



CCADET

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

Informe Técnico

Estudio de la columna tectal con tres Neuronas y respuesta tipo escalón

**José Luis Pérez Silva
Antonio Garcés Madrigal**

17 de febrero de 2014

Modelos Electrónicos de Neuronas

Financiamiento interno

Estudio de una columna tectal con tres neuronas y respuesta tipo escalón

José Luis Pérez Silva, Antonio Garcés Madrigal.

Centro de Ciencias Aplicadas Y desarrollo tecnológico UNAM.

Resumen

En este reporte vamos a realizar experimentos con una columna tectal conformada por tres neuronas. Esta columna tectal, es una extensión de la columna tectal simplificada de dos neuronas de Lara y Arbib. La extensión consiste en la inclusión de una tercera neurona como una interneurona entre las dos que se tenían en el modelo simplificado.

Los experimentos que realizamos son fundamentalmente para encontrar fenómenos de evocación, sea completa o de forma ante la variación de los parámetros de las neuronas de la columna tectal. Estas variaciones fundamentalmente son: variaciones de los retardos con umbrales fijos y variaciones de los umbrales con retardo fijos.

Para estas clases de experimentos realizamos otros donde lo que hacemos es modificar las neuronas de la columna tectal, haciendo que la primer neurona sea con salida de ráfagas parabólicas y las otras neuronas no, o que la segunda tenga salida de ráfagas parabólicas y primera y tercer neurona no, o que la tercer neurona tenga salida de ráfagas parabólicas y la primera y segunda no.

Para todos estos experimentos mostraremos los resultados en forma gráfica, mediante las gráficas de la señal de entrada, la gráfica de la primera suma, la gráfica de la segunda suma, la gráfica de la tercera suma, la salida, y el espacio fase.

Las gráficas de cada una de las sumas nos dan la información acerca de lo que está pasando en cada neurona en el tiempo, dadas la forma de conexión entre las neuronas, y el espacio fase nos da la información de la memoria a corto plazo de la columna tectal como tal.

Se encontró que además de las dos formas de memoria a corto plazo también se puede tener una gran selectividad, entendida ésta como la respuesta en forma de una delta de Dirac.

Índice

Introducción	4
1. Modelo electrónico de la columna tectal con función de activación escalón	6
2. Experimentos variando las señales de entrada	8
3. Experimentos variando umbrales de las neuronas	10
4. Experimentos variando las salidas N1R	16
5. Experimentos variando los retardos y umbrales fijos para N1R	17
6. Experimentos variando los umbrales y retardos fijos para N1R	18
7. Experimentos variando las salidas N2R	22
8. Experimentos variando los retardos y umbrales fijos para N2R	23
9. Experimentos variando los umbrales y retardos fijos para N2R	24
10. Experimentos variando las salidas N3R	28
11. Experimentos variando los retardos y umbrales fijos para N3R	29
12. Experimentos variando los umbrales y retardos fijos para N3R	30
13. Experimentos variando las salidas 3NR	32
14. Experimentos variando los retardos y umbrales fijos para 3NR	33
15. Experimentos variando los umbrales y retardos fijos para 3NR	35
Conclusiones	39
Referencias	40

Introducción

Las conexiones Retinotectales son el prototipo de los mapas topográficos ordenados que preservan la información entre las capas subsecuentes de células. Los experimentos de regeneración y de plasticidad tales como extensión y compresión, cuando una retina entera proyecta sobre una media retina, formada quirúrgicamente, o cuando la inervación de la media retina se amplía a través del tectum completo (Jacobson, 1978) muestran que estos mapeos ponen en ejecución, más los mapeos continuos en un sentido matemático, que el direccionamiento punto a punto.

De acuerdo con un gran número de experimentos, el desarrollo del camino aferente altamente ordenado del tectum opticum parece ser dependiente de la actividad. Los mecanismos dependiente de la actividad expresan principalmente sus efectos vía la modificación de fuerzas sinápticas, debido a la correlación temporal entre los lados pre y post sinápticos. Además, la correlación espacial de actividades dentro de la capa de la entrada es imprescindible para formar las proyecciones de forma ordenada y no difusa. (Kalil y Dubin, 1988). La correlación espacio temporal en la capa de entrada se origina a partir de dos fuentes: Primero, la correlación espacial de las imágenes naturales se refleja en la retina. Los objetos naturales son generalmente continuos: mientras más cercanos están dos puntos en el espacio más grande será su semejanza entre las intensidades de luz.

En segundo lugar, el movimiento de objetos es siempre continuo y esto nos da una mayor correlación temporal entre las actividades de las células vecinas que entre las más lejanas. Incluso sin estímulo entrante, las ondas espontáneamente generadas de la actividad viajan a través de la retina y proporcionan la correlación. Por lo tanto, la actividad de los axones que llegan a ella es un área en blanco que lleva información sobre su vecindad. Esta característica puede proporcionar una posibilidad para establecer proyecciones topográficas ordenadas, si la estructura postsináptica como el sistema de recepción puede reconocerlo y hacer uso de él. ¿Es suficiente la correlación espacial para la generalización del refinamiento de proyección topográfica? ¿O, puede un circuito nervioso local transformar la orden temporal a la orden espacial, mejorando así la precisión de la proyección?

El tectum en sí mismo es una estructura de varias capas y tiene funcionalmente una organización en columna. Los elementos celulares principales de una columna tectal son sobre todo las células piramidales grandes como el único punto de la salida del sistema y de las estrelladas en forma de pera pequeñas como representantes de las células inhibitorias. El tipo de neuronas en forma de pera grandes recibe la entrada óptica aferente e inervada por las conexiones recurrentes, se forma un circuito reverberante. Los axones ascendentes de las células en forma de pera grande excitan a las neuronas en forma de pera pequeñas, que regeneran los impulsos a las dendritas básicas de las neuronas en forma de pera grandes. Así se forma un segundo circuito reverberante. Algunas células reciben fibras aferentes no ópticas en sus dendritas básicas y envía dendritas colaterales a los sitios sinápticos entre los accesorios dendríticos y las terminales ópticas, proporcionando conexiones inter-acolumnadas. Finalmente las células piramidales grandes resumen la activación y la inhibición (Székely y Lázár, 1976).

Hemos modelado este fenómeno de facilitación por excitación e inhibición recurrentes en vez de en términos de facilitación sináptica.

En este reporte, no modelamos la respuesta de la retina a la entrada óptica, sino que proveemos simplemente a cada neurona una entrada que codifique el estímulo fisiológico apropiado.

En la figura 1 se muestra un esquema de la columna tectal.

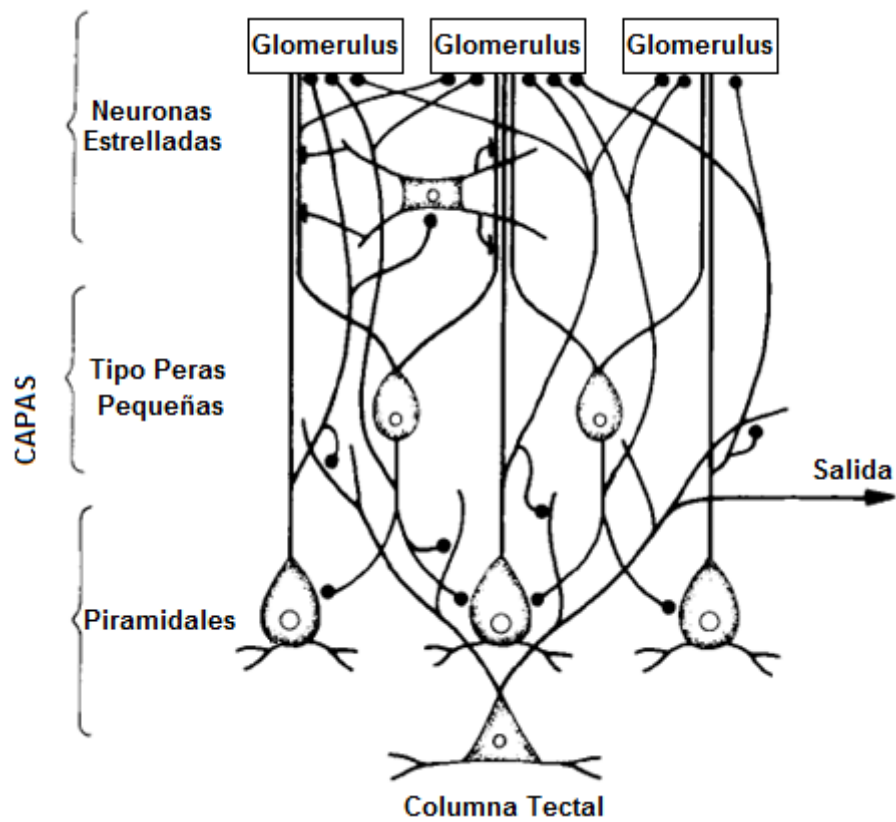


Figura 1. Esquema de una columna tectal.

En la figura 2 se muestra un esquema simplificado de esta con tres neuronas.



Figura 2. Modelos biológicos de columna tectal de tres y dos neuronas.

1. Modelo electrónico de la columna tectal con función de activación escalón

Estudiaremos el modelo basado en la arquitectura de la columna de tectal, propuesto por Lara (Lara R, et al, 1982), pero usando neuronas Mc Cullok y Pitts (Mc Cullok y Pitts, 1943) modificadas por nosotros para 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 3.

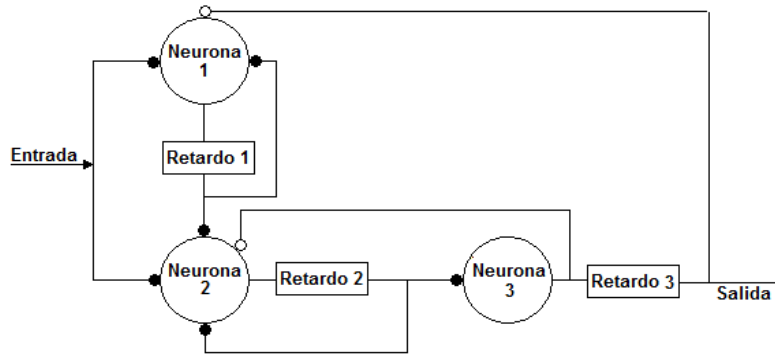


Figura 3. Modelo de columna tectal con tres neuronas.

En este modelo de columna tectal vamos a analizar el comportamiento de la estructura planteada al variar parámetros de las neuronas con son los umbrales, y parámetros de la red como son los tiempos de retardo. Nuestro estudio está dividido en dos tipos de neuronas, las que tienen la función de disparo con una salida directa de la función de activación escalón y otras en las cuales las neuronas tengan salidas de ráfagas, tanto simples como parabólicas.

El primer estudio que realizaremos será el correspondiente a las neuronas de salida directa de la función de activación escalón. La figura 4. Nos presenta el diagrama esquemático de la electrónica que simula esta columna tectal.

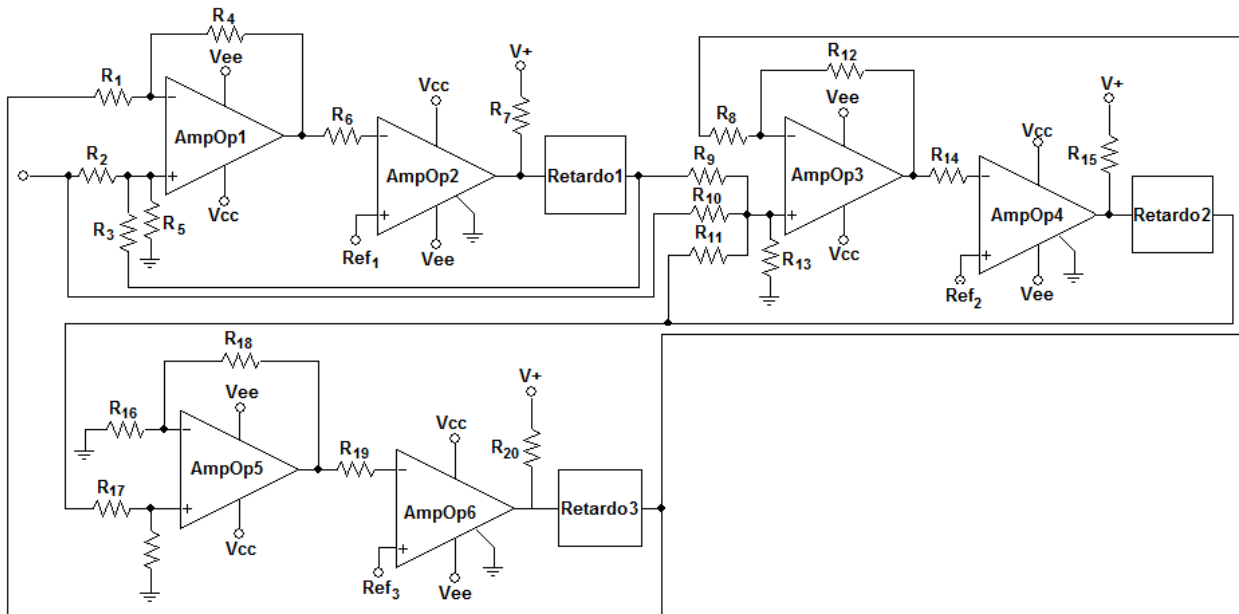


Figura 4. Diagrama esquemático de la columna tectal con tres neuronas.

En la figura 4 los amplificadores operacionales 1, 3, y 5, son sumadores simples y los amplificadores operacionales 2, 4, y 6, son comparadores.

En la figura 5 se muestra el diagrama esquemático de la unidad de retardo que se emplea en cada neurona.

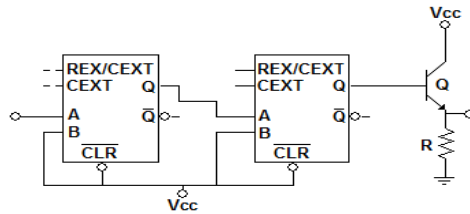


Figura 5. Diagrama esquemático de la unidad de retardo de las neuronas.

Antes de empezar con nuestros experimentos vamos a estudiar la columna tectal sin retardo y umbrales con valor unitario. La entrada que usaremos será una entrada triangular, que la podemos entender como incrementar y decrementar en el tiempo el potencial de entrada a la columna tectal en forma lineal.

Presentaremos los resultados en forma gráfica donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase.

Los resultados del primer experimento con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 1V, ref2 = 1V, ref3 = 1V, Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 0 ms, Amplitud = 5V, los podemos ver en la figura 6.

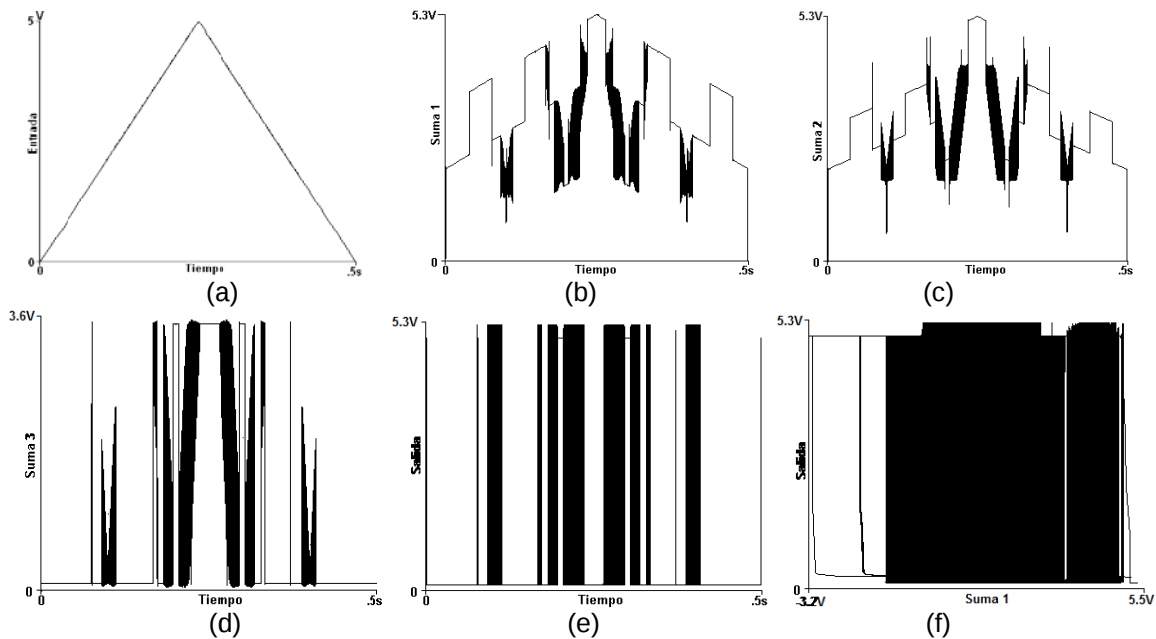


Figura 6. Gráficas del experimento con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 1V, ref2 = 1V, ref3 = 1V, Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 0 ms, Amplitud = 5V.

2. Experimentos variando las señales de entrada

Vamos a realizar los experimentos para la columna tectal con función de activación dada por un escalón simple. En esta serie de experimentos vamos a analizar que pasa en la columna tectal ante diferentes señales de entrada.

Podemos decir que en similitud con la idea electromagnética un sistema con histéresis es un sistema con memoria, pero estos sistemas dinámicos requieren de un retardo, cosa con la cual contamos en cada neurona y que llamamos retardo axónico, por lo que cada neurona corresponde a un sistema con memoria. El interés fundamental en nuestro estudio es la memoria global de la columna tectal, y no de cada una de las capas. Para nuestro estudio estos elementos de memoria se vuelven de poca información, ya que cambian constantemente en el tiempo, por lo que no los consideramos en las gráficas de respuesta por lo que presentaremos los resultados en forma gráfica donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase.

En nuestros experimentos vamos para cada caso a cambiar la señal de entrada manteniendo los demás parámetros de la columna tectal sin cambios, por lo que en nuestro primer experimento mantendremos los umbrales y los retardos de las neuronas fijos.

Los parámetros para este primer experimento fueron: Entrada senoide, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 1V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 2ms, Ampl. = 5V. Los resultados se muestran en la figura 7.

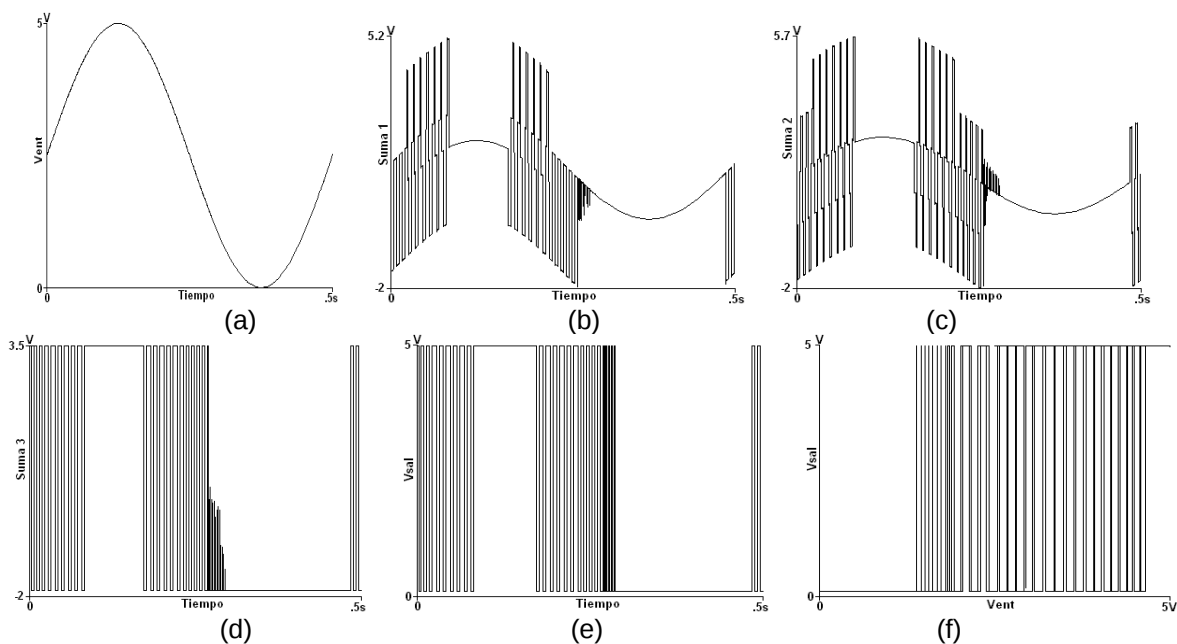


Figura 7. Gráficas con los parámetros: Entrada senoide, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 1V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms, Amplitud = 5V.

Para explorar sin cambios de los parámetros la influencia de la entrada en la respuesta de la columna tectal, en nuestro siguiente experimento vamos a cambiar la señal de entrada por una triangular, por lo que nuestro experimento tiene los siguientes parámetros: Entrada Triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 1V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms, Amplitud = 5V. Los resultados se muestran en la figura 8.

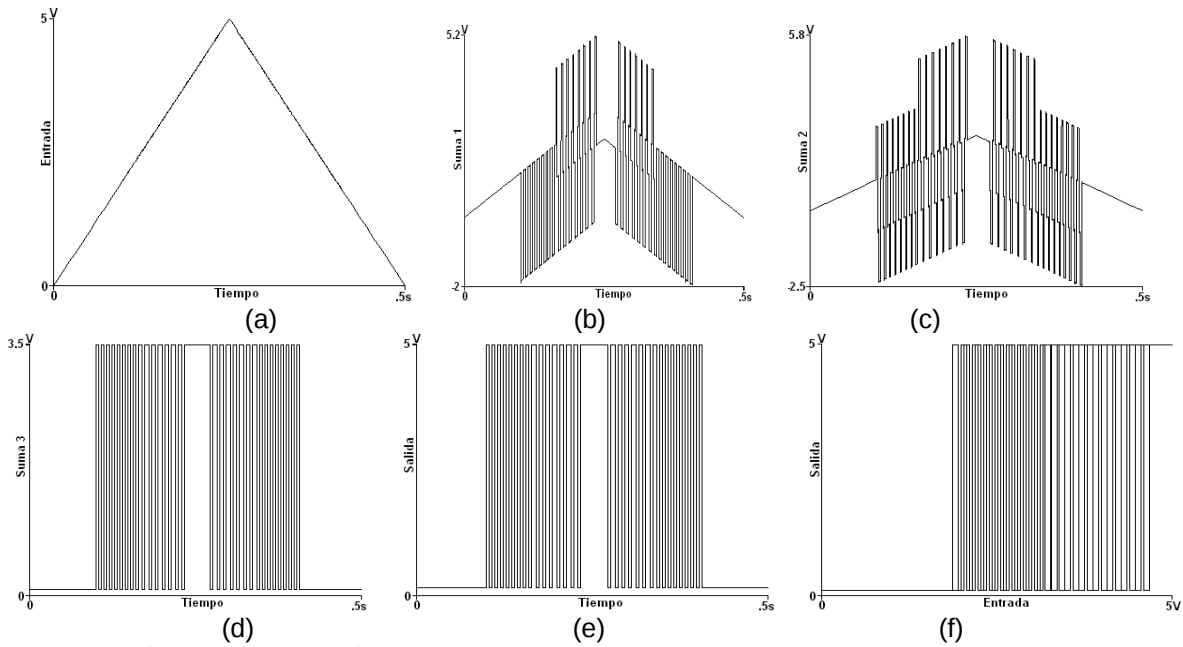


Figura 8. Gráficas con los parámetros: Entrada Triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 1V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms, Amplitud = 5V.

Vamos a cambiar de nuevo la entrada y en este caso vamos a introducir una entrada romboide, manteniendo todos los demás parámetros de las neuronas sin cambios. Los parámetros para este experimento son: Entrada Romboide, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 1V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 2ms, Amplitud = 5V. Los resultados los mostramos en la figura 9.

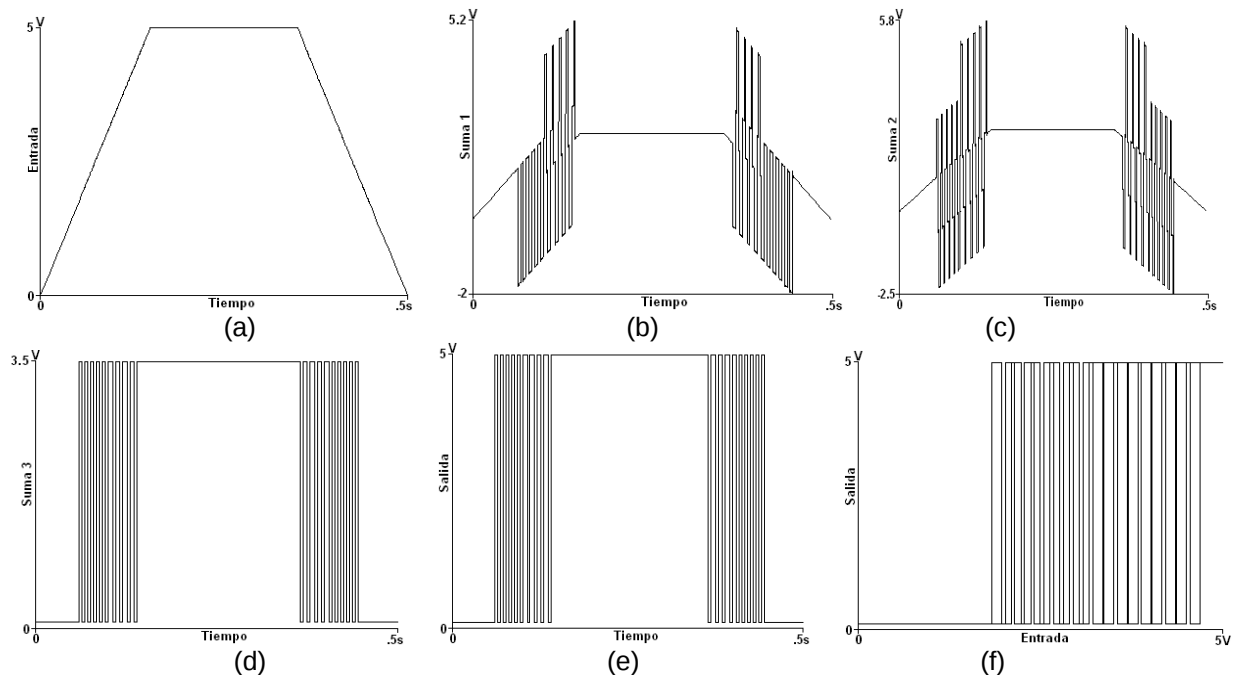


Figura 9. Gráficas con los parámetros: Entrada Romboide, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 1V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 2ms, Amplitud = 5V.

Como era de esperar ante cambios de las señales de entrada se dan cambios en la respuesta de la columna tectal, pero la forma se mantiene. En estos casos la forma es importante ya que nos sitúa en un estado de memoria y no en otro. Por ejemplo en estos casos no tenemos ciclos límites, por lo que le llamamos memoria de forma.

3. Experimentos variando los umbrales de las neuronas.

Sabemos que en umbral es un parámetro de cada neurona que determina si esta dispara o no, por lo que en esta sección vamos a estudiar que sucede en la columna tectal si modificamos los umbrales de las neuronas.

De nuevo presentaremos los resultados en forma gráfica donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase. La entrada que usaremos será una entrada triangular, que la podemos entender como incrementar y decrementar en el tiempo el potencial de entrada a la columna tectal en forma lineal, y esto se repetirá en todos los experimentos que realicemos en este reporte técnico.

En nuestro primer experimento tendremos los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = -1V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$, $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms$, $Amplitud = 5V$. Los resultados se muestran en la figura 10.

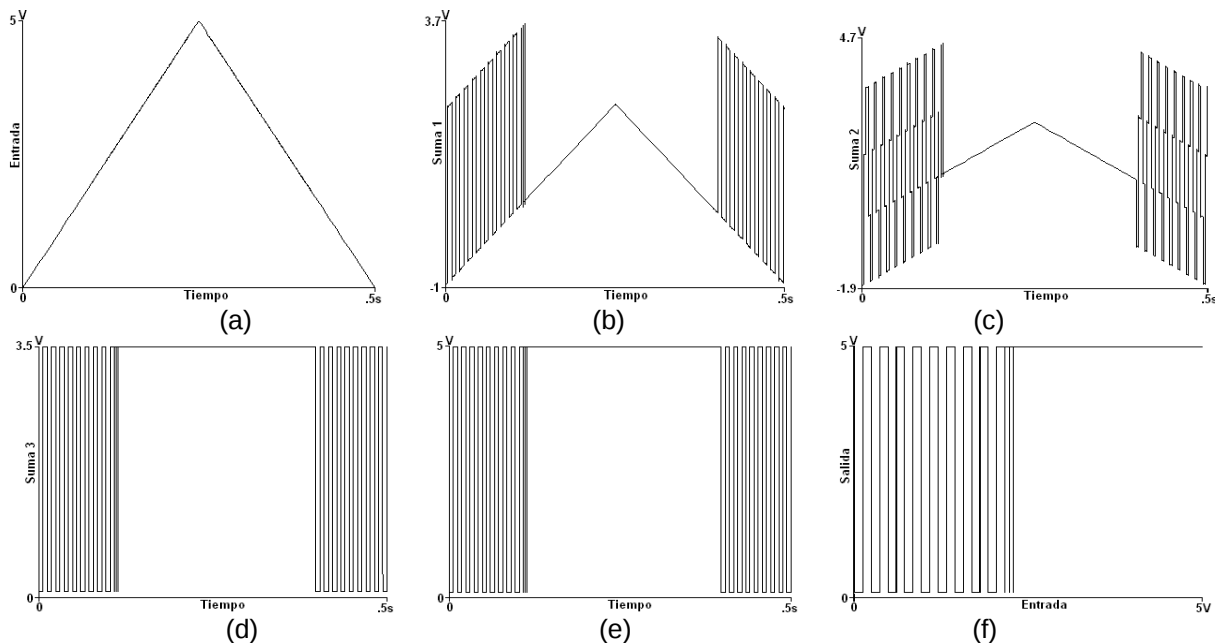
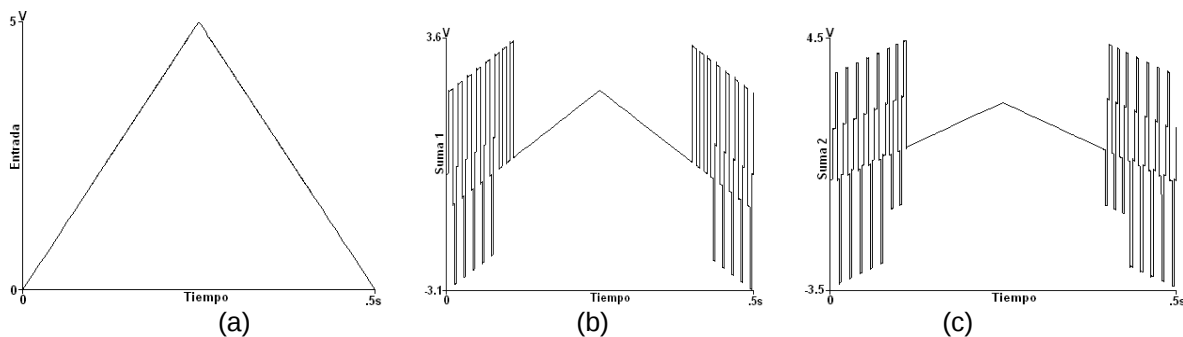


Figura 10. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = -1V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$, $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms$, $Amplitud = 5V$.

Crecemos el umbral a cero con los demás parámetros sin cambio y tenemos los resultados de la 11.



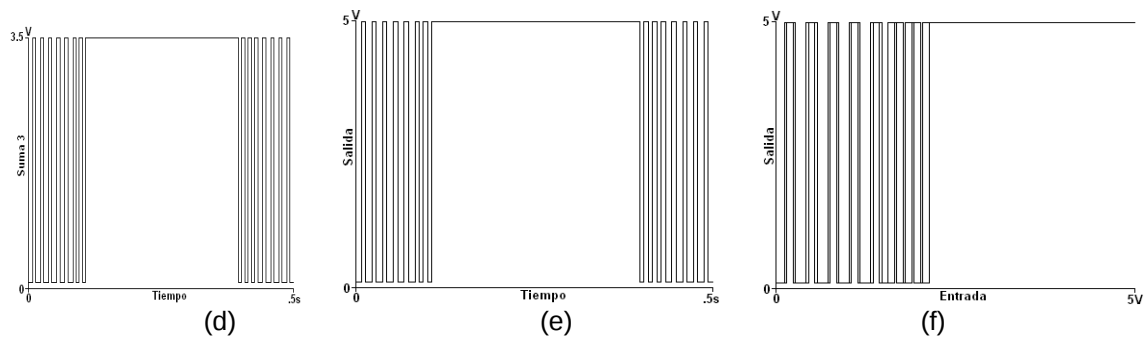


Figura 11. Gráficas con los parámetros: Entrada senoide, $ref1 = 0V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$, $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms$, $Amplitud = 5V$.

Crecemos el umbral de la primera neurona a uno, con los demás parámetros sin cambio. Los resultados se muestran en la figura 12.

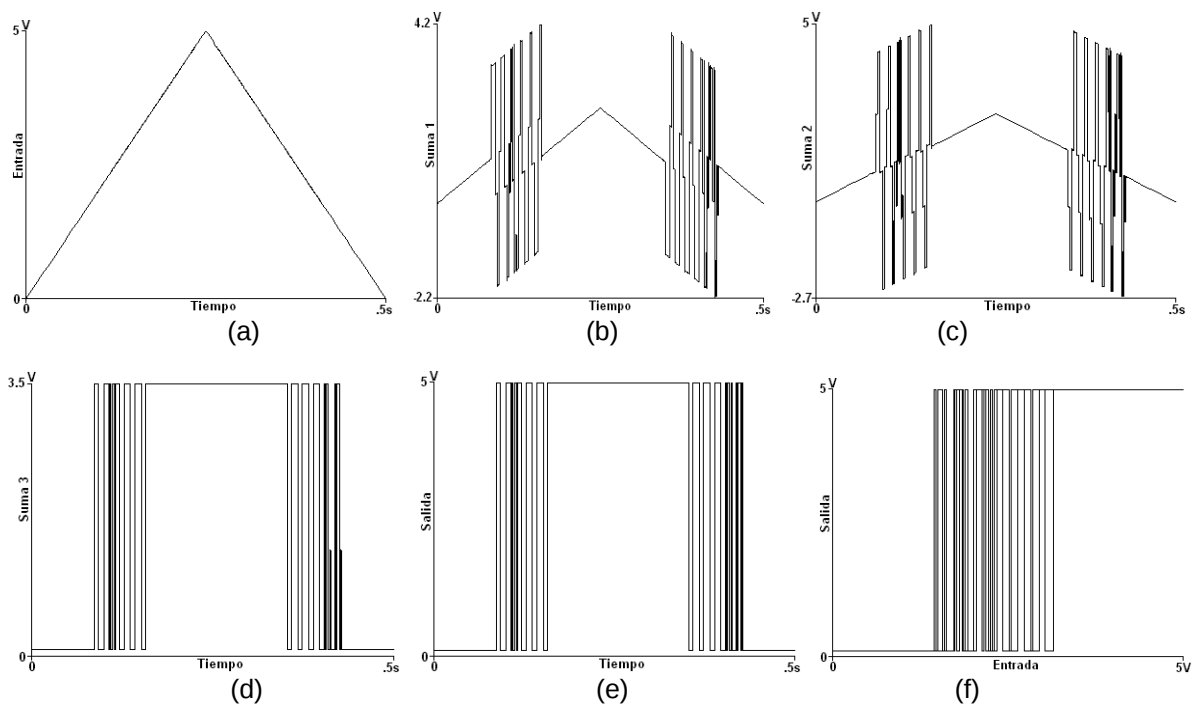
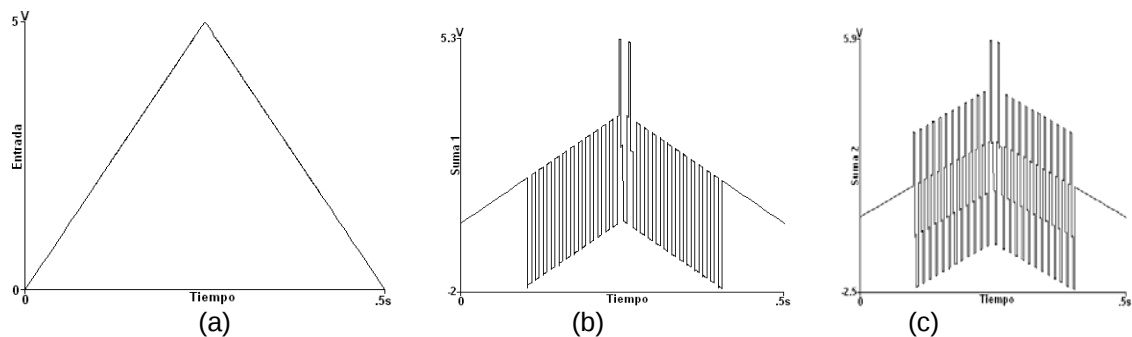


Figura 12. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 1V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$, $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms$, $Amplitud = 5V$.

Crecemos el umbral de la primera neurona a tres, con los demás parámetros sin cambio. Los resultados se muestran en la figura 13.



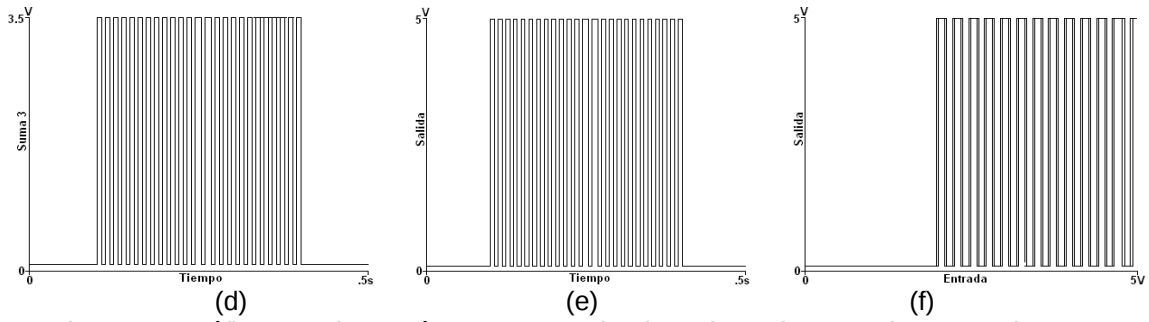


Figura 13. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1=3V$, $ref2=1V$, $ref3=2V$, $Retardo1=Retardo2=Retardo3=3ms$, Amplitud = $5V$.

Crecemos el umbral de la primera neurona a cuatro, con los demás parámetros sin cambio. Los resultados se muestran en la figura 14.

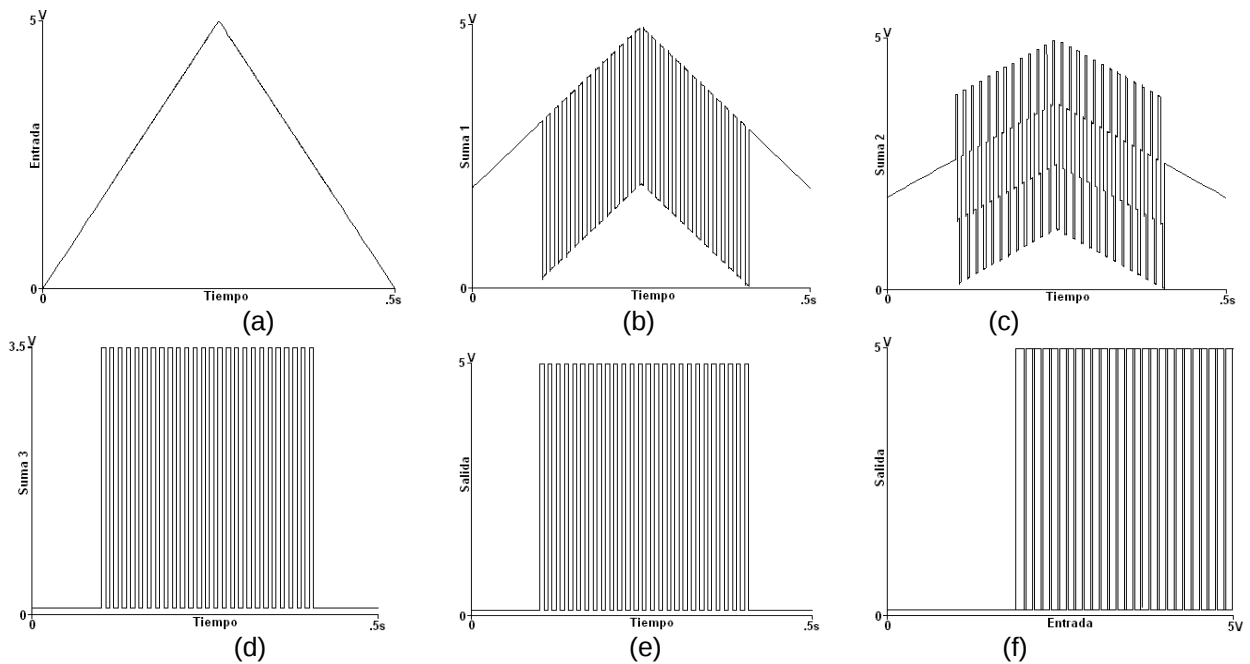
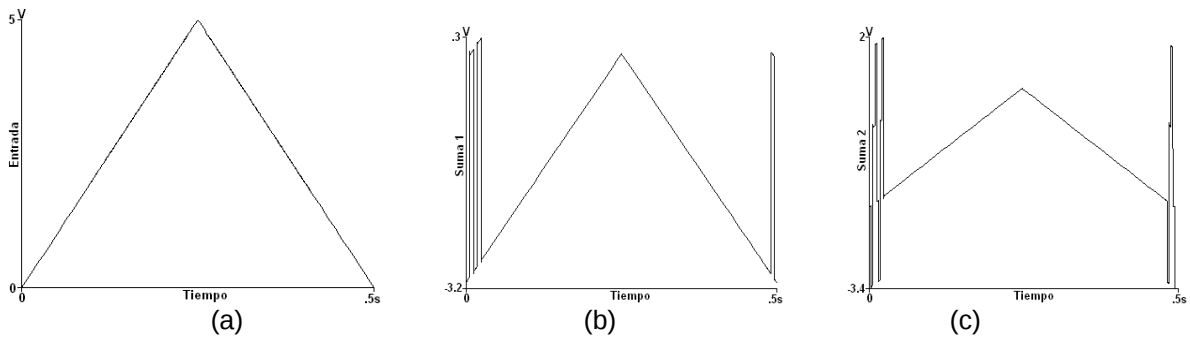


Figura 14. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1=4V$, $ref2=1V$, $ref3=2V$, $Retardo1=Retardo2=Retardo3=3ms$, Amplitud = $5V$.

Cambiamos el umbral de la segunda neurona los parámetros serán: entrada triangular, $ref1=2V$, $ref2=-1.5V$, $ref3=2V$, $Retard1=Retard2=Retard3=3ms$, Amplitud = $5V$. Los resultados se ven en la figura 15.



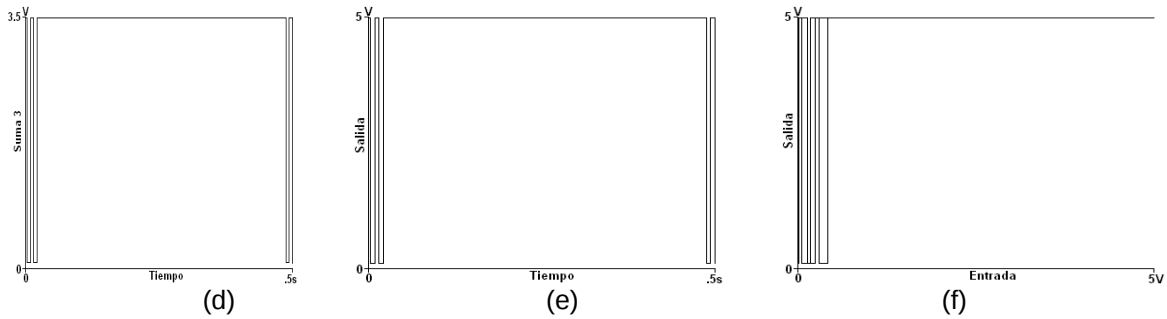


Figura 15. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $\text{ref1} = 2\text{V}$, $\text{ref2} = -1.5\text{V}$, $\text{ref3} = 2\text{V}$
 $\text{Retardo1} = \text{Retardo2} = \text{Retardo3} = 3\text{ms}$, Amplitud = 5V .

En el siguiente experimento los parámetros son: entrada triangular, $\text{ref1} = 2\text{V}$, $\text{ref2} = -.5\text{V}$, $\text{ref3} = 2\text{V}$
 $\text{Retard1} = \text{Retard2} = \text{Retard3} = 3\text{ms}$, Amplitud = 5V . Los resultados se muestran en la figura 16.

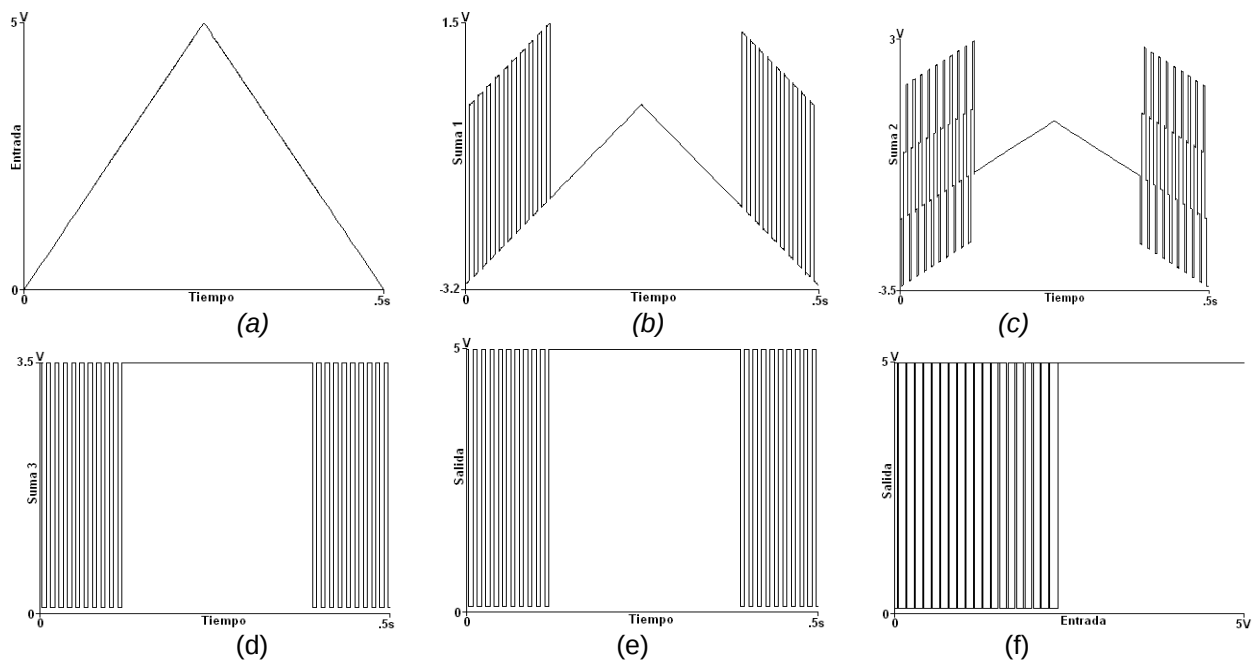
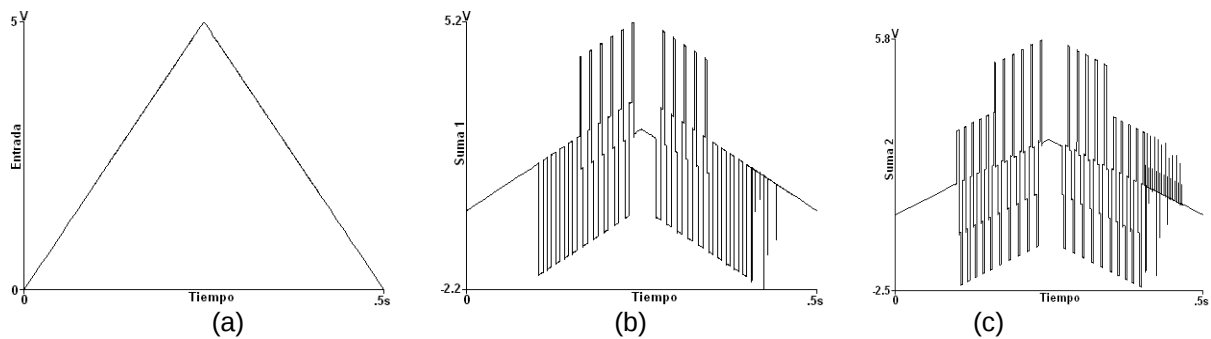


Figura 16. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $\text{ref1} = 2\text{V}$, $\text{ref2} = -.5\text{V}$, $\text{ref3} = 2\text{V}$
 $\text{Retardo1} = \text{Retardo2} = \text{Retardo3} = 3\text{ms}$, Amplitud = 5V .

Entrada triangular, $\text{ref1} = 2\text{V}$, $\text{ref2} = 1\text{V}$, $\text{ref3} = 2\text{V}$ $\text{Retard1} = \text{Retard2} = \text{Retard3} = 3\text{ms}$, Ampl. = 5V . Los resultados se muestran en la figura 17.



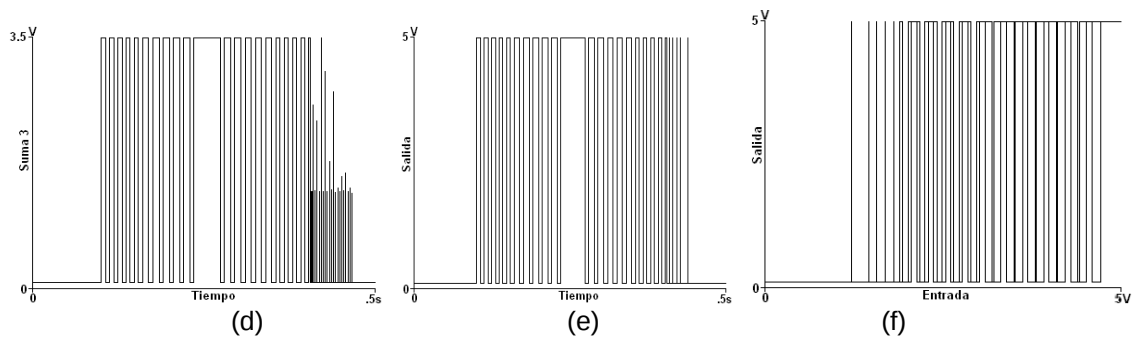


Figura 17. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$
 $Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms$, Amplitud = $5V$.

Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 3V$, $ref3 = 2V$ $Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms$, Amplitud = $5V$. Los resultados en la figura 18.

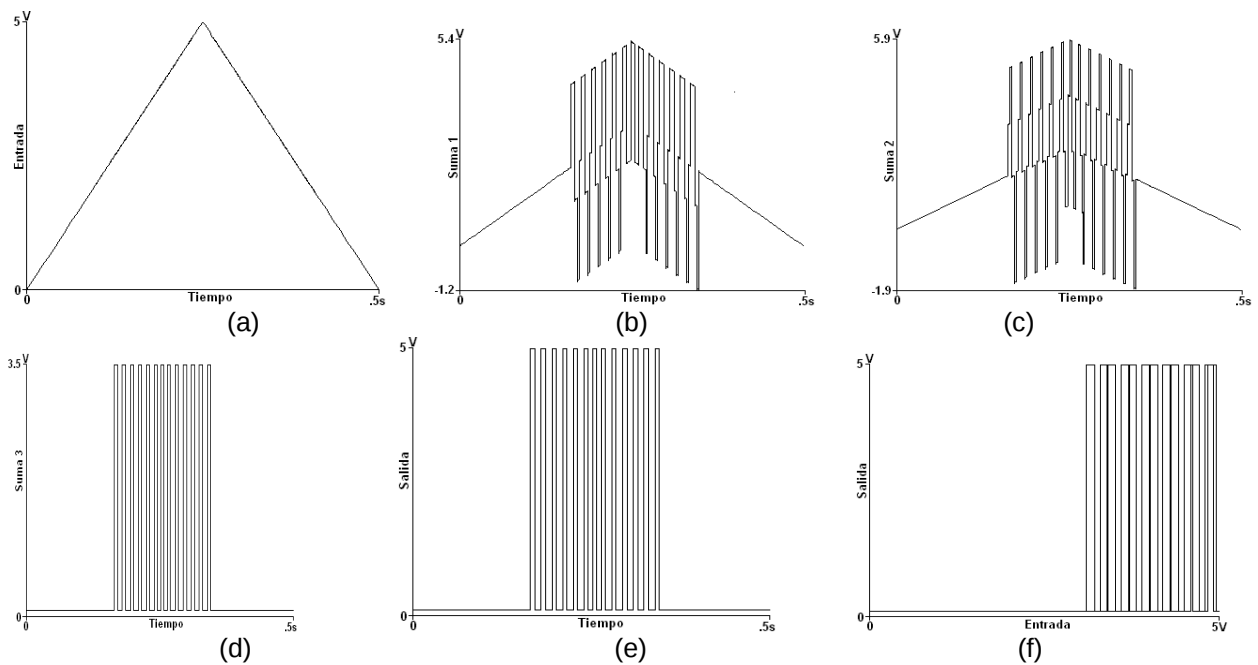
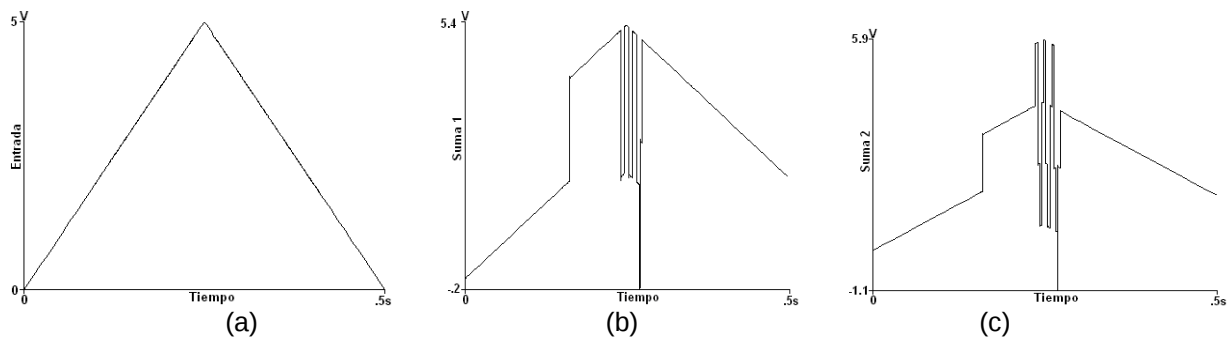


Figura 18. Gráficas del experimento con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 3V$, $ref3 = 2V$
 $Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms$, Amplitud = $5V$.

Crecemos la $ref2 = 4V$, con todos los demás parámetros sin cambio y tenemos en la figura 19 se presentan los resultados.



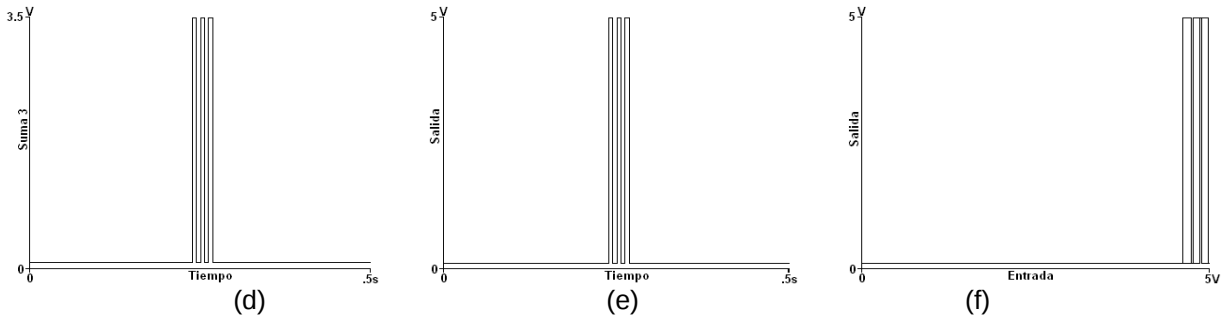


Figura 19. Gráficas del experimento con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 4V$, $ref3 = 2V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Para una $ref2 = 4.16V$, con todos los demás parámetros sin cambio tenemos los resultados que se muestran en la figura 20.

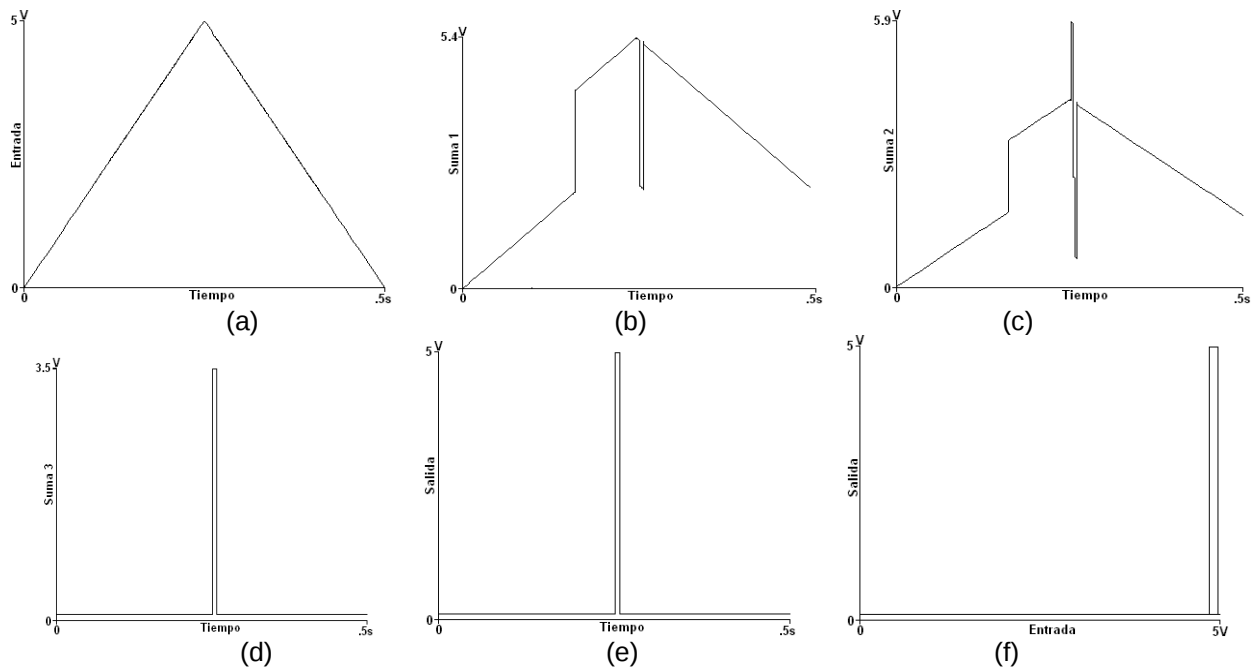


Figura 20. Gráficas del experimento con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 4.16V$, $ref3 = 2V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Los resultados de cambio de los umbrales son interesantes. Si vemos las figuras 10 y 11 se replican en forma para sus umbrales, pero al crecer el umbral a cero cambia de forma el espacio fase, como se ve en la figura 12. En los tres casos encontramos cambios en la frecuencia de las oscilaciones internas del espacio fase. Estos cambios de frecuencia se deben a que los tiempos en los cuales las salidas de los sumadores están por encima del umbral de la siguiente neurona estas se disparan y por lo mismo, dado los tiempos de retardo entre las neuronas los disparos pueden aumentar o disminuir en frecuencia.

Como ya dijimos en la sección dos los cambios de forma de la memoria de la red indican diferentes estados de ésta, lo que nos dice si tenemos ciclos límites, procesos lineales de respuesta etc., por lo que en este experimento al tener umbrales negativos volvemos a otro cambio de forma como se ve en las figuras 13 y 14. Podemos pensar que en este experimento tenemos tres evocaciones de forma, como se ve una en las figuras 10 y 11, otra en las figuras 9 y 12 y otra en las figuras 13 y 14 y se puede dar una gran selectividad como se ve en la figura 20.

4. Experimentos variando las salidas N1R

En esta sección vamos a combinar neuronas con salida de ráfagas con neuronas con salida sin ráfagas. En nuestro primer caso tendremos una columna tectal donde la primera neurona tiene salida con ráfagas y las otras dos no, la llamaremos N1R. El diagrama esquemático se muestra en la figura 21.

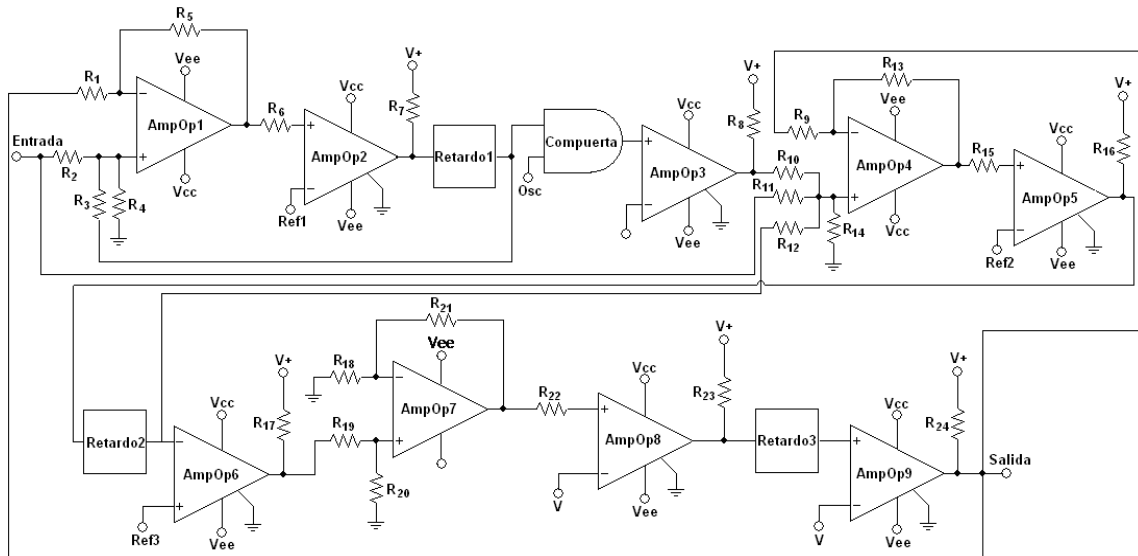


Figura 21. Diagrama esquemático de la columna tectal con la primera neurona con salida con ráfagas, y las neuronas dos y tres con salida de un escalón simple.

Vamos a realizar experimentos en los cuales vamos a cambiar parámetros de las neuronas para poder estudiar la dinámica de la columna tectal, pero primero realizaremos una experiencia en la cual los retardos son cero y los umbrales de las neuronas son unitarios. En la figura 22 se muestran los resultados de esto. De nuevo donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase, y esto se repetirá en todos los experimentos de este reporte técnico.

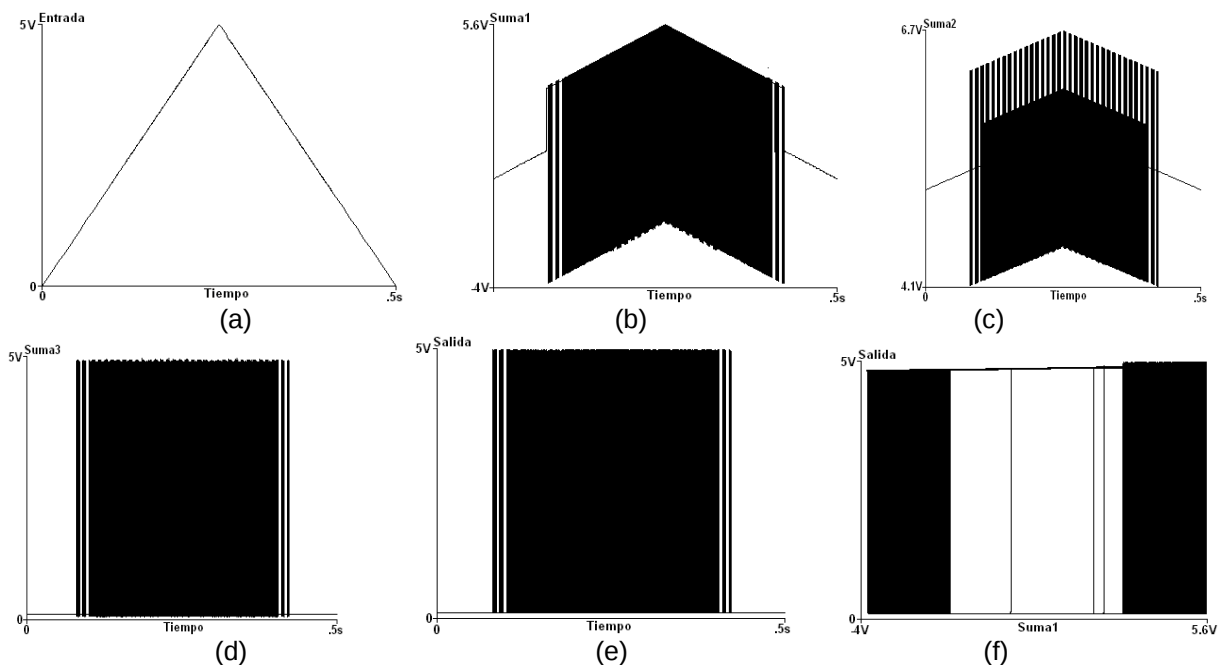


Figura 22. Experimentos con retardos cero y umbrales unitarios.

5. Experimentos variando los retardos y umbrales fijos para N1R

En el primer experimento tenemos los siguientes parámetros: Entrada Triangular, ref1 = 2V, ref2 = ref3 = 1V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms, Ampl. = 5V. Los resultados se muestran en la figura 23.

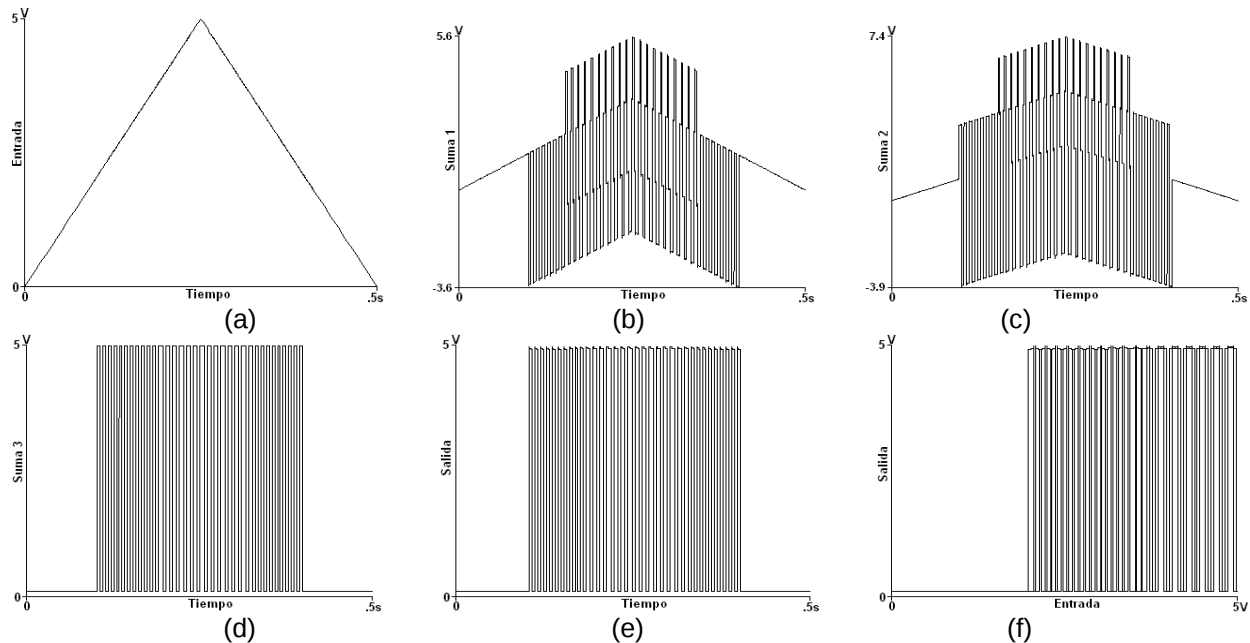


Figura 23. Gráficas del experimento con los parámetros: Entrada Triangular, ref1 = 2V, ref2 = ref3 = 1V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms, Amplitud = 5V.

Si reducimos el retardo de la segunda neurona y crecemos el de la tercera tenemos: entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = ref3 = 1V Retard1 = 1ms, Retard2 = 2ms, Retard3 = 3ms, Ampl. = 5V. Los resultados se muestran en la figura 24.

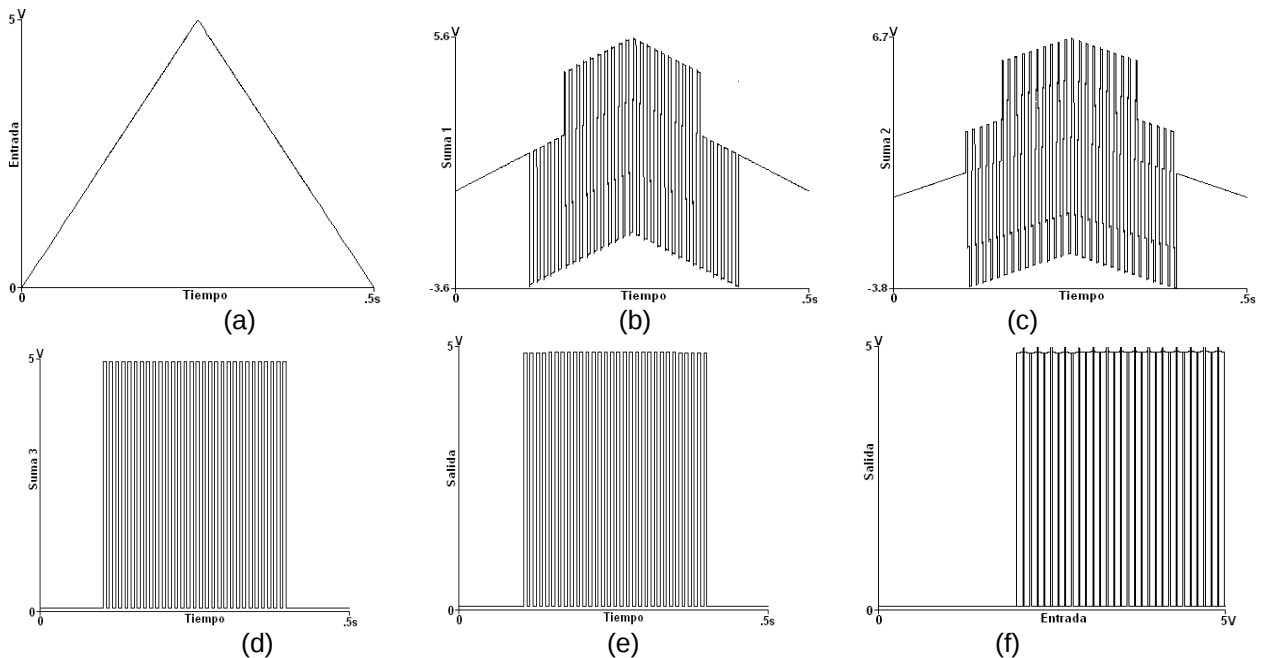


Figura 24. Gráficas del experimento con los parámetros: Entrada senoide, ref1 = 2V, ref2 = ref3 = 1V Retard1 = 1ms, Retard2 = 2ms, Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V. Amplitud = 5V.

Lo que vemos es que se da un cambio de la frecuencia interna, con evocación de forma.

6. Experimentos variando los umbrales y retardos fijos para N1R

En esta sección vamos a estudiar la columna tectal cambiando umbrales ante retardos fijos. Para el primer experimento los parámetros son: Entrada triangular, $ref1 = -1V$, $ref2 = ref3 = 2V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Ampl. = 5V. La figura 25 muestra los resultados.

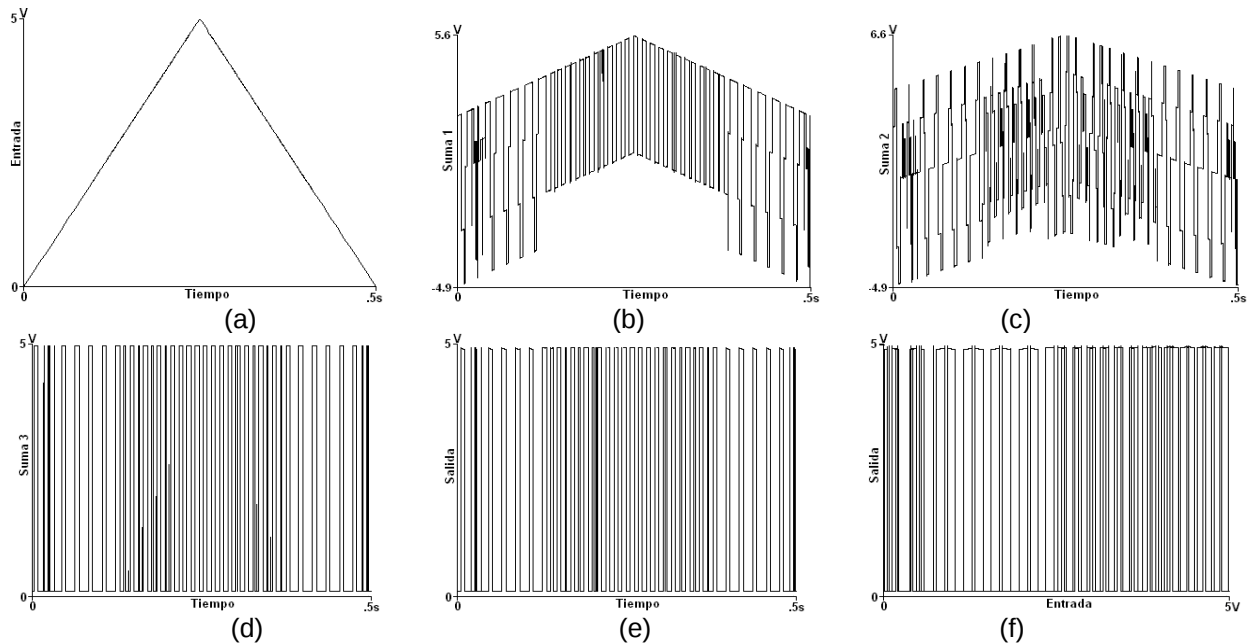


Figura 25. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = -1V$, $ref2 = ref3 = 2V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V. Amplitud = 5V.

Vamos a analizar lo que pasa cuando la $ref1$ a cero, manteniendo los demás parámetros en sus mismos valores. La figura 26 nos muestra estos resultados.

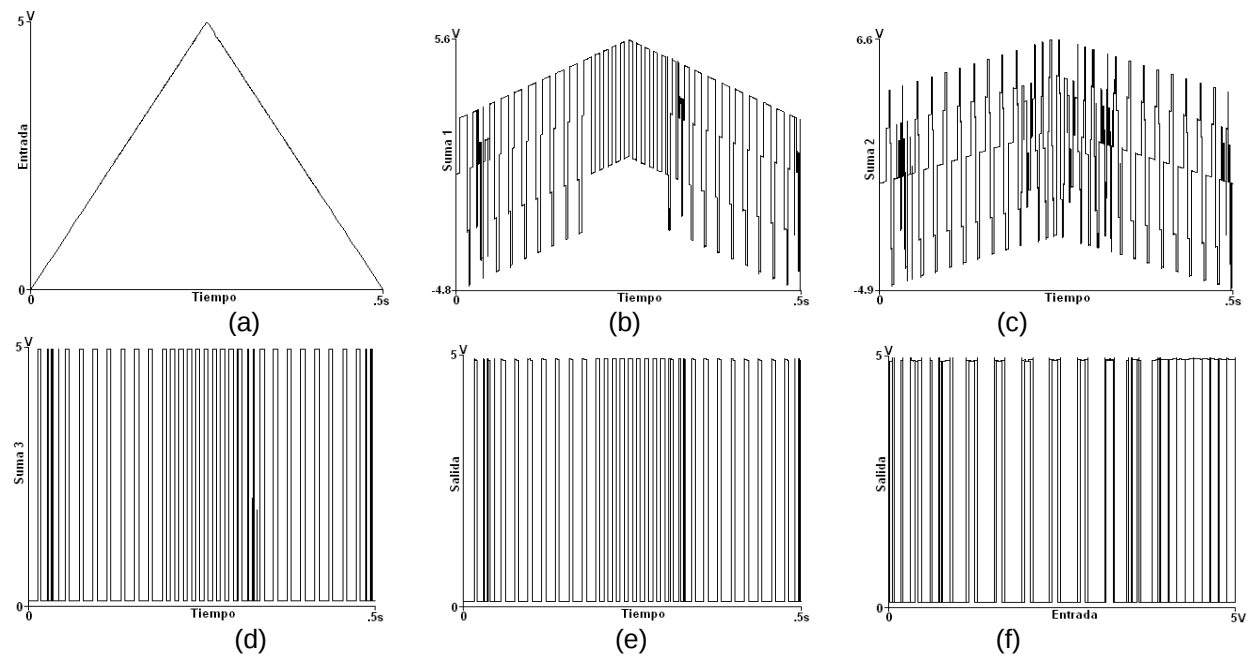


Figura 26. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 0V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Lo que vemos es que se da un cambio de la frecuencia interna, con evocación de forma.

En la figura 27 mostramos los resultados al cambiar la ref1 a uno manteniendo todos los demás parámetros en los mismos valores.

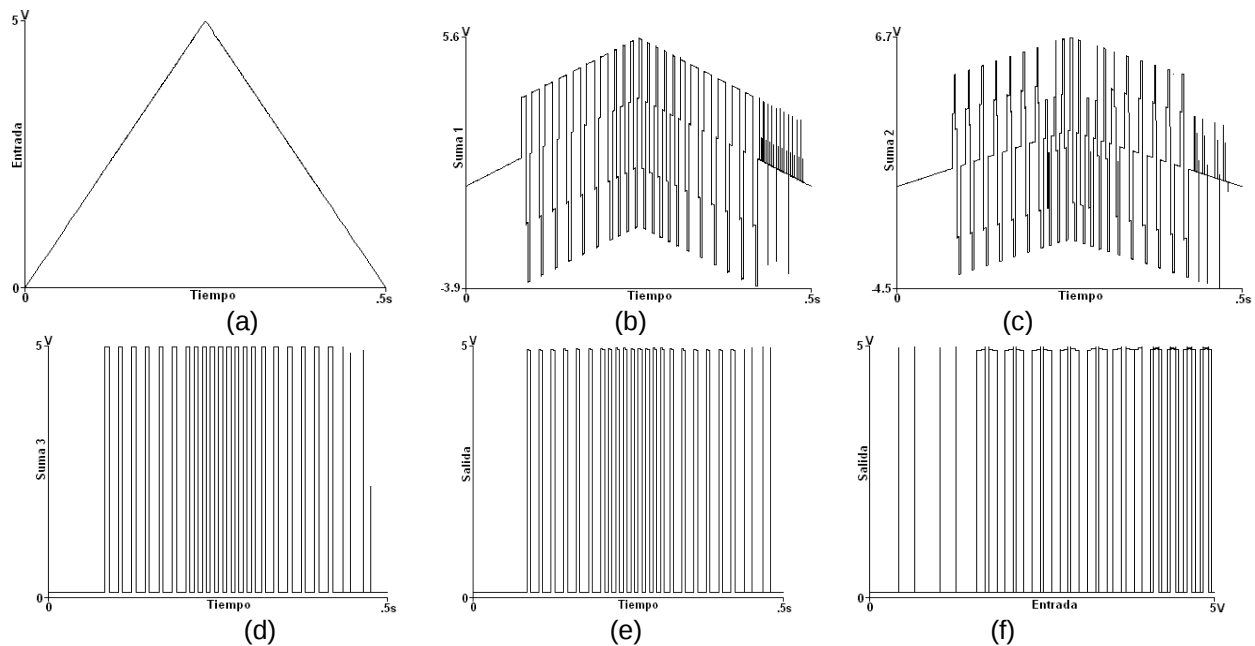


Figura 27. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 1V, ref2 = 1V, ref3 = 2V Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V.

En la figura 28 mostramos los resultados al cambiar ref1 a tres manteniendo todos los demás parámetros en los mismos valores.

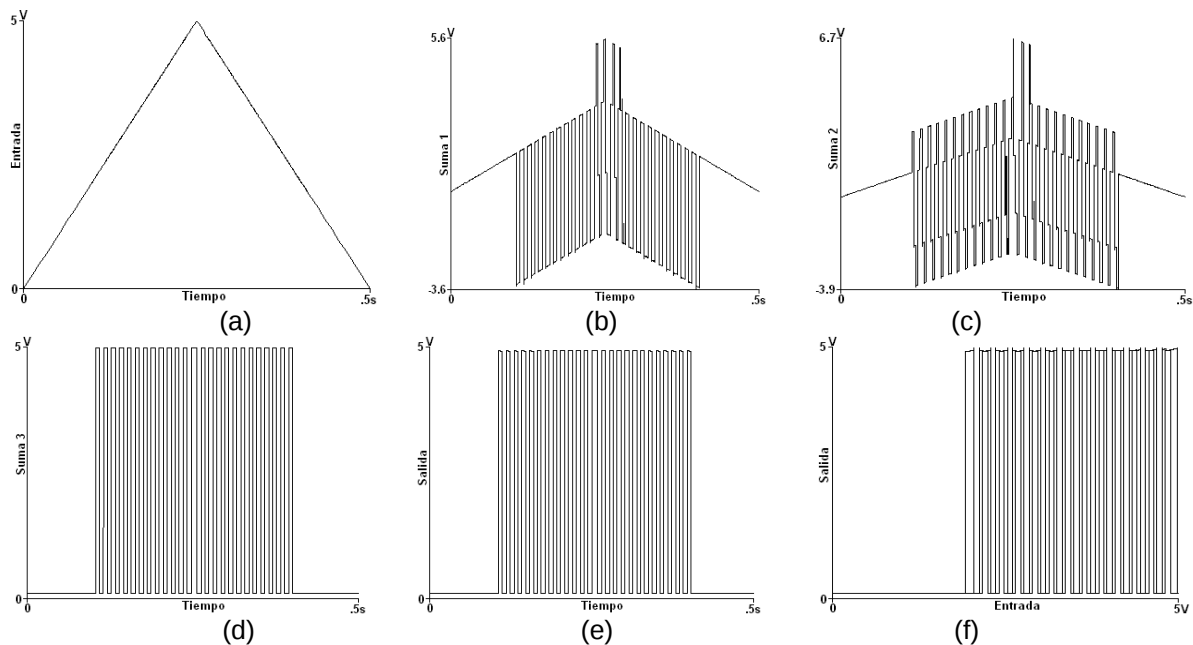


Figura 28. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 3V, ref2 = 1V, ref3 = 2V Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Ahora vamos a modificar ref2, y los nuevos parámetros serán: Entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = -1.5V, ref3 = 2V Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Ampl. = 5V. En la figura 29 se muestran los resultados.

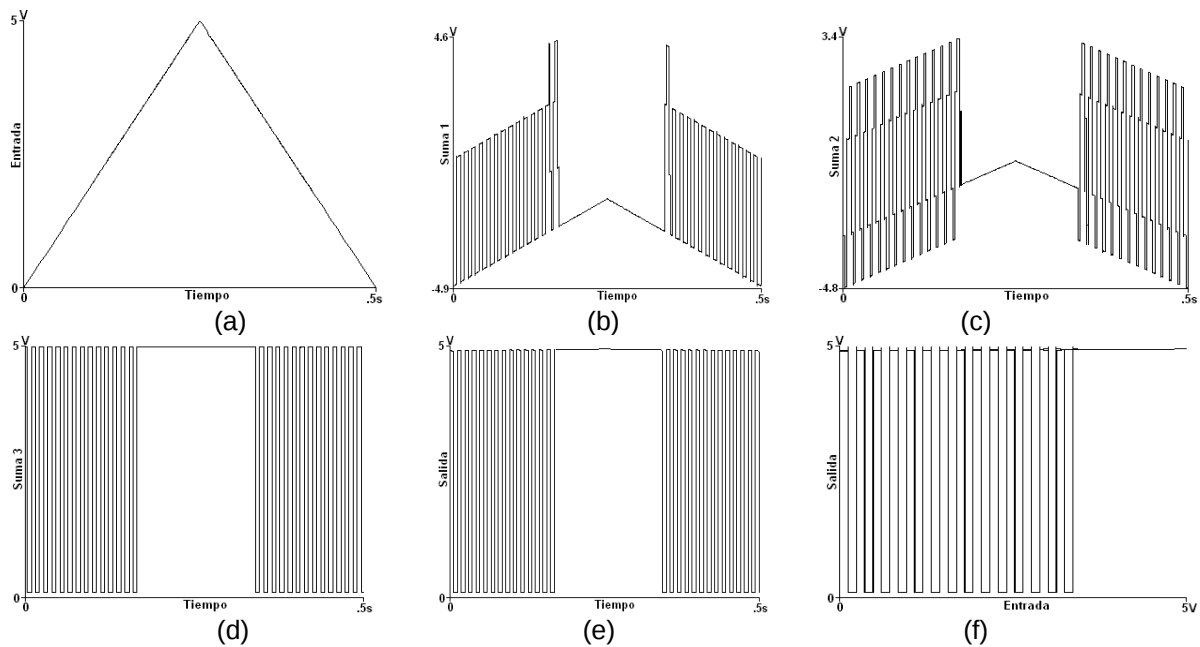


Figura 29. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = -1.5V$, $ref3 = 2V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Volvemos a cambiar la $ref2$ a -1 sin modificar ningún otro parámetro de la columna tectal, y los resultados los vemos en la figura 30.

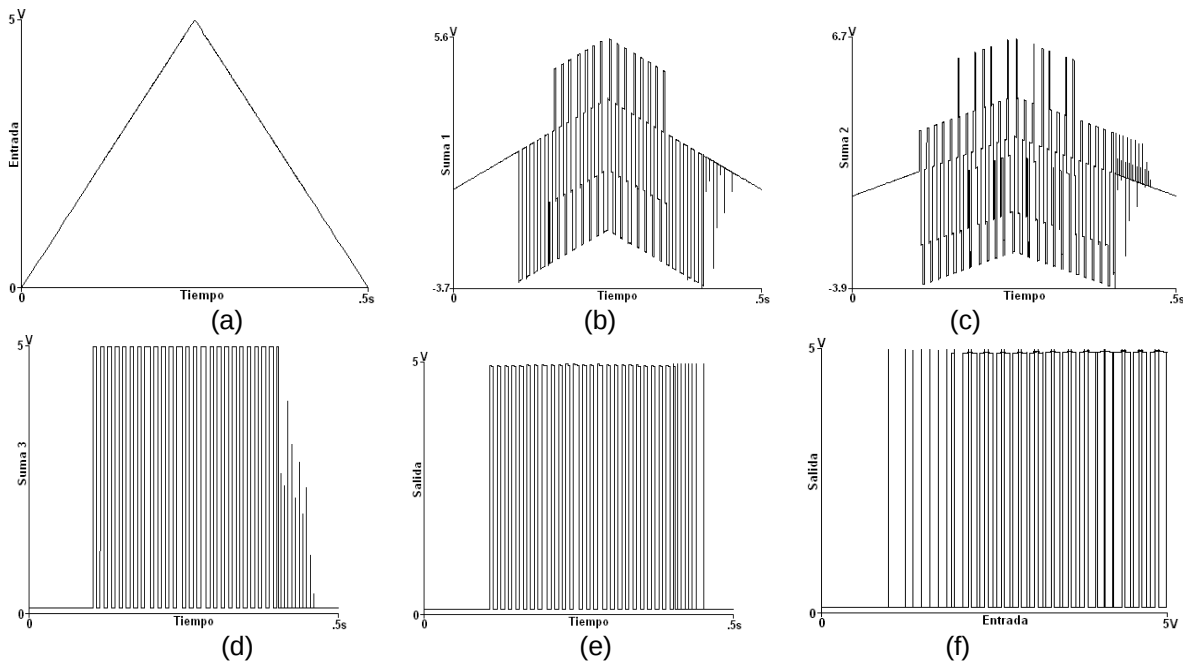


Figura 30. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Si subimos $ref2$ a 4 y no cambiamos ningún otro parámetro de la red, tendremos como parámetros los siguientes: Entrada senoide, $ref1 = 2V$, $ref2 = 4V$, $ref3 = 2V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados se muestran en la figura 31.

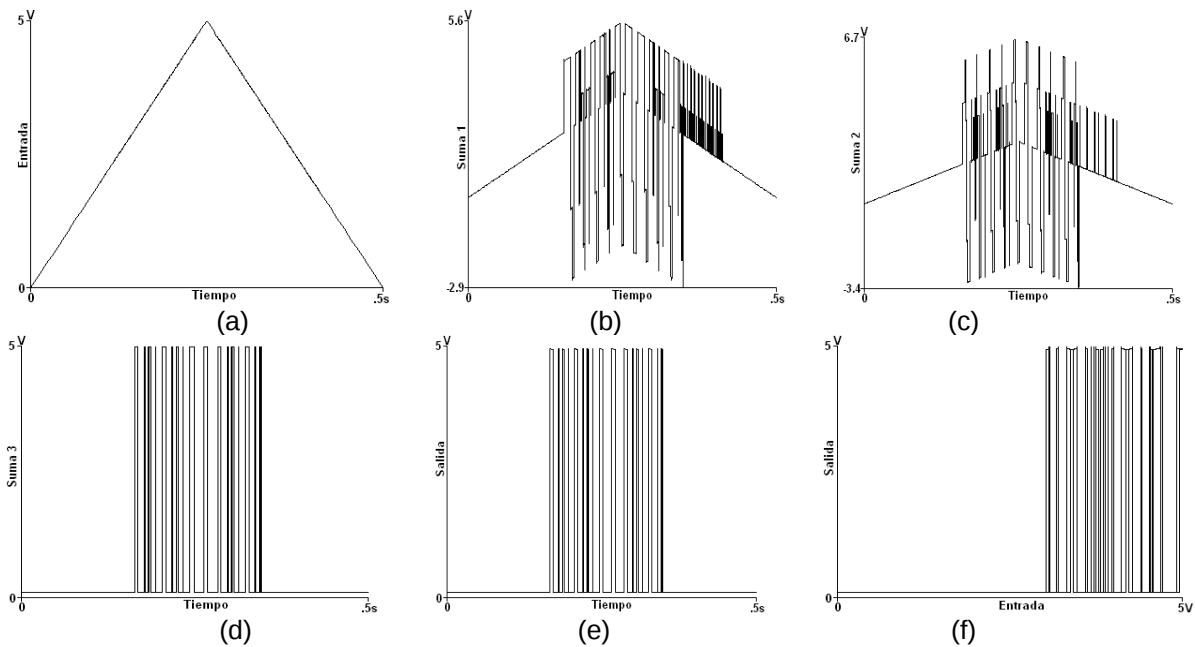


Figura 31. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 =2V, ref2 = 4V, ref3 = 2V Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Para una entrada triangular lo que tendremos por parámetros será: entrada triangular, ref1 =2V, ref2 =4.93V, ref3 = 2V Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados los vemos en la figura 32.

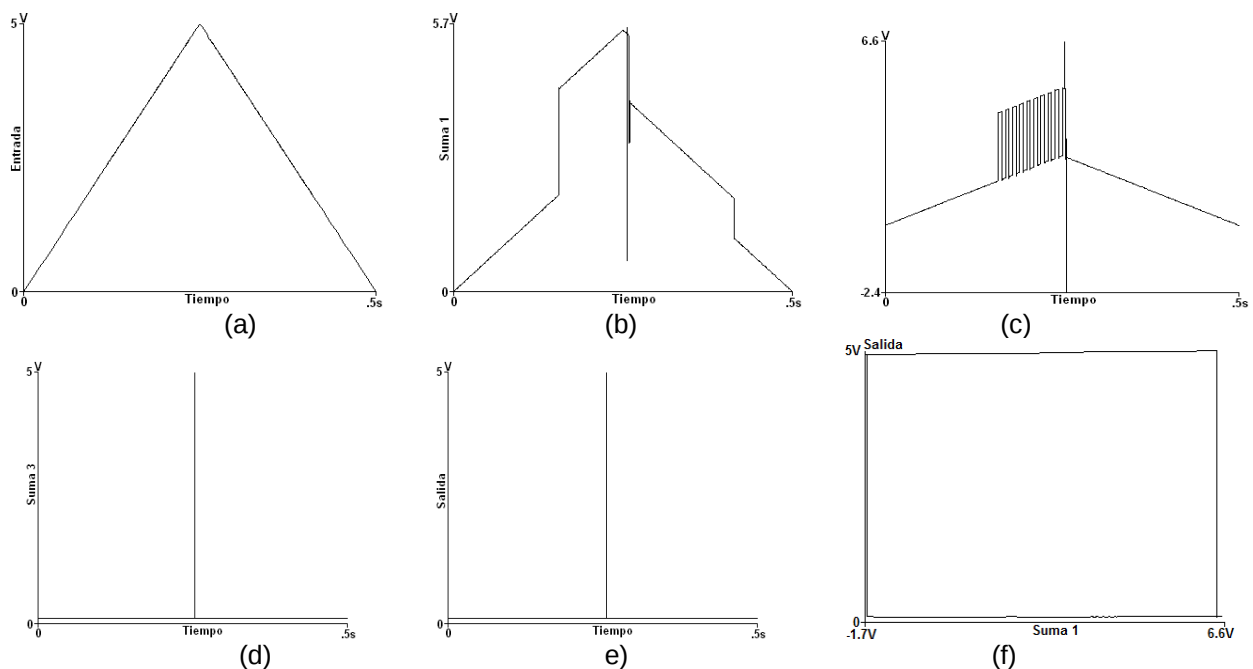


Figura 32. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 =2V, ref2 =4.93V, ref3 = 2V Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V.

En estos experimentos podemos observar varias cosas: la primera es que al tener ráfagas en la primer neurona pero se reflejan poco a la salida de la columna tectal. De nuevo nos encontramos con memorias de forma como en las figuras 23, 24, y 29.

7. Experimentos variando las salidas N2R

En esta sección vamos a combinar neuronas con salida de ráfagas con neuronas con salida sin ráfagas. En nuestro siguiente caso tendremos una columna tectal donde la segunda neurona tiene salida con ráfagas y las otras dos no, la llamaremos N2R. El diagrama esquemático se muestra en la figura 33. De nuevo donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase.

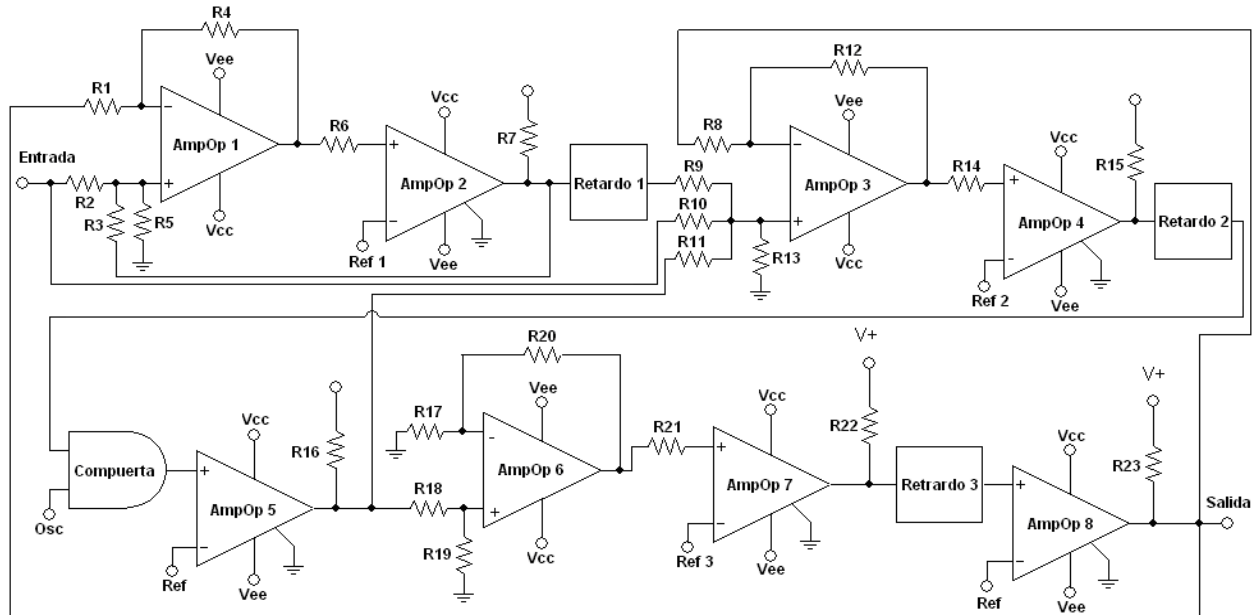


Figura 33. Diagrama esquemático de la columna tectal N2R.

Nuestro primer experimento será con retardos cero y los umbrales unitarios para ver cómo opera la columna tectal básica. Los resultados son los de la figura 34.

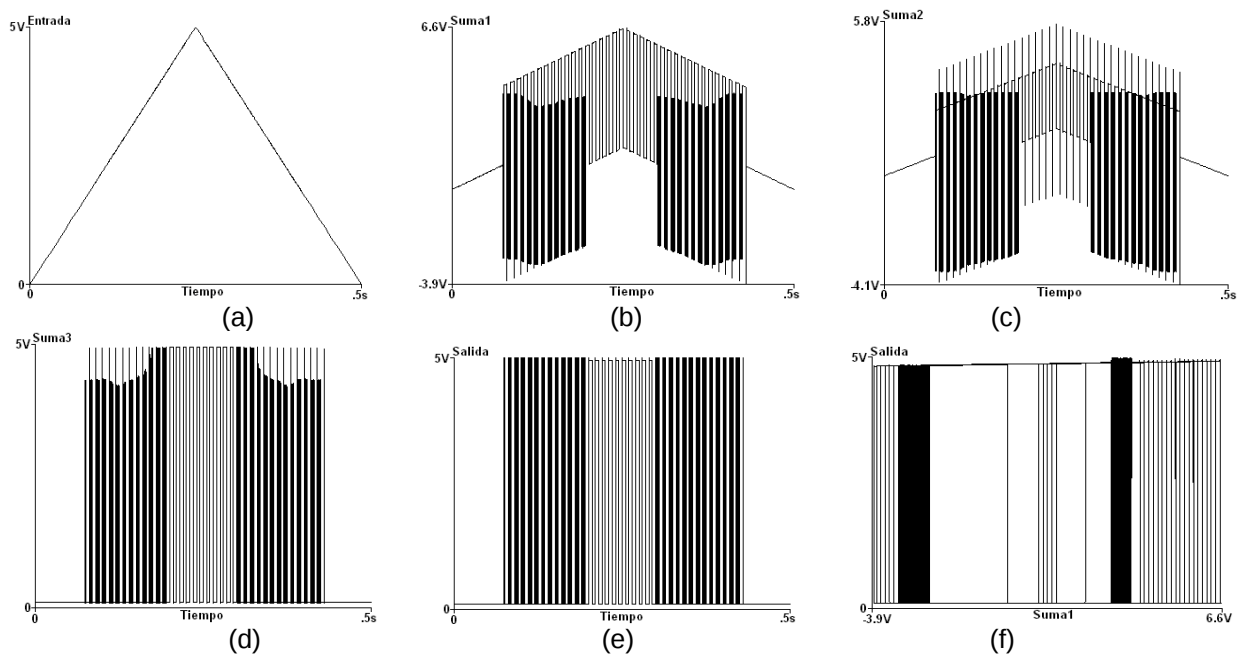


Figura 34. Respuestas de la columna tectal N2R sin retardos

8. Experimentos variando los retardos y umbrales fijos para N2R

En el primer experimento tenemos: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = ref3 = 1V$, $Retard1 = Retard2 = Retard3 = 2ms$, Amplitud = 5V. Los resultados se ven en la figura 35, donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase.

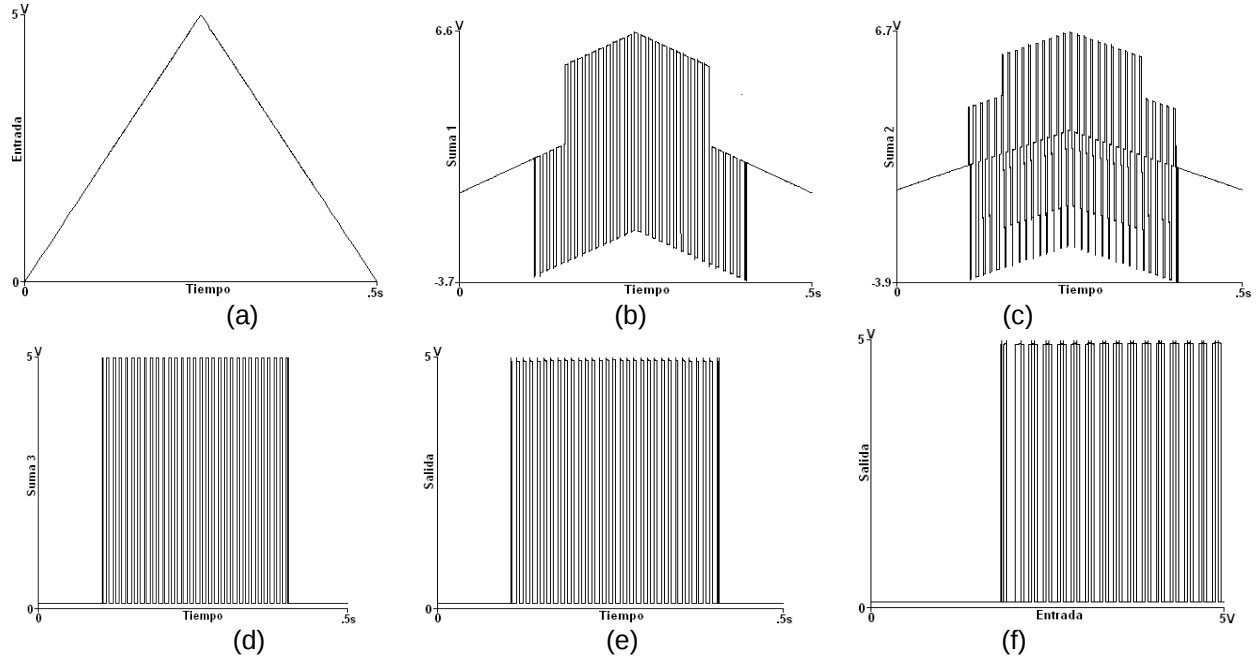


Figura 35. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = ref3 = 1V$, $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms$, Amplitud = 5V.

Si cambiamos los retardos a $Retardo1 = 1ms$, $Retardo2 = 2ms$, $Retardo3 = 3ms$, los resultados que se obtienen son los de la figura 36.

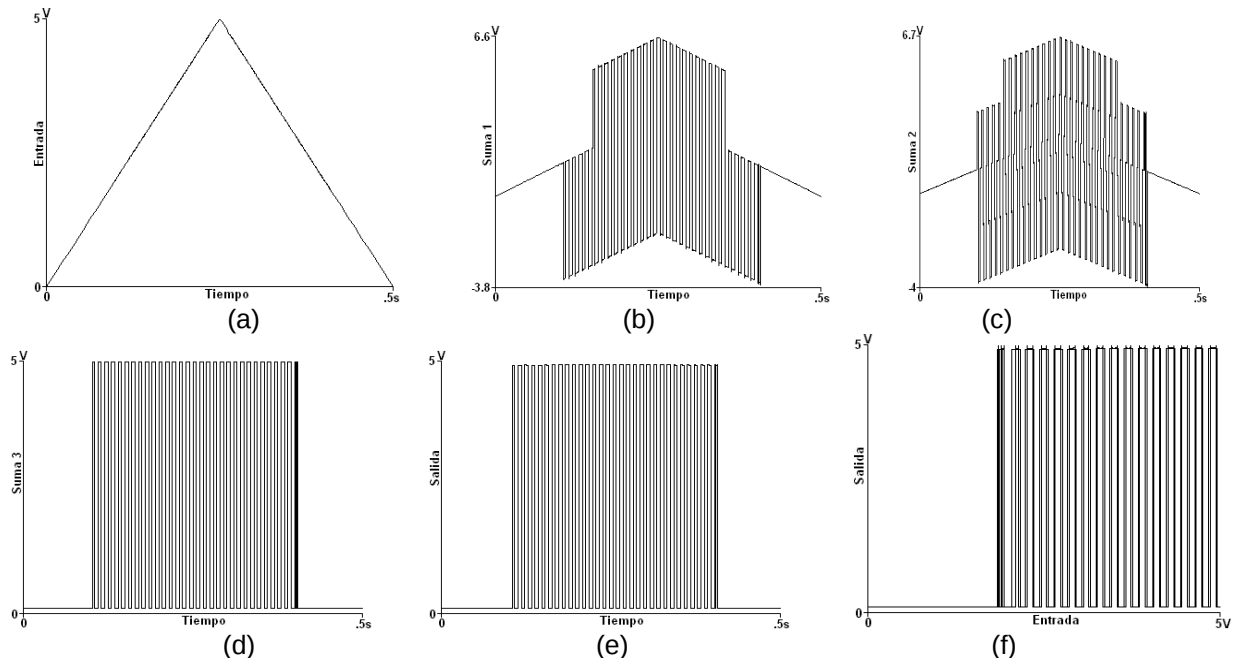


Figura 36. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = ref3 = 1V$, $Retardo1 = 1ms$, $Retardo2 = 2ms$, $Retardo3 = 3ms$, Amplitud = 5V.

9. Experimentos variando los umbrales y retardos fijos para N2R

Nuestro primer experimento tiene por parámetros: Entrada triangular, $ref1 = -1V$, $ref2 = ref3 = 2V$ Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V. Resultados en la figura 37,

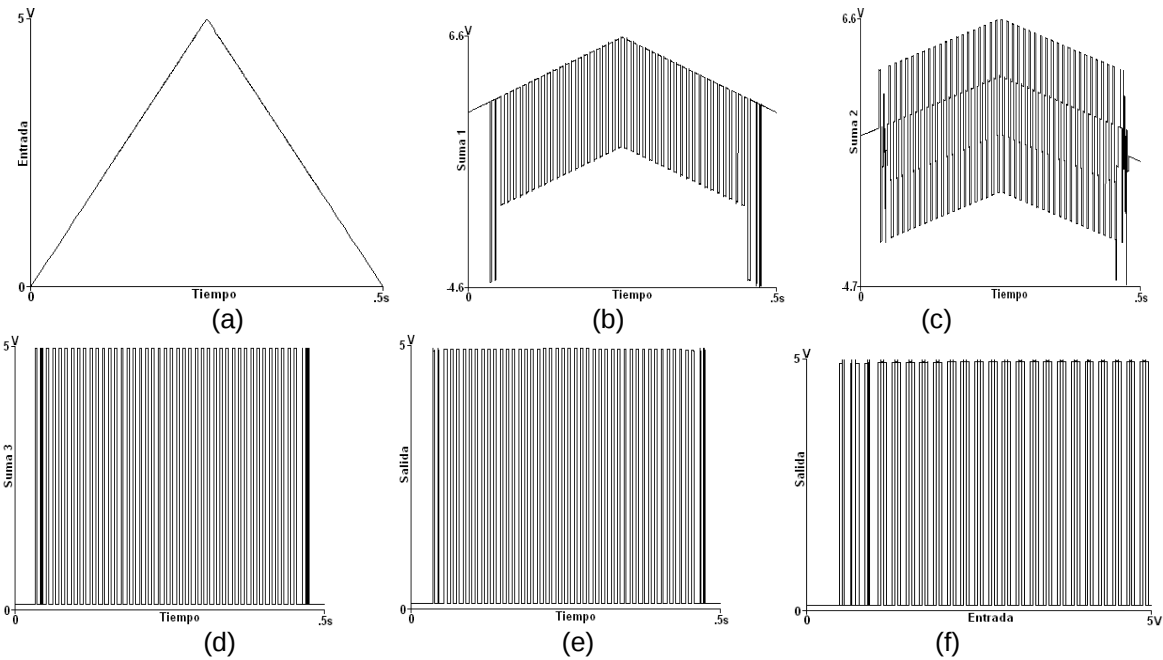


Figura 37. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = -1V$, $ref2 = ref3 = 2V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

En la figura 38 se muestran los resultados del experimento con cambio de $ref1$ a cero. Los demás parámetros se mantuvieron sin cambio.

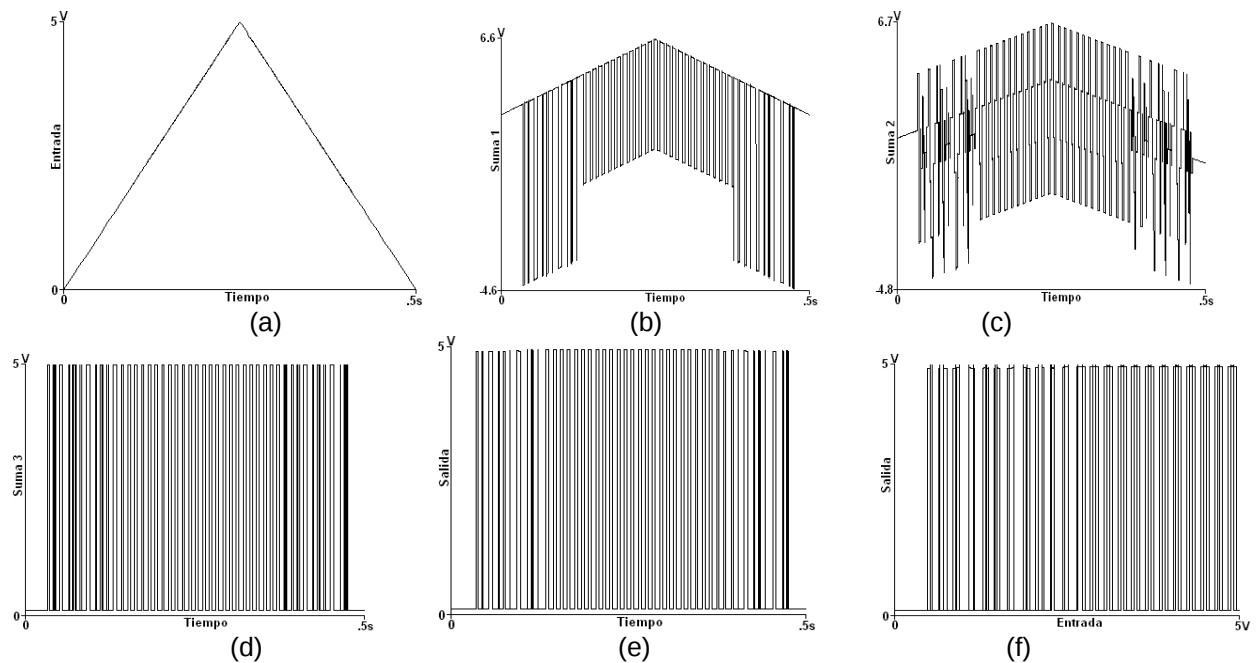


Figura 38. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 0V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Si crecemos la ref1 a uno con los demás parámetros iguales, los resultados los vemos en la figura 39.

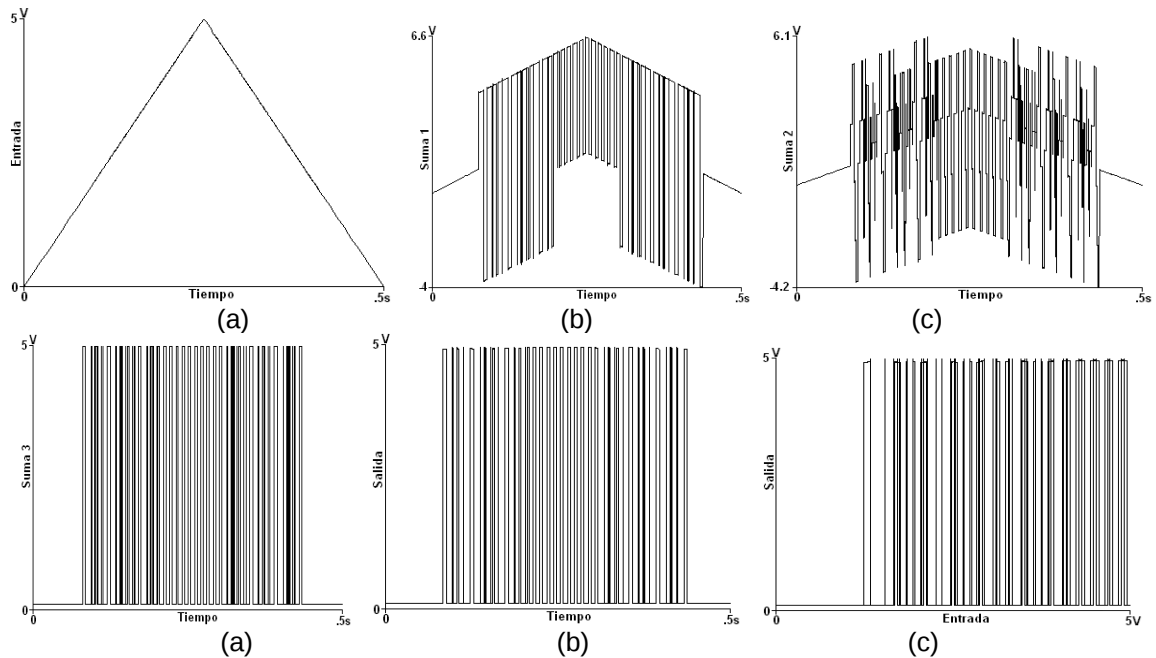


Figura 39. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 1V, ref2 = 1V, ref3 = 2V
Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Si crecemos la ref1 a tres con los demás parámetros iguales, los resultados los vemos en la figura 40.

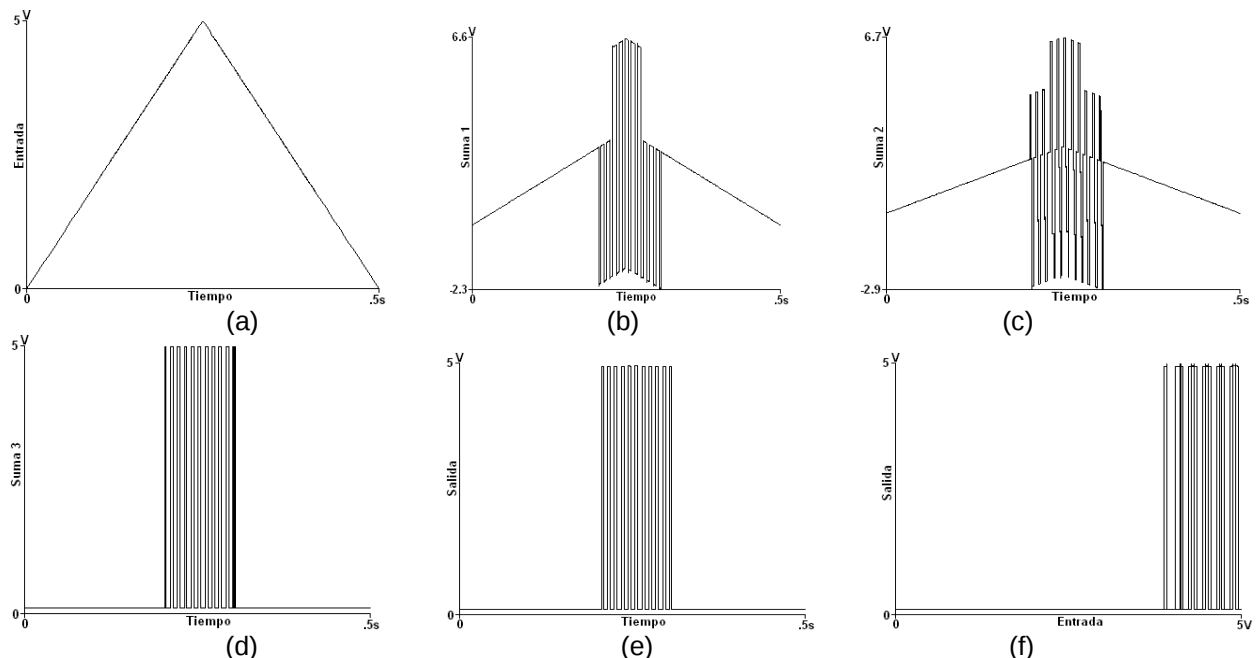


Figura 40. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 3V, ref2 = 1V, ref3 = 2V
Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Vamos a cambiar los parámetros de la columna tectal. Para este experimento los nuevos parámetros serán: Entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = -1.5V, ref3 = 2V Retard1 = Retard2 = Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados los mostramos en la figura 41.

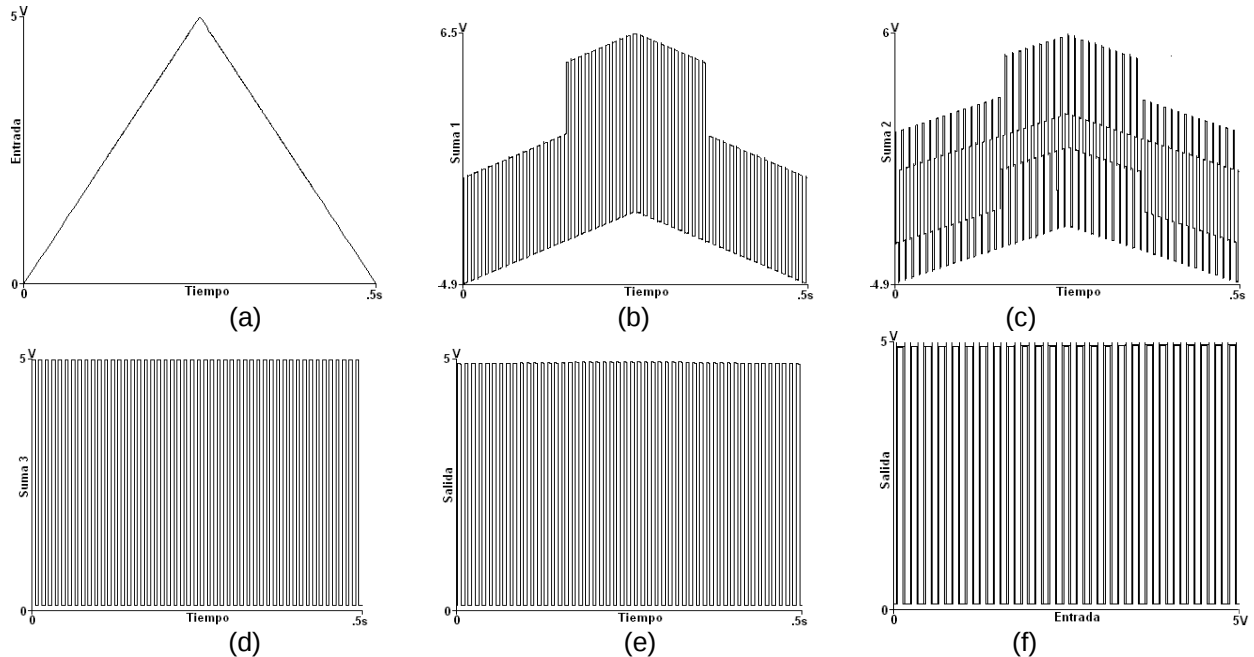


Figura 41. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = -1.5V$, $ref3 = 2V$
 $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms$, Amplitud = 5V.

En los resultados de la figura 41, pasamos la $ref2$ del valor -1.5 a 1. Los nuevos parámetros de la columna tectal serán: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$ $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms$, Amplitud = 5V. Los resultados se muestran en la figura 42.

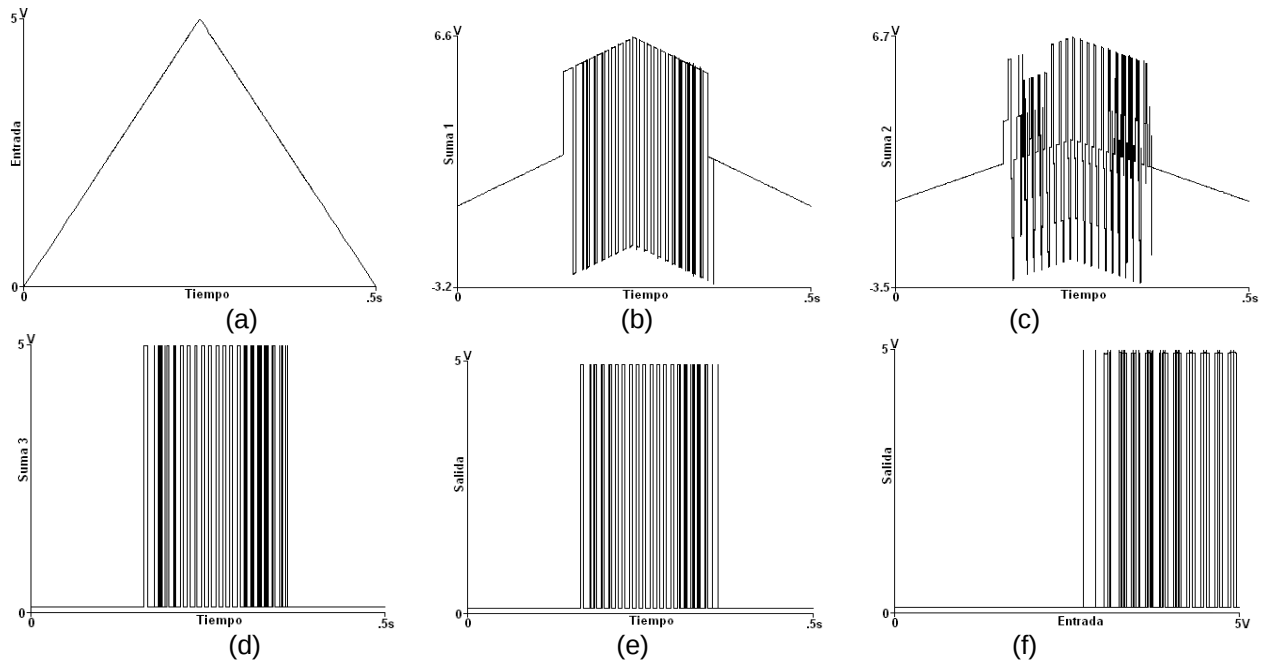


Figura 42. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$
 $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms$, Amplitud = 5V.

En los resultados de la figura 42, pasamos la $ref2$ del valor 1 a 4. Los nuevos parámetros de la columna tectal serán: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 4V$, $ref3 = 2V$ $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms$, Amplitud = 5V.

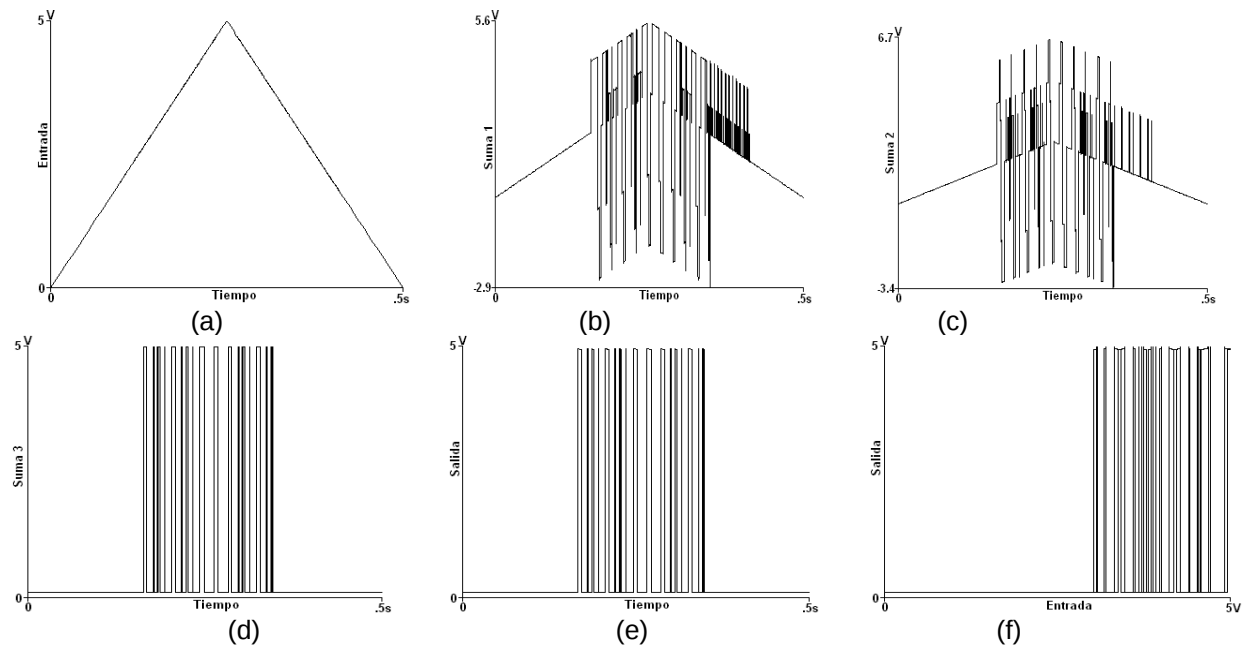


Figura 44. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = 4V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Subiremos la ref2 al valor de 4.203V. La figura 45 muestra los resultados de la columna tectal con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = 4.20278V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

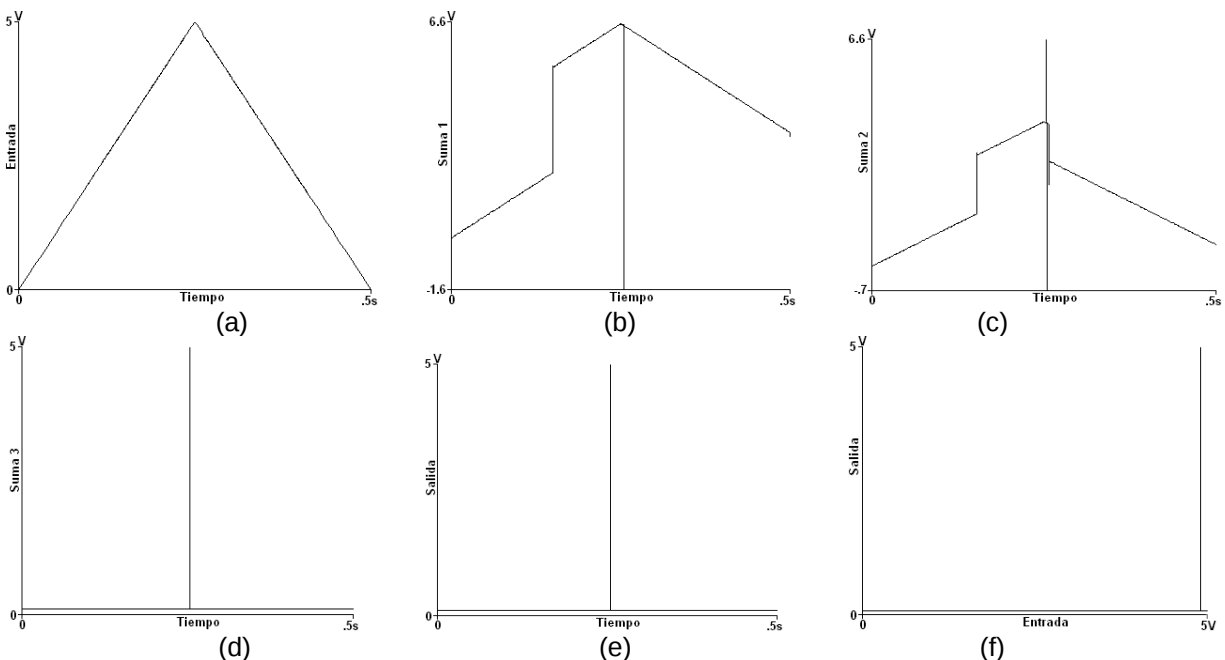


Figura 45. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = 4.203V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

De nuevo con este último experimento nos encontramos con una gran selectividad de la columna tectal, a forma de otorgar un solo pulso a la salida durante todo el tiempo de aplicación de las señales de entrada. El experimento para señales romboide no presenta esta selectividad. También nos encontramos con el mismo hecho de la memoria de forma en las figuras 42 y 43.

10. Experimentos variando las salidas N3R

En esta sección vamos a combinar neuronas con salida de ráfagas con neuronas con salida sin ráfagas. En este caso tendremos una columna tectal donde la tercera neurona tiene salida con ráfagas y las otras dos no, la llamaremos N3R. El diagrama esquemático se muestra en la figura 46.

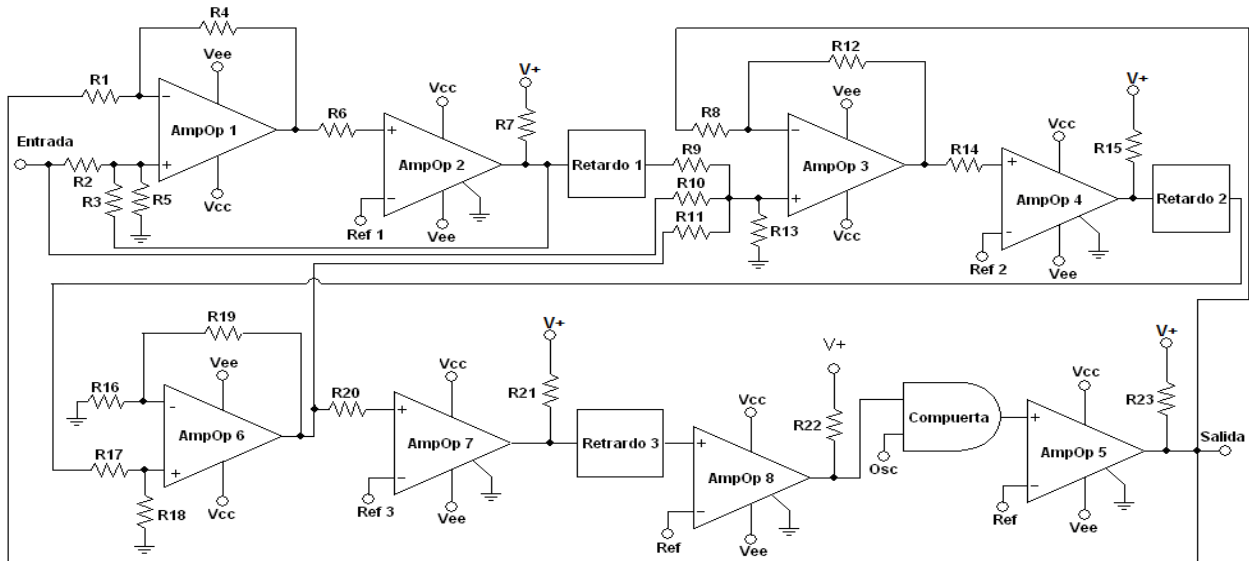


Figura 46. Diagrama esquemático de la columna tectal N3R.

Haremos el primer experimento de este tipo con retardos cero entre las neuronas para conocer la red sin elementos de influencia. Los parámetros de la columna tectal serán: Entrada triangular, ref1 = 1V, ref2 = 1V, ref3 = 1V Retard1 = Retard2 = Retard3 = 0ms, Amplitud = 5V. Los resultados se muestran en la figura 47, donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase.

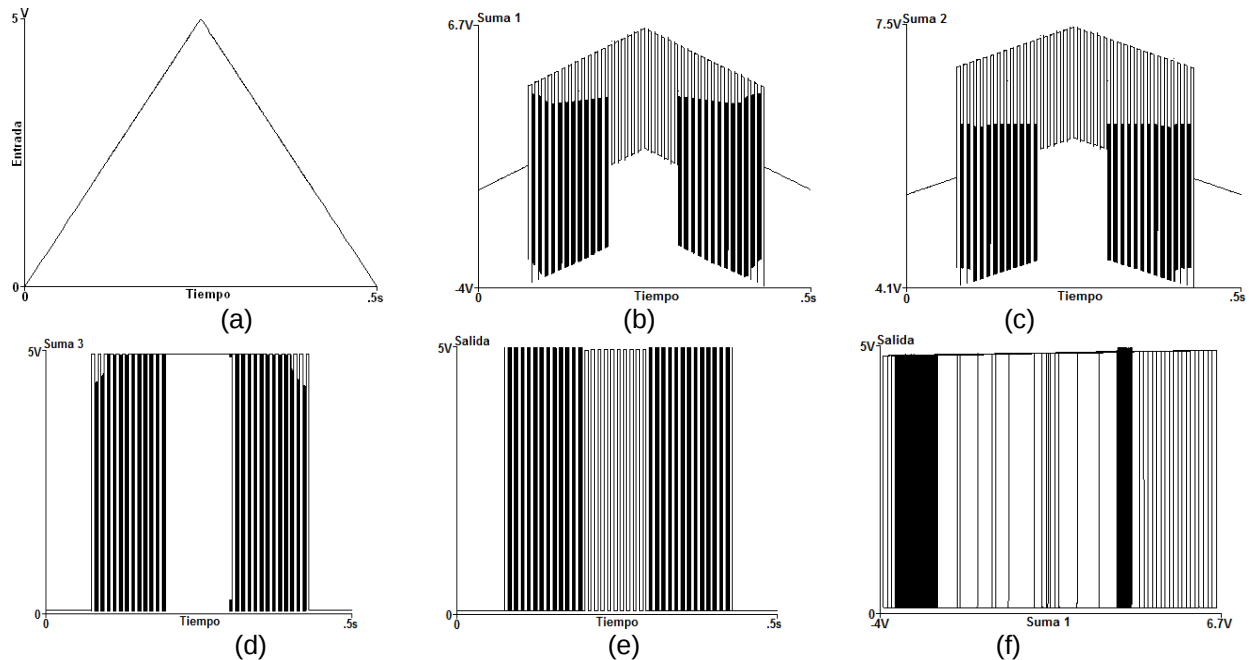


Figura 47. Respuestas de la columna tectal N3R sin retardos.

11. Experimentos variando los retardos y umbrales fijos para N3R

En el primer experimento tenemos: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = ref3 = 1V$, $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms$, Amplitud = $5V$. Los resultados se ven en la figura 48.

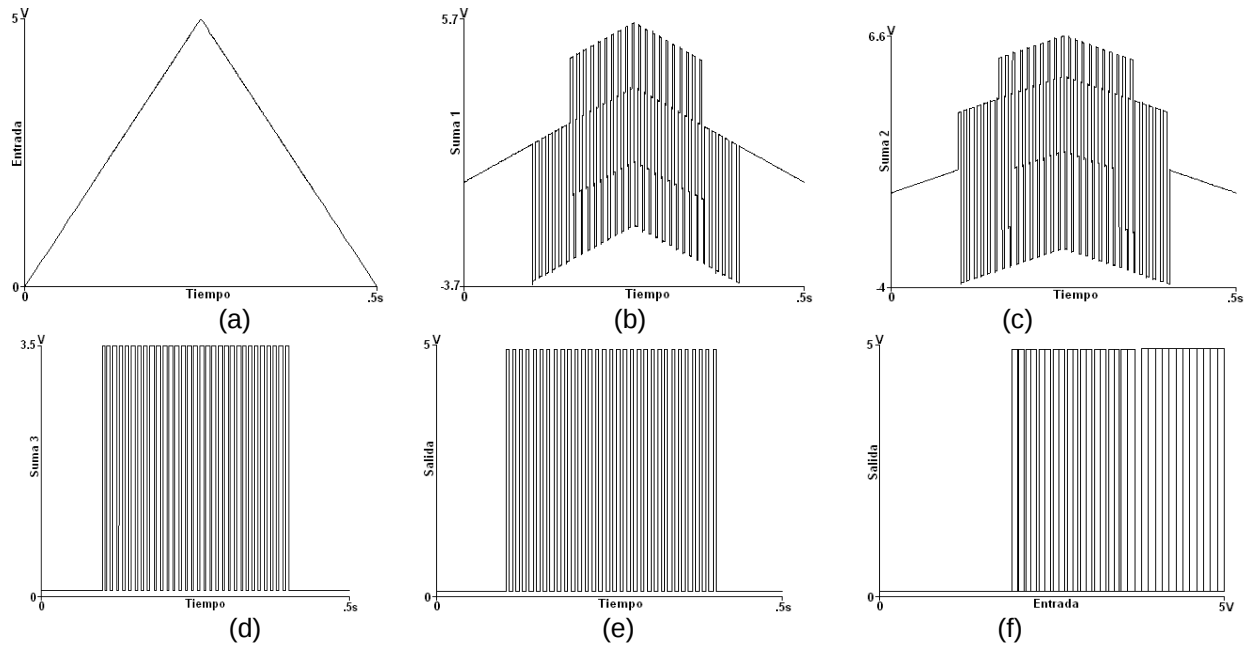


Figura 48. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = ref3 = 1V$, $Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms$, Amplitud = $5V$.

Para el caso de entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 1V$, $Retardo1 = 1ms$, $Retardo2 = 2ms$, $Retardo3 = 3ms$, Amplitud = $5V$. Los resultados son los de la figura 49.

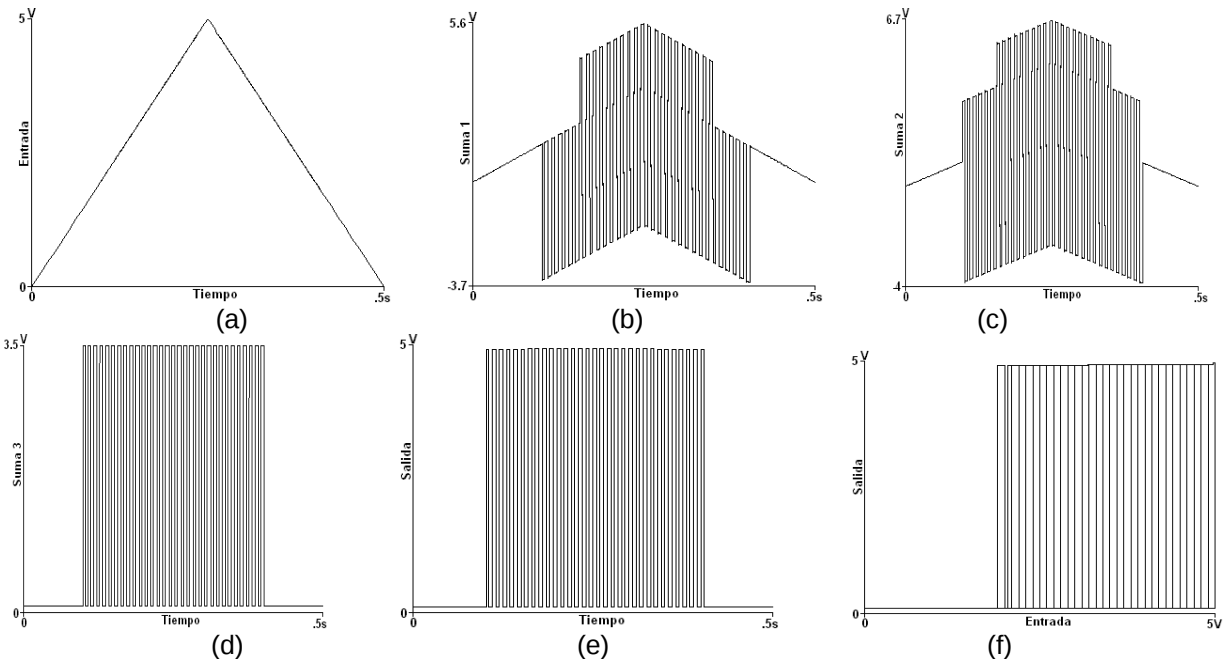


Figura 49. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 1V$, $Retardo1 = 1ms$, $Retardo2 = 2ms$, $Retardo3 = 3ms$, Amplitud = $5V$.

Tenemos evocación de forma, con cambio en la frecuencia interna debidos al cambio de los retardos. A mayor frecuencia menor retardo.

12. Experimentos variando los umbrales y retardos fijos para N3R

Nuestro primer experimento tiene por parámetros: Entrada triangular, $ref1 = -1V$, $ref2 = 2V$, $ref3 = 2V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados en la figura 50, donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase.

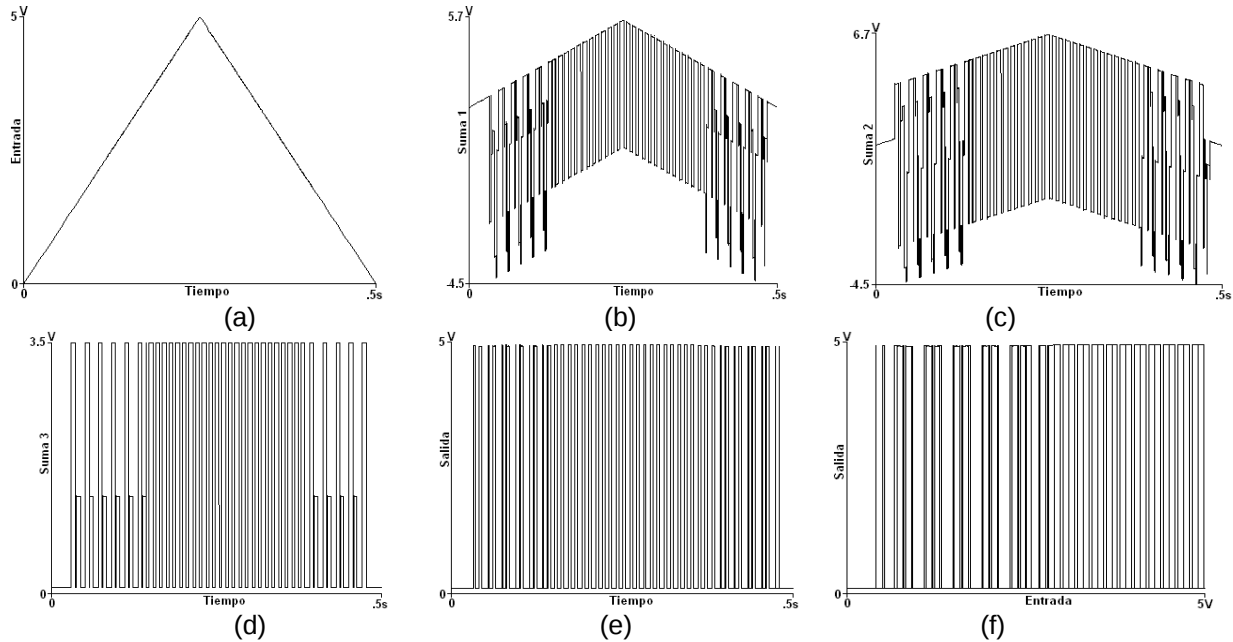


Figura 50. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = -1V$, $ref2 = 2V$, $ref3 = 2V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Realizaremos un nuevo experimento creciendo el valor de la $ref1$ a 1. Los parámetros ahora serán: Entrada triangular, $ref1 = 1V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V. La figura 51 muestra los resultados.

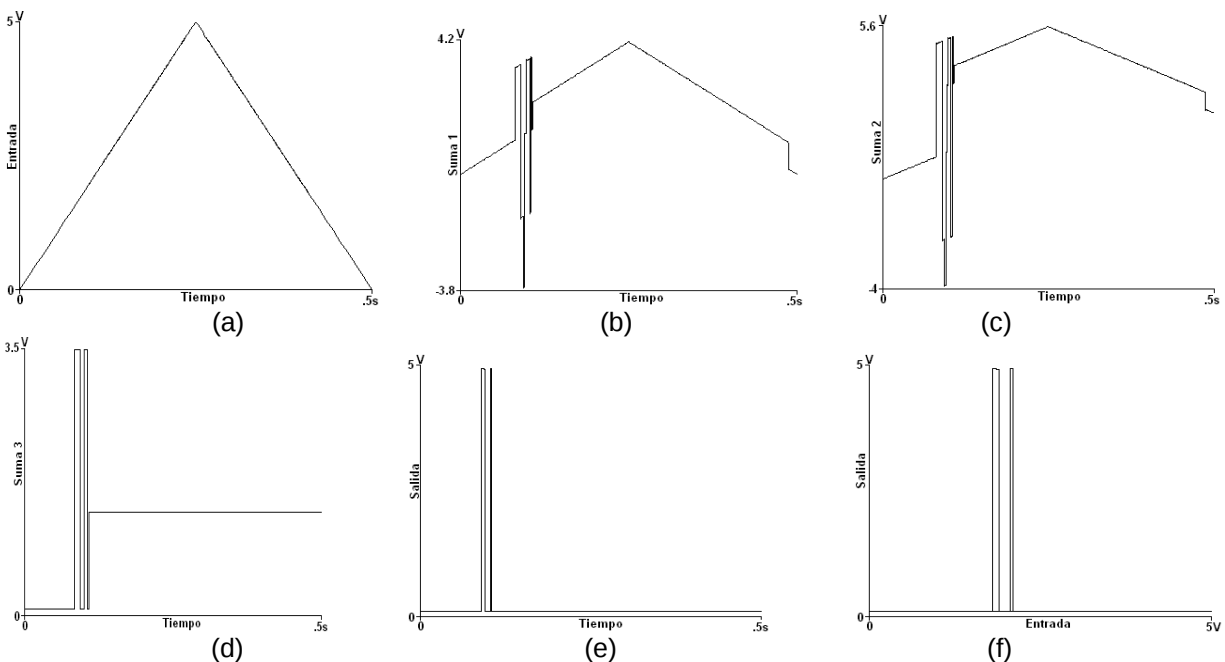


Figura 51. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 1V$, $ref2 = 1V$, $ref3 = 2V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Crecemos ref3 a 4V. Los nuevos parámetros de la columna tectal son: Entrada triangular, ref1 = 4V, ref2 = 1V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados se muestran en la figura 52.

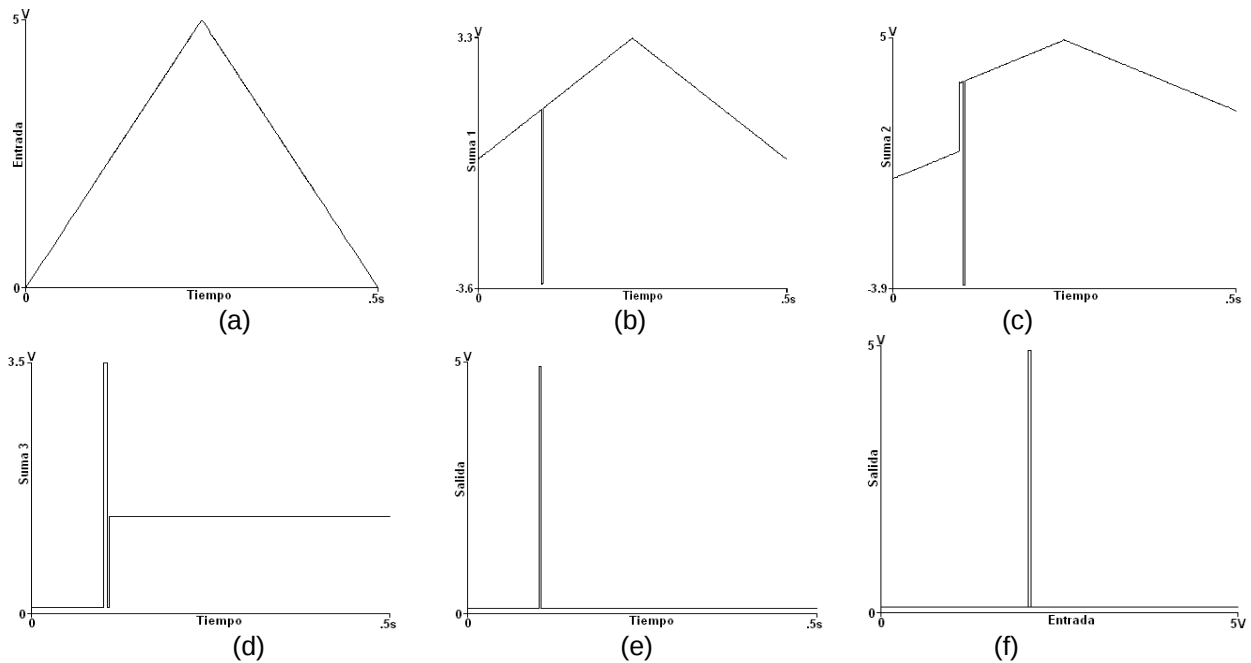


Figura 52. Gráficas con los parámetros: Entrada senoide, ref1 =4V, ref2 = 1V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Buscaremos las condiciones de alta selectividad, así que los nuevos parámetros serán: Entrada triangular, ref1 =2V, ref2 = 4.16V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados se muestran en la figura 53.

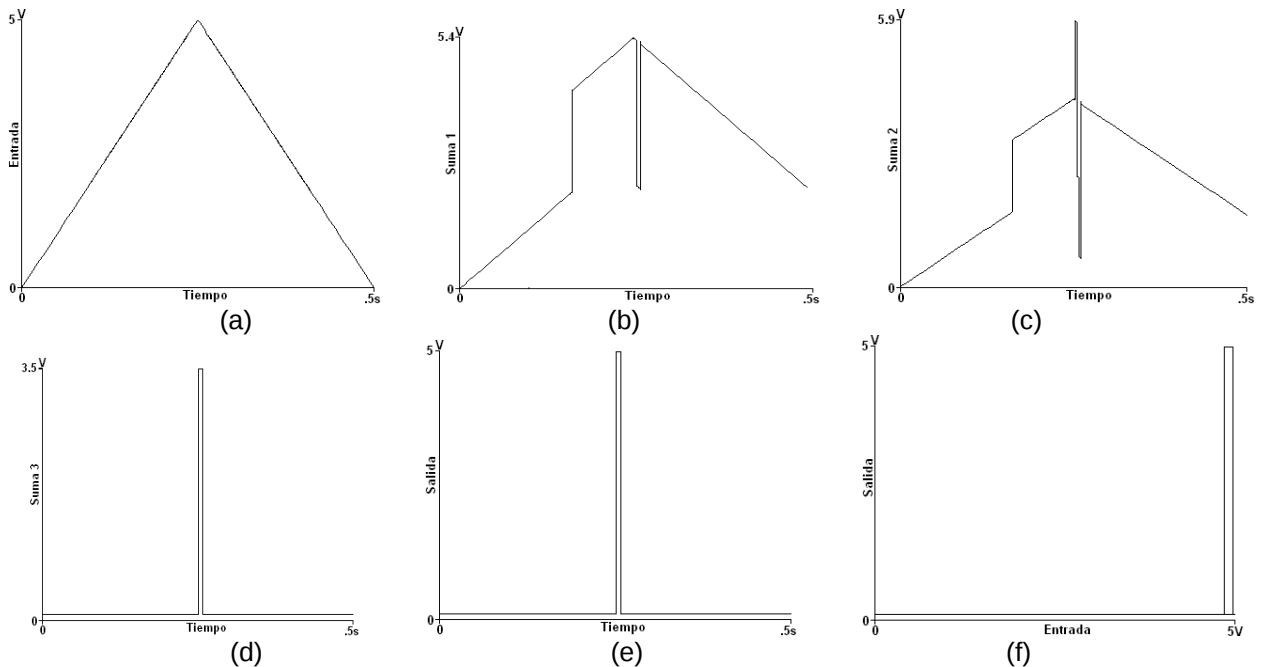


Figura 53. Gráficas con los parámetros: Entrada senoide, ref1 =2V, ref2 = 4.16V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

13. Experimentos variando las salidas 3NR

En esta sección vamos a tener las tres neuronas con salida de ráfagas, la llamaremos 3NR. El diagrama esquemático se muestra en la figura 54.

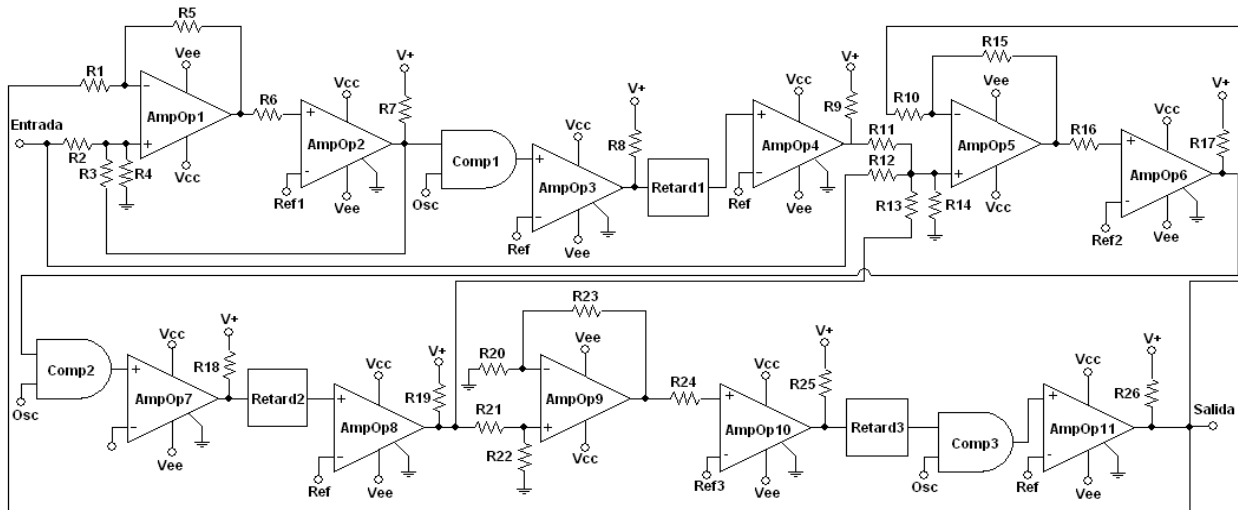


Figura 54. Diagrama esquemático de la columna tectal 3NR.

Vamos a realizar el primer experimento con esta columna tectal. En este experimento los retardos valen cero, de tal manera de no poner los retardos como variable del proceso. Para este experimento los parámetros de la columna tectal serán: Entrada triangular, ref1 = 1V, ref2 = 1V, ref3 = 1V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 0ms, Amplitud = 5V. Los resultados se muestran en la figura 55, donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase.

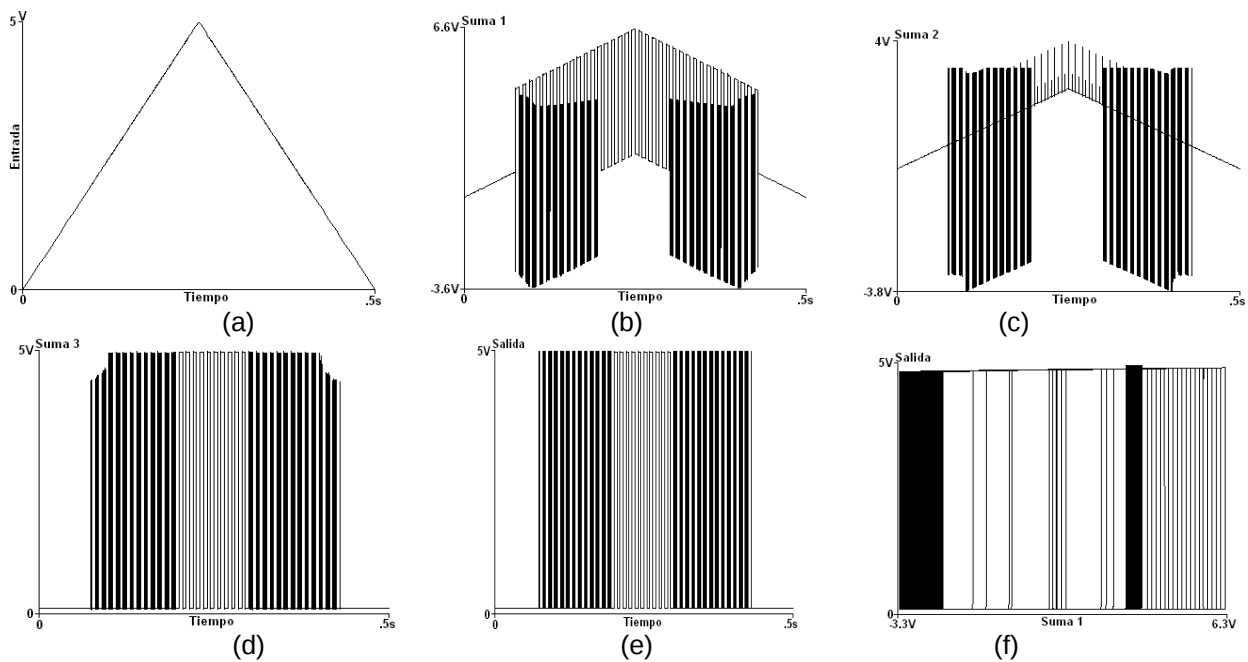


Figura 55. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 1V, ref2 = 1V, ref3 = 1V Retard1 = Retardo2 = Retardo3 = 0ms, Amplitud = 5V. Respuestas de la columna tectal N3R sin retardos.

14. Experimentos variando los retardos y umbrales fijos para 3NR

Nuestro primer experimento tiene por parámetros: Entrada triangular, $ref1 = ref2 = ref3 = 1V$ Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms, Amplitud = 5V. Los resultados en la figura 56,

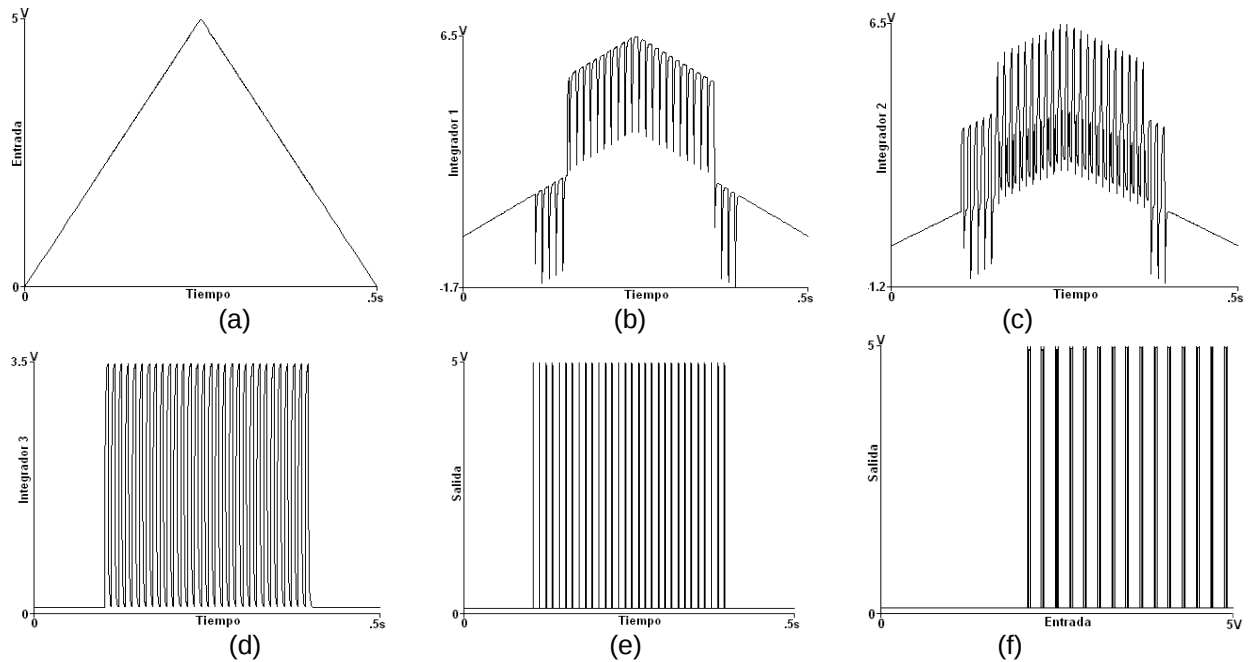


Figura 56. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = ref3 = 1V$, Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 2ms, Amplitud = 5V.

Vamos a cambiar los retardos y obtenemos los siguientes parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = ref3 = 1V$ Retard1 = 1ms, Retard2 = 2ms, Retard3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados se muestran en la figura 57.

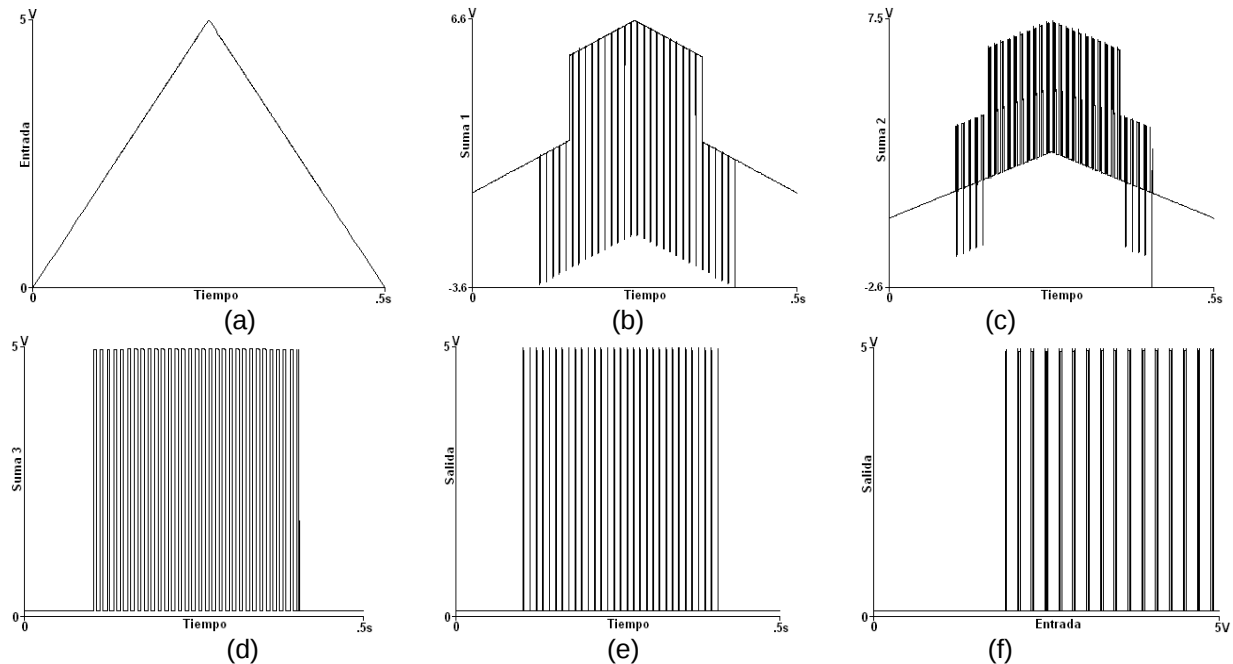


Figura 57. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $ref1 = 2V$, $ref2 = ref3 = 1V$, Retardo1 = 1ms, Retardo2 = 2ms, Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Volvemos a cambiar los retardos en nuestro experimento en la columna tectal para tener los siguientes nuevos parámetros: Entrada triangular, $\text{ref1} = 2\text{V}$, $\text{ref2} = \text{ref3} = 1\text{V}$, $\text{Retardo1} = 1\text{ms}$, $\text{Retardo2} = 2\text{ms}$, $\text{Retardo3} = 3\text{ms}$, $\text{Amplitud} = 5\text{V}$. Los resultados son los de la figura 58.

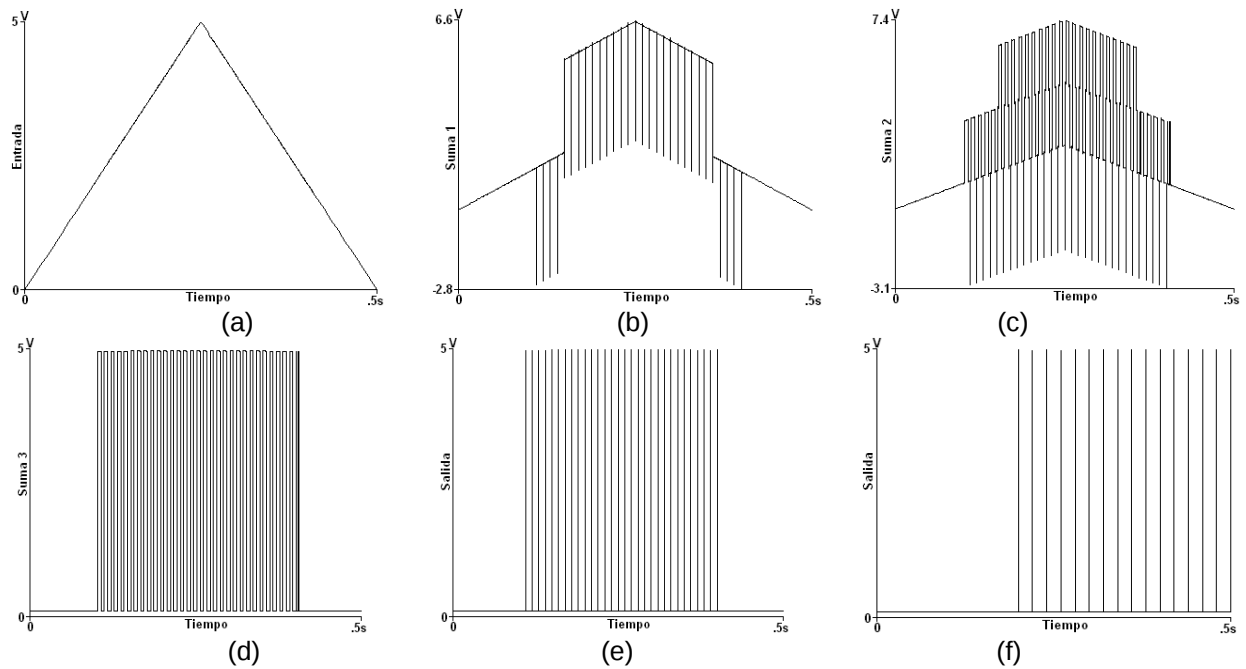


Figura 58. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $\text{ref1} = 2\text{V}$, $\text{ref2} = \text{ref3} = 1\text{V}$, $\text{Retardo1} = 1\text{ms}$, $\text{Retardo2} = 2\text{ms}$, $\text{Retardo3} = 3\text{ms}$, $\text{Amplitud} = 5\text{V}$.

De nuevo volvemos a encontrar variaciones en las oscilaciones internas del espacio fase, pero se encuentra memoria de forma ante la variación de los retardos.

15. Experimentos variando los umbrales y retardos fijos para 3NR

Nuestro primer experimento tiene por parámetros: Entrada triangular, $\text{ref1} = -1\text{V}$, $\text{ref2} = \text{ref3} = 2\text{V}$, $\text{Retardo1} = \text{Retardo2} = \text{Retardo3} = 3\text{ms}$, $\text{Amplitud} = 5\text{V}$. Los resultados en la figura 59, donde (a) es la señal de entrada, (b) es la salida del primer sumador, (c) es la salida del segundo sumador, (d) es la salida del tercer sumador, (e) es la salida de la red neuronal y (f) es el espacio fase.

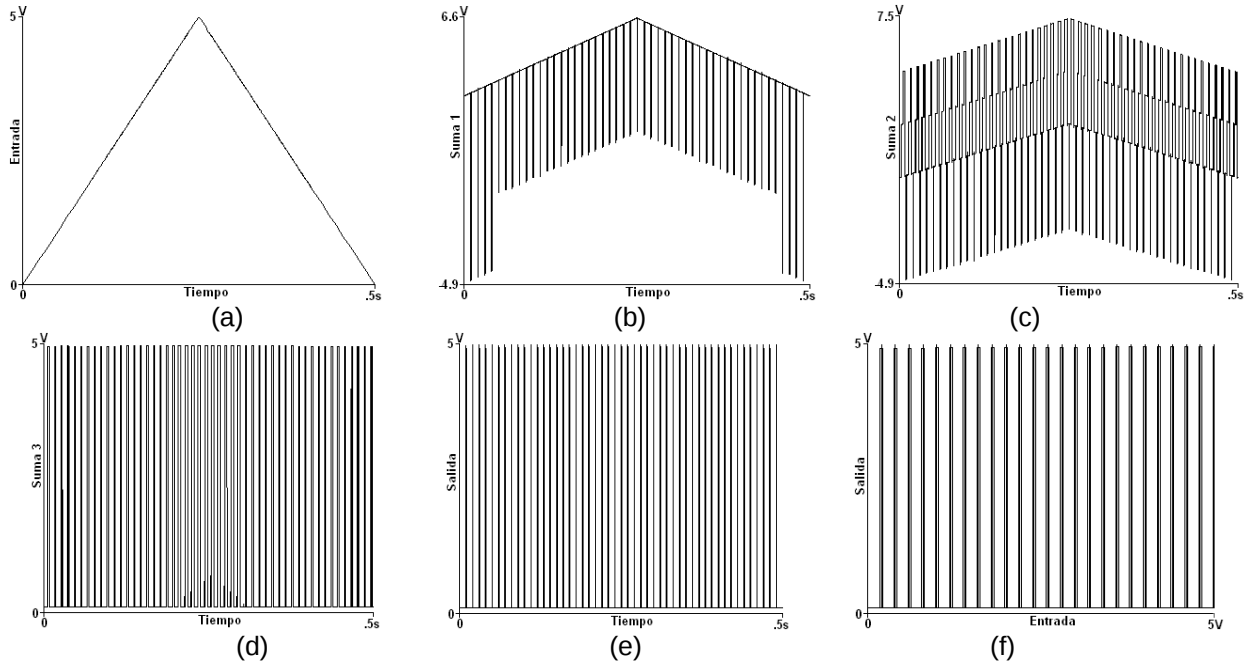


Figura 59. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $\text{ref1} = -1\text{V}$, $\text{ref2} = \text{ref3} = 2\text{V}$, $\text{Retardo1} = \text{Retardo2} = \text{Retardo3} = 3\text{ms}$, $\text{Amplitud} = 5\text{V}$.

Vamos a cambiar el parámetro ref1 a cero. Los resultados serán los de la figura 60.

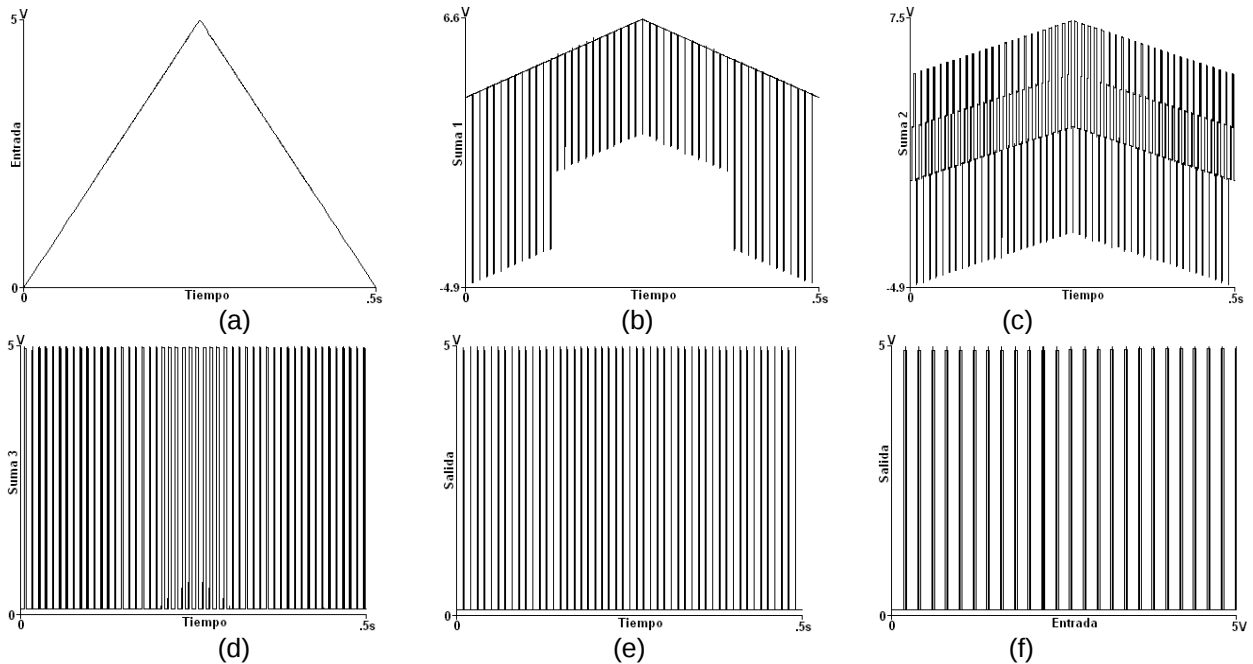


Figura 60. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, $\text{ref1} = 0\text{V}$, $\text{ref2} = 1\text{V}$, $\text{ref3} = 2\text{V}$, $\text{Retardo1} = \text{Retardo2} = \text{Retardo3} = 3\text{ms}$, $\text{Amplitud} = 5\text{V}$.

En el siguiente experimento crecemos el umbral ref1 a uno. Los demás parámetros de la columna tectal se mantienen sin cambio y la señal de entrada es una triangular. Los resultados se muestran en la figura 61.

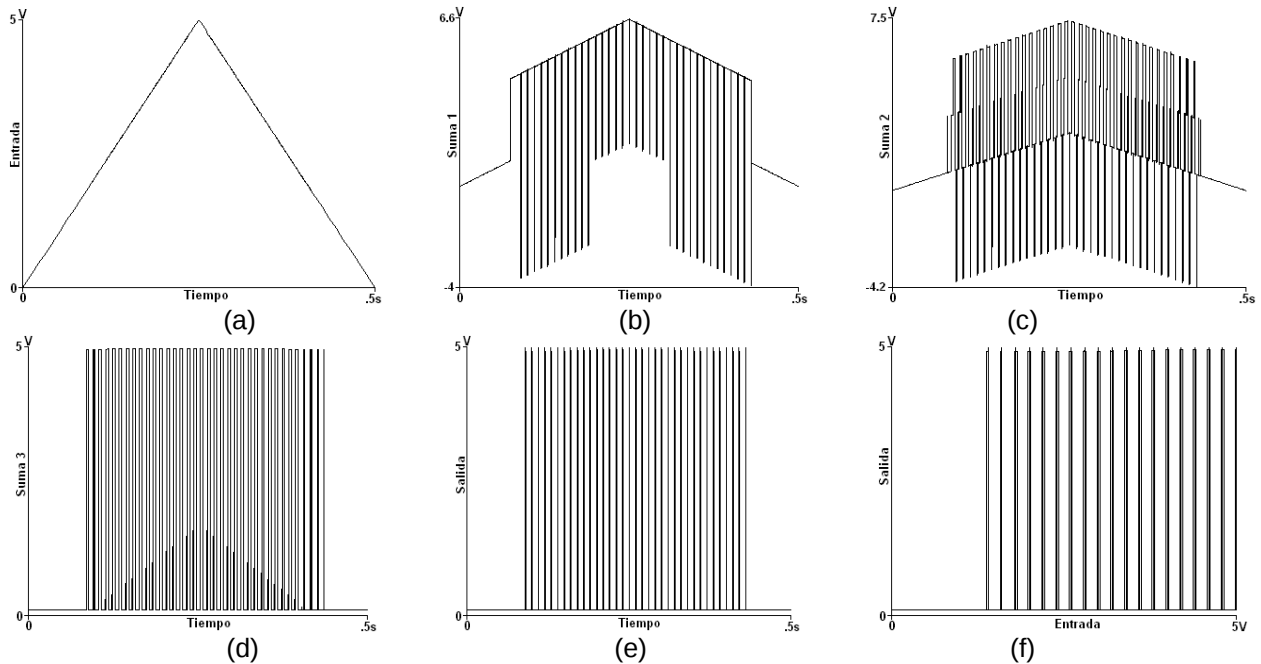


Figura 61. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 1V, ref2 = 1V, ref3 = 2V, Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

En los siguientes experimentos vamos a cambiar el parámetro ref2, así los nuevos parámetros para el experimento serán: Entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = -1.5V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V. La figura 62, muestra los resultados.

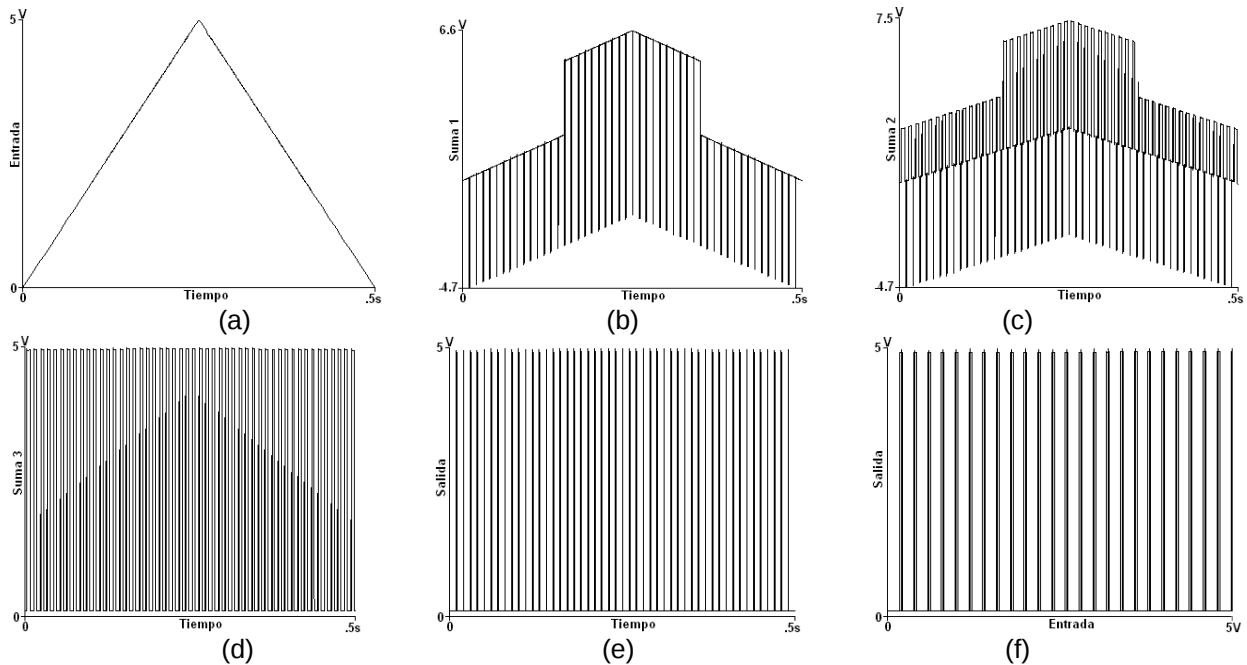


Figura 62. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = -1.5V, ref3 = 2V, Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Vamos a crecer ref2 a un valor de uno, de esta forma los nuevos parámetros de la columna tectal serán: Entrada senoide, ref1 = 2V, ref2 = 1V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados en la figura 63.

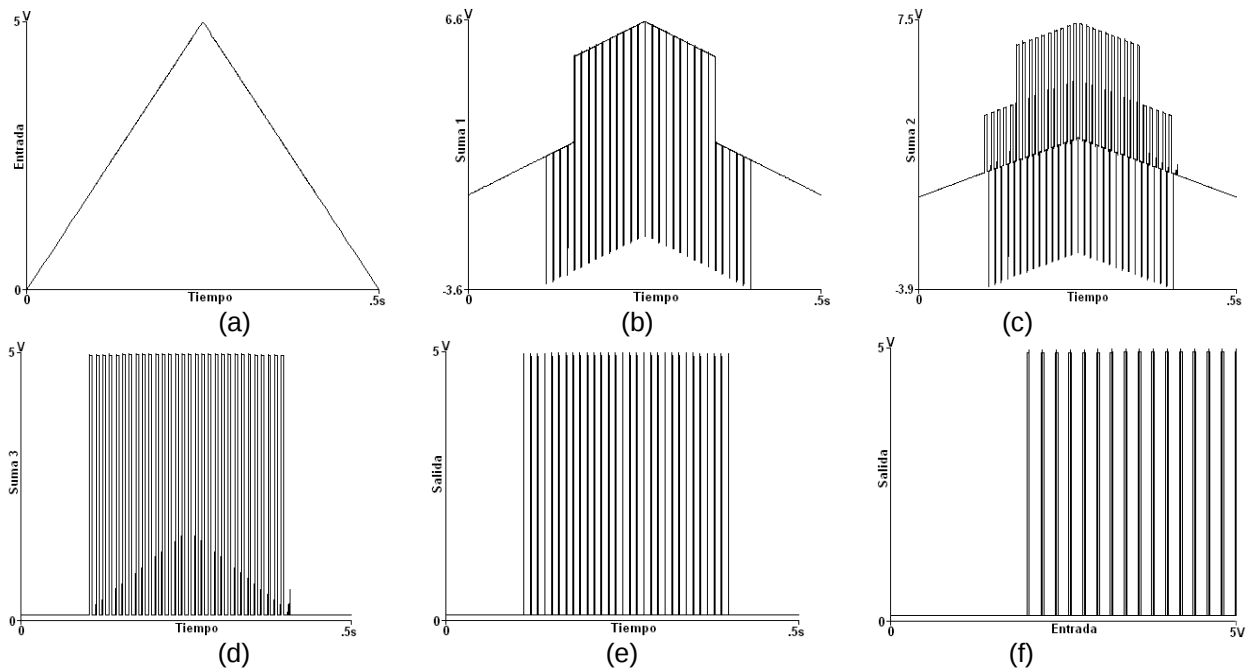


Figura 63. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = 1V, ref3 = 2V, Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

De nuevo crecemos ref2 a un valor de tres, así los nuevos parámetros serán: Entrada senoide, ref1 = 2V, ref2 = 3V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados los mostramos en la figura 64.

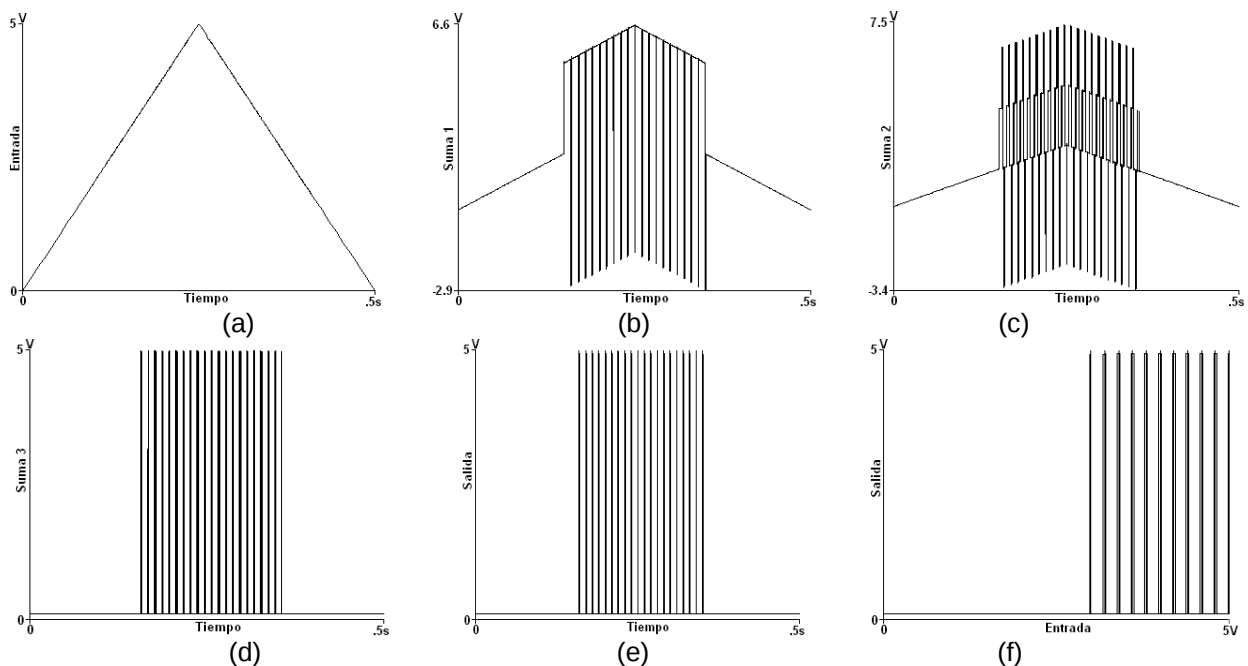


Figura 64. Gráficas con los parámetros: Entrada triangular, ref1 = 2V, ref2 = 3V, ref3 = 2V, Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Vamos a buscar la selectividad, para la cual encontramos los siguientes parámetros: Entrada senoide, ref1 = 2V, ref2 = 4.9355V, ref3 = 2V Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V. Los resultados son los de la figura 65

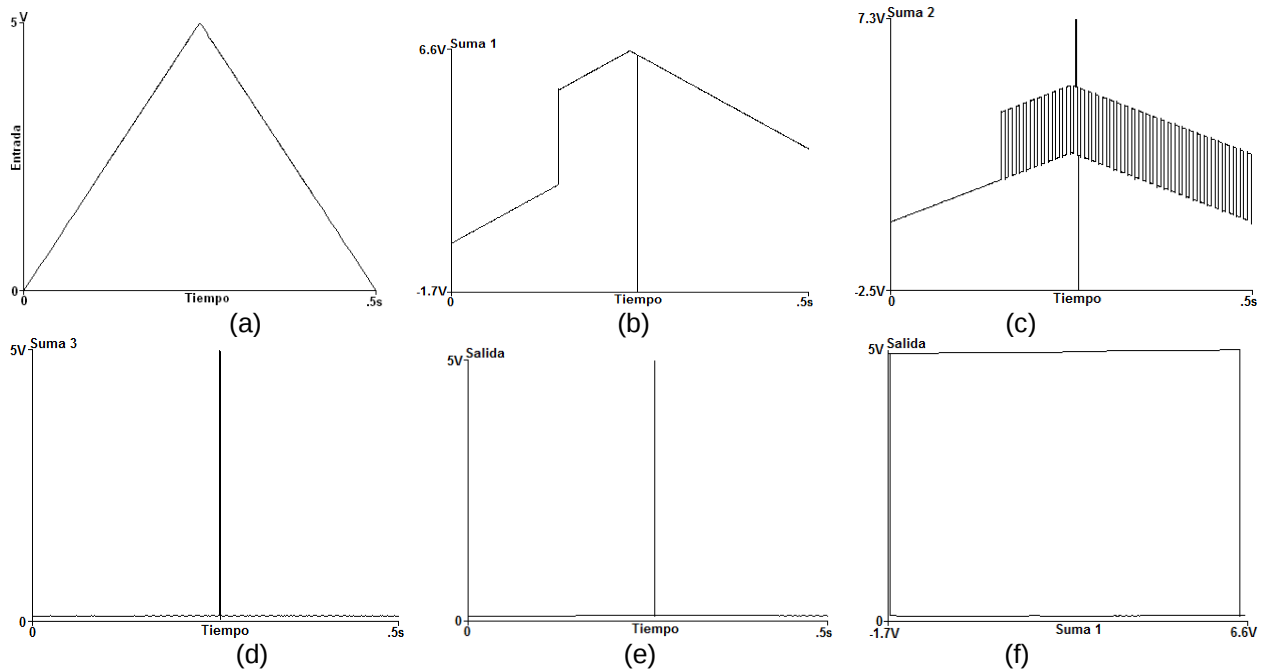


Figura 65. Gráficas con los parámetros: Entrada senoide, ref1 = 2V, ref2 = 4.9355V, ref3 = 2V, Retardo1 = Retardo2 = Retardo3 = 3ms, Amplitud = 5V.

Existe evocación al cambio de los umbrales en las figuras 59, 60, y 62, pero también existe otro estado de memoria ante el cambio de los umbrales que podemos ver en las figuras 61, 62 y 63. En las figuras 61, 63 y 63 además se presenta como era de esperarse un recorte en el tiempo de duración de la memoria.

Conclusiones

Realizamos una serie de experimentos con una columna tectal de tres neuronas del tipo todo o nada y con salidas de ráfagas parabólicas. Los experimentos consistieron en modificar los umbrales de las neuronas, modificar los retardos entre las neuronas, y modificar la señal de entrada. Estos fueron los parámetros de la columna tectal que variamos a lo largo del estudio. Las respuestas de la columna tectal las representamos por medio de sus oscilogramas, tanto en el tiempo como en x-y.

Las señales de entrada que empleamos fueron una señal senoide, una señal triangular y una señal romboide. En nuestro estudio buscábamos una serie de efectos como la selectividad, pero de la figura 9 es claro que para el caso de la señal romboide no existe la selectividad que existe para la triangular y la senoide, razón por la cual no la seguimos empleando como señal de entrada en nuestros experimentos. La razón es que la señal romboide tiene una gran cantidad de tiempo en un valor constante por lo que la neurona responde con la frecuencia de su retardo o no, dependiendo de su umbral, por lo que no es posible tener una respuesta en forma de delta de Dirac.

Por lo que discutimos en la sección 2, la memoria global de la columna tectal, es decir su espacio fase como un solo sistema es lo que es importante en los procesos de evocación, ya que no existen sinapsis entre las neuronas intermedias y otras neuronas externas al elemento de tectum. Dado lo anterior sólo nos enfocamos en este estudio a ver la conducta de la red como un bloque con entrada y salida, y analizar sus respuestas a cambios de los parámetros internos del bloque. Estos cambios internos de parámetros son fundamentales para entender los procesos de la columna tectal, y poder entender lo que sucede en los sistemas vivos.

Algo que es importante es que podemos encontrar una selectividad de la columna tectal en los casos en los cuales tenemos que dar un valor específico al umbral de la segunda neurona. Es por lo tanto la segunda neurona la que nos permite tanto la selectividad en las salidas, como los cambios de la memoria a corto plazo en estos casos.

Aparentemente, y como resultado de nuestros experimentos, la selectividad viene acompañada siempre de memoria a corto plazo. Este es un dato importante, porque si no en todos los casos se da el mismo espacio fase, si podemos decir que de nuestros experimentos podemos ver que encontramos cuatro casos de memoria a corto plazo en la selectividad y que son los que vemos como primer caso que es el de la figuras 138 y 74. El segundo caso de memoria a corto plazo es el de la figura 116 y 44. El tercer caso corresponde a las figuras: 114 y 43, y el caso más común es el de las figura 137, 115, 103, 104, 73, 74, y 43. Es claro que en todos estos posibles casos por lo menos existen dos casos en que con diferentes parámetros de la columna tectal, diferentes conformaciones de ésta, diferentes señales de entrada, los espacios fase son iguales.

Lo anterior viene a fortalecer el supuesto planteado en otros trabajos de que el proceso de evocación es causa de la topología de la columna tectal, y no de los parámetros de las neuronas y de la red. Una sola neurona es capaz de tener memoria a corto plazo, pero no es capaz de generar el proceso de evocación. La estructura de la columna tectal es tan robusta que tanto en el caso de columnas de tres o dos neuronas, este proceso se da.

El proceso de selectividad se da en la señal senoide y en la triangular pero los resultados nos muestran que la señal senoide tiene mejor respuesta. Esto se puede deber al menor contenido de armónicos. En el caso ya planteado, de la señal romboide el contenido de armónicos es mucho mayor por lo que la selectividad no se da. Pero si se da evocación.

La evocación de formas es muy clara en las tres señales de entrada, como se ve, como ejemplo en las figura 58 y 63. Prácticamente podemos decir que este proceso fue constante a lo largo de todos nuestros experimentos. En estos casos la forma es importante ya que nos sitúa en un estado de memoria y no en otro. Por ejemplo en todos nuestros experimentos no tenemos ciclos límites, pero si vemos que podemos encontrar diferentes formas en las memorias, como es que inicien al tiempo cero, al tiempo de 2.5 ms, o el tiempo total del proceso.

En las figuras 20 y 53, tenemos un ejemplo claro de evocación absoluta ya que ante dos entradas diferentes la columna tectal tiene el mismo espacio fase, es decir evoca la figura 53 a la figura 20.

Con estos ejemplos podemos claramente diferenciar cuando tenemos una evocación de la forma de la memoria que corresponde al caso de las figuras 20 y 53, y el caso de una evocación absoluta como se presenta en las figuras 58 y 63.

En los casos de memoria de forma podemos ver como lo muestran las figuras 8 y 9, que tenemos cambios de frecuencia en las oscilaciones internas, estos cambios de frecuencia se deben a que los tiempos en los cuales las salidas de los sumadores están por encima del umbral de la siguiente neurona estas se disparan y por lo mismo, dado los tiempos de retardo entre las neuronas los disparos pueden aumentar o disminuir en frecuencia.

La inclusión de las ráfagas parabólicas nos da una variación en la respuesta de la columna tectal, así como la variación de los retardos no ofrece en cambio de frecuencia en las ráfagas de salida de la columna tectal, pero no modifican la forma de los espacios fase ante los mismos umbrales. Esto es importante porque en estos casos no depende de la señal de entrada, la forma del espacio fase, como lo ilustran las gráficas: 8 y 9, 58 y 63.

Referencias

Jacobson, M., (1978), **Developmental Neurobiology** Plenum Press, New York.

Kalil, R.E. and Dubin, M.W., (1988) The role of action potentials in the morphological development of retinogeniculate connections in the cat, **Cellular Thalamic Mechanisms**. Elsevier Science.

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.**

Mc Culloch W.S., Pitts W.A. (1943). A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity. **Bull. Math. Biophys.** 5. p. 115-133.

Székel, Gy. and Lázár, Gy., 1976. Cellular and synaptic architecture of the optic tectum, **Frog Neurobiology**, Springer Verlag, New York pp. 407–434.