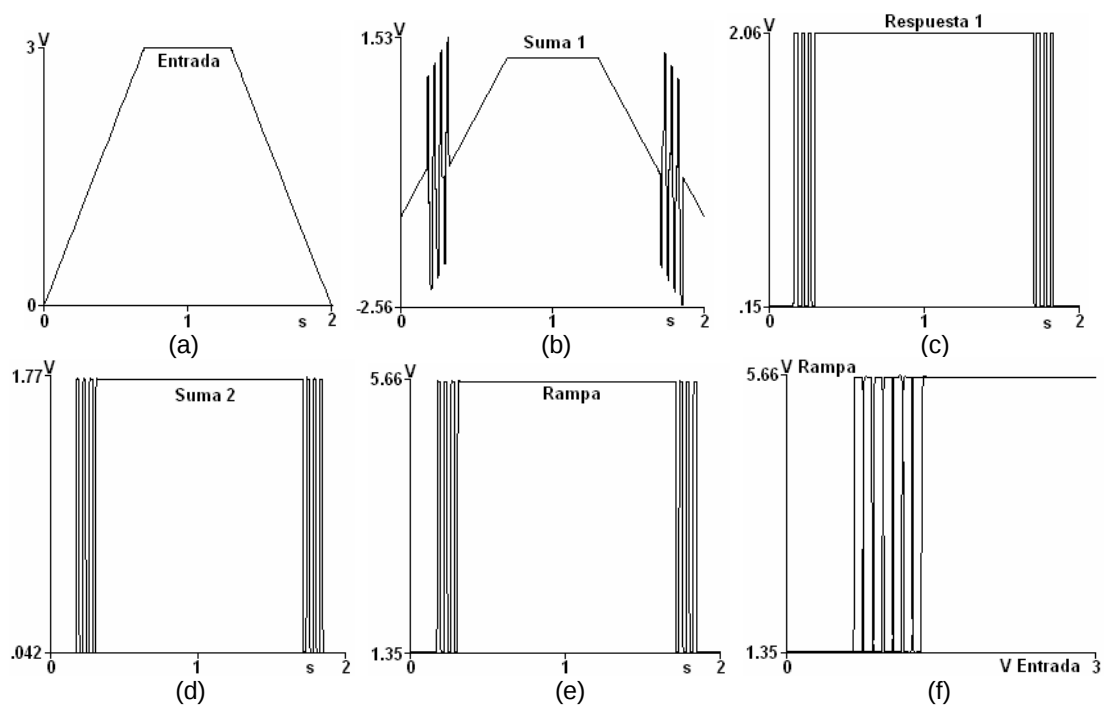


Figura 72. Entrada romboide. $U1 = 2$ $U2 = -.5$. $P = .6$. $R1 = R2 = 10ms$

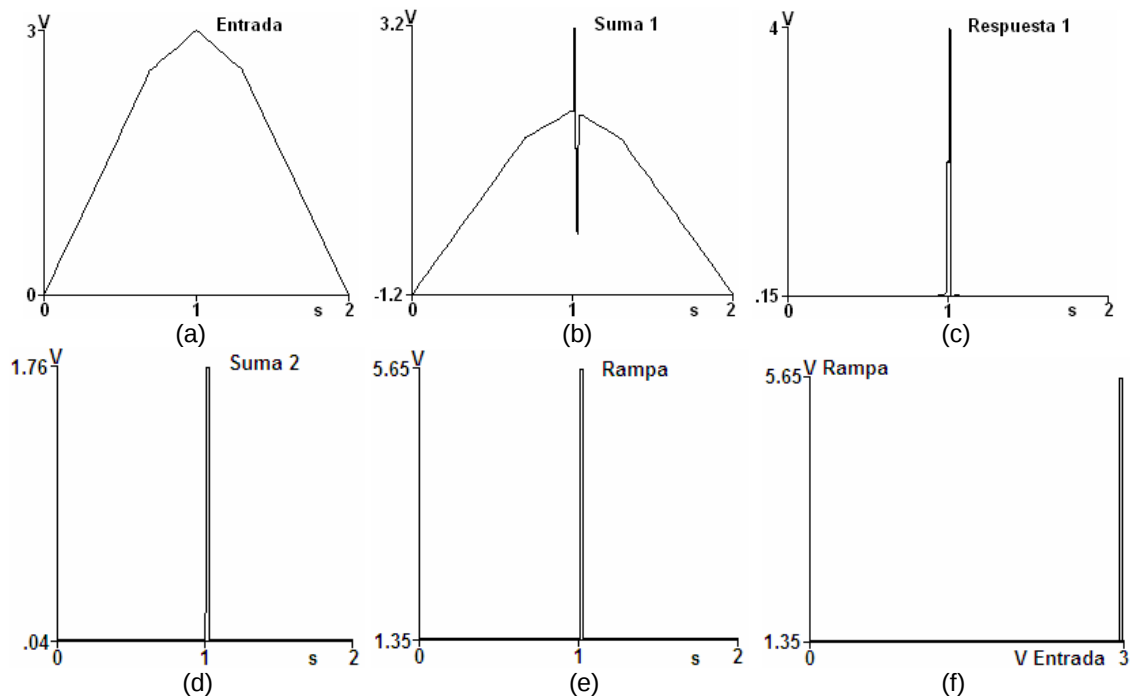


Figura 73. Entrada romboide + triangular. $U1 = 2$ $U2 = -.5$. $P = .6$. $R1 = R2 = 10ms$

De nuevo alta selectividad en la figura 73f y por lo mismo evocación con las figuras 35f, 38f, 48f, 53f y 73f. También se producen efectos de memoria de forma entre las figuras 67e, 70e y 72e.

Analizaremos las respuestas de la columna tectal a funciones de entrada más complejas como es el caso de la suma de una señal romboide con una triangular. Los resultados se muestran en las figuras 74 y 75.

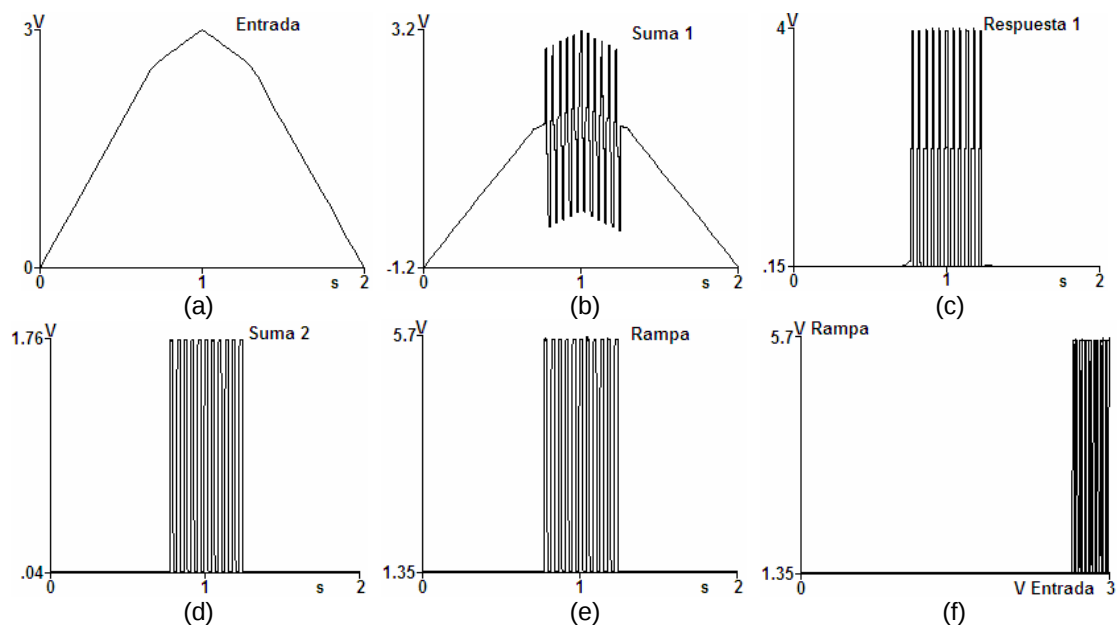


Figura 74. Entrada romboide + triangular. $U1 = 1.85$ $U2 = 1.4$. $P = .6$. $R1 = R2 = 10ms$

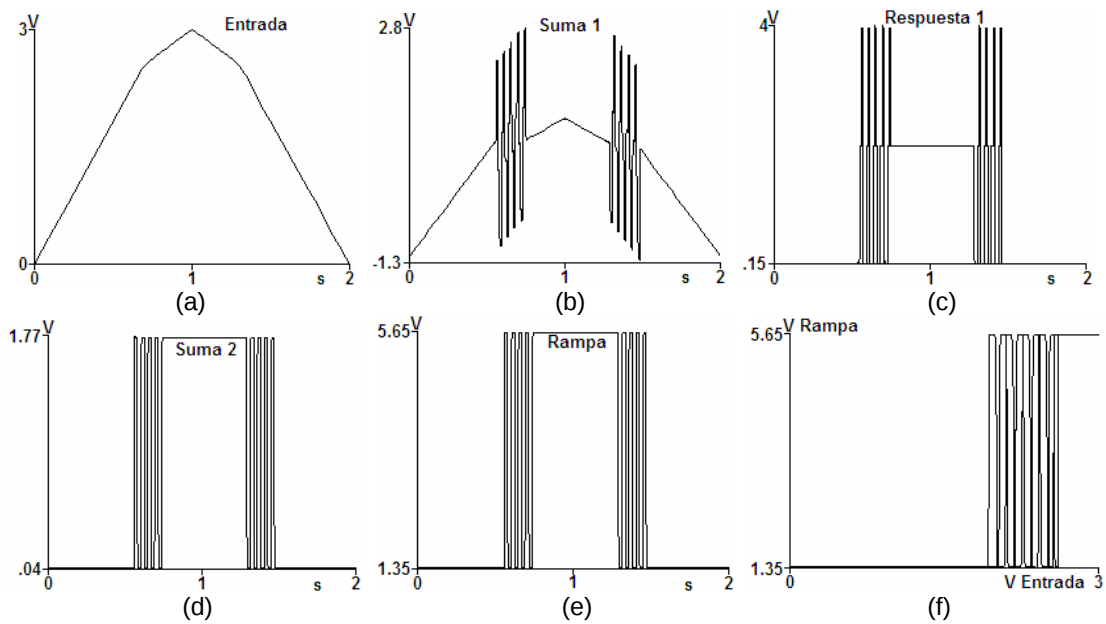


Figura 75. Entrada romboide + triangular. $U1 = 1.8$ $U2 = .8$. $P = .6$. $R1 = R2 = 10ms$

También se producen efectos de memoria de forma entre las figuras 65f y 70f.

Analizaremos las respuestas de la columna tectal a funciones de entrada más complejas como es el caso de la suma de una señal romboide con una senoide. Los resultados se muestran en las figuras 76, 77 y 78.

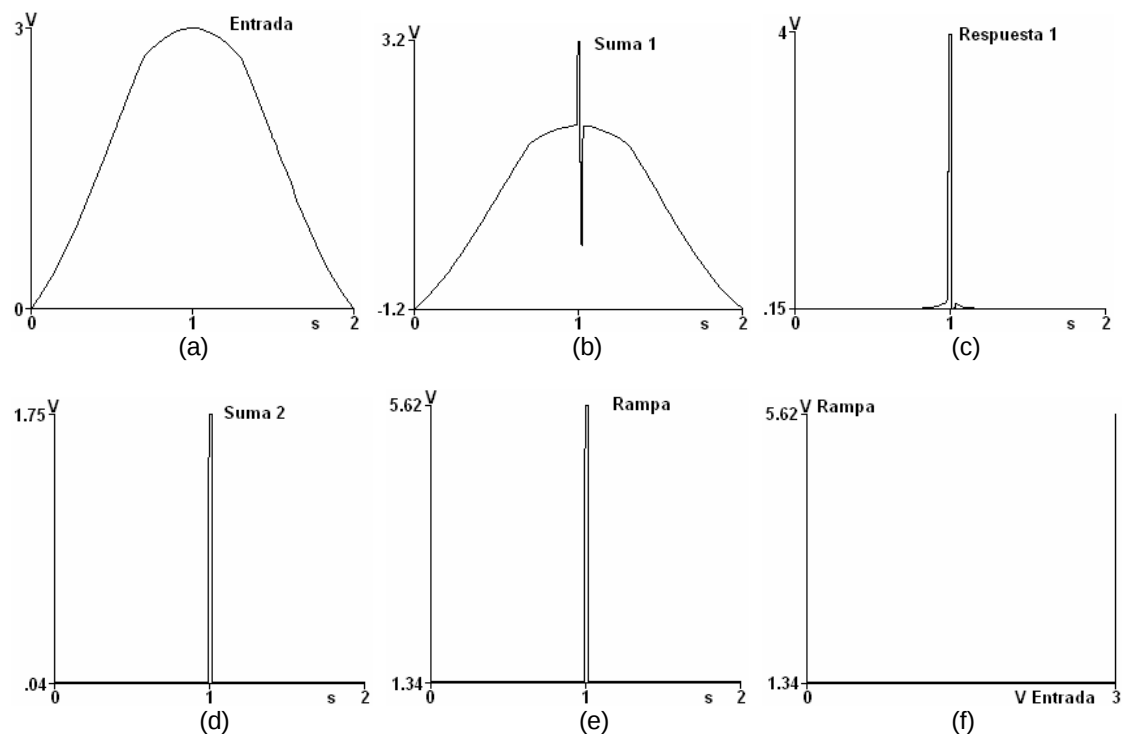


Figura 76. Entrada romboide + senoide. $U1 = 2.2$ $U2 = 1.808$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$

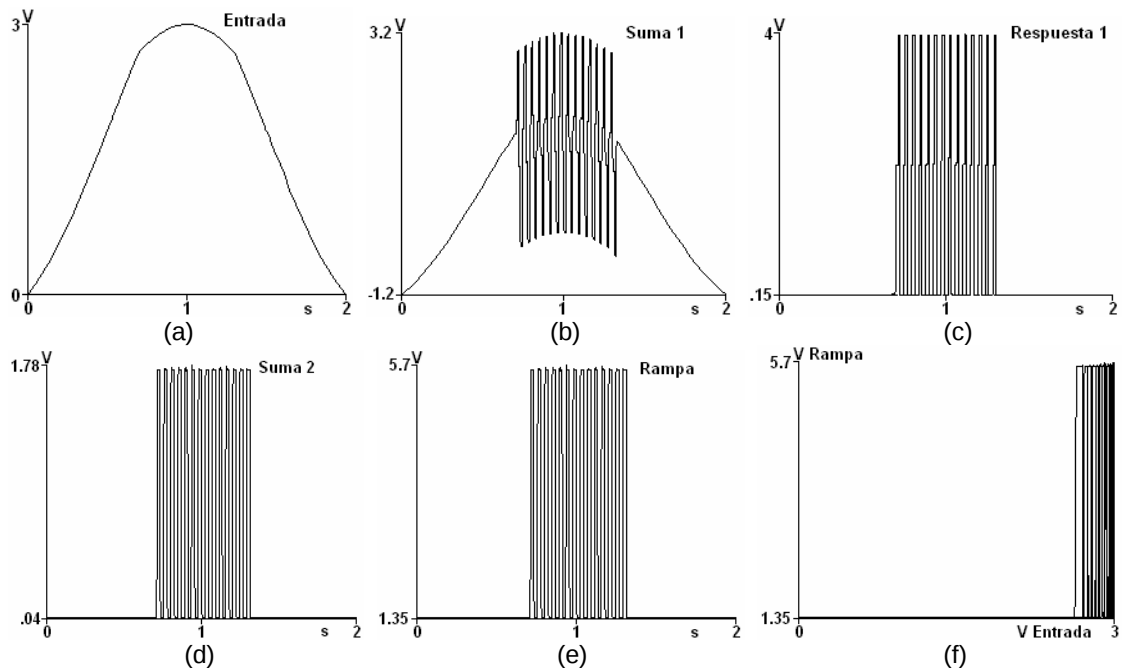


Figura 77. Entrada romboide + senoide. $U1 = 2.2$ $U2 = 1.5$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$

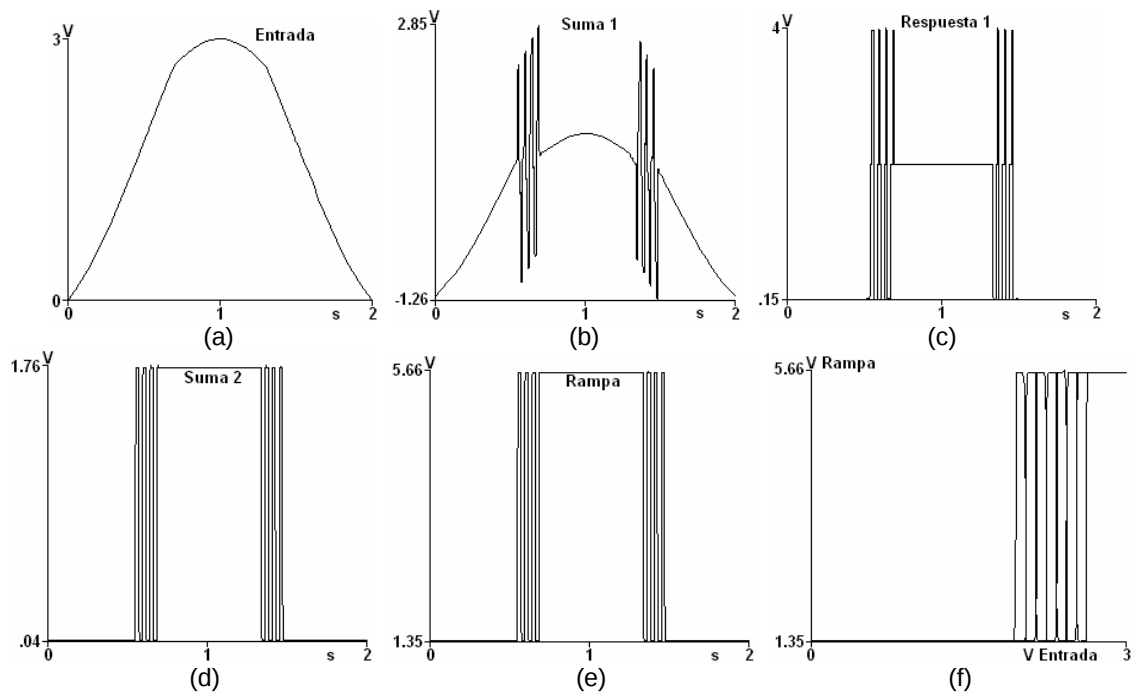


Figura 78. Entrada romboide + senoide. $U1 = 1.8$ $U2 = 0.8$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$

Se producen efectos de memoria de forma entre las figuras 69f, 70f, 72f y 78f.

Analizaremos las respuestas de la columna tectal a funciones de entrada más complejas como es el caso de la suma de una señal senoide con una triangular. Los resultados se muestran en las figuras 79e, 80e y 81e.

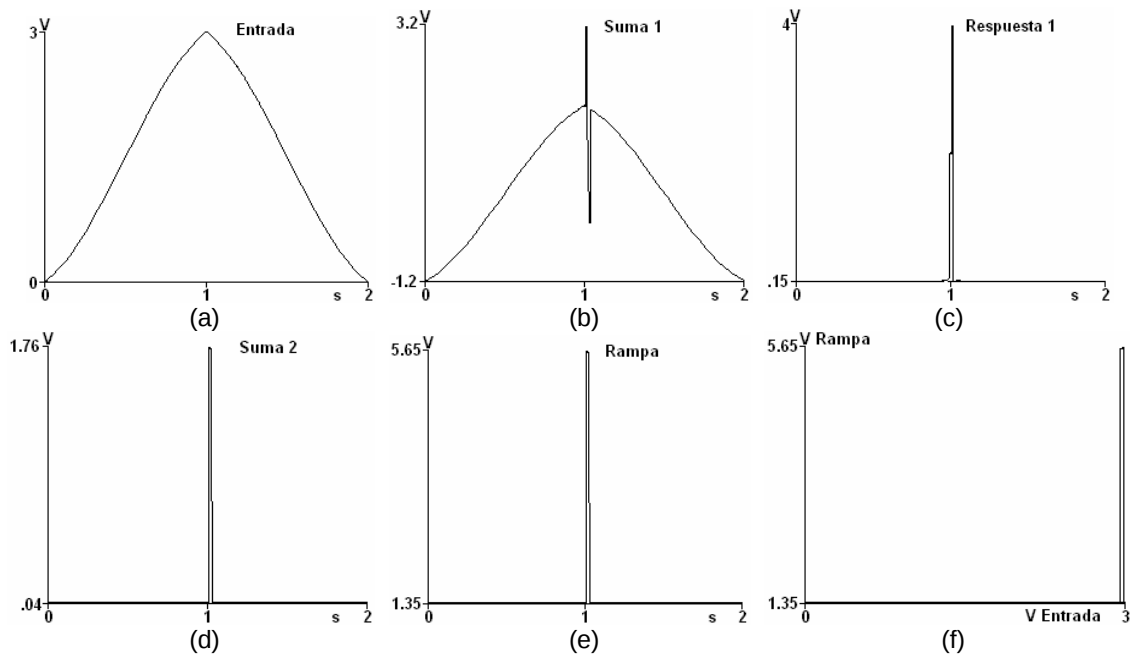


Figura 79. Entrada triangular + senoide. $U1 = 2.5$ $U2 = 1.808$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$.

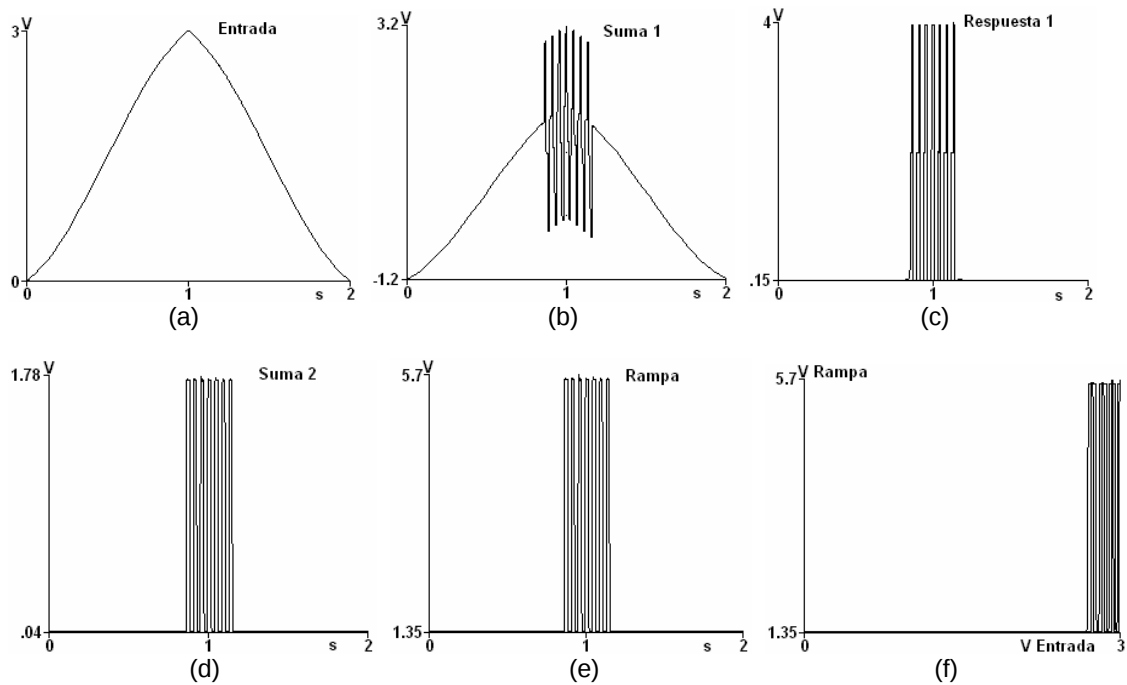


Figura 80. Entrada triangular + senoide. $U1 = 1.808$ $U2 = 1.5$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$.

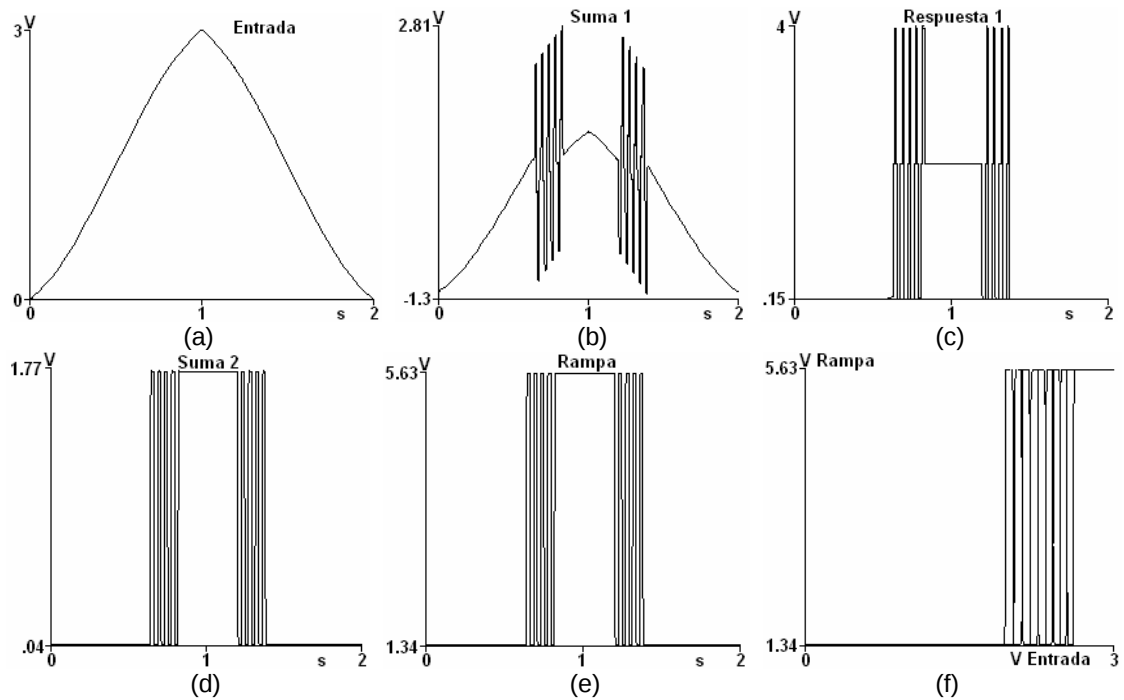


Figura 81. Entrada triangular + senoide. $U1 = 1.8$ $U2 = .8$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$

Existe evocación entre las figura 71f y 76f, y existe memoria de forma entre las figuras 72f y 73f, y entre las figuras 78f y 81f.

6. COLUMNA TECTAL NO INTEGRADORA CON NEURONAS CON FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ZONA MUERTA Y SIGMOIDE

Estudiaremos dos modelos basados en la arquitectura de la columna de tectal, propuesto por Lara (Lara R, Arbib MA, 1982), pero usando neuronas con función de activación zona muerta en la primera neurona, y función de activación rampa en la segunda. En la figura 82 se muestra el diagrama de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

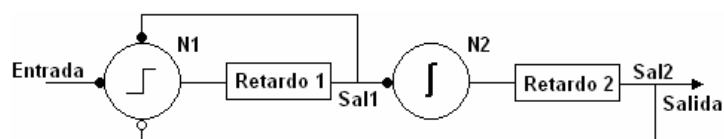


Figura 82. Esquema de la columna tectal con funciones de activación zona muerta

En la figura 83 se muestra el diagrama electrónico del modelo de la columna tectal con funciones de activación zona muerta.

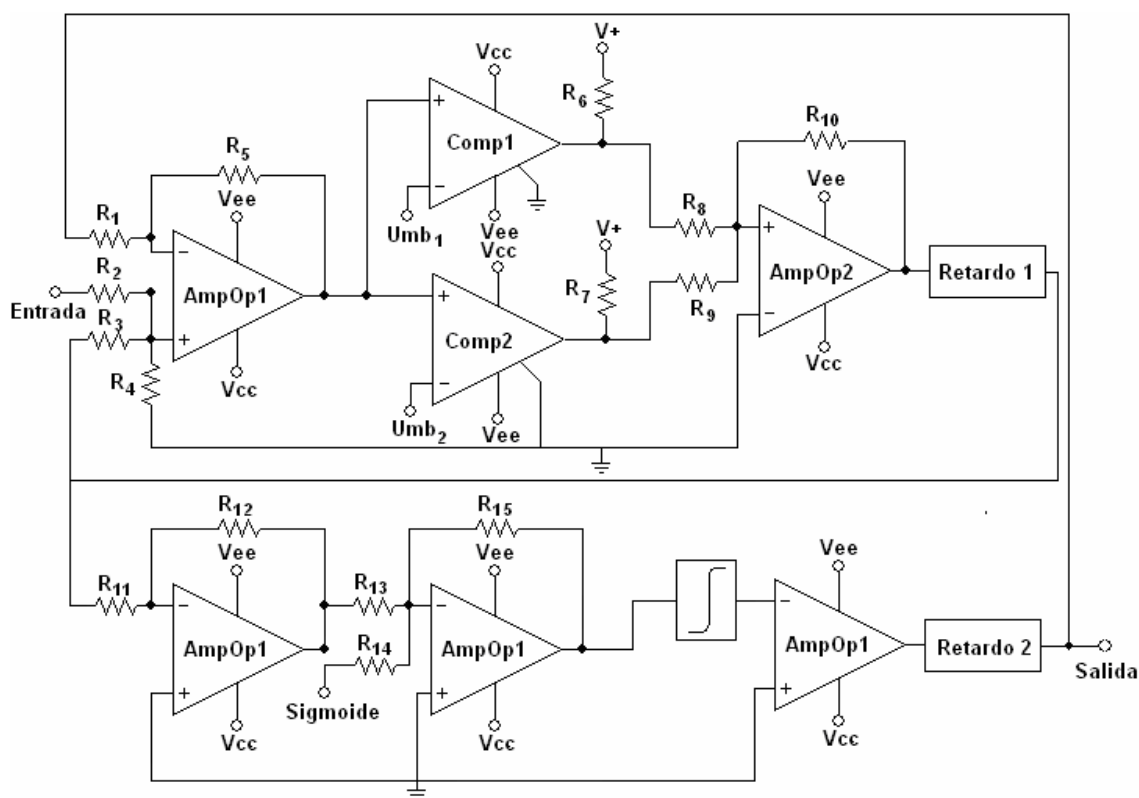


Figura 83. Diagrama electrónico del modelo de la columna tectal con funciones de activación zona muerta y rampa.

En la figura 83 la función de activación se muestra como un cuadro operacional, pero el circuito que corresponde electrónicamente a la función de activación sigmoide a trazos se muestra en la figura 84.

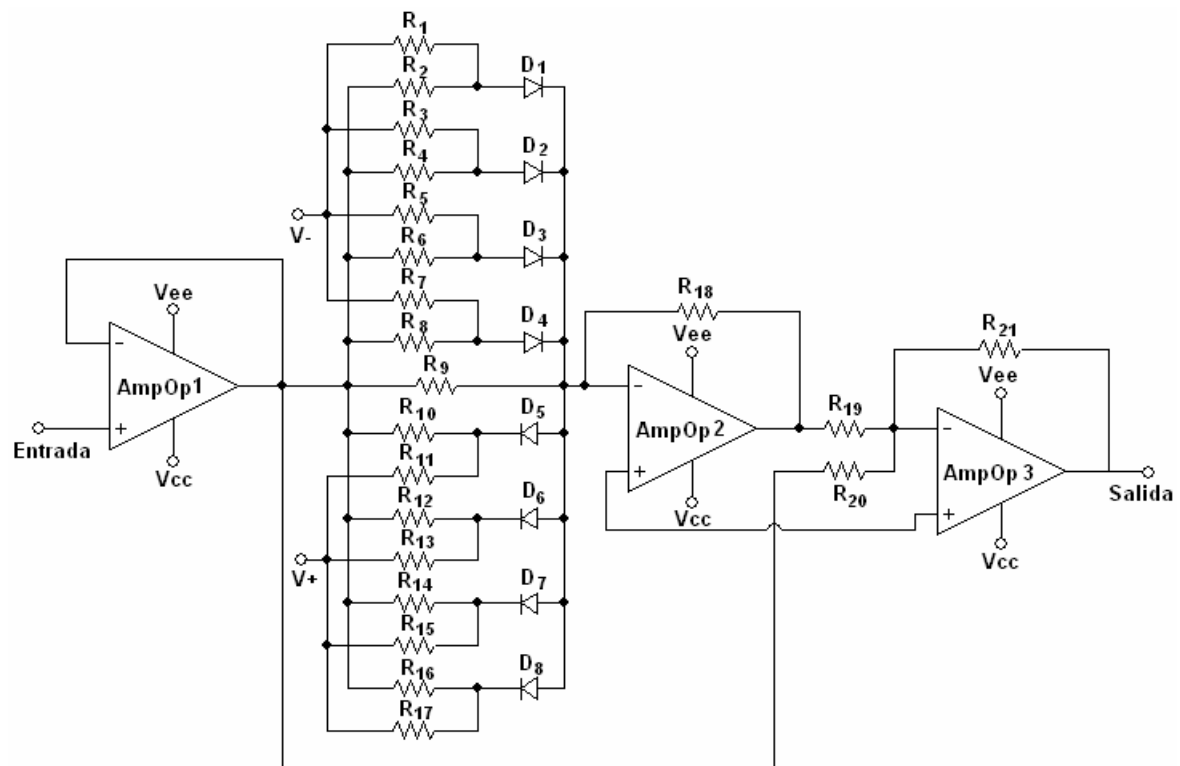


Figura 84. Circuito de la función sigmoide a trazos.

6.1. RESULTADOS DE LA COLUMNA TECTAL INTEGRADORA CON FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN ZONA MUERTA Y SIGMOIDE.

En las siguientes gráficas veremos los resultados a los experimentos realizados con la columna tectal con función de activación zona muerta. Los resultados se muestran de la siguiente forma: La primera gráfica corresponde a la señal de entrada, la segunda a la suma de la primera neurona, la tercera es la respuesta de la función de activación zona muerta, la cuarta es la suma de la segunda neurona, la quinta es la respuesta de la función de activación rampa y la sexta el diagrama de fase. Los parámetros que se varían de las neuronas son: U_1 y U_2 los umbrales de la zona muerta, p es la pendiente de la sigmoide y R_1 y R_2 son los retardos de la primera y segunda neurona respectivamente. Los resultados se presentan como: (a) señal de entrada, (b) suma de la primera neurona, (c) salida de la primera neurona, (d) suma de la segunda neurona, (e) salida de la segunda neurona (f) plano fase.

Nuestro primer experimento nos presenta una señal de entrada triangular y los resultados cuando variamos los parámetros de las neuronas se presentan en las figuras 85, 86 y 87

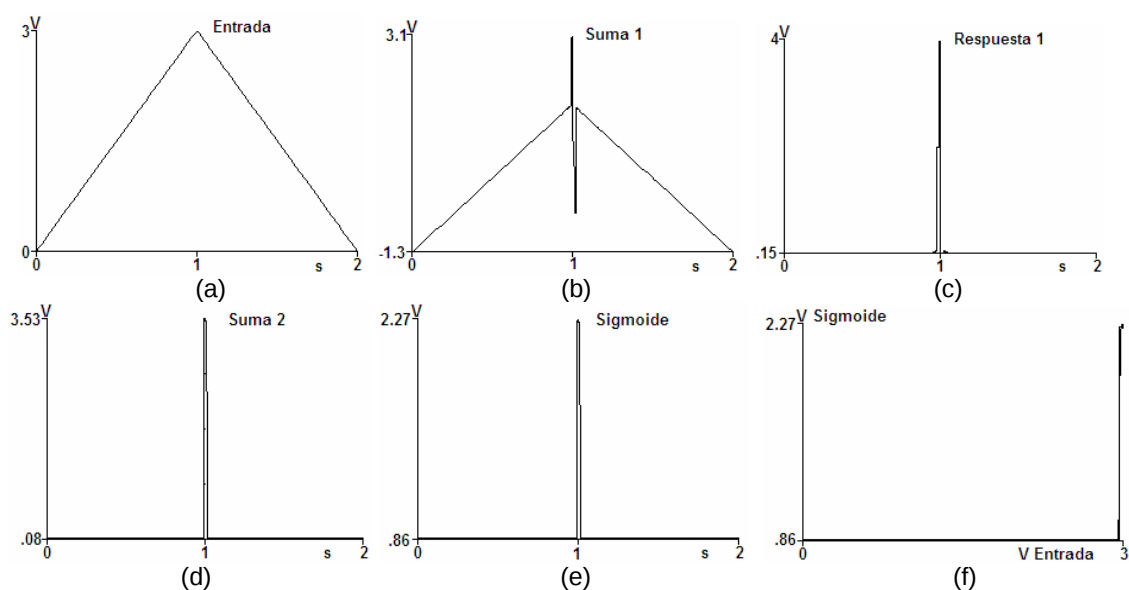


Figura 85. $U_1 = 1.7$ $U_2 = 1.65$. $P = .5$. $R_1 = R_2 = 10ms$.

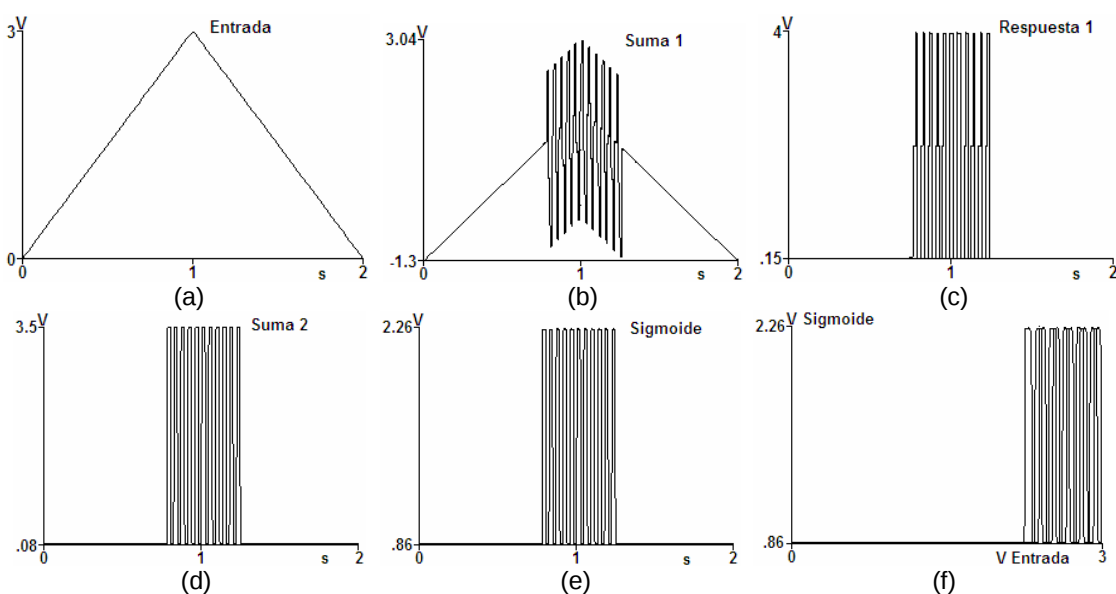


Figura 86. Entrada triangular. $U_1 = 1$ $U_2 = 1.5$. $P = .5$. $R_1 = R_2 = 10ms$.

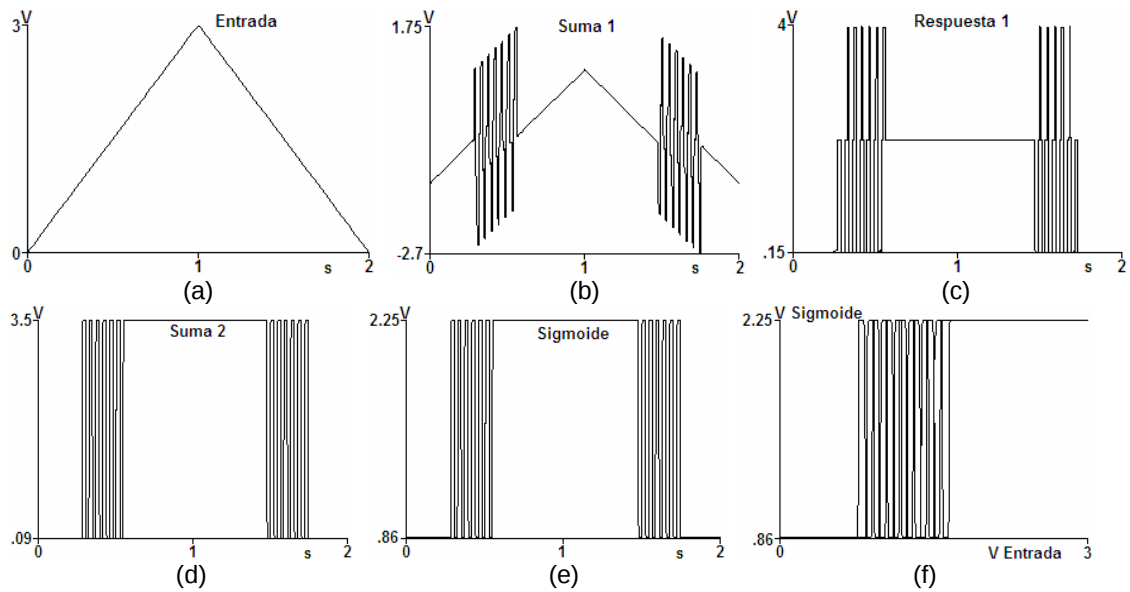


Figura 87. Entrada triangular. $U1 = 1$ $U2 = -.5$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$.

Existe evocación para la alta selectividad entre las figura 35f, 41f, 48f y la figura 85f. También pero sin alta selectividad existe evocación entre las figura 79f y 85f. Existe memoria de forma entre las figura 83f y 86f, y las figuras 75f y 87f.

Para nuestros siguientes experimentos empleamos una función de activación senoide, y los resultados se muestran en la figuras 88, 89 y 90.

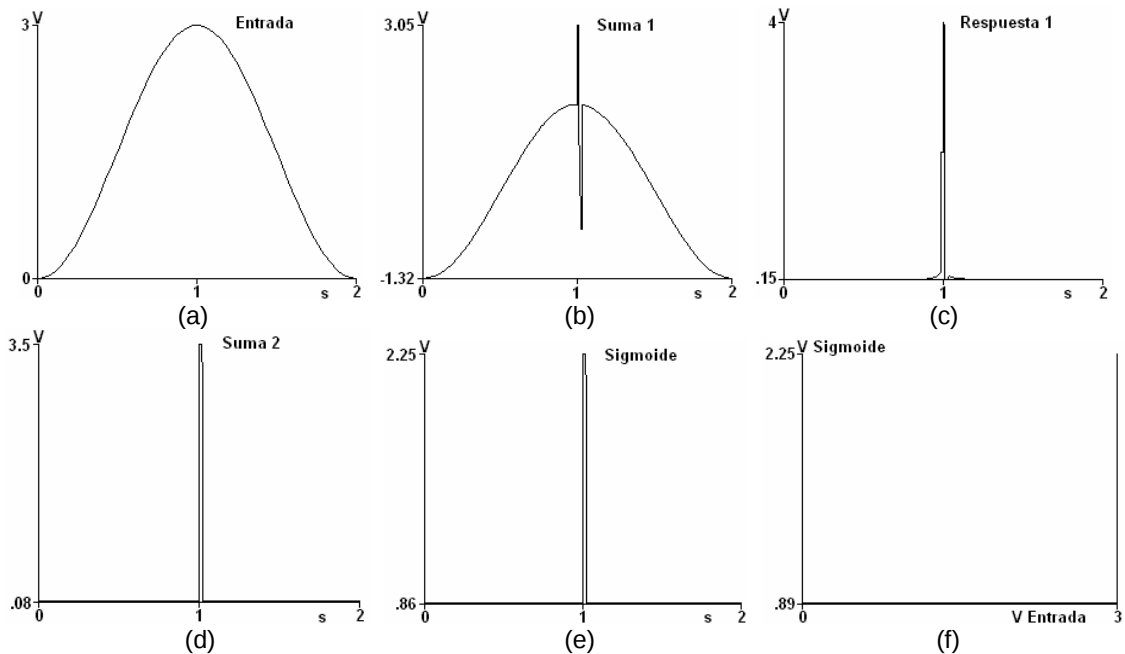


Figura 88. Entrada senoide. $U1 = 1.685$ $U2 = 1.75$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$.

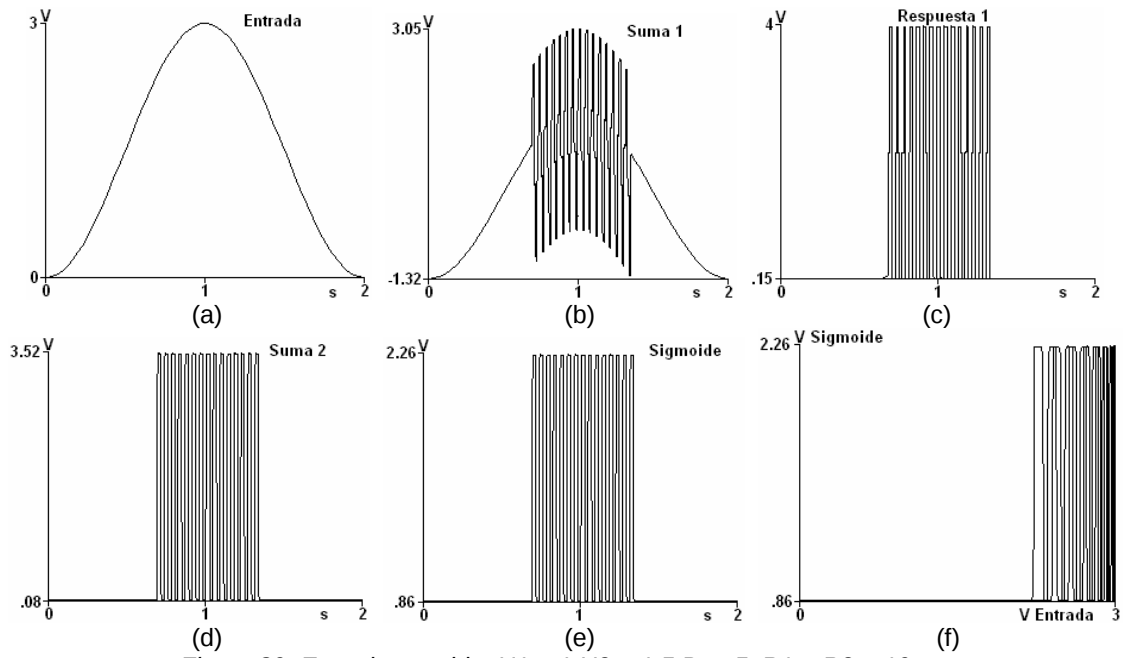


Figura 89. Entrada senoide. $U1 = 1$ $U2 = 1.5$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$.

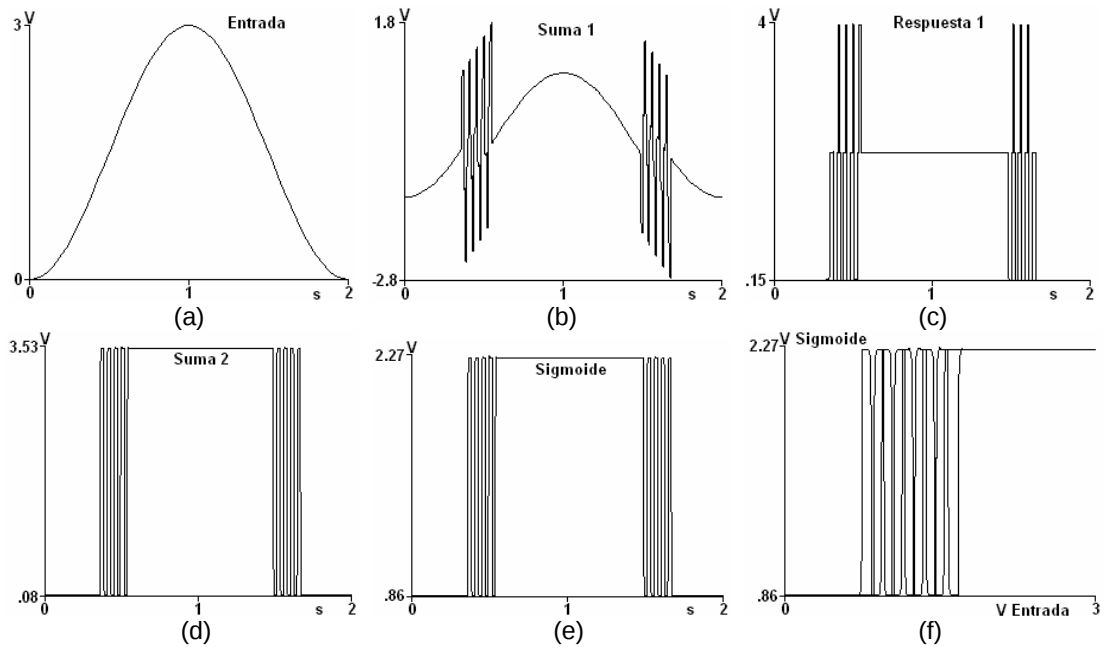


Figura 90. Entrada senoide. $U1 = 1$ $U2 = 1.5$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$.

De nuevo alta selectividad y evocación entre las figuras 35f, 41f, 48f, y la figura 88f. Existe memoria de forma entre las figuras 90f y 87f.

Para nuestros siguientes experimentos empleamos una función de activación romboide, y los resultados se muestran en la figuras 91, 92 y 93.

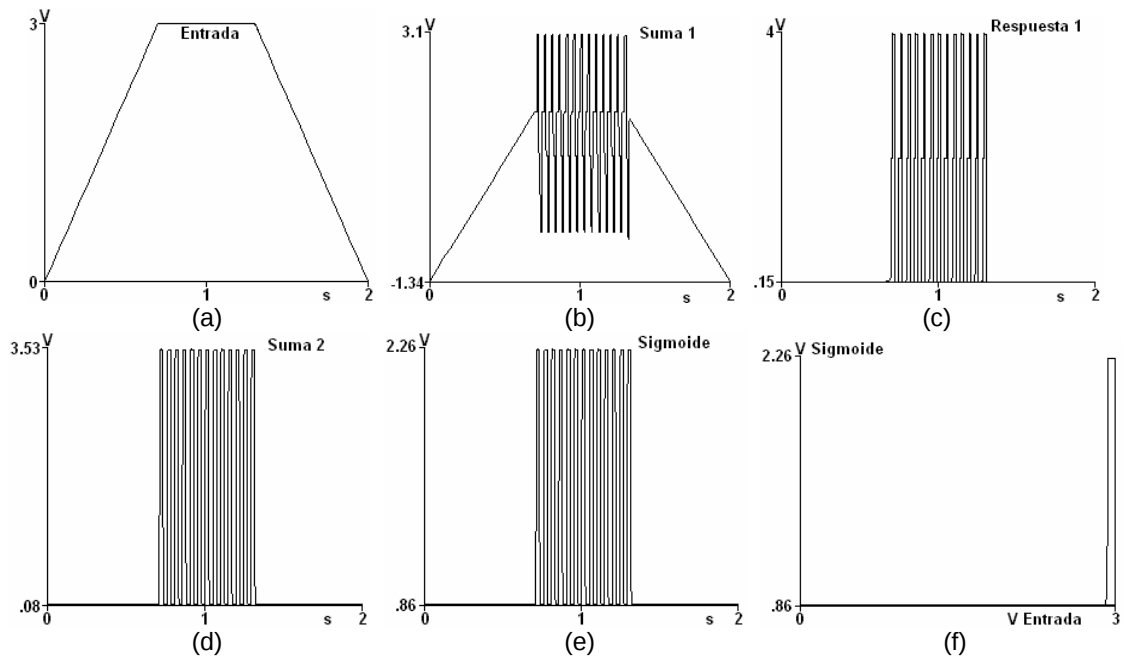


Figura 91. Entrada romboide. $U1 = 1.685$ $U2 = 1.8$ $P = .5$ $R1 = R2 = 10ms$.

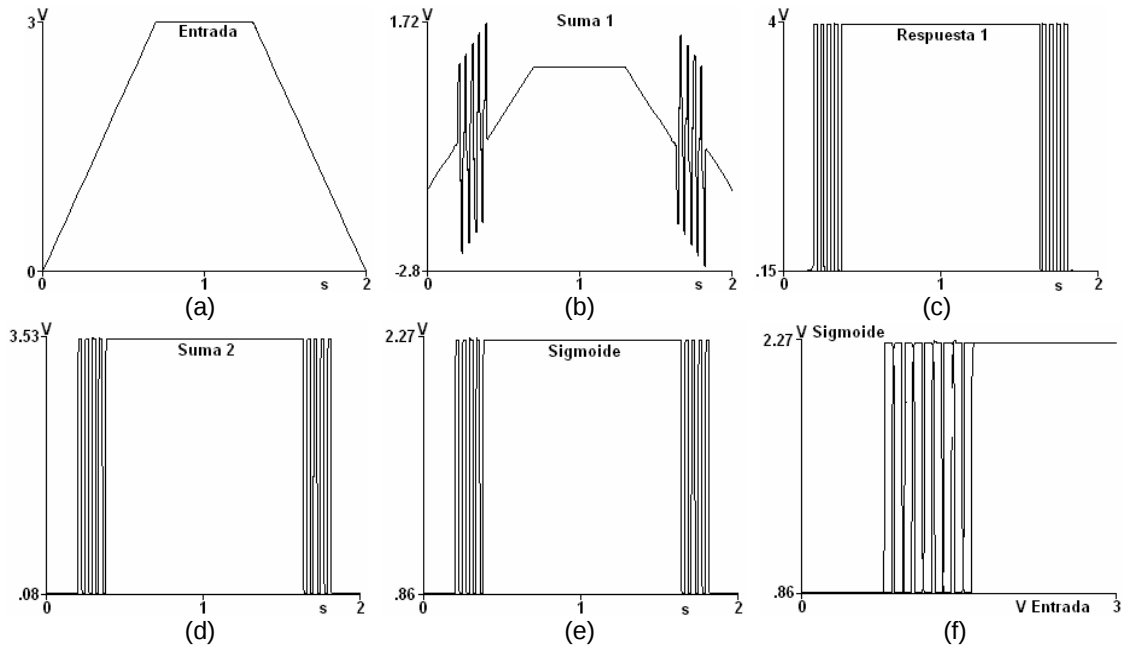


Figura 92. Entrada romboide. $U1 = -.5$ $U2 = -.5$ $P = .5$ $R1 = R2 = 10ms$.

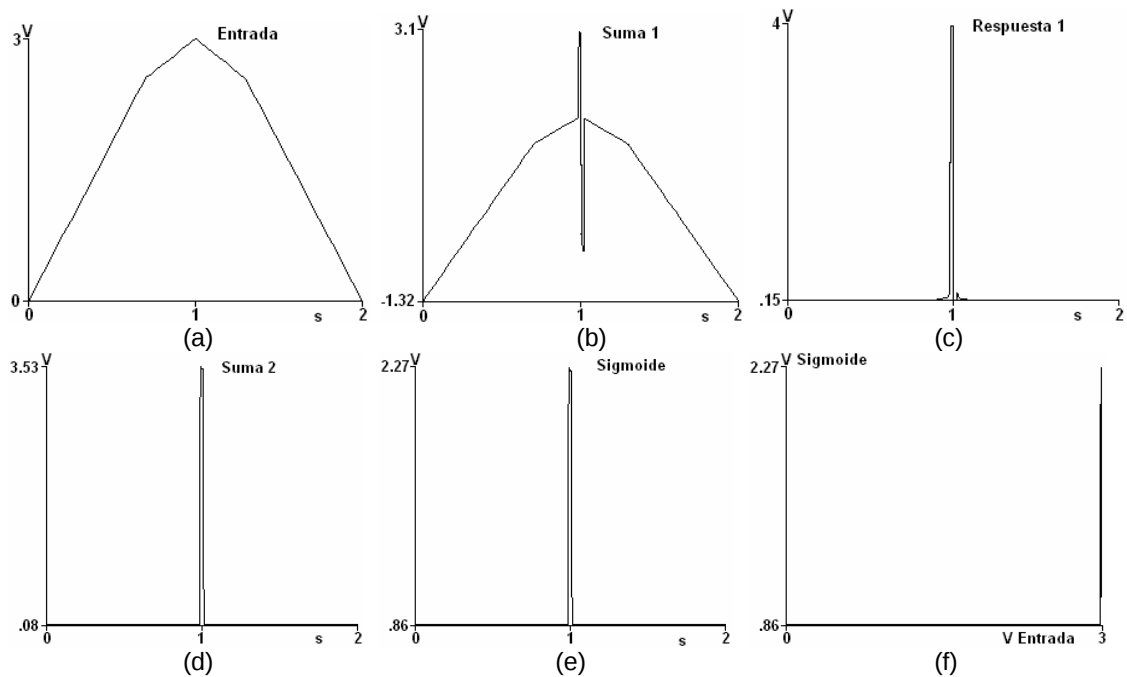


Figura 93. Entrada triangular + romboide. $U1 = 1.65$ $U2 = 1.85$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$.

De nuevo alta selectividad y evocación entre las figuras 35f, 41f, 48f, 93f, y la figura 87f.

La memoria de forma se da entre las figuras 90f y 92f.

Para tener formas de señales de entrada más complejas sumamos una señal triangular con una romboide y los resultados se muestran en las figuras 94 y 95.

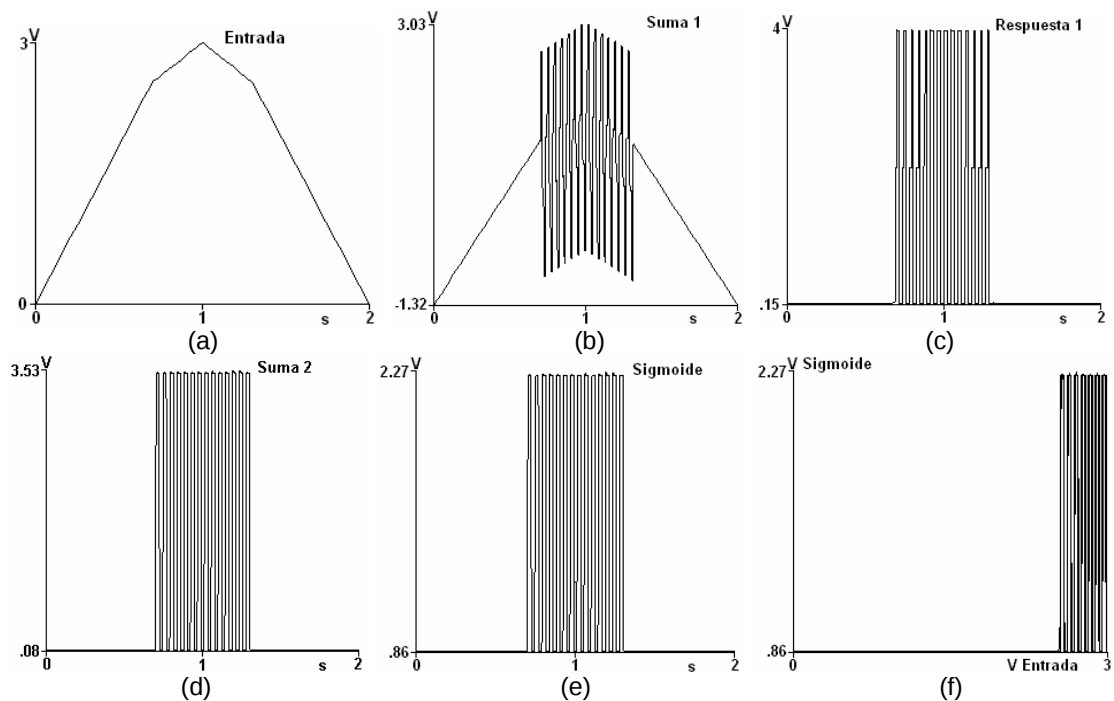


Figura 94. Entrada triangular + romboide. $U1 = 1.2$ $U2 = 1.5$. $P = .5$. $R1 = R2 = 10ms$.

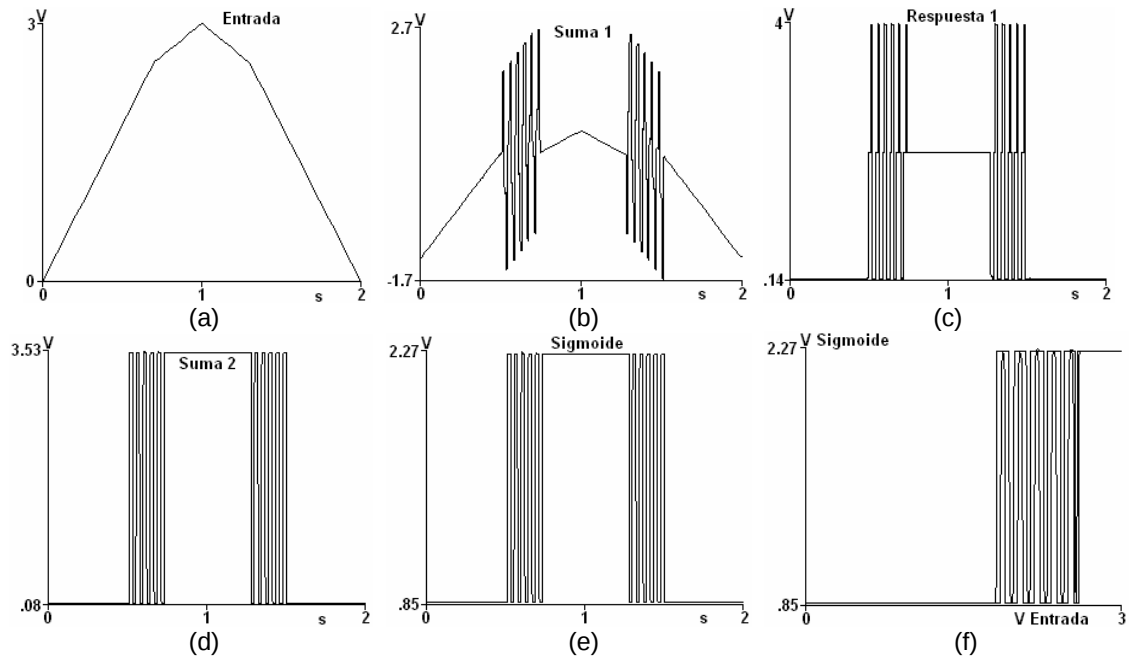


Figura 95. Entrada triangular + romboide. $U_1 = 1.2$ $U_2 = 1.5$. $P = .5$. $R_1 = R_2 = 10ms$.

En las figuras 96, 97 y 98 se muestran los resultados de una señal de entrada que es la suma de una señal romboide y una senoide.

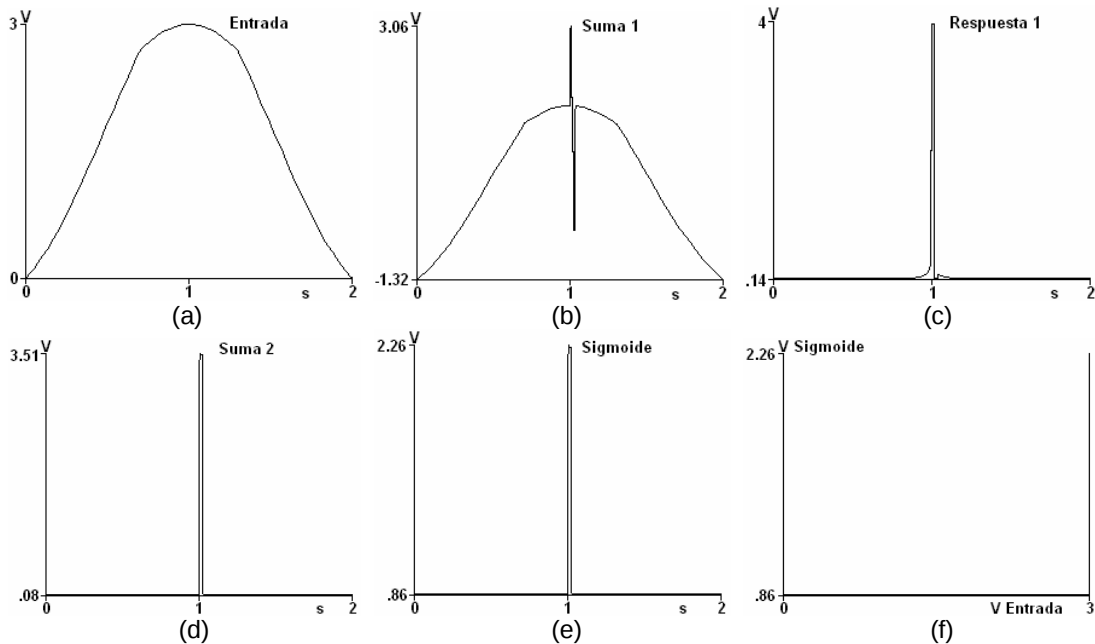


Figura 96. Entrada romboide + senoide. $U_1 = 1.686$ $U_2 = 1.75$. $P = .5$. $R_1 = R_2 = 10ms$.

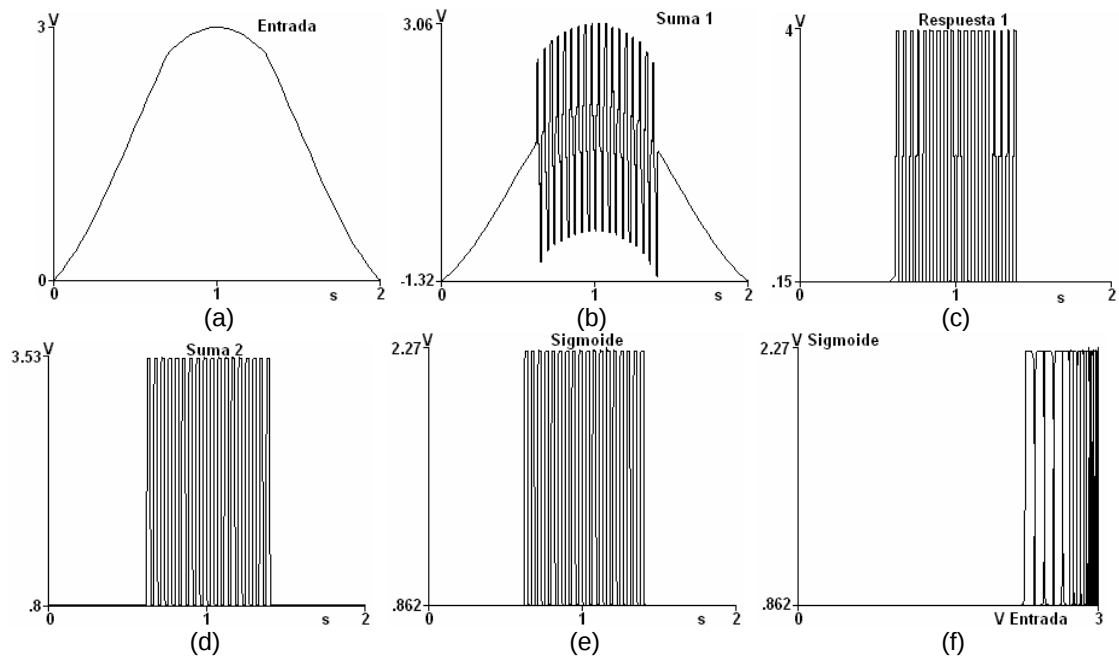


Figura 97. Entrada romboide + senoide. $U1 = 1.5$ $U2 = 1$ $P = .5$ $R1 = R2 = 10ms$.

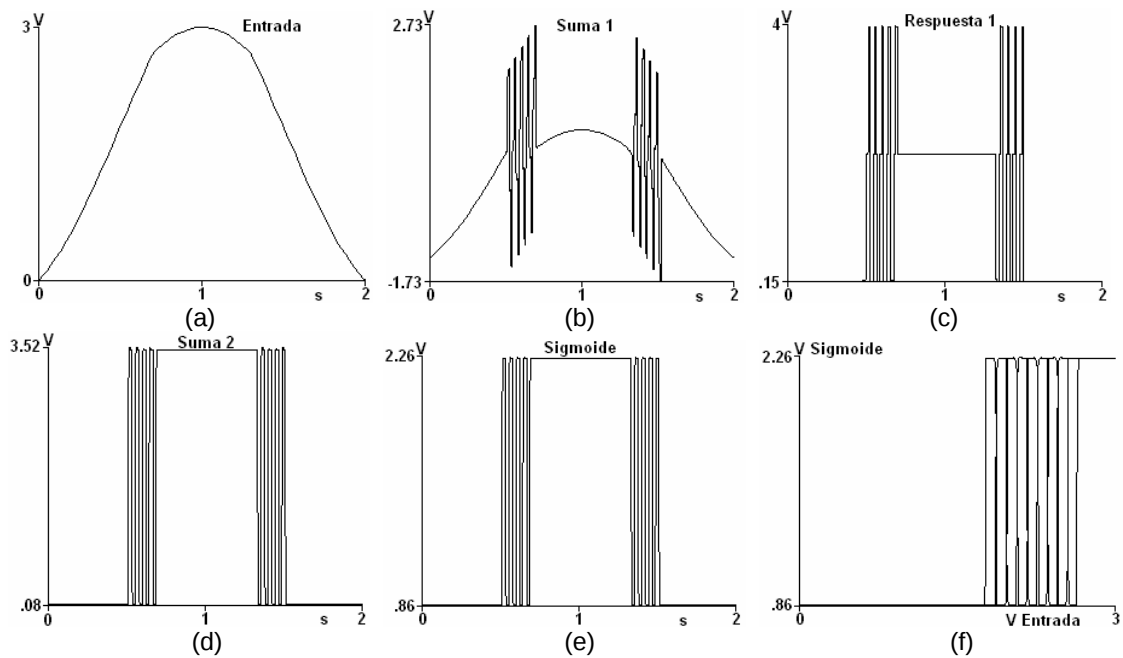


Figura 98. Entrada romboide + senoide. $U1 = 1.5$ $U2 = -.5$ $P = .5$ $R1 = R2 = 10ms$.

Existe evocación entre las respuestas de la figura 94 y las respuestas de la figura 100.

En las figuras 199, 100 y 101 se muestran los resultados de una señal de entrada que es la suma de una triangular y una senoide.

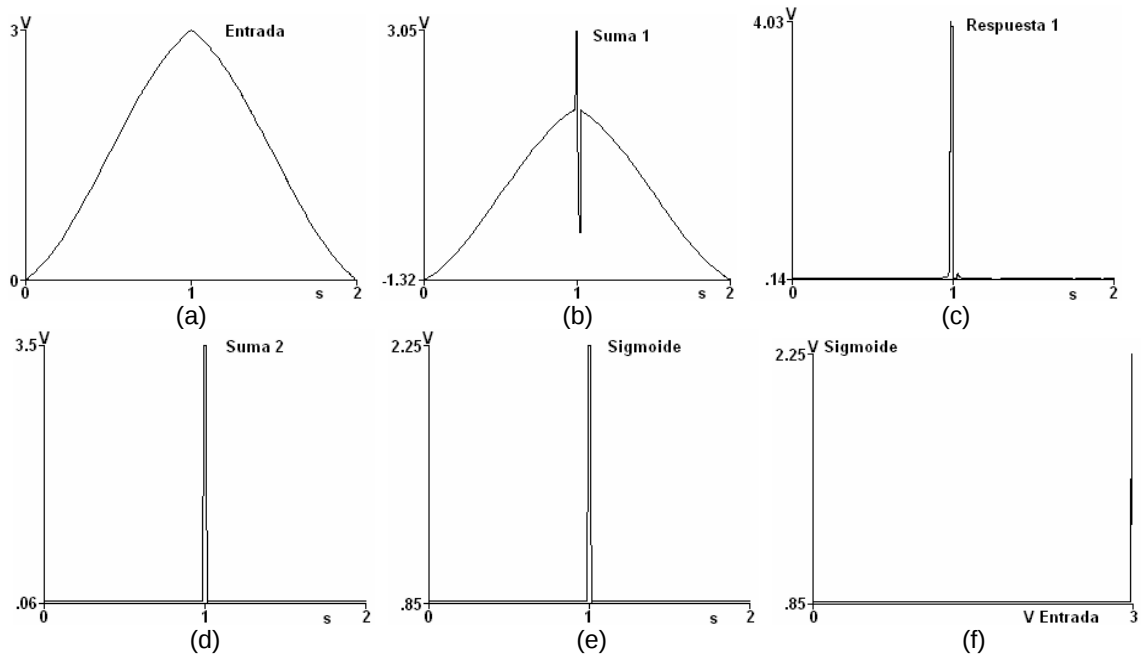


Figura 99. Entrada triangular + senoide. $U1 = 1.68$ $U2 = -.5$. $P = 1.75$. $R1 = R2 = 10ms$.

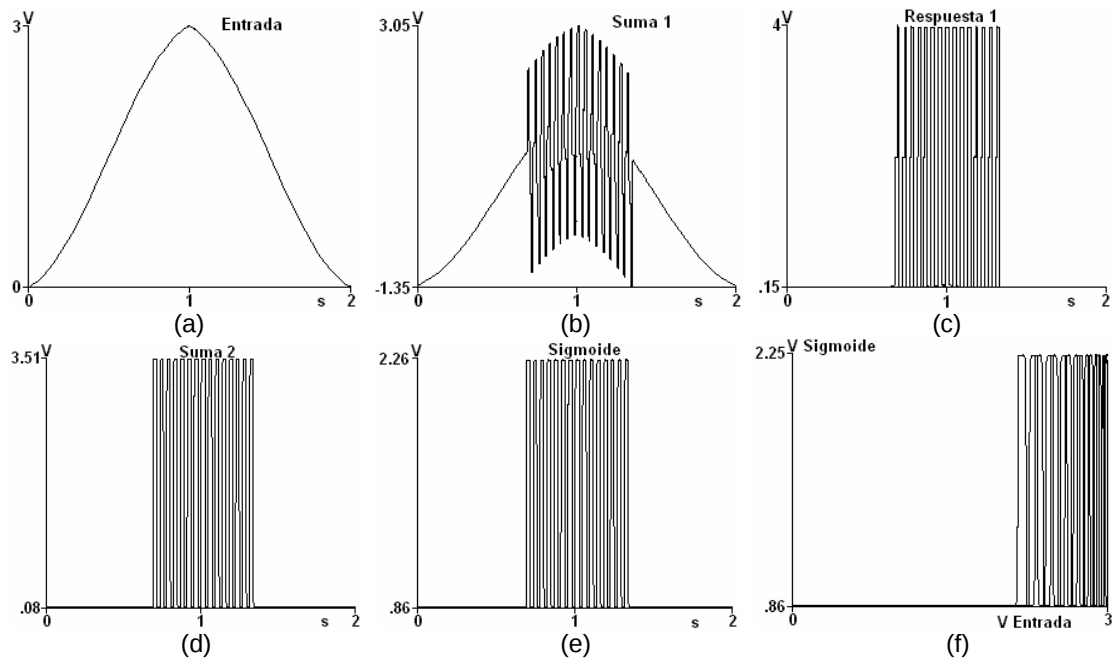


Figura 100. Entrada triangular + senoide + romboide. $U1 = 1.4$ $U2 = 1.72$. $P = .9$. $R1 = R2 = 10ms$.

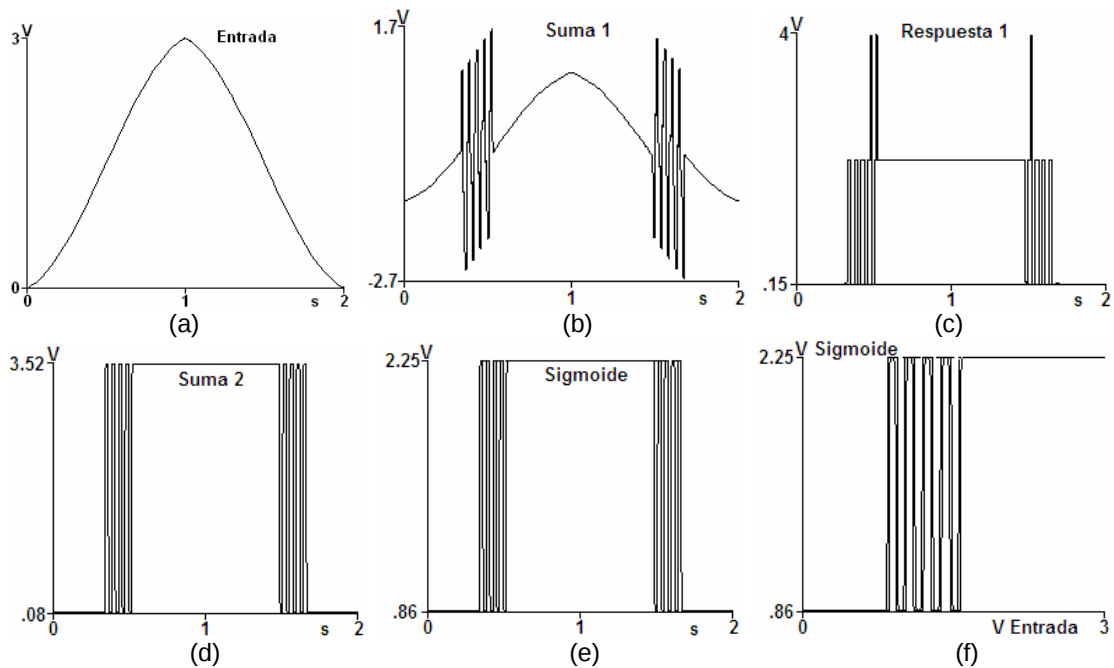


Figura 101. Entrada triangular + senoide + romboide. $U1 = 1.4$ $U2 = 1.72$. $P = .9$. $R1 = R2 = 10ms$.

De nuevo alta selectividad y evocación en la figura 99f con muchas ya presentadas como la figura 48f.

Memoria de forma de la figura 100f con la figura 97f. Es posible en este caso pensar mejor en un proceso evocado.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de los estudios que realizamos son las siguientes:

Es claro que continuamos con los efectos de memoria a corto plazo que hemos encontrado en otros casos de estudio (Pérez Silva, et al, 2009), (Pérez Silva, et al, 2012), (Pérez Silva, et al, 2014), (Pérez Silva, Garcés Madrigal, 2014), (Pérez Silva, Garcés Madrigal, 2015), y entre estos tenemos los procesos de evocación que ya hemos estudiado. En este estudio es claro el número de veces que con diferentes tipos de neuronas en la columna tectal, o de entradas a las columnas tectales, los espacios fases son los mismos. Es significativo hacer notar que en este estudio no sólo se replican los espacios fases ante diferentes tipos de neuronas en la columna, sino ante entradas diferentes y condiciones diferentes en la red.

Otro de los hechos que preliminarmente podemos hacer notar es la gran selectividad que se tiene en la columna tectal al poder encontrar plano fases de un solo pulso de diferentes gruesos, pero un solo pulso es capaz de ser disparado en la estructura. Este hecho es continuamente evocado en todos nuestros experimentos, como se ve de las figuras, 35f, 41f, 48f, 88f, y 93f.

Recordemos que la memoria que hemos llamado de forma es cuando el espacio fase, de columnas tectales o neuronas solas, con diferentes entradas presentan una forma similar en sus espacios fase, aunque tengan contenidos diferentes, por lo que tenemos efectos de memoria de forma, como por ejemplo en las figuras 46f y 50f, 47f y 52f, 76f y 79f y 80f y 94f.

Parece ser que la estructura de la red juega un papel fundamental en este estudio, ya que no se ven cambios drásticos al generar grandes cambios en las componentes neuronales o las condiciones de las neuronas en la columna.

Si los resultados que encontramos en estos estudios los comparamos con los realizados en otros informes técnicos, (Pérez Silva, et al, 2009), (Pérez Silva, et al, 2012), (Pérez Silva, et al, 2014), (Pérez Silva, Garcés Madrigal, 2014), (Pérez Silva, Garcés Madrigal, 2015), podemos validar si la estructura tiene o no la condición básica de lo anteriormente planteado al cambiar nuestros estudios a la configuración de tres neurona. Este estudio se está comenzando a realizar y se reportará a futuro.

La diferencia en el caso de la red de tres neuronas es que podemos tener neuronas diferentes con funciones de activación diferentes, lo que nos amplía el esquema y podemos ver si en esta nueva columna tectal se dan los efectos de selectividad, evocación y memoria de forma.

REFERENCIAS

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**: 117-152.

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)**: 531-530.

W. S. McCulloch y W. Pitts, (1943). A logical calculus of the ideas immanent in neurons activity, *Bull. Math. Biophys.*, **5**, 115-133.

José Luis Pérez Silva, Antonio Garcés Madrigal, Andrea Miranda Vitela, Francisco Cabiedes Contreras, (2009). II-TINF-2009-021 Modelos electrónicos de neuronas, pag 80.

José Luis Pérez Silva, Antonio Garcés Madrigal, Andrea Miranda Vitela, Francisco Cabiedes Contreras, (2012). II-TINF-2011-284 Modelos Electrónicos de Neuronas II.

José Luis Pérez Silva, Antonio Garcés Madrigal, Andrea Miranda Vitela, Francisco Cabiedes Contreras, (2014). I-TINF-2012-312 Estudios en modelos electrónicos de columnas tectales.

José Luis Pérez Silva, Antonio Garcés Madrigal, (2014). II-TINF-2012-314 Modulación de la memoria a corto plazo.

José Luis Pérez Silva, Antonio Garcés Madrigal, (2015). II-TINF-2014-369 Estudio de dos neuronas con conexiones umbral axón y salida de ráfagas.