



CCADET

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

Informe Técnico

Estudio de dos neuronas con conexiones umbral axón y salida de ráfagas.

**José Luis Pérez Silva
Antonio Garcés Madrigal**

19 de mayo de 2014

Modelos Electrónicos de Neuronas

Estudio de dos neuronas con conexiones umbral axón y salida de ráfagas

José Luis Pérez Silva, Antonio Garcés Madrigal

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico UNAM.

RESUMEN

En este informe técnico vamos a presentar los resultados de un sistema de dos neuronas electrónicas no integradoras, con salida de ráfagas, que modifican los niveles de los umbrales de sus funciones de activación de acuerdo con la teoría de Marr. La idea de este circuito es comparar los casos posibles de tal manera que la salida de la primera neurona modifique el umbral de la segunda y a la inversa, la salida de la segunda neurona modifique el umbral de la primera.

Dentro de los resultados que se obtuvieron resalta el hecho de que las formas selectivas son muy pocas, pero que se modulan claramente por medio de los retardos axónicos y un resultado sobresaliente es que no logramos una selectividad muy alta, pero si tenemos procesos evocados, en el caso de diferentes condiciones y diferentes entradas.

También estudiamos la forma en que las salidas con ráfagas modifican las respuestas, para esto se analizó la respuesta de la red con la primera neurona con salida escalón y la segunda con salida con ráfagas, y todas las combinaciones posibles entre las dos neuronas.

Índice

	Introducción	4
1.	El Modelo de red	5
2.	Experimentos con salida de ráfagas simples	6
3.	Redes con ráfagas en la primera neurona y la segunda sin ráfagas	19
4.	Experimentos con ráfagas en la primera neurona y la segunda sin ráfagas	20
5.	Redes sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda	32
6.	Experimentos sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda	33
7.	Redes sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda	48
8.	Experimentos sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda	49
9.	Experimentos con ráfagas en la primera neurona y sin ráfagas en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda.	54
10.	Experimentos con ráfagas en la primera y en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda	56
11.	Comparación de los experimentos	61
	Conclusiones	64
	Referencias Bibliográficas	64

Introducción

La teoría de Marr (Marr, 1969) nos plantea que las tres tareas principales de las células piramidales que fijan los mecanismos umbrales son las siguientes:

U1. Almacenar el evento: cuando se presenta un evento E debe tomar lugar la modificación sináptica en aquellas células que tienen el mayor número de actividad aferente.

U2. El reconocimiento de los sub eventos: Cuando está presente un sub evento X, deben disparar aquellas células que tengan la mayor fracción f de las sinapsis aferentes activas modificadas en su umbral, dando que el número de tales sinapsis exceden el número U.

U3. La terminación del evento: Dado el encendido de un número de células piramidales del hipocampo, deben dispararse aquellas células en las cuales se modifiquen la mayor fracción de sinapsis aferentes colaterales, dando que el número de estas sinapsis excedan algún número U' .

Este criterio se debe satisfacer sin ninguna otra instrucción, esto es, el mecanismo para lograr U1 debe naturalmente lograr U2 cuando el sub evento de entrada, ya ha ocurrido en un evento previo. Las sinapsis colaterales tienden a caer en S. Cuando tienen sus células inhibitorias especiales, así U3 en algunos casos se puede considerar por separado.

El principal mecanismo disponible para completar el sub evento X es el efecto colateral, el cual puede recobrar la representación simple del evento $E(1-X)$ siempre a través de X. Para esto las células colaterales a las células piramidales realizan sinapsis con otras células piramidales. Se ha discutido recobrar una representación simple por efectos colaterales por la división del umbral que puede crecer gradualmente durante el proceso. La inhibición debe decrecer de una manera correspondiente, de forma de mantener el número de células activas más o menos constante.

En nuestro modelo electrónico tenemos las posibilidades de modificar como gustemos los parámetros de las neuronas, pero en nuestro caso al ser los umbrales de cada neurona dependiente de la salida de la otra, los umbrales ya no son parámetros modificables por nosotros.

Los retardos axónicos son parámetros libres de las neuronas que podemos modificar a nuestro antojo por lo que estudiaremos la importancia que tienen en la respuesta del sistema de dos neuronas, donde la salida de la primera modifica el umbral de la segunda y la salida de la segunda modifica el umbral de la primera.

De acuerdo con la teoría de Marr, vamos a pensar que las salidas de cada neurona son un sub evento del sistema y la salida global será el evento del sistema.

1. El modelo de red

En este informe técnico vamos a trabajar con tres esquemas de nuestra red con arreglos de neuronas diferentes. El primero de ellos será en forma de entradas individuales en la cual las salida de una neurona modifica el umbral de la otra y viceversa. El diagrama de bloques del primer modelo se muestra en la figura 1 cuyo diagrama de bloques se presenta en la figura 1.

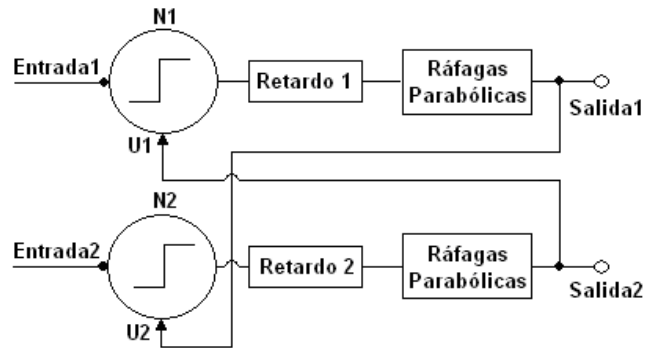


Figura 1. Diagrama de bloques de la red axón-umbral.

Las neuronas que conforman este primer modelo son con función de activación escalón, y salida con ráfagas simples. En la figura 2 se muestra el diagrama esquemático de nuestra red.

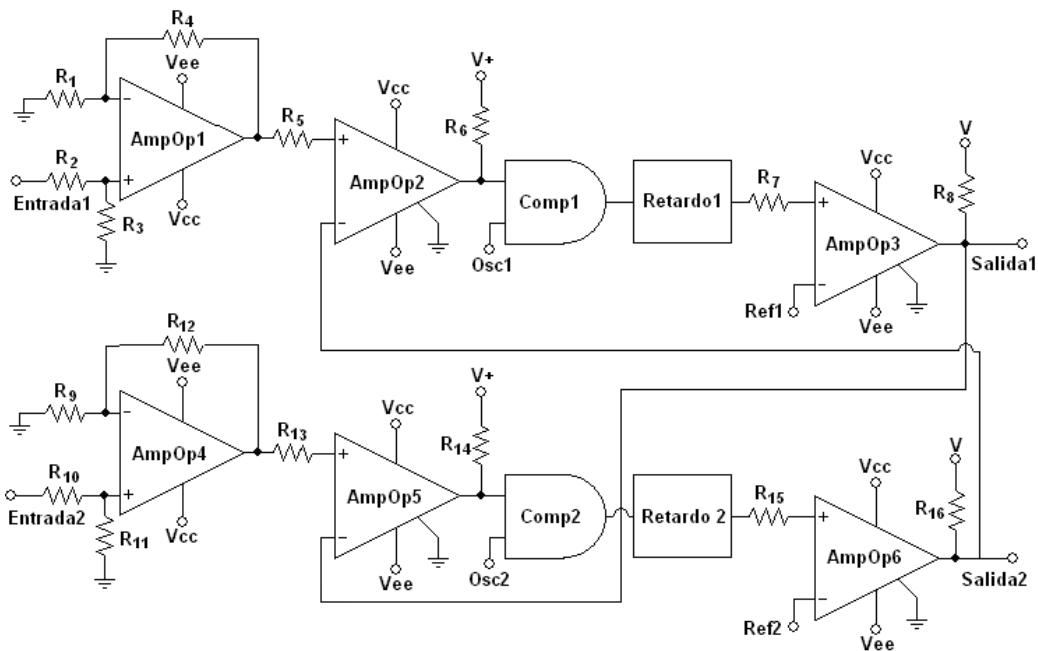


Figura 2. Diagrama esquemático de la red.

En este caso podemos tener tres tipos de entrada a las neuronas y estas pueden ser entradas senoides, triangulares y romboide. Todas las entradas tendrán una frecuencia de 2Hz y amplitud de 5V. Podemos formar entonces diferentes combinaciones de entrada a las neuronas como pueden ser senoide-senoide, senoide-triangular, triangular-romboide, etc.

Como se ve del diagrama esquemático de la figura 2, al ser más complejas las formas de entrada los cambios en los umbrales de las neuronas se vuelven más complejos por lo que decidimos emplear estas formas simples de entrada para poder visualizar mejor las conductas de la red.

2. Experimentos con salida de ráfagas simples

Para nuestro primer experimento empleamos dos entradas senoide, y el retardo de la primera neurona es la mitad del retardo de la segunda. Por lo que los parámetros de la red fueron los siguientes: Entradas senoides Ampl. = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$. Los resultados en la figura 3.

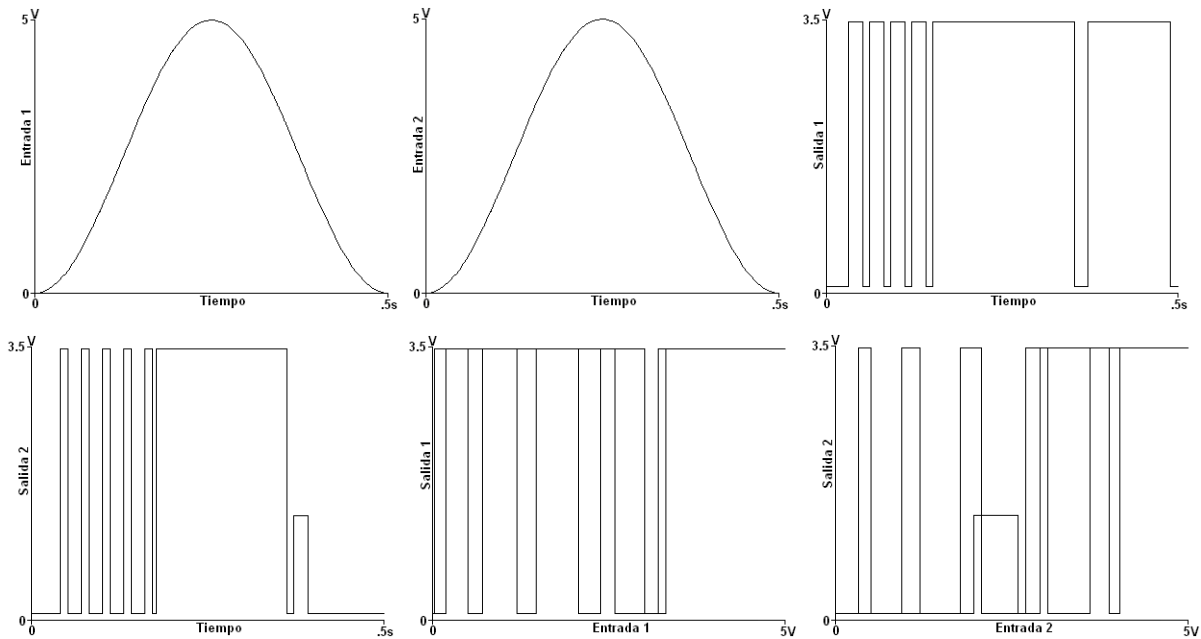


Figura 3. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoides, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Cambiamos las entradas a dos señales triangulares, manteniendo todos los demás parámetros sin modificar y los resultados se muestran en la figura 4.

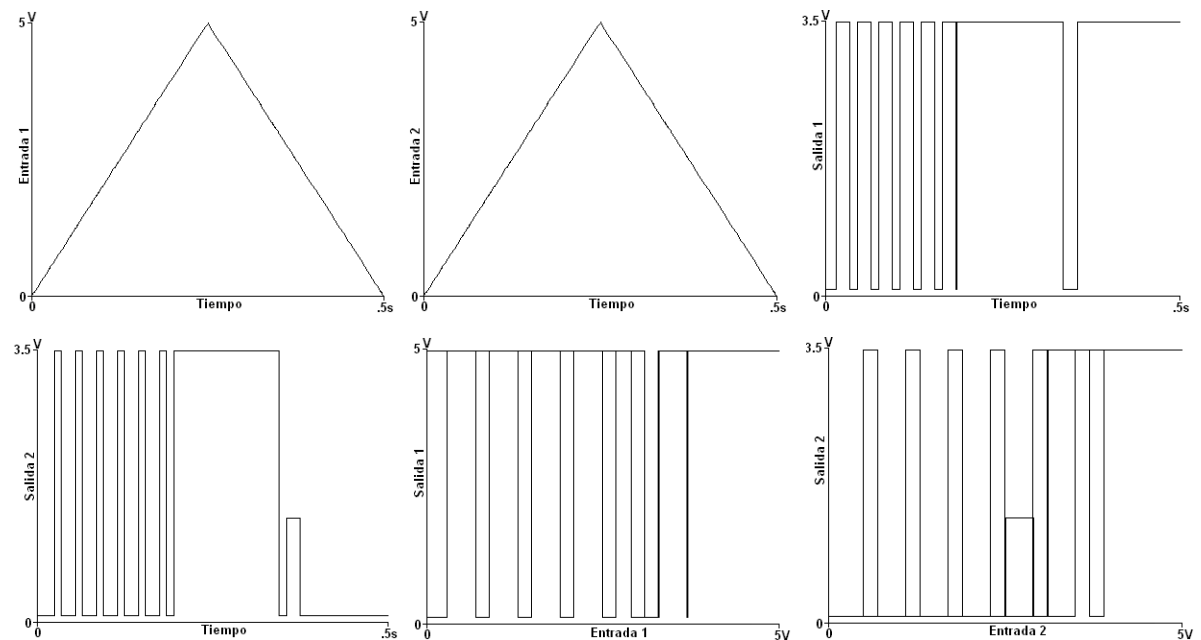


Figura 4. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangulares, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Cambiamos las señales de entrada a dos señales romboide. Los demás parámetros de la red se quedaron sin modificación alguna. Los resultados de este experimento se muestran en la figura 5.

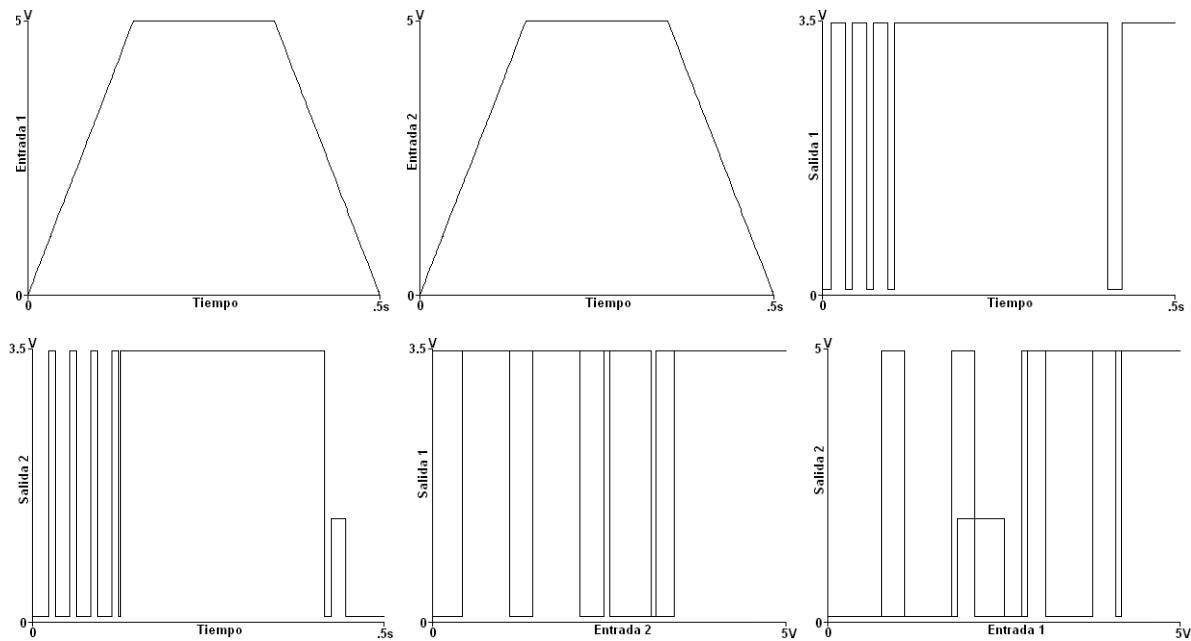


Figura 5. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

De estos experimentos vemos que los planos fase de las figura 5 y 3 son de la misma forma, por lo que se nos presenta de entrada un efecto de evocación de forma, lo que no se da en el caso de la figura 4, en la cual la entrada es una señal triangular. Para explorar esto con mayor cuidado vamos a modificar las entradas de la red de forma tal que tengamos combinaciones como en este caso senoide triangular. Los resultados se muestran en la figura 6.

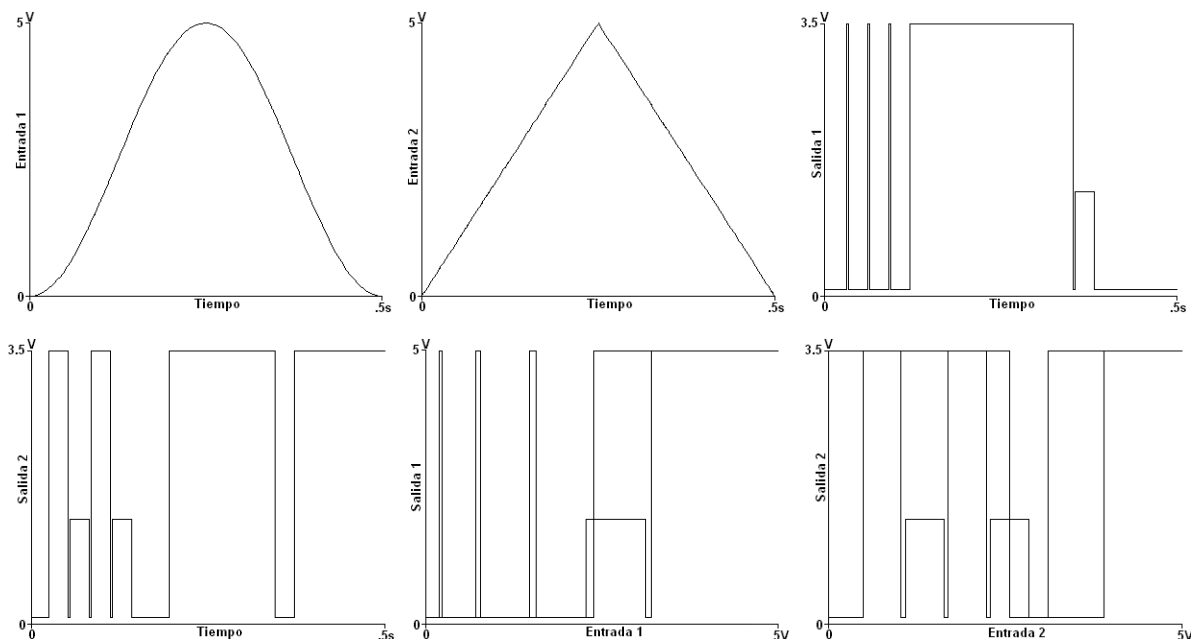


Figura 6. Resultados del experimento con los parámetros: entradas senoide y triangular Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Una pregunta que surge, dada la conformación de la red es si será invariante ante la permutación de las entradas, por lo que en el siguiente experimento, sólo vamos a cambiar la entrada 1 por la entrada dos. Los resultados se muestran en la figura 7.

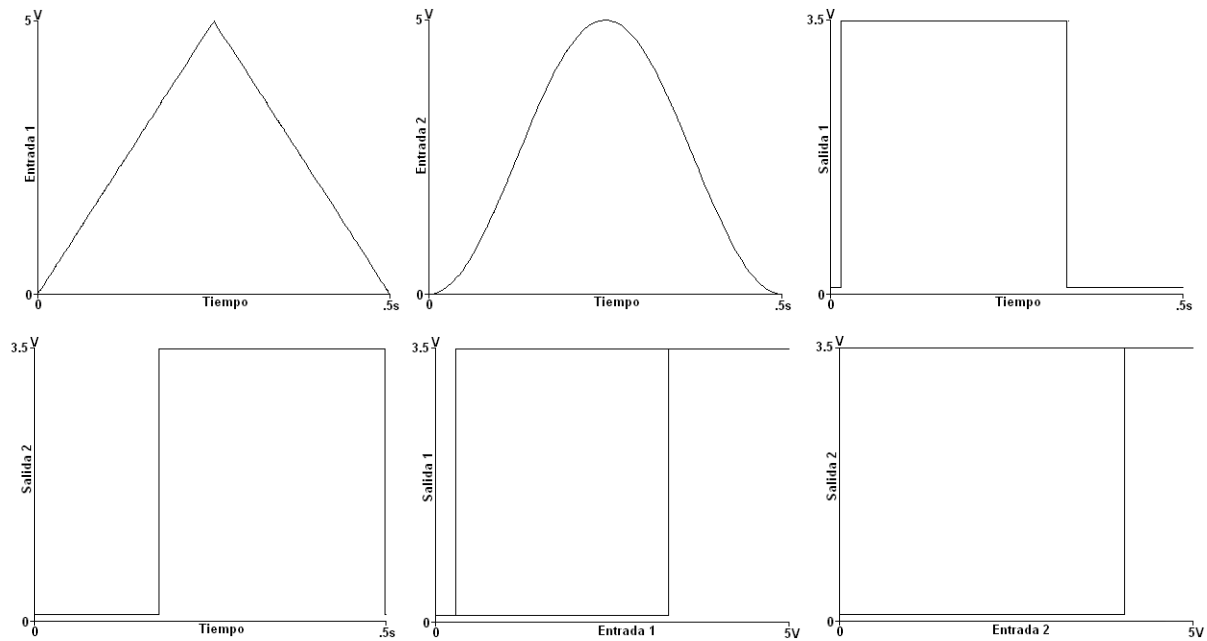


Figura 7. Resultados del experimento con los parámetros: entradas triangular y senoide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Es claro de los planos fase que no son los mismos, por lo que el orden de las entradas es fundamental para las salidas. Probaremos la hipótesis con otras combinaciones de entradas. En todos los casos los parámetros se mantienen y sólo cambian las entradas y su orden. En el siguiente experimento vamos a tener senoide con romboide. Los resultados se muestran en la figura 8.

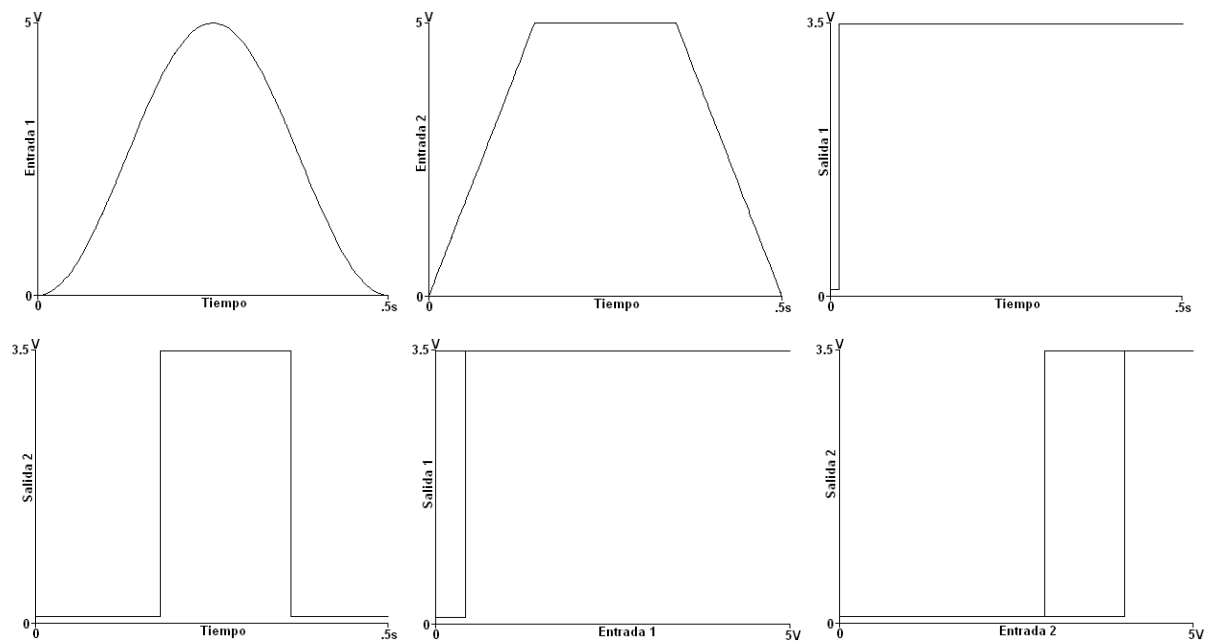


Figura 8. Resultados del experimento con los parámetros: entradas senoide y romboide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

En el experimento siguiente sólo cambiamos el orden de las señales de entrada. En la figura 9 se muestran los resultados para esta permutación de entradas.

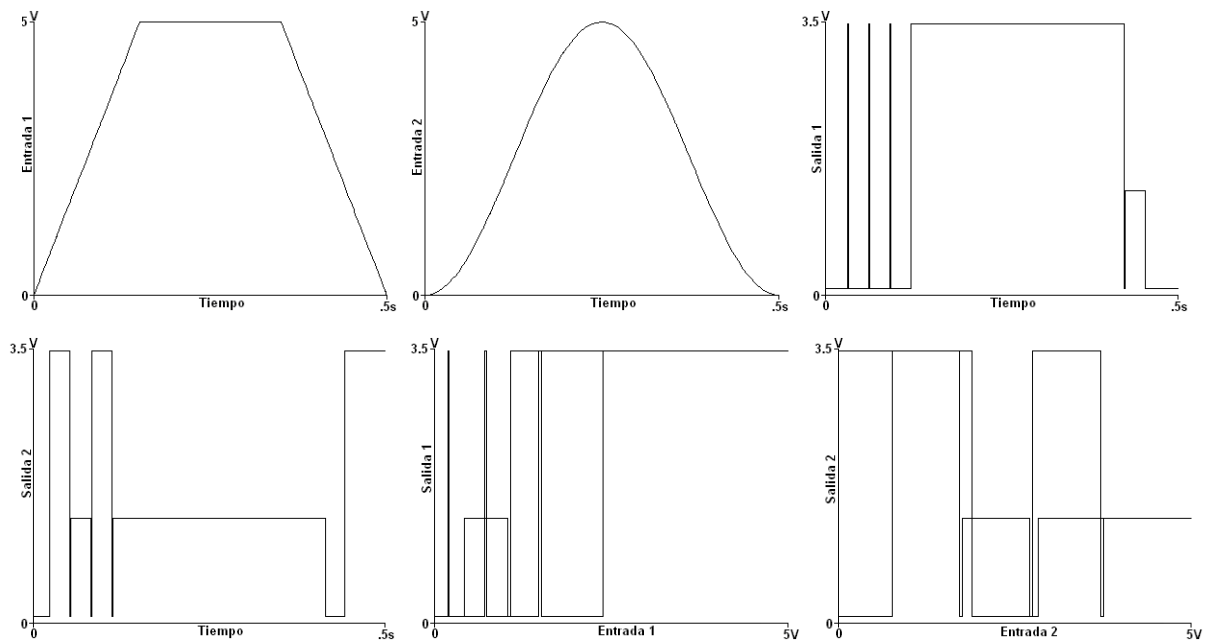


Figura 9. Resultados del experimento con los parámetros: entradas romboide y senoide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Es también evidente de las figura 8 y 9 que la permutación de las entradas es fundamental en las respuestas de la red. Sólo nos queda continuar con las pruebas en este sentido, por lo que en el siguiente experimento tendremos por entradas una triangular y una romboide. Los resultados en la figura 10.

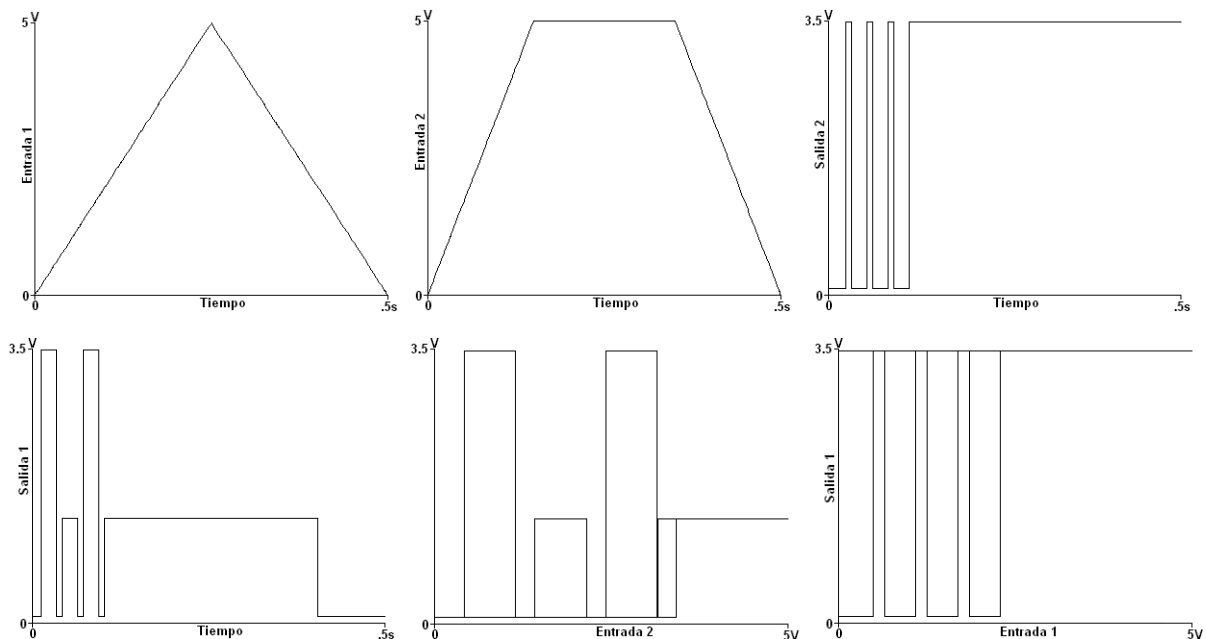


Figura 10. Resultados del experimento con los parámetros: entradas triangular y romboide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Veamos lo que pasa si alternamos las entradas. Los resultados se muestran en la figura 11.

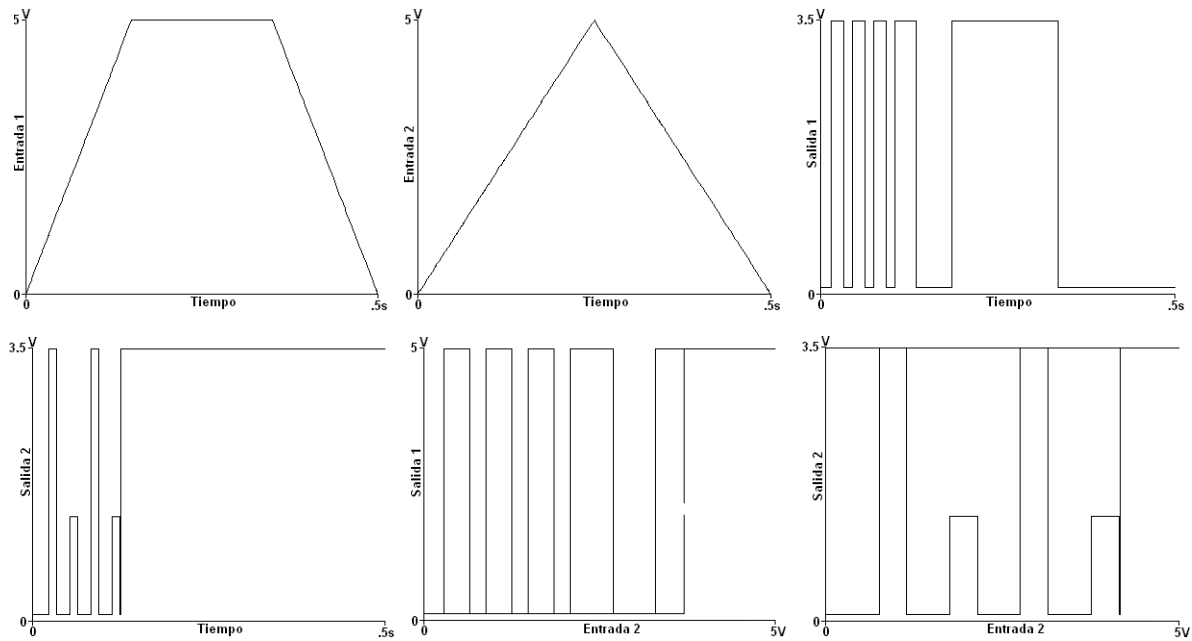


Figura 11. Resultados del experimento con los parámetros: entradas romboide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret_1 = 10ms$, $Ret_2 = 20ms$.

Veamos ahora que sucede cuando alternamos los retardos en el siguiente experimento, tendremos dos entradas senoideas, por lo que los parámetros de la red serán: Entradas senoideas, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret_1 = 20ms$, $Ret_2 = 10ms$. Los resultados se muestran en la figura 12.

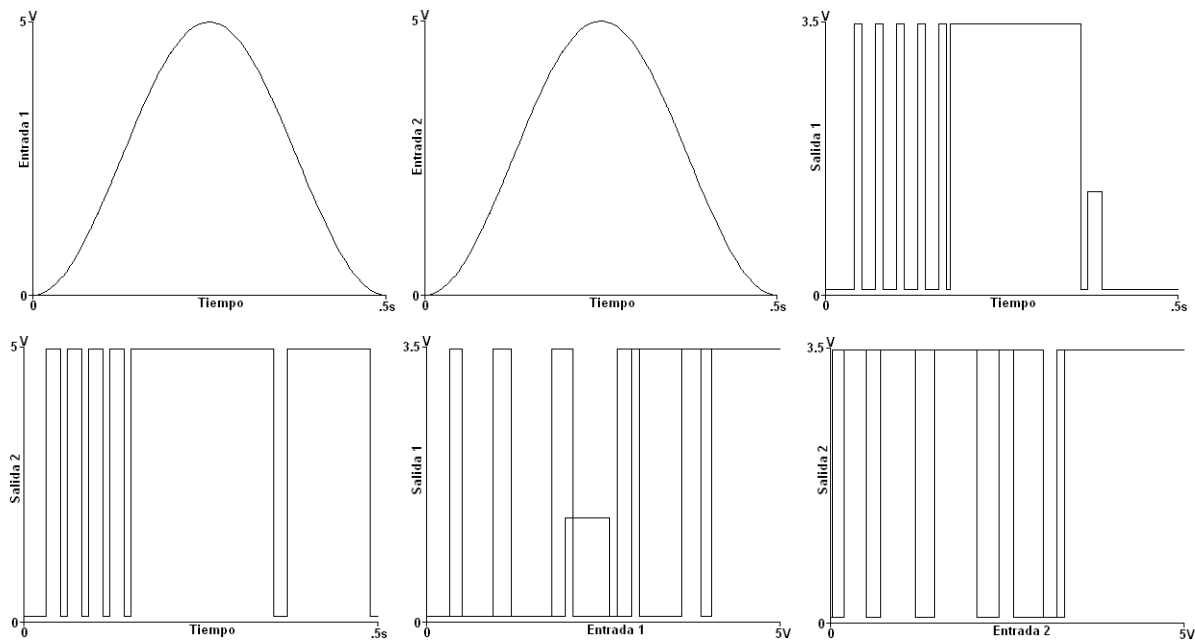


Figura 12. Resultados del experimento con los parámetros: entradas senoide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret_1 = 20ms$, $Ret_2 = 10ms$.

Si comparamos con los resultados de la figura 3, nos damos cuenta que el cambio en las respuestas es significativo, por lo que en apariencia el orden de los retardos es también fundamental. Para certificar lo anterior realizaremos varios experimentos en esta dirección. Analizaremos el caso de dos entradas triangulares. Los resultados se muestran en la figura 13.

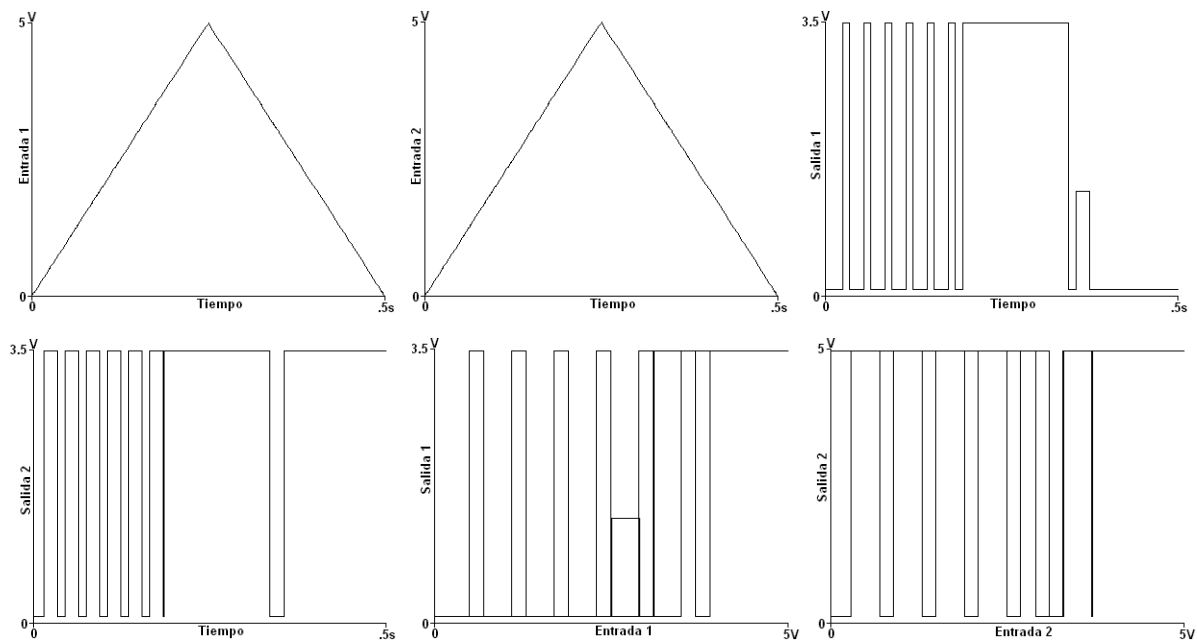


Figura 13. Resultados del experimento con los parámetros: entradas triangulares, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 20ms$, $Ret2 = 10ms$.

Lo mismo lo haremos con entradas romboide. Los resultados se muestran en la figura 14.

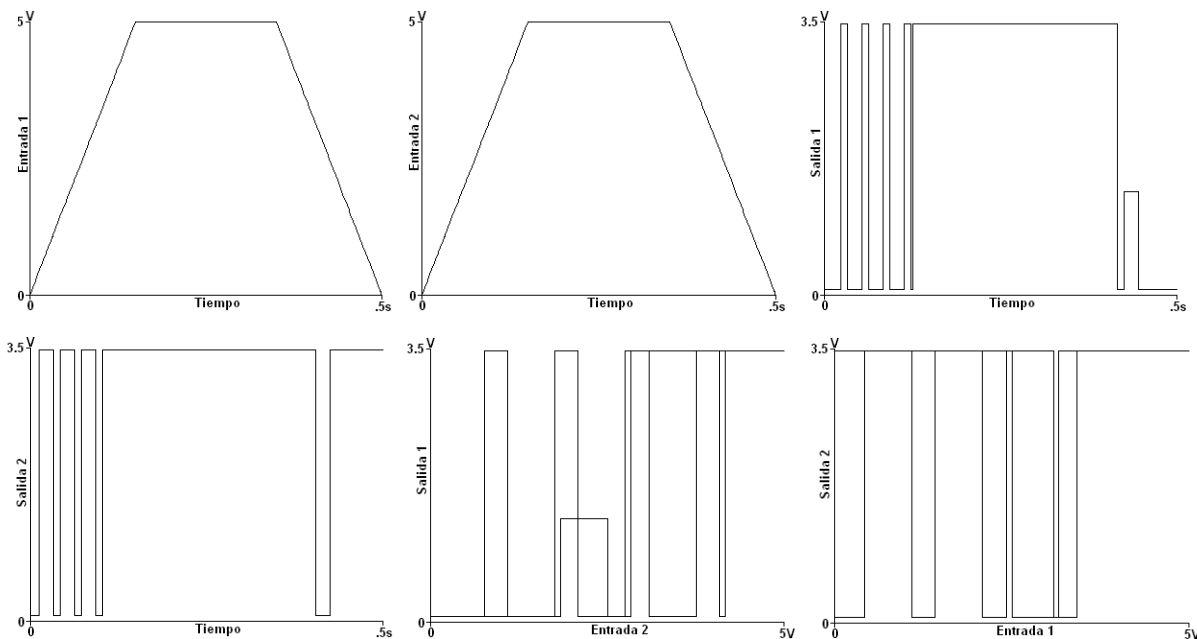


Figura 14. Resultados del experimento con los parámetros: entradas romboide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 20ms$, $Ret2 = 10ms$.

De nuevo es claro si se comparan las figuras 13 y 14 con las figuras 4 y 5 respectivamente, que la hipótesis es confirmada, el orden de los retardos es fundamental.

Vamos ahora a experimentar con combinaciones de entradas y sus permutaciones. En el siguiente experimento tendremos los mismos parámetros que en el de la figura 14, pero con entradas senoide y triangular. Los resultados en la figura 15.

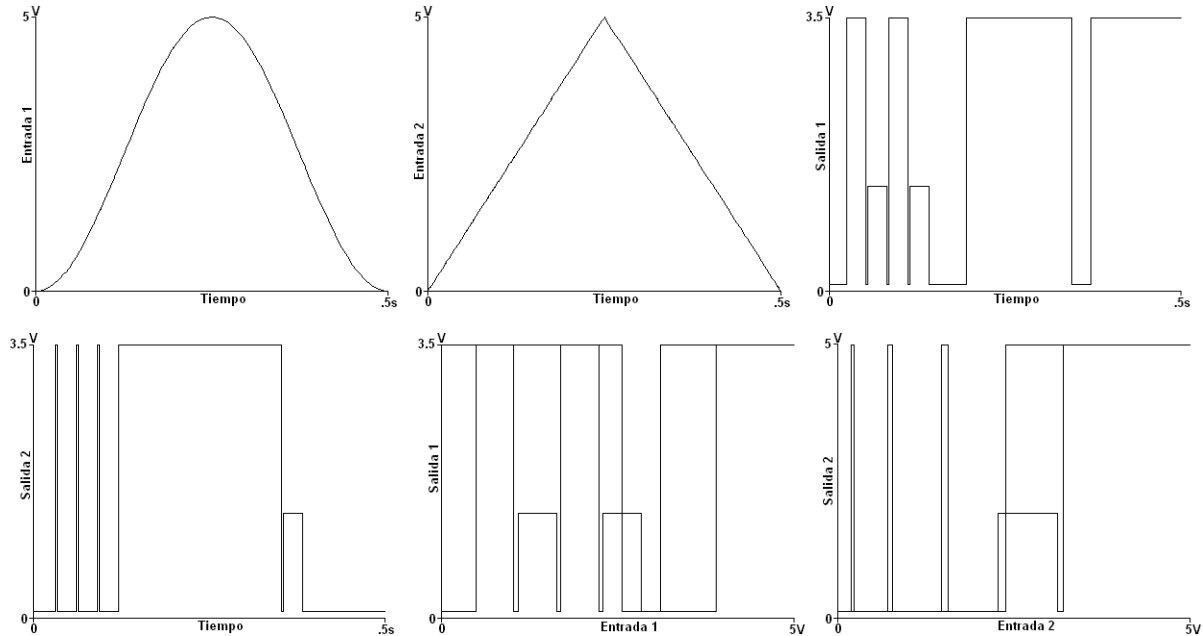


Figura 15. Resultados del experimento con los parámetros: entradas senoide y triangular, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 20ms$, $Ret2 = 10ms$.

En la figura 16, mostramos los resultados con las entradas invertidas.

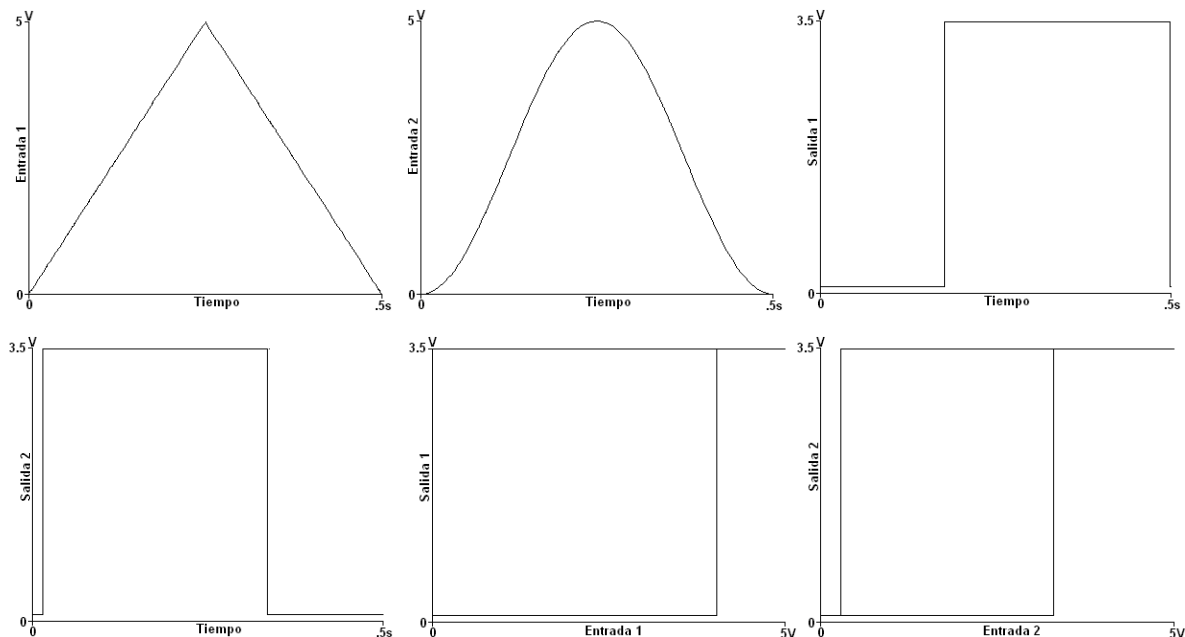


Figura 16. Resultados del experimento con los parámetros: entradas triangular y senoide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 20ms$, $Ret2 = 10ms$.

Si comparamos los resultados de la figura 7 con los de la figura 14, vemos que existe evocación y en este caso la posición de los retardos no fue importante, ya que los espacios fase son iguales. También es importante notar que en el caso de la combinación senoide Triangular, no existe evocación, como en ningún otro caso. Para esto veamos los siguientes experimentos en el mismo sentido. Veamos el caso de entradas senoide y romboide. Los resultados lo muestra la figura 17.

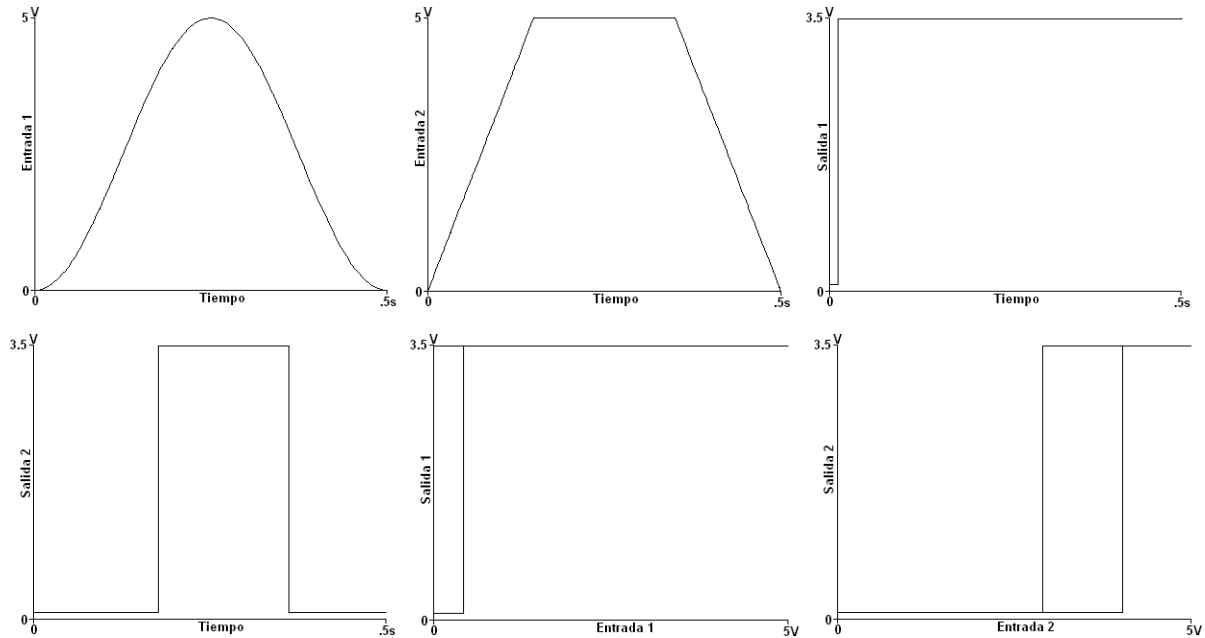


Figura 17. Resultados del experimento con los parámetros: entradas senoide y romboide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 20ms$, $Ret2 = 10ms$.

Si alternamos las entradas, tenemos los resultados que muestra la figura 18.

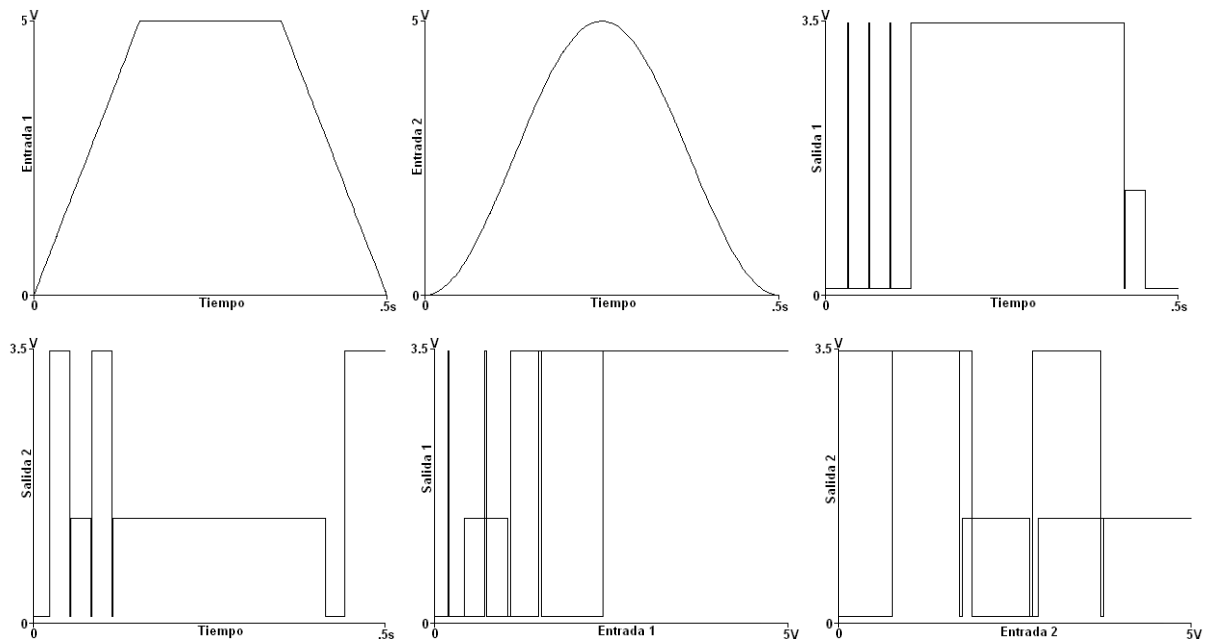


Figura 18. Resultados del experimento con los parámetros: entradas romboide y senoide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 20ms$, $Ret2 = 10ms$.

Vamos a continuar estudiando la importancia de los retardos. Ahora vamos en la siguiente serie de experimentos a poner los retardos iguales en 10ms. Los resultados para las dos entradas senoides se muestran en la figura 19. Todos los demás parámetros se mantienen.

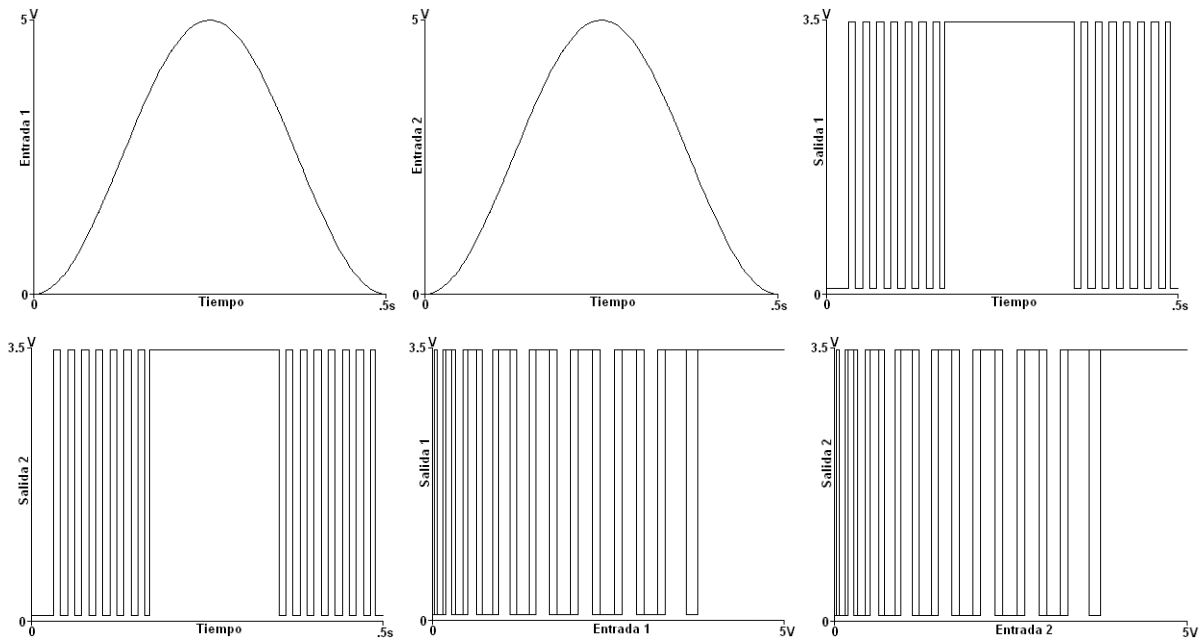


Figura 19. Resultados del experimento con los parámetros: entradas senoides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret_1 = Ret_2 = 10ms$.

Para dos entradas triangulares tendremos con los mismos parámetros de la red, que en el caso anterior, las respuestas de la figura 20.

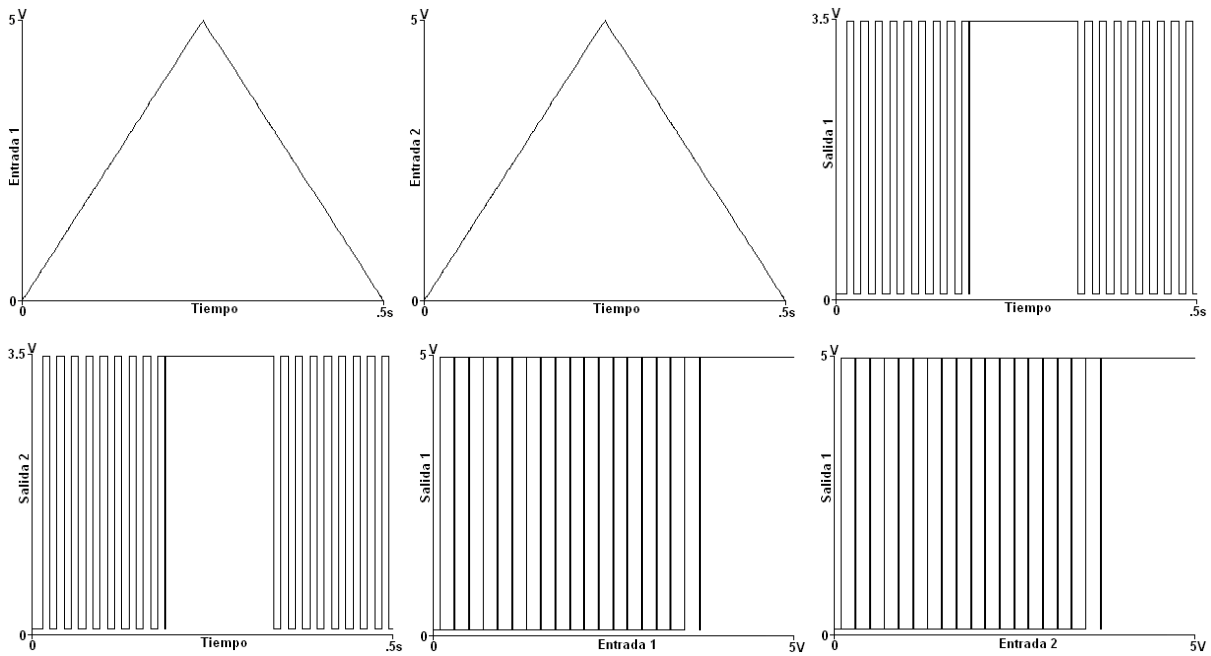


Figura 20. Resultados del experimento con los parámetros: entradas triangulares, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret_1 = Ret_2 = 10ms$.

Para el caso de dos señales de entrada romboides, como en los casos anteriores, tendremos como resultados los que se muestran en la figura 21.

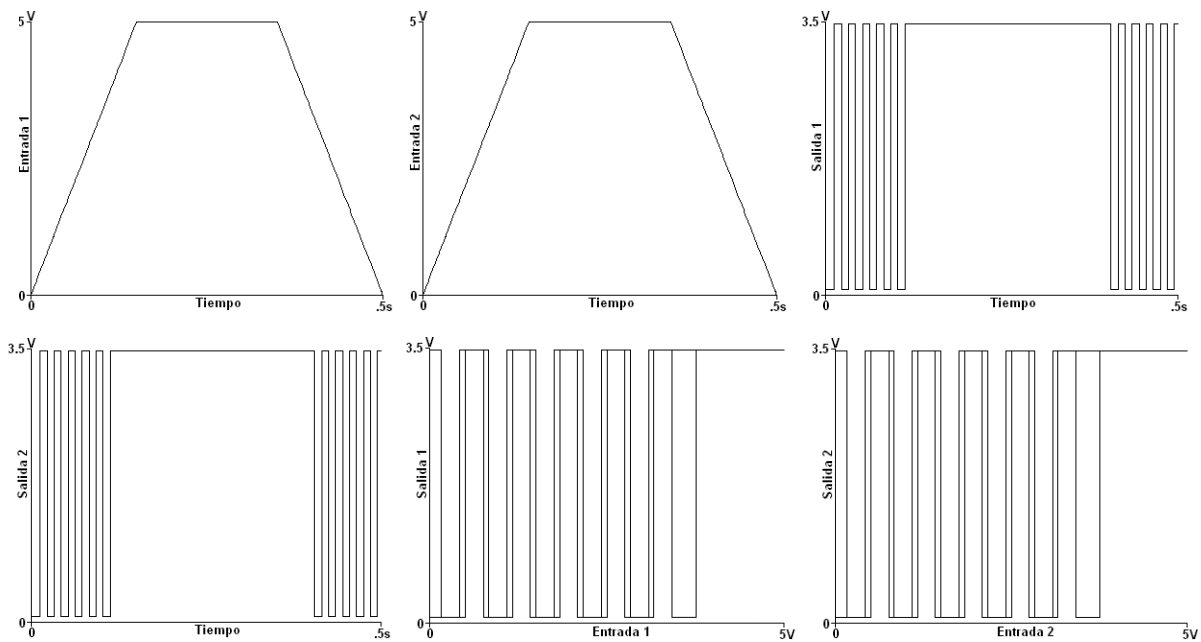


Figura 21. Resultados del experimento con los parámetros: entradas romboides, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

En los siguientes experimentos, vamos a usar entradas diferentes y las alternaremos. El primer experimento de estos será la combinación de entradas senoide triangular. Los demás parámetros se mantienen sin cambio. Los resultados en la figura 22.

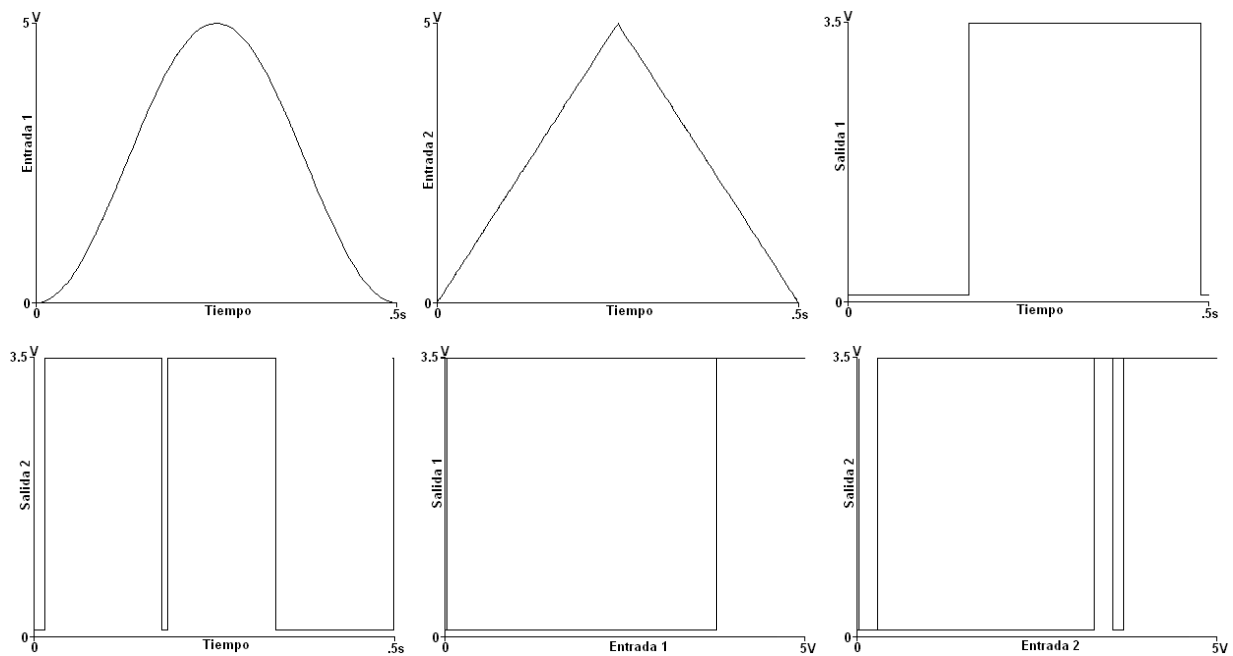


Figura 22. Resultados del experimento con los parámetros: entradas senoide y triangular, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

Si alternamos las entradas sin modificar algún otro parámetro de la red, tenemos los resultados de la figura 23.

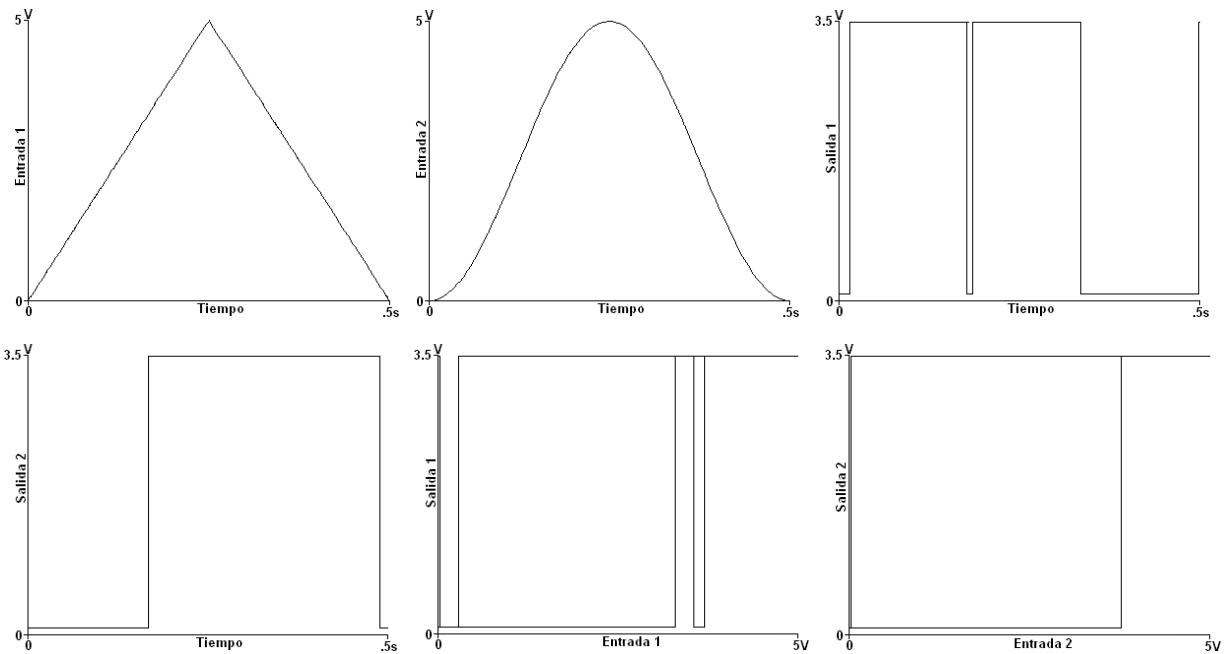


Figura 23. Resultados del experimento con los parámetros: entradas triangular y senoide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

De nuevo, si vemos las figuras 7 y 14 y las comparamos con la figura 23, vemos que de nuevo el espacio fase se replica, aunque en las tres tenemos parámetros diferentes, existe de nuevo algo evocado.

Para el caso de entradas senoide y romboide, tendremos los resultados de la figura 24.

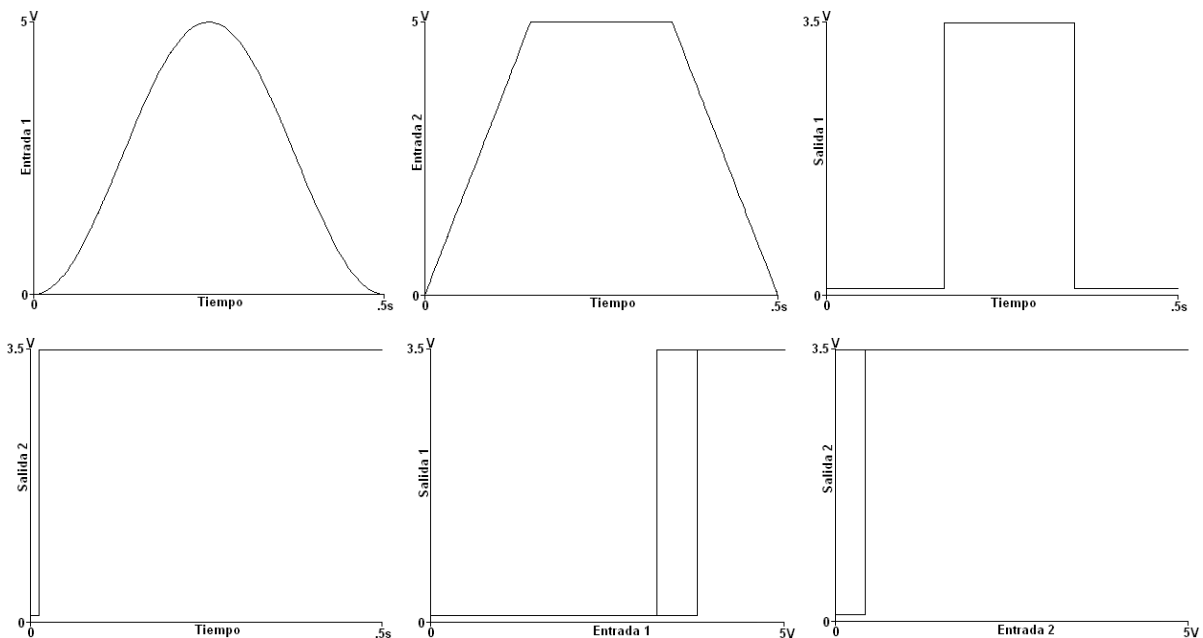


Figura 24. Resultados del experimento con los parámetros: entradas senoide y romboide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

Si alternamos las entradas con los parámetros restantes sin modificar tendremos los resultados de la figura 25,

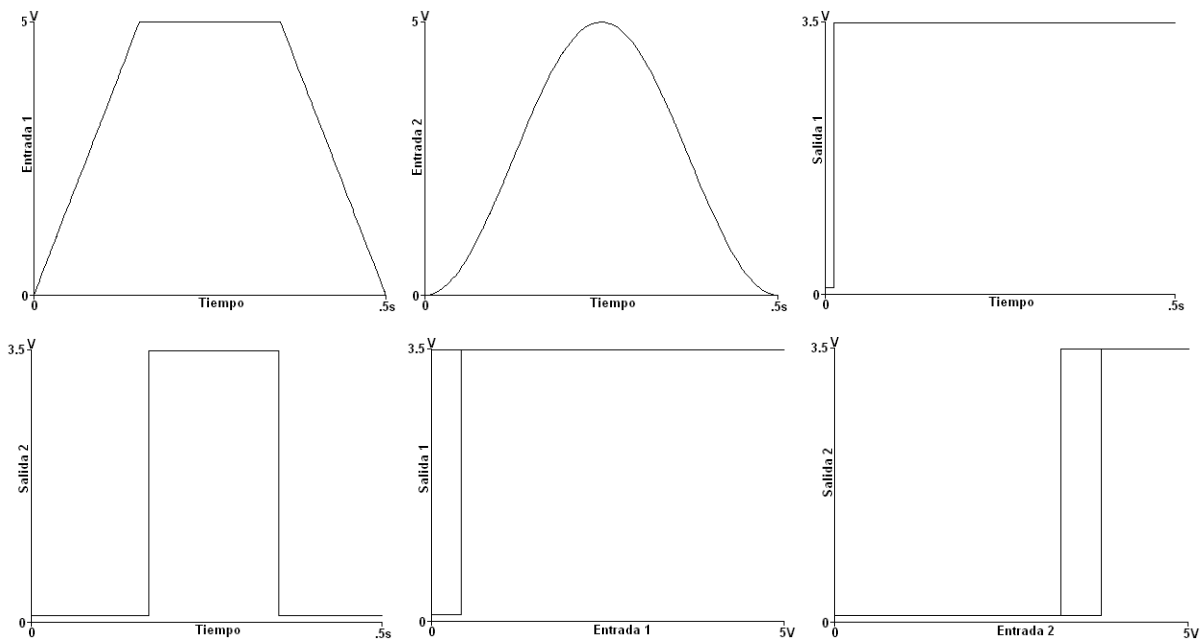


Figura 25. Resultados del experimento con los parámetros: entradas romboide y senoide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

Si vemos las figura 8 y 16, nos encontramos ante el fenómeno de evocación de forma. Encontramos otros fenómenos de evocación Así veamos la red con los parámetros siguientes: Entradas romboides Ampl. = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 15ms$, $Ret2 = 50ms$. Los resultados se muestran en la figura 26.

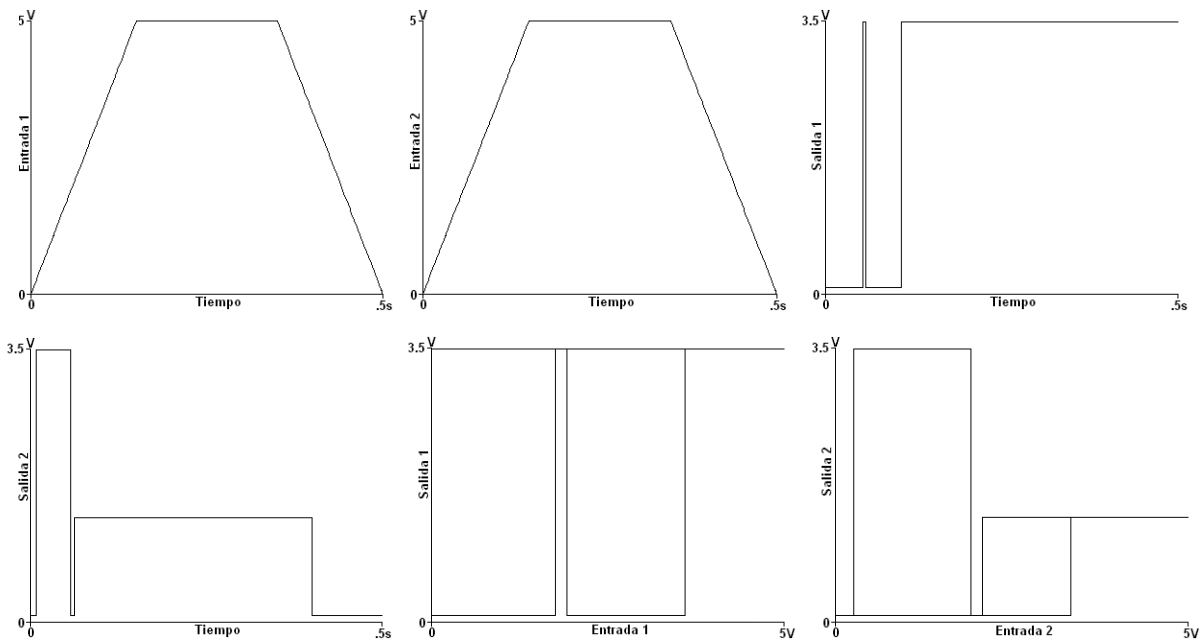


Figura 26. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 15ms$, $Ret2 = 50ms$.

El siguiente experimento tendrá los siguientes parámetros: Entradas triangular y romboide Ampl. = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 50ms$, $Ret2 = 5ms$. Los resultados del experimento se muestran en la figura 27.

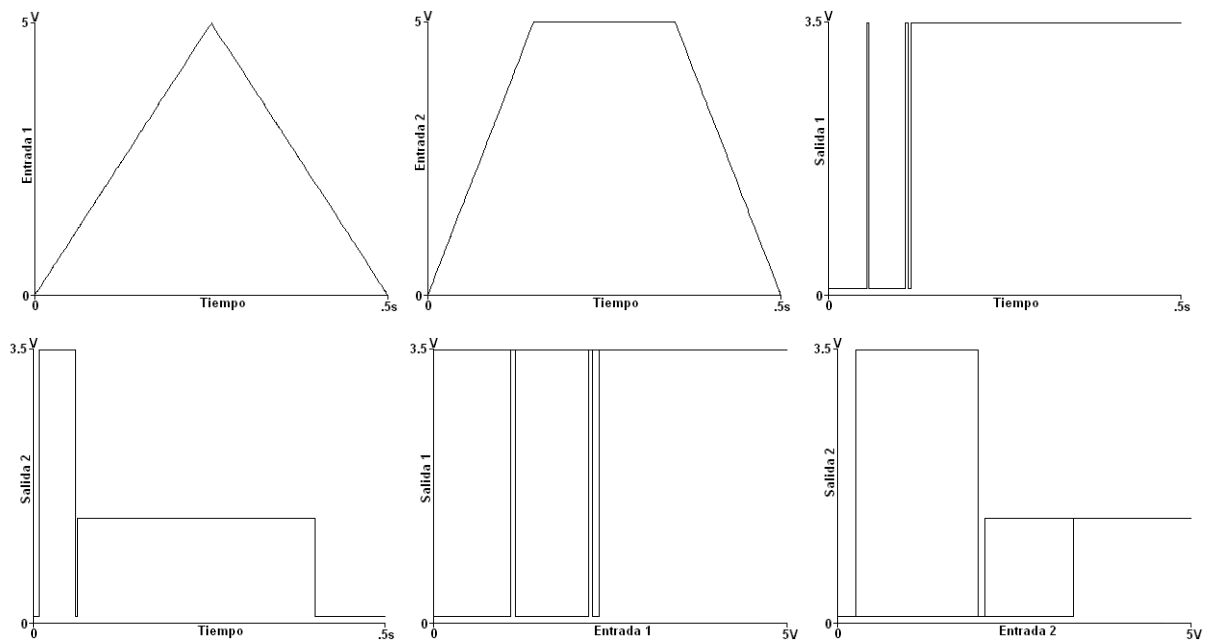


Figura 27. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y romboide. Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 50ms$, $Ret2 = 5ms$.

En este caso ante entradas diferentes tenemos el mismo espacio fase, por lo que existe el fenómeno de evocación de nuevo.

3. Redes con ráfagas en la primera neurona y la segunda sin ráfagas

Dados los resultados de la sección anterior decidimos ver que sucede si a las ráfagas les ponemos orden, es decir tenemos combinaciones de salidas con ráfagas y sin ráfagas. Repetiremos algunos de los experimentos realizados en la sección anterior para compararlos y estudiar lo que aporta el hecho de tener o no ráfagas.

Para realizar los experimentos con ráfagas tenemos tres opciones: La primera opción es que la primera neurona tenga ráfagas, pero la segunda neurona no; la segunda opción es que la primera neurona no tenga ráfagas pero la segunda sí, y la tercera opción es que las dos neuronas tengan salida de ráfagas que es la primera serie de experimentos que realizamos.

En este capítulo estudiaremos la primera opción, es decir, tendremos una red en la cual la primera neurona tendrá salida de ráfagas y la segunda tendrá una salida sin ráfagas. En la figura 28, se muestra el diagrama de bloques de esta red

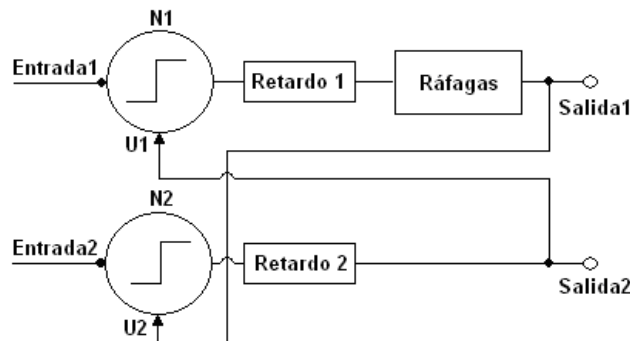


Figura 28. Diagrama de bloques de una red con la primera neurona con salida de ráfagas parabólicas y la segunda con salida de ráfagas simples.

En la figura 29 se muestra el diagrama esquemático de la red.

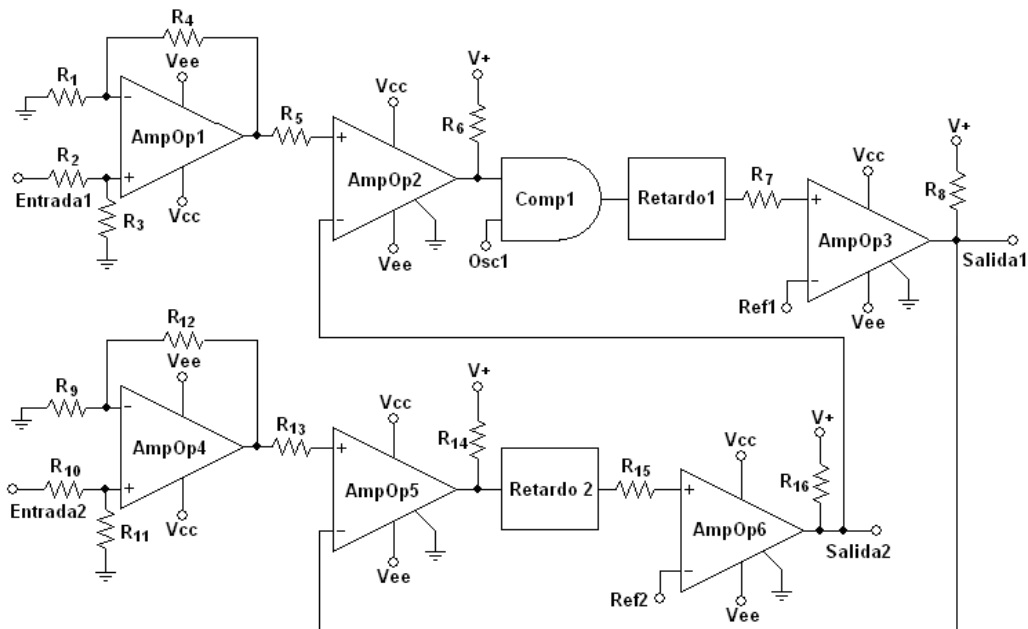


Figura 29. Diagrama esquemático de una red con la primera neurona con salida de ráfagas parabólicas y la segunda con salida de ráfagas simples.

4: Experimentos con ráfagas en la primera neurona y en la segunda sin ráfagas

En nuestro primer experimento tendremos que las dos entradas son senoides, con los demás parámetros de la red como sigue: Entradas senoides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms. Los resultados se muestran en la figura 30.

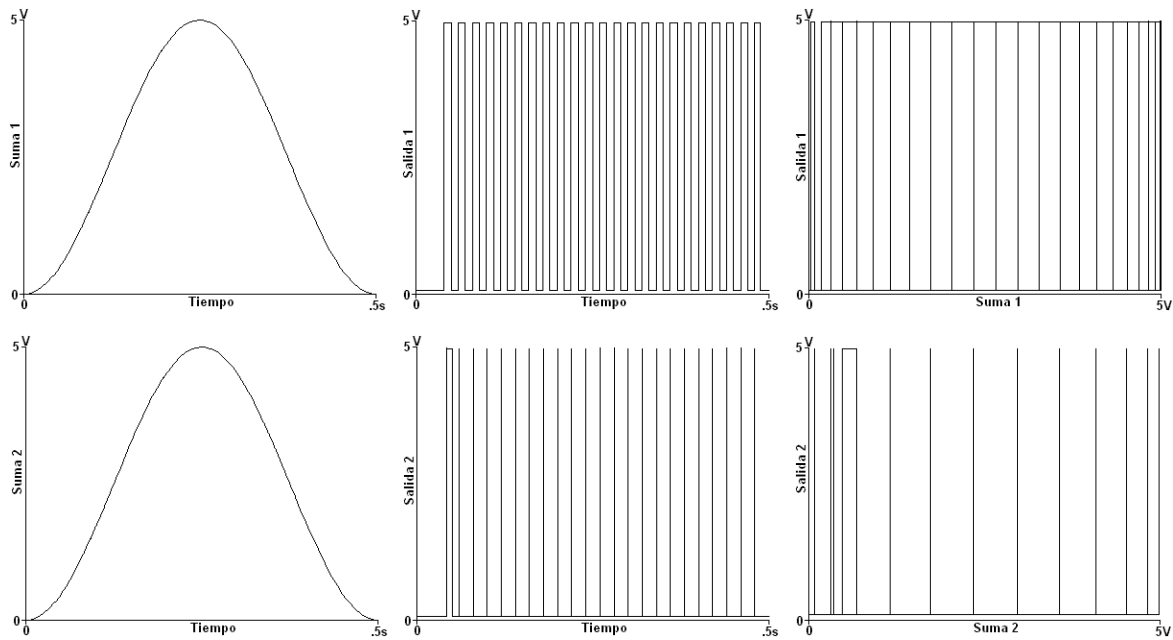


Figura 30. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms.

Vamos a cambiar la señal de entrada por dos señales de entrada triangulares, permaneciendo los demás parámetros de la red sin cambios. Los resultados en la figura 31.

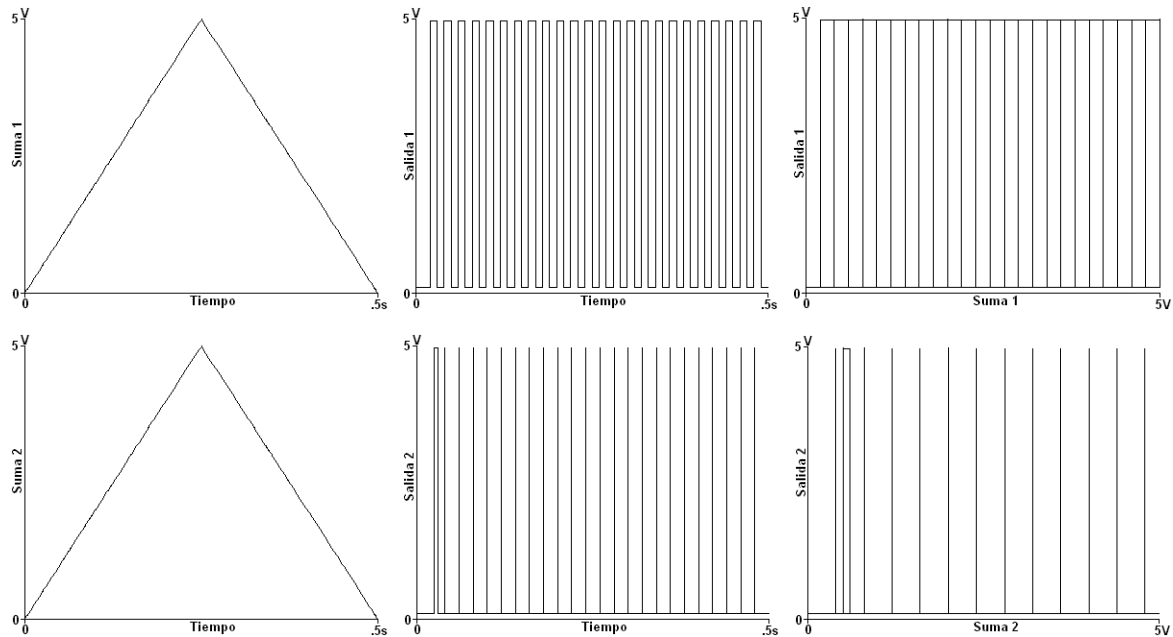


Figura 31. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangulares Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms.

En nuestro siguiente experimento las señales de entrada serán dos romboides, mientras que los demás parámetros de la red no cambian. Los resultados se muestran en la figura 32.

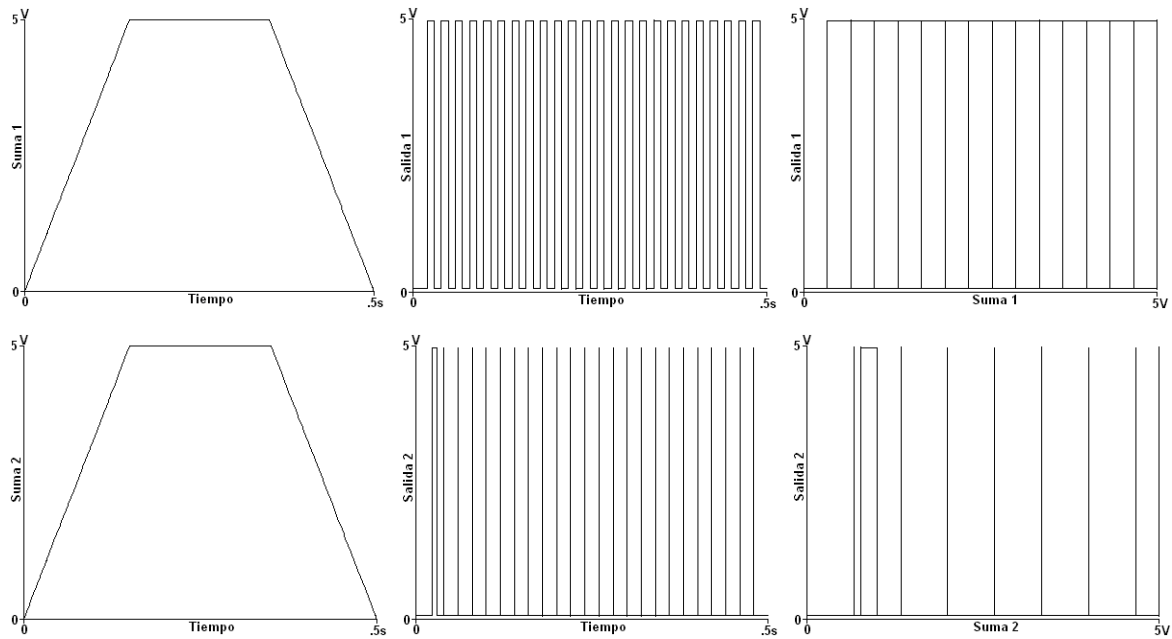


Figura 32. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms.

En nuestro siguiente experimento vamos a cambiar las entradas a una senoide y una triangular, por lo que tendremos los siguientes parámetros: Entradas senoide y triangular Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms. Los resultados se muestran en la figura 33.

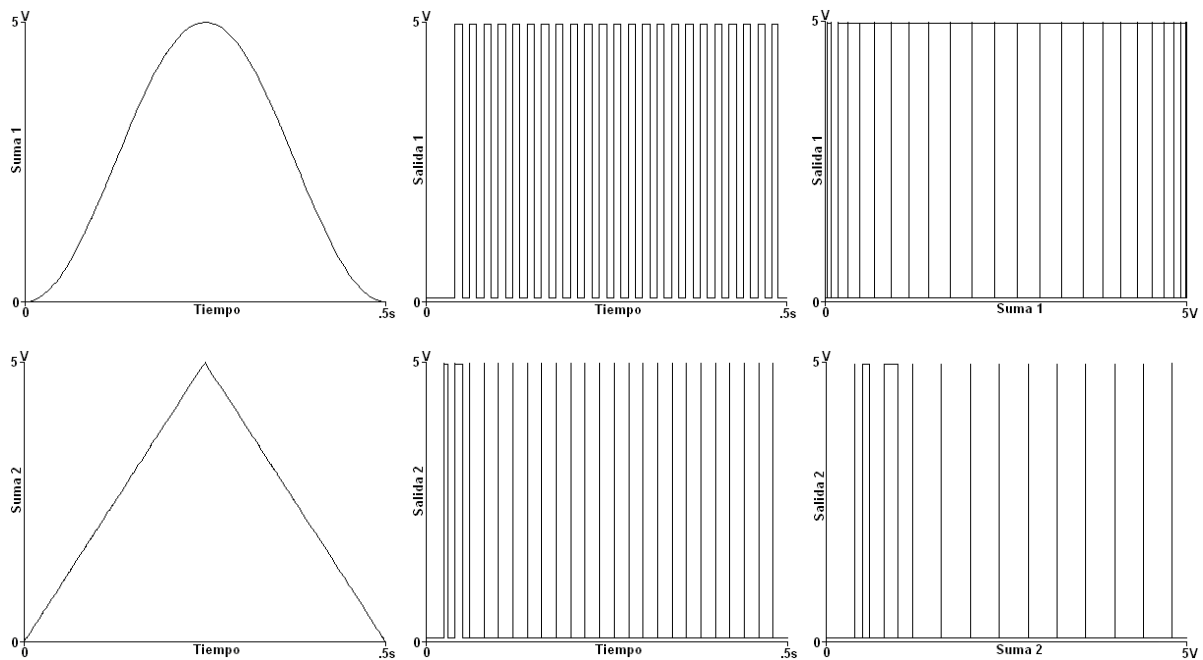


Figura 33. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms.

Sin cambiar ningún otro parámetro de la red, vamos a alternar la entrada senoide con la triangular, por lo que la red tiene por parámetros: Entradas triangular y senoide Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms. Los resultados se muestran en la figura 34.

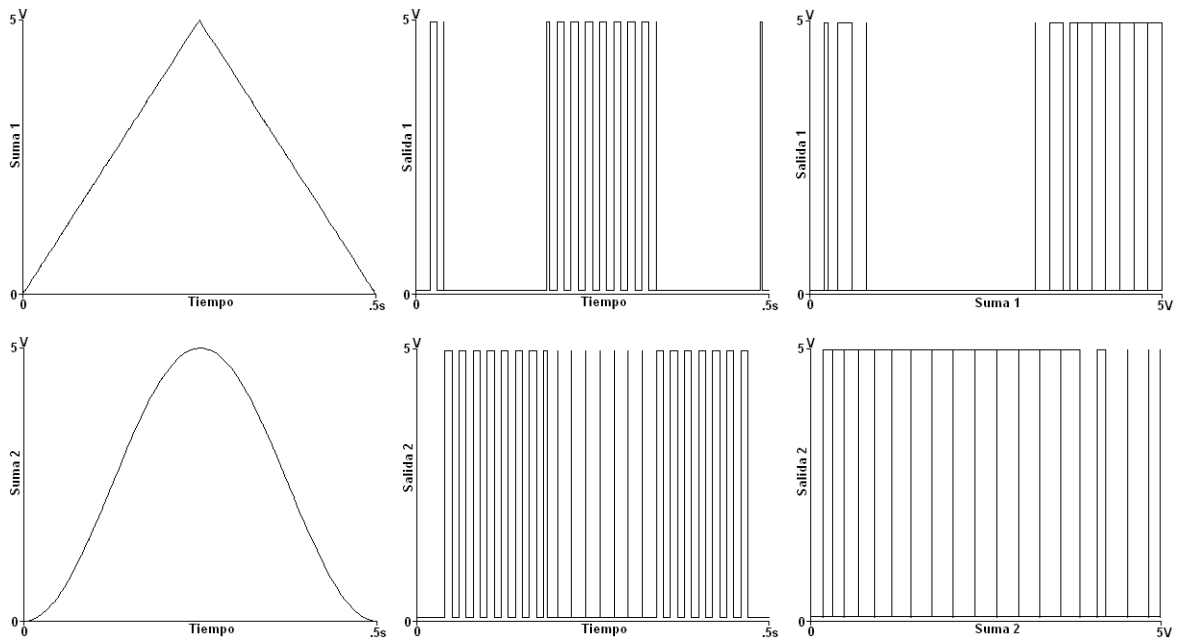


Figura 34. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y senoide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms.

Cambiaremos entradas por senoide y romboide, por lo que los parámetros de la red hora son: Entradas senoide y Romboide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms. Los resultados en la figura 35.

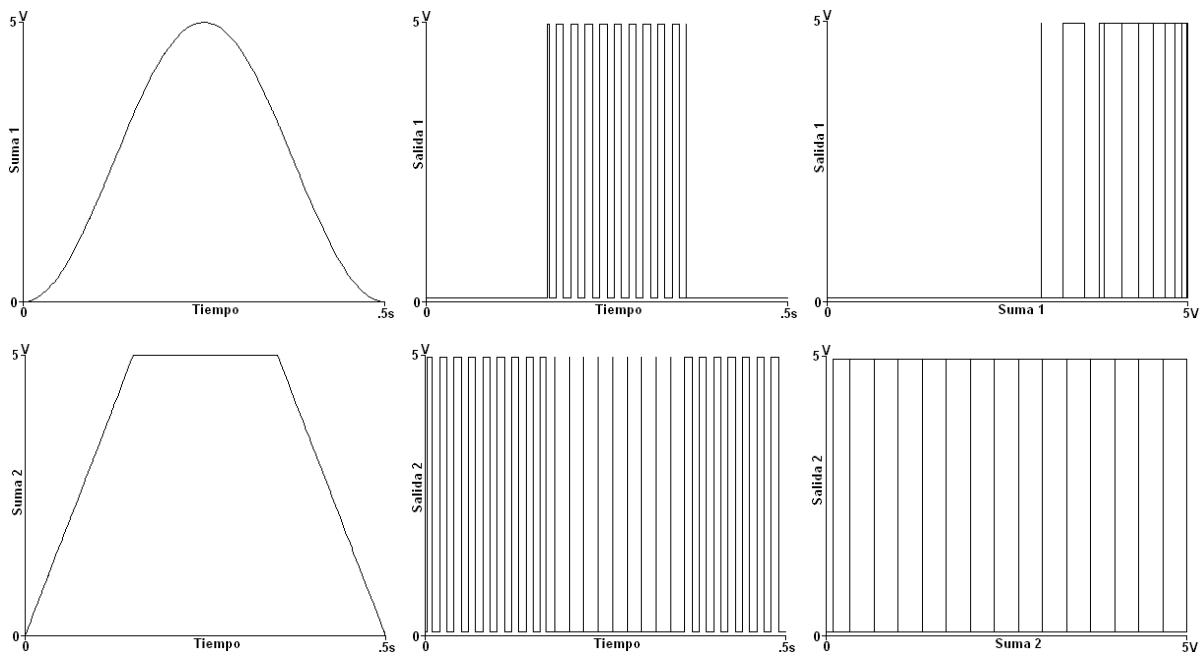


Figura 35. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y romboide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 20ms.

Cambiamos las entradas alternándolas. En este caso la primera neurona tendrá una entrada romboide y la segunda una senoide. Ningún otro parámetro de la red cambia. Los resultados se muestran en la figura 36.

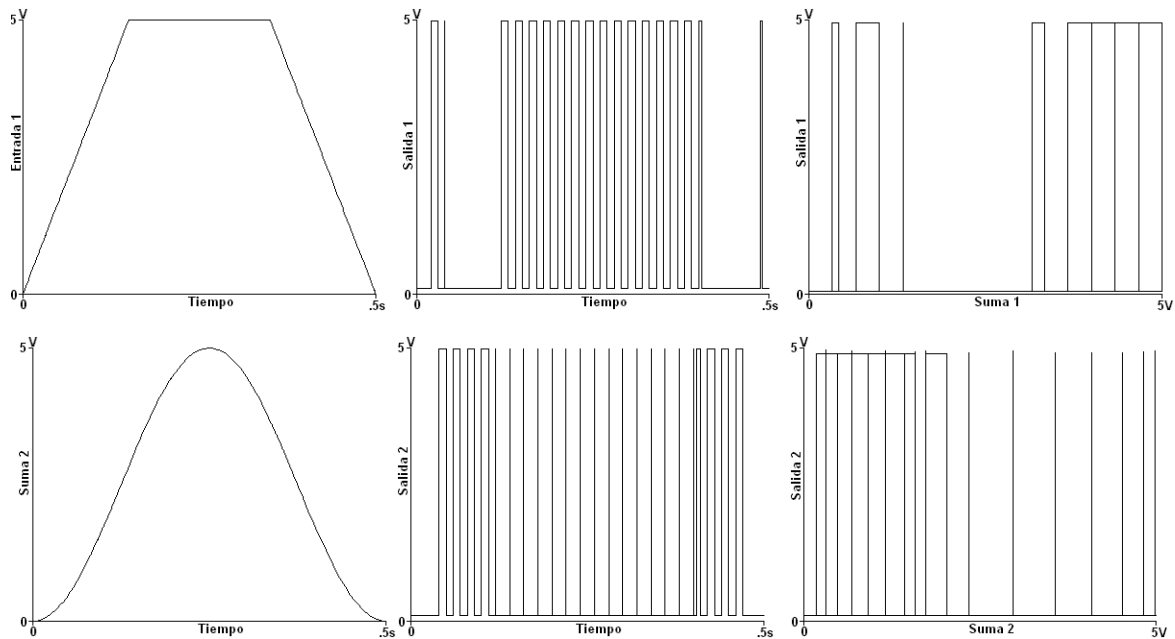


Figura 36. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y senoide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Cambiaremos de nuevo las entradas sin modificar ningún otro parámetro de la red, por lo que nuestros nuevos parámetros serán: Entradas triangular y romboide Ampl. = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$. Los resultados los vemos en la figura 37.

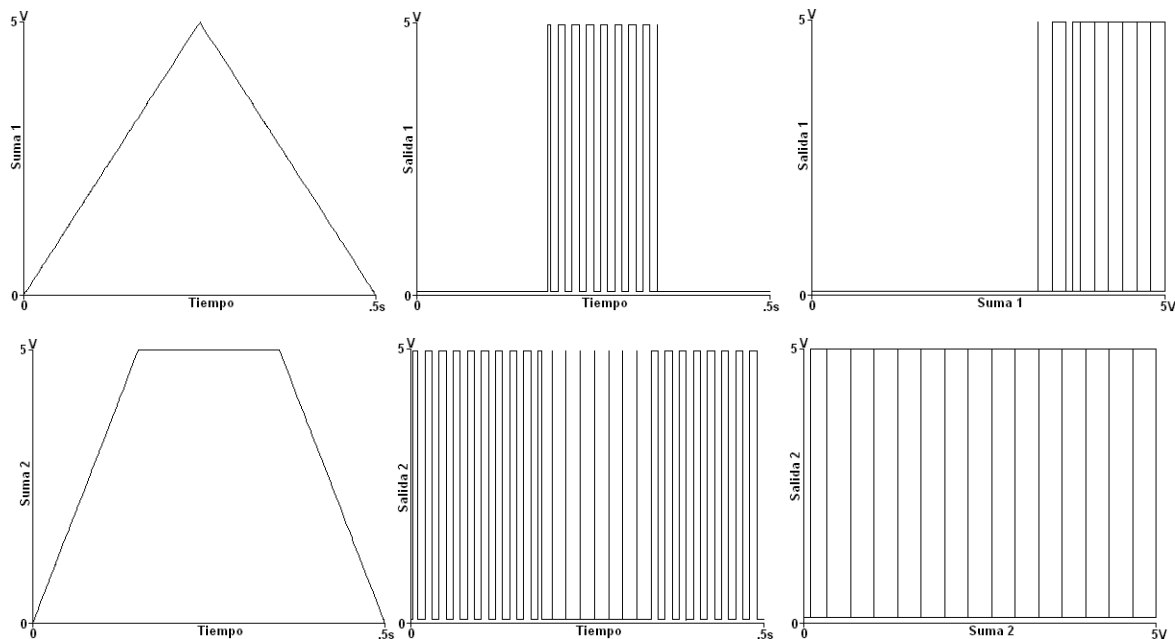


Figura 37. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y romboide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Si volvemos a alternar las entradas tendremos los siguientes parámetros para la red: Entradas romboide y triangular Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret_1 = 10ms$, $Ret_2 = 20ms$. Los resultados los muestra la figura 38.

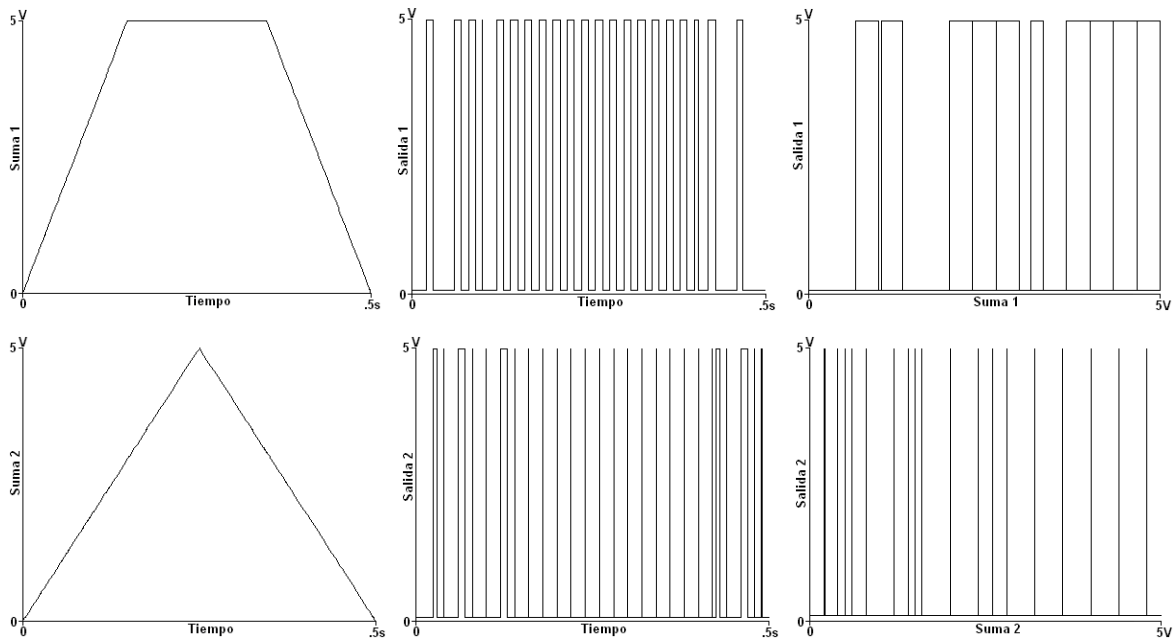


Figura 38. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret_1 = 10ms$, $Ret_2 = 20ms$.

¿Qué pasaría si los retardos de las dos neuronas fueran iguales, digamos 10 ms. Los nuevos parámetros de la red serían: Entradas senoides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret_1 = 10ms$, $Ret_2 = 10ms$. En la figura 39, mostramos los resultados.

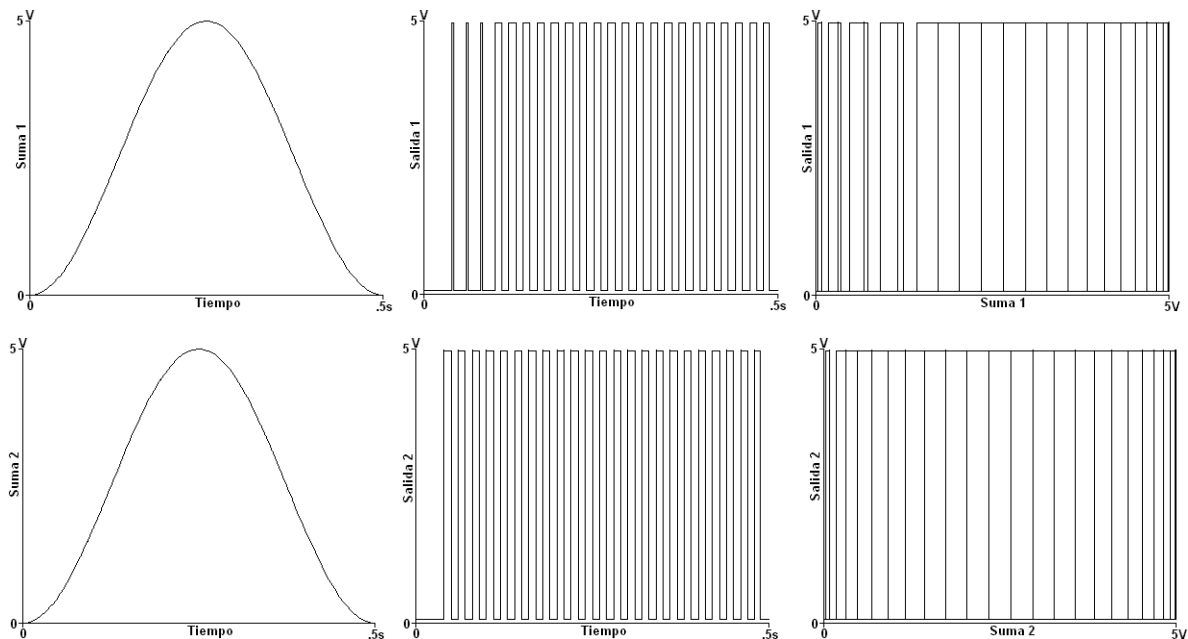


Figura 39. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret_1 = Ret_2 = 10ms$.

Para dos señales de entrada triangulares tendríamos los parámetros: Entradas Triangulares Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 10ms$. En la figura 40 mostramos los resultados.

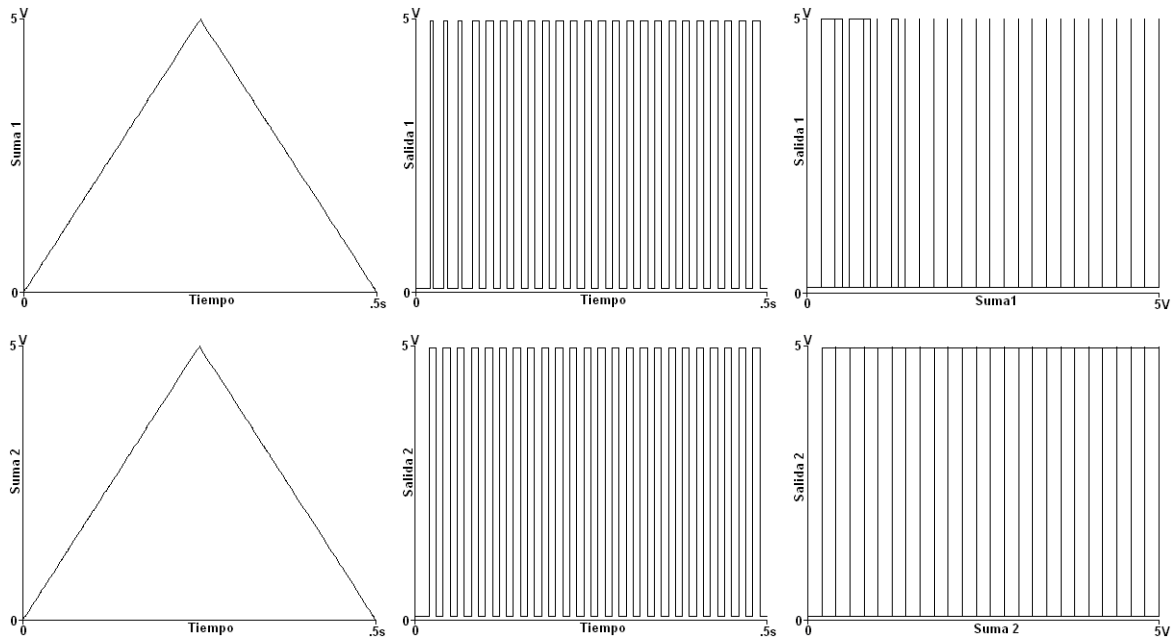


Figura 40. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangulares, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

En el caso de dos entradas romboides tenemos los siguientes parámetros: Entradas romboides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 10ms$. La figura 41 nos muestra los resultados.

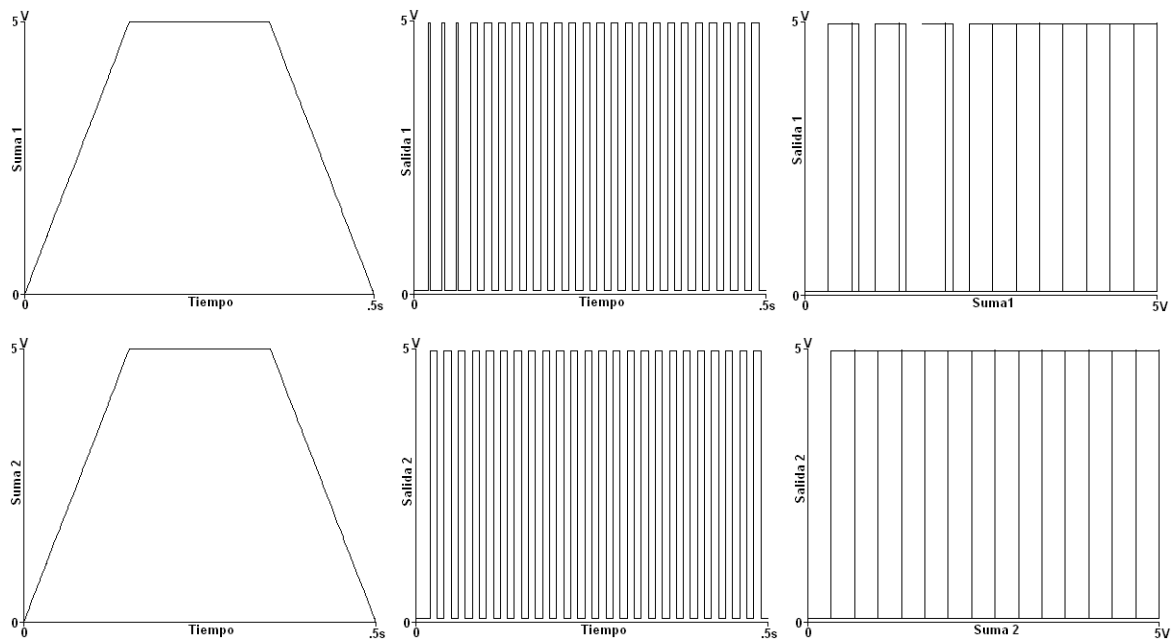


Figura 41. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

Vamos a jugar con las entradas realizando combinaciones de ellas. En el primer experimento usaremos una entrada senoide y una triangular, los parámetros de la red serán: Entradas senoide y triangular Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 10ms$. La figura 42 nos muestra los resultados.

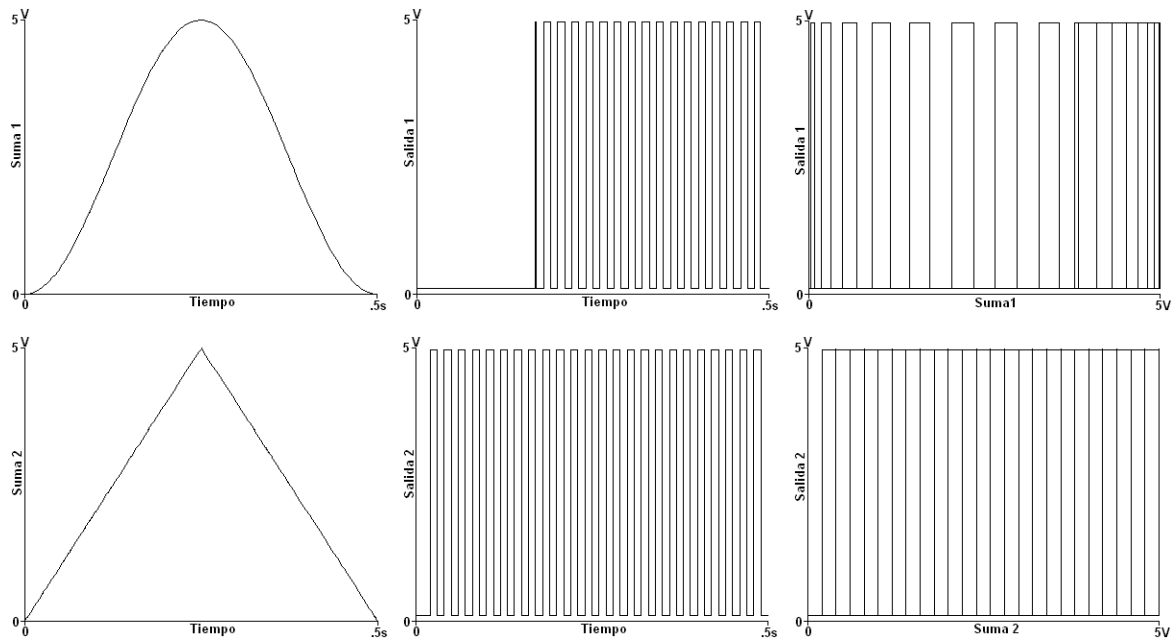


Figura 42. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

Vamos a alternar las entradas de tal manera que los nuevos parámetros sean: Entradas triangular y senoide Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 10ms$. En la figura 43 mostramos los resultados del experimento.

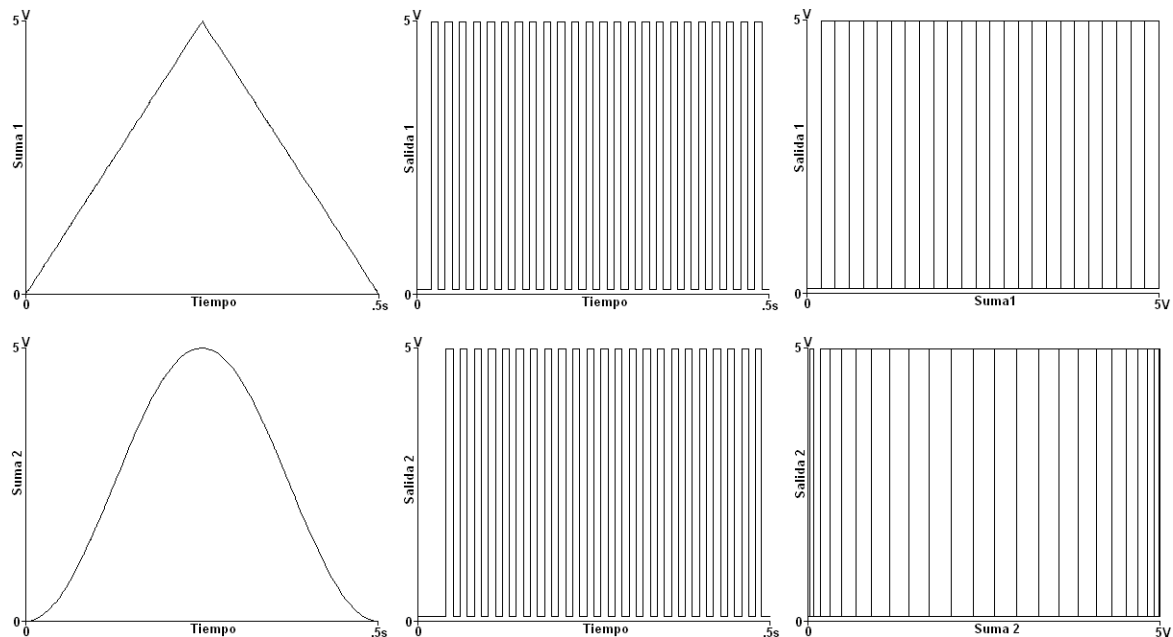


Figura 43. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y senoide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

La siguiente combinación de entradas será senoide y romboide, los nuevos parámetros para esto serán: Entradas senoide y Romboide Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 10ms. Los resultados se muestran en la figura 44.

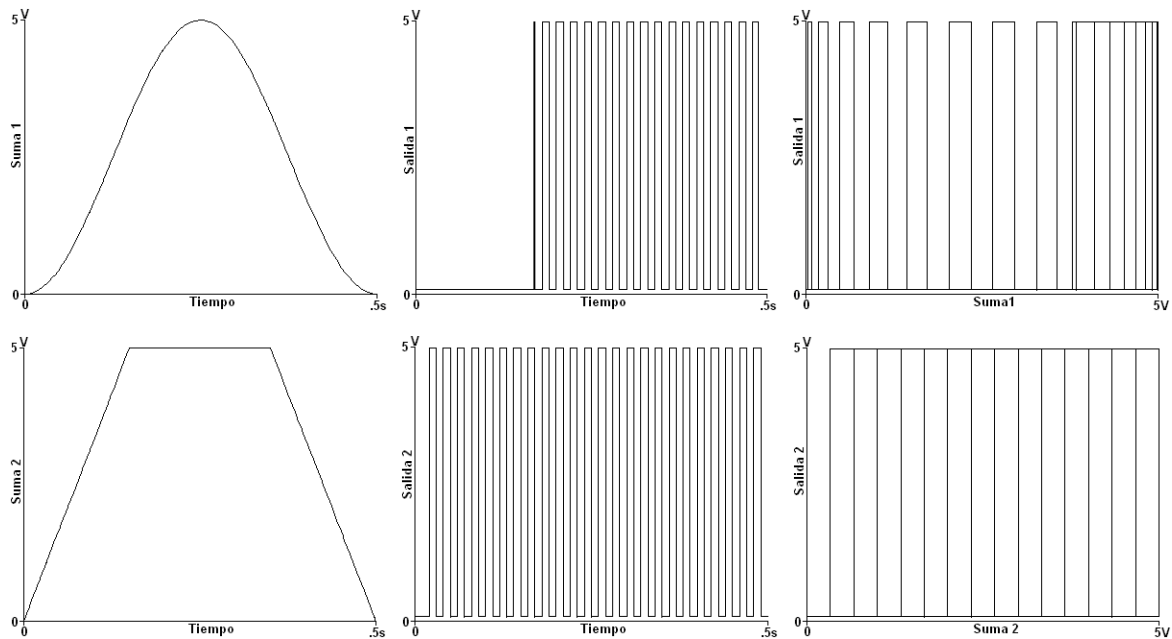


Figura 44. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y romboide, Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Si de nuevo alternamos las entradas tendremos como parámetros de la red los siguientes: Entradas Romboide y senoide Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 10ms. La figura 45 muestra los resultados de este experimento.

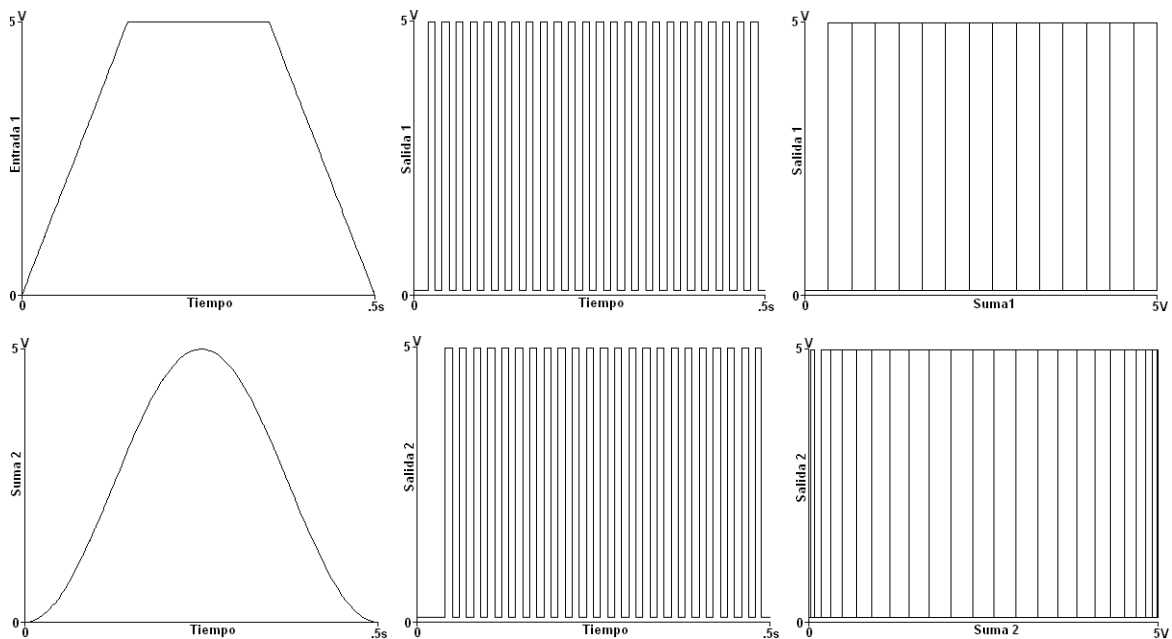


Figura 45. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y senoide, Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Vamos ahora a la última combinación de entradas que corresponde a las entradas triangular y romboide. Los nuevos parámetros de la red serán: Entradas triangular y romboide Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 10ms$. Los resultados se muestran en la figura 46.

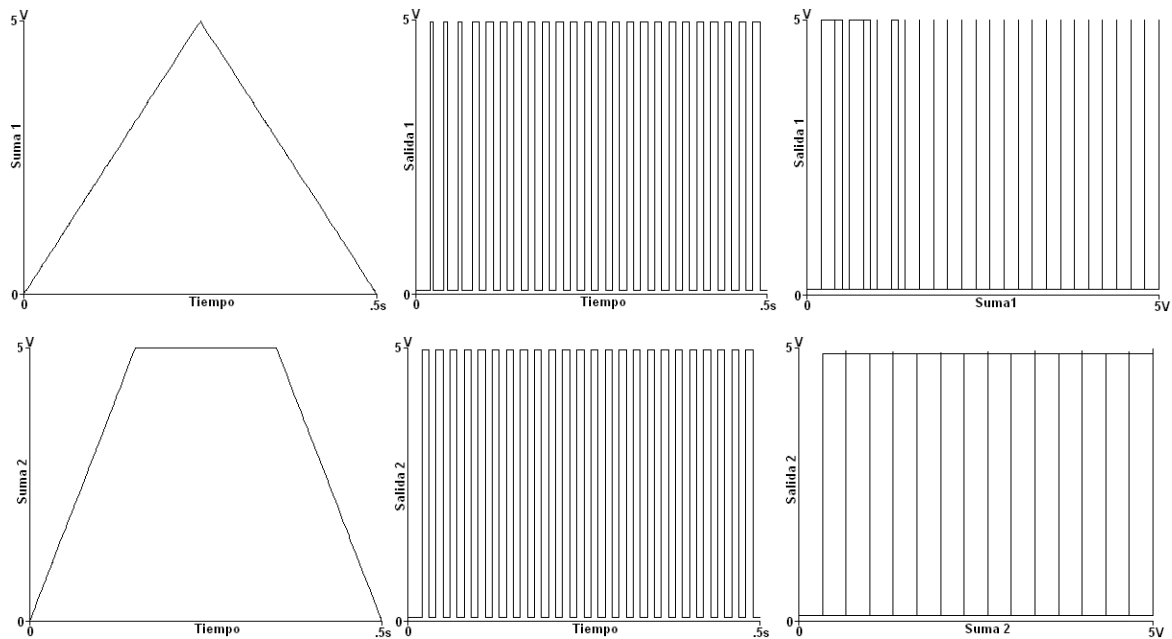


Figura 46. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y romboide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

Si de nuevo alternamos las entradas tendremos como parámetros de la red los siguientes: Entradas Romboide y triangular Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 10ms$. La figura 47 muestra los resultados de este experimento.

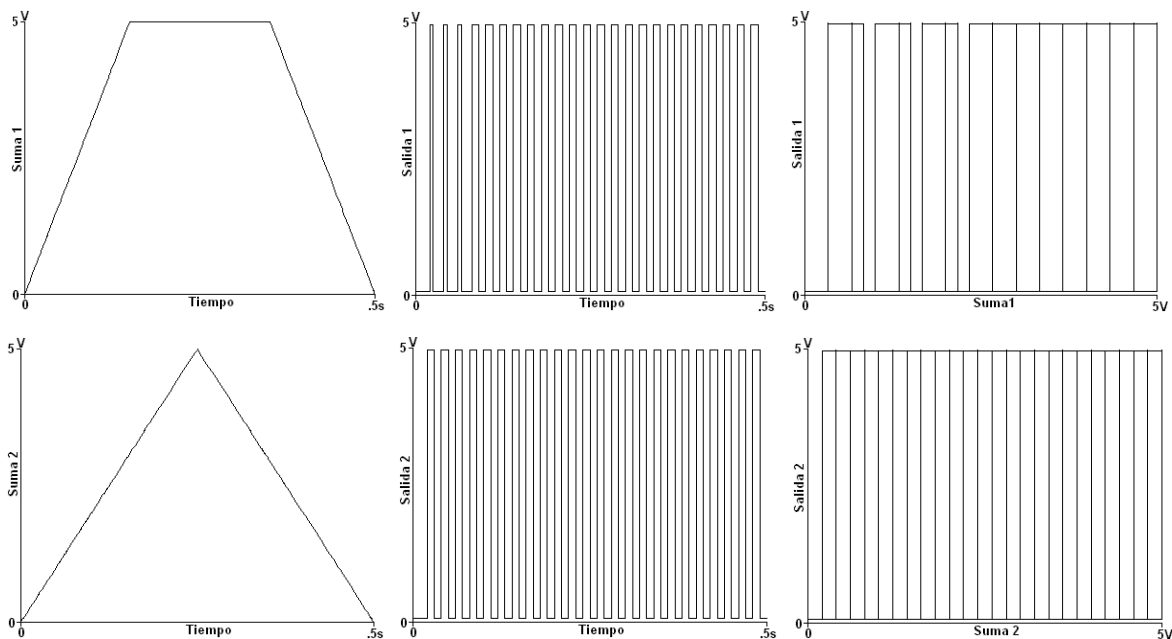


Figura 47. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

Vamos a continuar manejando los retardos, pero ahora creceremos mucho uno respecto del otro. En este caso tendremos que el retardo uno es diez veces menor que el dos, por lo que los nuevos parámetros serán: Entradas senoides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 5ms, Ret2 = 50ms. La figura 48 muestra los resultados.

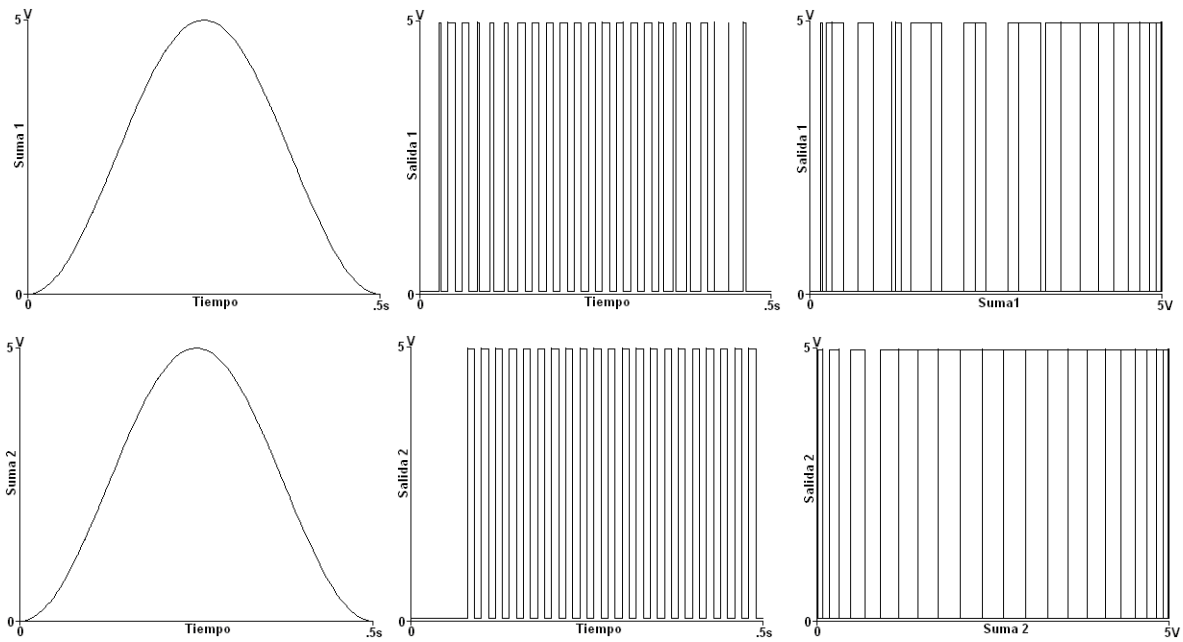


Figura 48. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 5ms, Ret2 = 50ms.

Para el caso de dos entradas triangulares, con los demás parámetros de la red sin modificar, vamos a tener los resultados que se muestran en la figura 49.

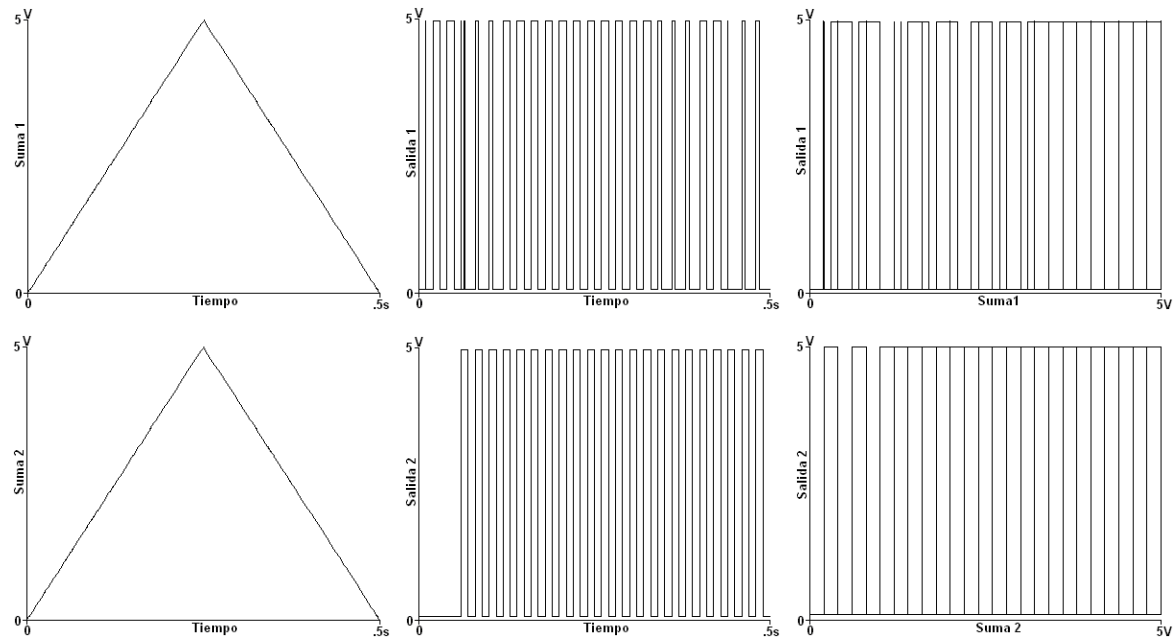


Figura 49. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangulares, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 5ms, Ret2 = 50ms..

Para el caso de entradas romboides tendremos como parámetros de la red los siguientes: Entradas romboides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$. La figura 50 nos muestra los resultados.

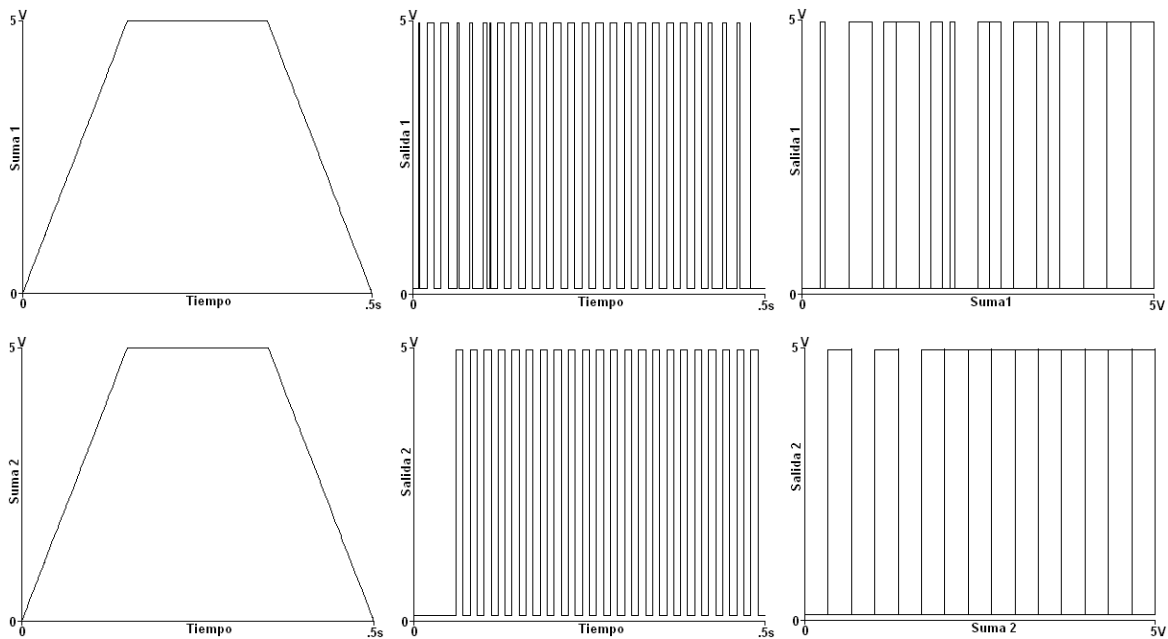


Figura 50. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

Vamos a alternar los retardos de forma que la segunda neurona tenga ahora un retardo menor a la primera por diez veces, los nuevos parámetros de la red serán: Entradas senoides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 50ms$, $Ret2 = 5ms$. Los resultados los muestra la figura 51.

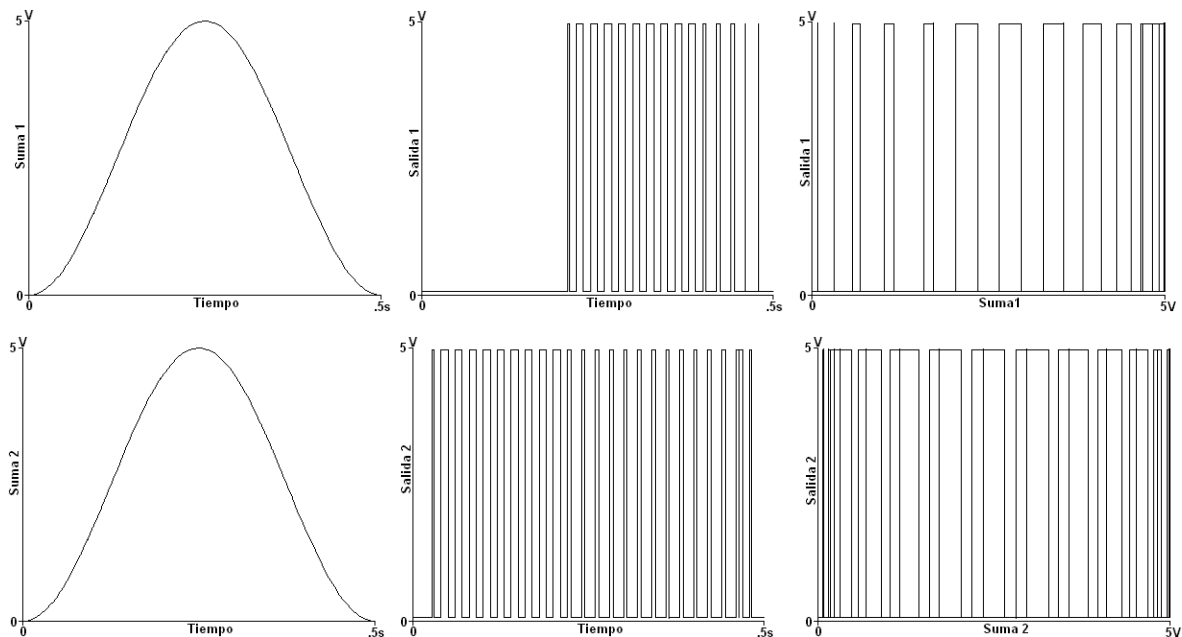


Figura 51. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 50ms$, $Ret2 = 5ms$.

Para dos entradas triangulares sin modificar ningún otro parámetro de la red, tendremos los parámetros: Entradas Triangulares Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 50ms$, $Ret2 = 5ms$. Los resultados se muestran en la figura 52.

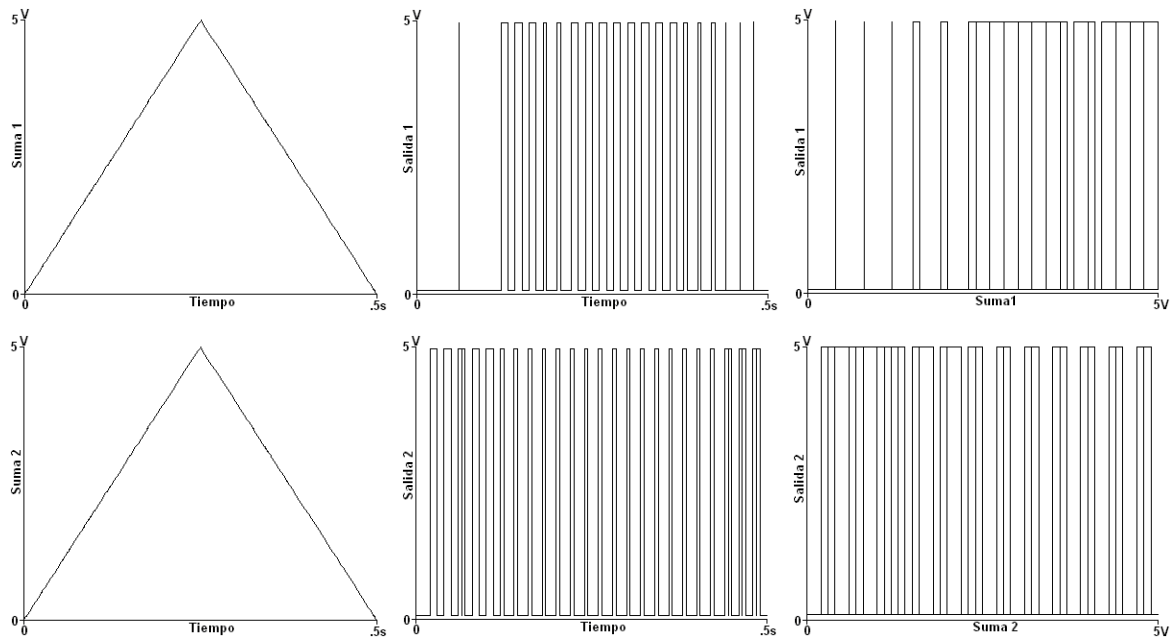


Figura 52. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangulares, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 50ms$, $Ret2 = 5ms$.

Por último, para el caso de las entradas romboides los parámetros de la red serán: Entradas romboides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 50ms$, $Ret2 = 5ms$. Los resultados se muestran en la figura 53.

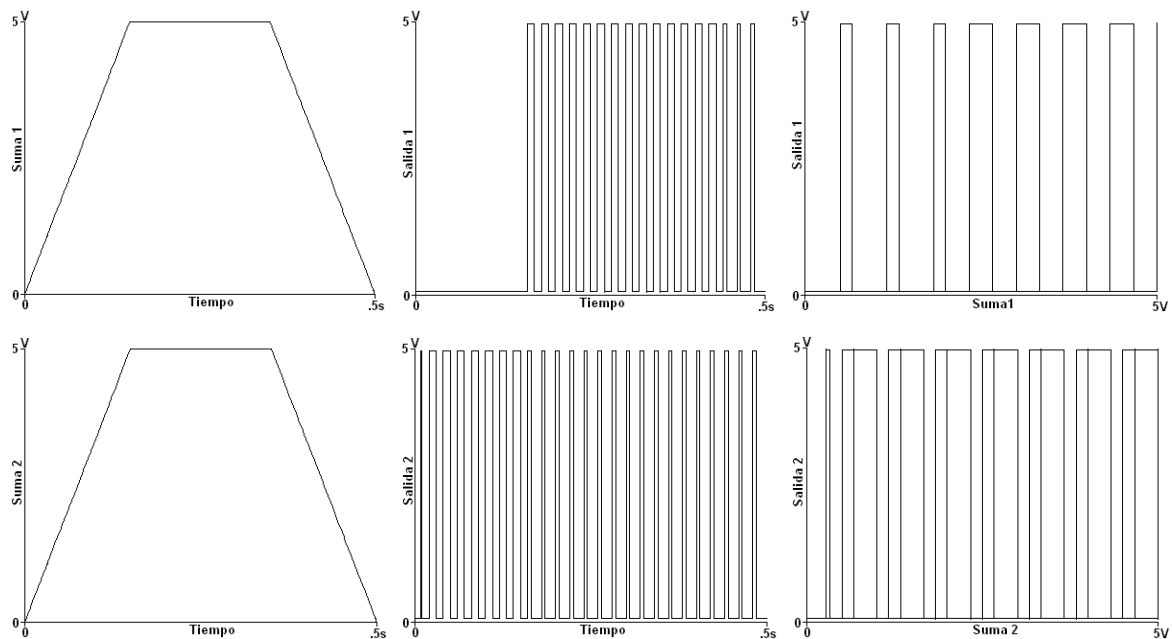


Figura 53. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 50ms$, $Ret2 = 5ms$.

5. Redes sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda

Dados los resultados de la sección anterior decidimos ver qué sucede si a las ráfagas les ponemos orden, es decir tenemos combinaciones de salidas con ráfagas y sin ráfagas. Repetiremos algunos de los experimentos realizados en la sección anterior para compararlos y estudiar lo que aporta el hecho de tener o no ráfagas.

Para realizar los experimentos con ráfagas tenemos tres opciones: La primera opción es que la primera neurona tenga ráfagas, pero la segunda neurona no; la segunda opción es que la primera neurona no tenga ráfagas pero la segunda sí, y la tercera opción es que las dos neuronas tengan salida de ráfagas que es la primera serie de experimentos que realizamos.

En este capítulo estudiaremos la segunda opción, es decir, tendremos una red en la cual la primera neurona no tendrá salida de ráfagas y la segunda tendrá una salida con ráfagas. En la figura 54, se muestra el diagrama de bloques de esta red

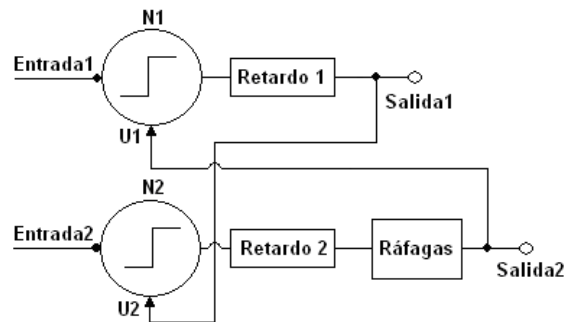


Figura 54. Diagrama de bloques de una red con la primera neurona con salida de ráfagas parabólicas y la segunda con salida de ráfagas simples.

En la figura 55 se muestra el diagrama esquemático de la red.

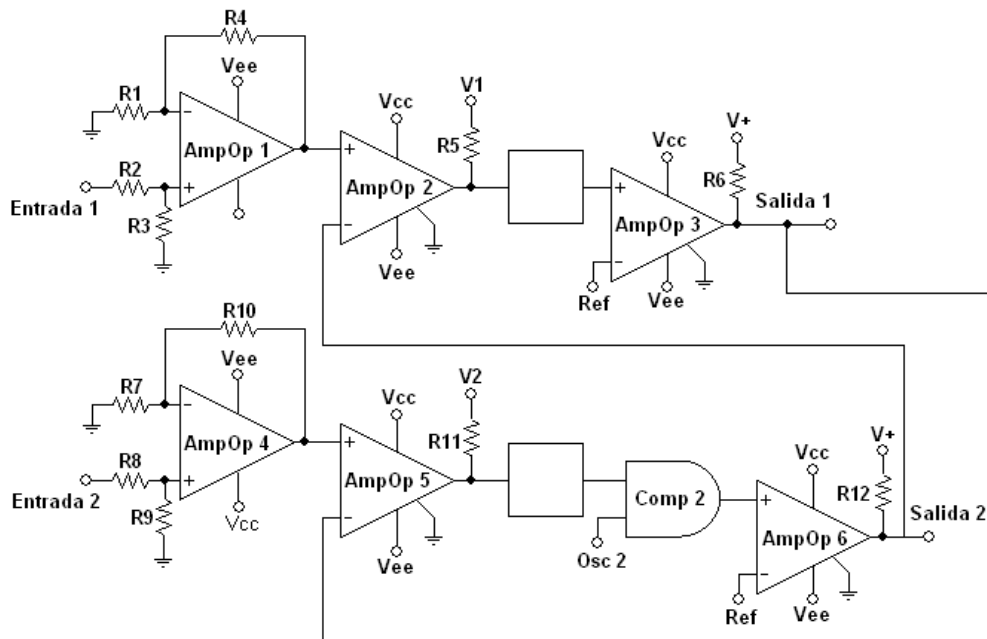


Figura 55. Diagrama esquemático de una red con la primera neurona con salida de ráfagas parabólicas y la segunda con salida de ráfagas simples.

6: Experimentos sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda

Nuestro primer experimento corresponderá a dos entradas senoides, por lo que los parámetros de la red serán: Entradas senoides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$. Los resultados se muestran en la figura 56.

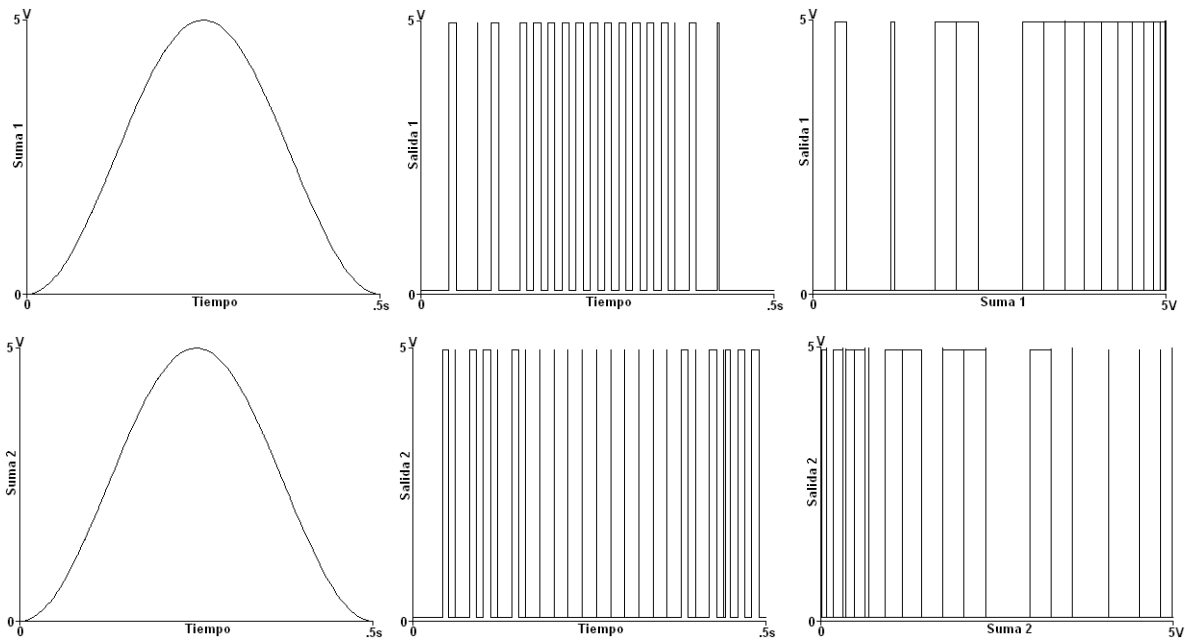


Figura 56. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

En el siguiente experimento emplearemos entradas triangulares, por lo que los parámetros de la red serán: Entradas Triangulares, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$. Los resultados se muestran en la figura 57.

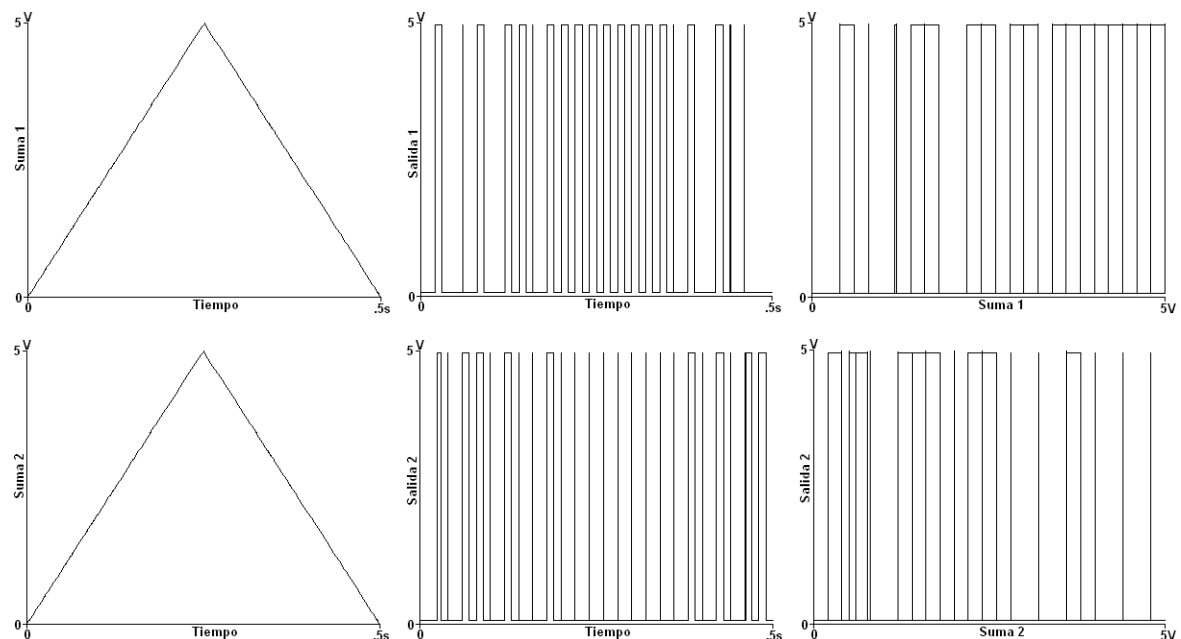


Figura 57. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangulares Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Nuestro siguiente experimento contempla dos señales de entrada romboides. Los parámetros de la red serán: Entradas romboides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$. Los resultados en la figura 58.

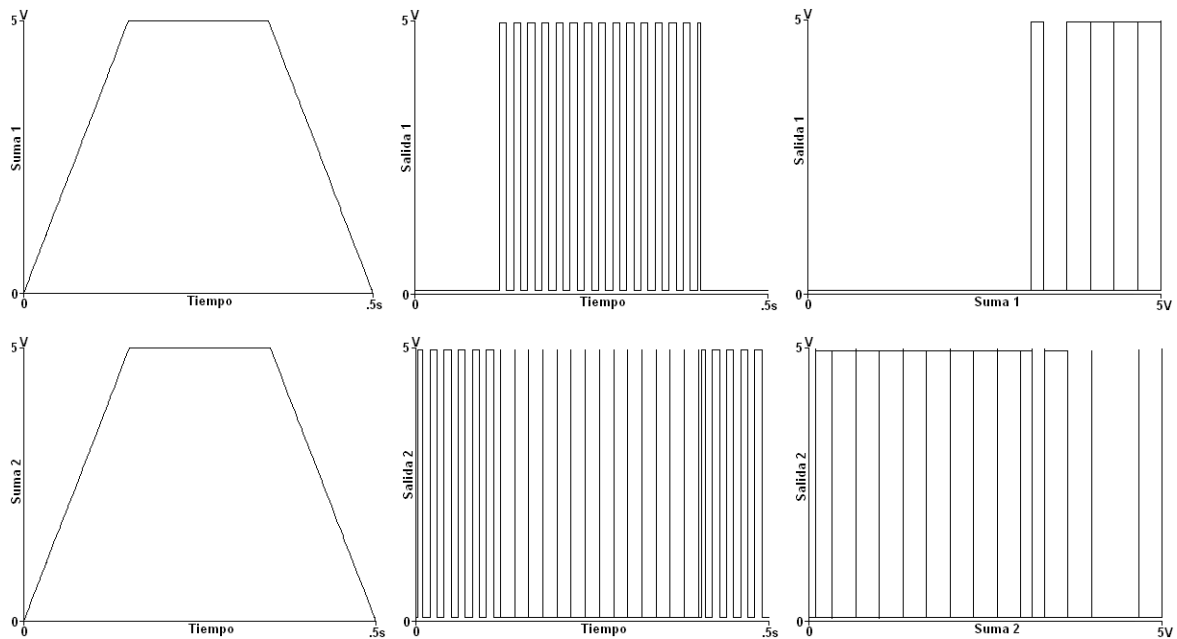


Figura 58. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Vamos a experimentar lo que pasa con la combinación de las entradas. En este experimento vamos a combinar una senoide con una triangular. Los demás parámetros no varían. Los resultados se muestran en la figura 59.

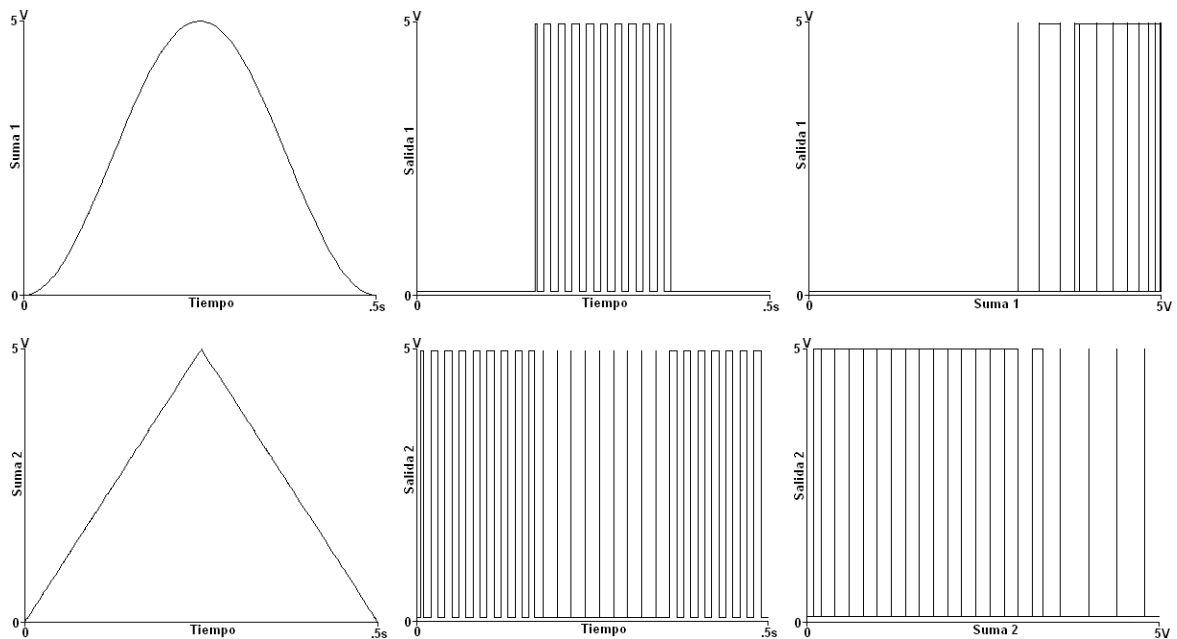


Figura 59. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

En nuestro siguiente experimento combinaremos una entrada senoide con una romboide, y obtendremos los resultados de la figura 60.

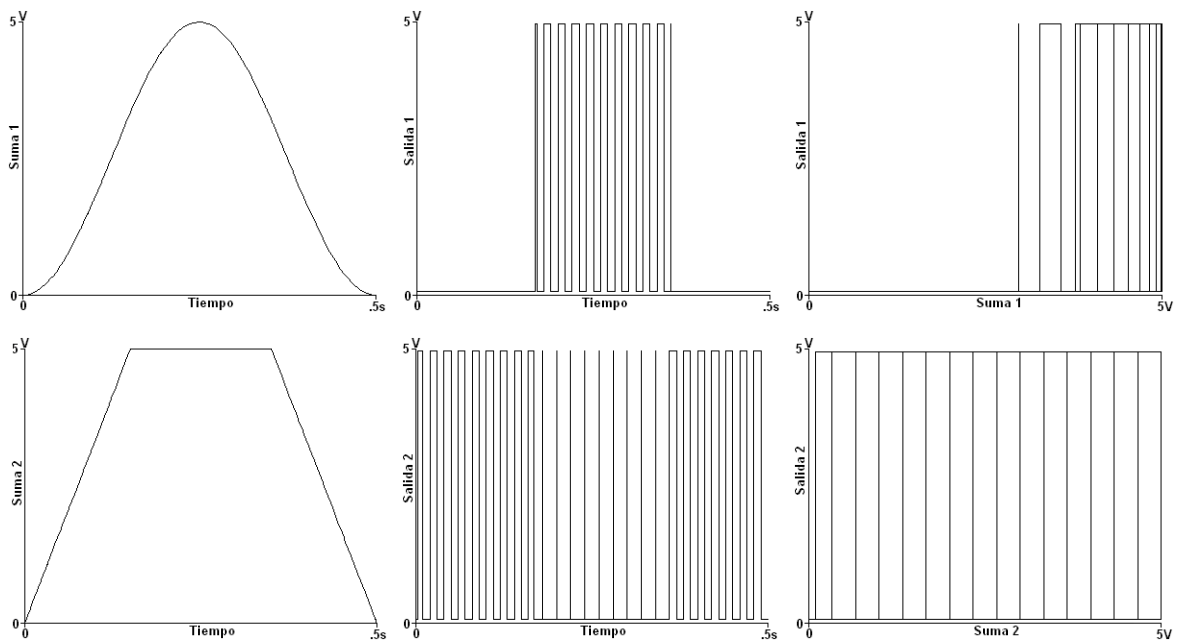


Figura 60. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y romboide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Por último experimento de este tipo vamos a trabajar con la combinación de entradas triangular y romboide. Los nuevos parámetros serán: Entradas triangular y romboide Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$. Los resultados se muestran en la figura 61.

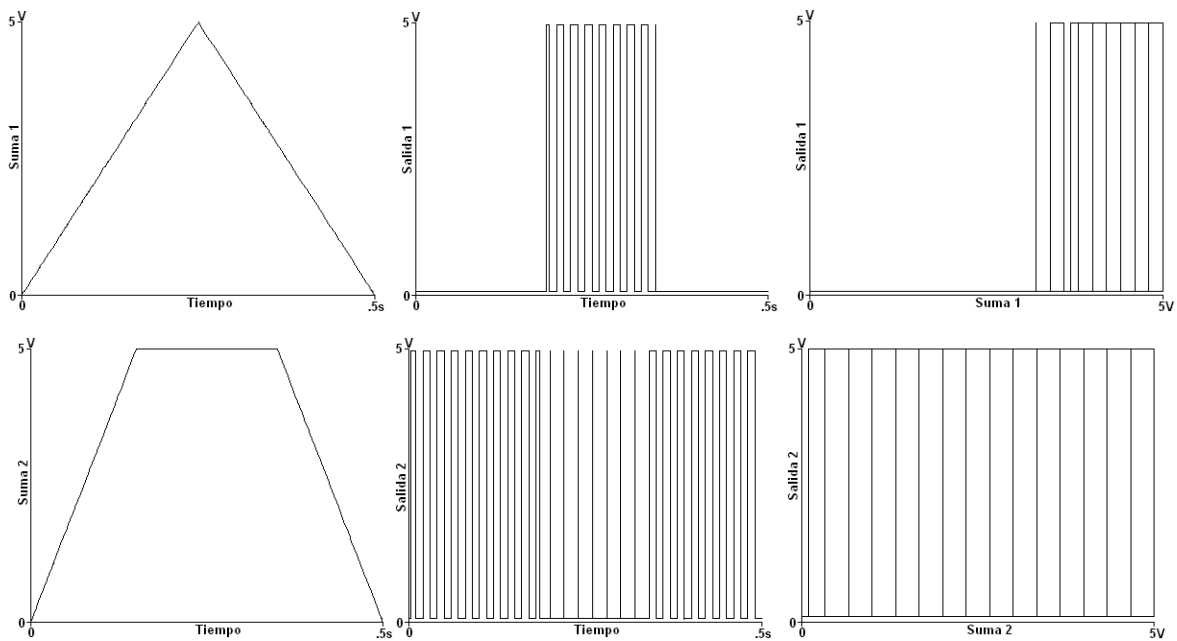


Figura 61. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y romboide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Los experimentos que haremos a continuación son aquellos en los cuales vamos a alternar las entradas. De esta manera vamos a tener los siguientes parámetros; Entradas triangular y senoide Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$. Los resultados son los de la figura 62.

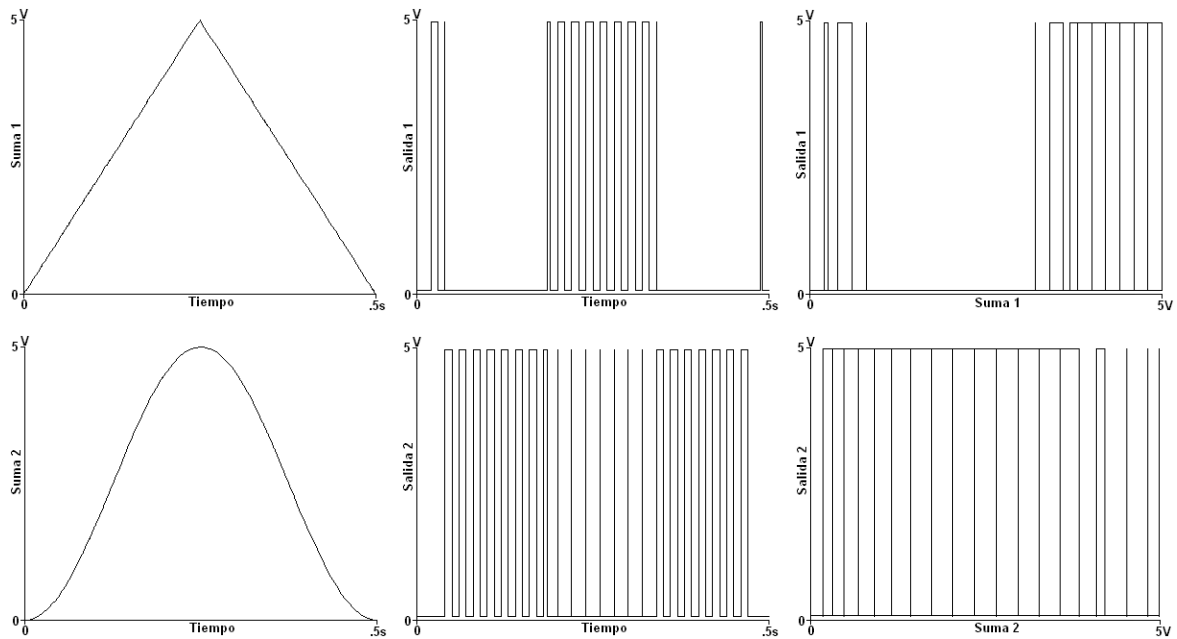


Figura 62. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

En nuestro siguiente experimento alternaremos las entradas senoide y romboide de tal forma que los parámetros serán: Entradas Romboide y senoide Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$. Los resultados en la figura 63.

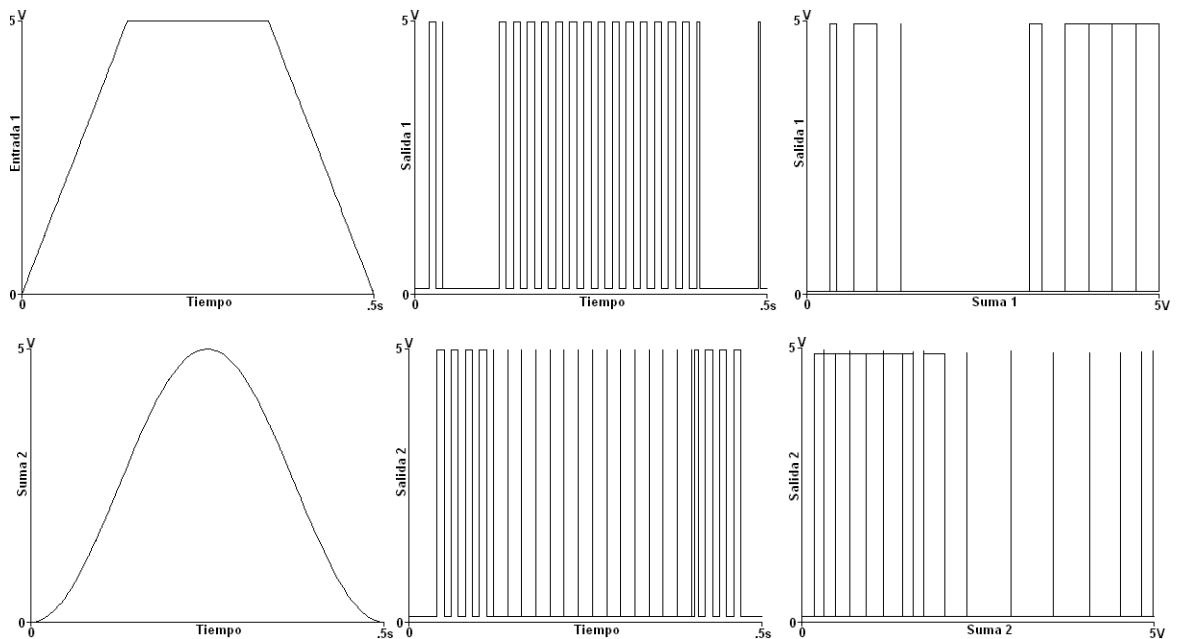


Figura 63. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y senoide, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

En el siguiente experimento tendremos por parámetros los siguientes: Entradas romboide y triangular Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$. La figura 64 muestra los resultados.

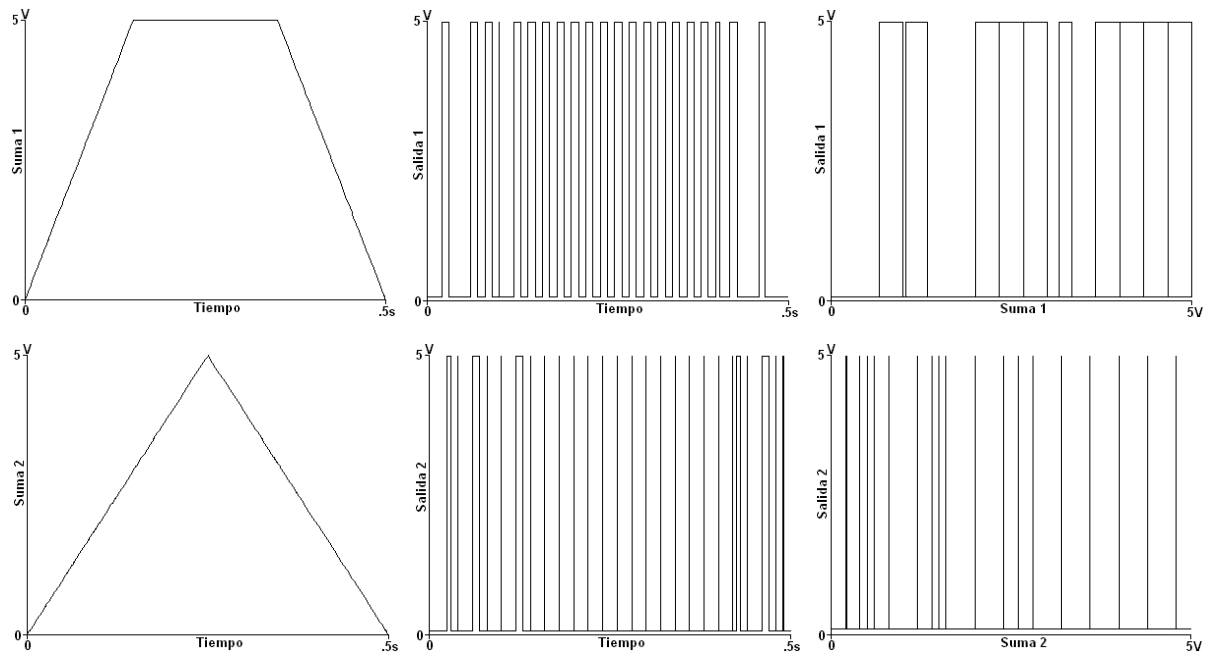


Figura 64. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 20ms$.

Vamos ahora a invertir los retardos de forma tal que la segunda neurona tenga un retardo menor. Los nuevos parámetros serán: Entradas senoides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 20ms$, $Ret2 = 10ms$. Los resultados son los de la figura 65.

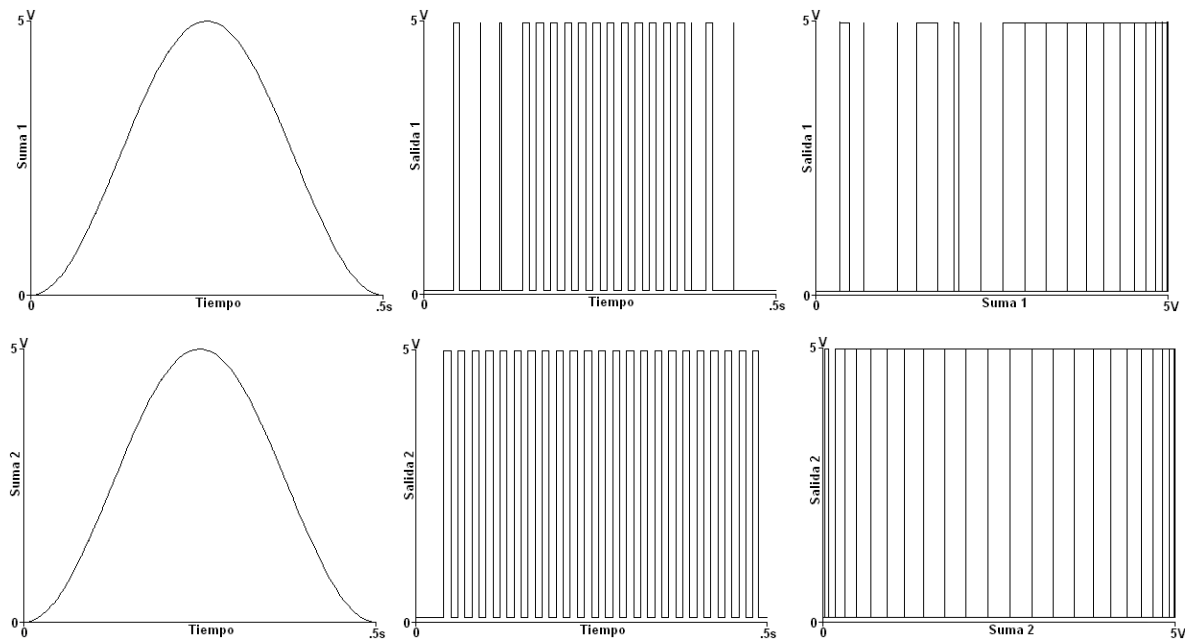


Figura 65. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 20ms$, $Ret2 = 10ms$.

Para entradas triangulares tendremos: Entradas Triangulares Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 20ms, Ret2 = 10ms. En la figura 66 se muestran los resultados.

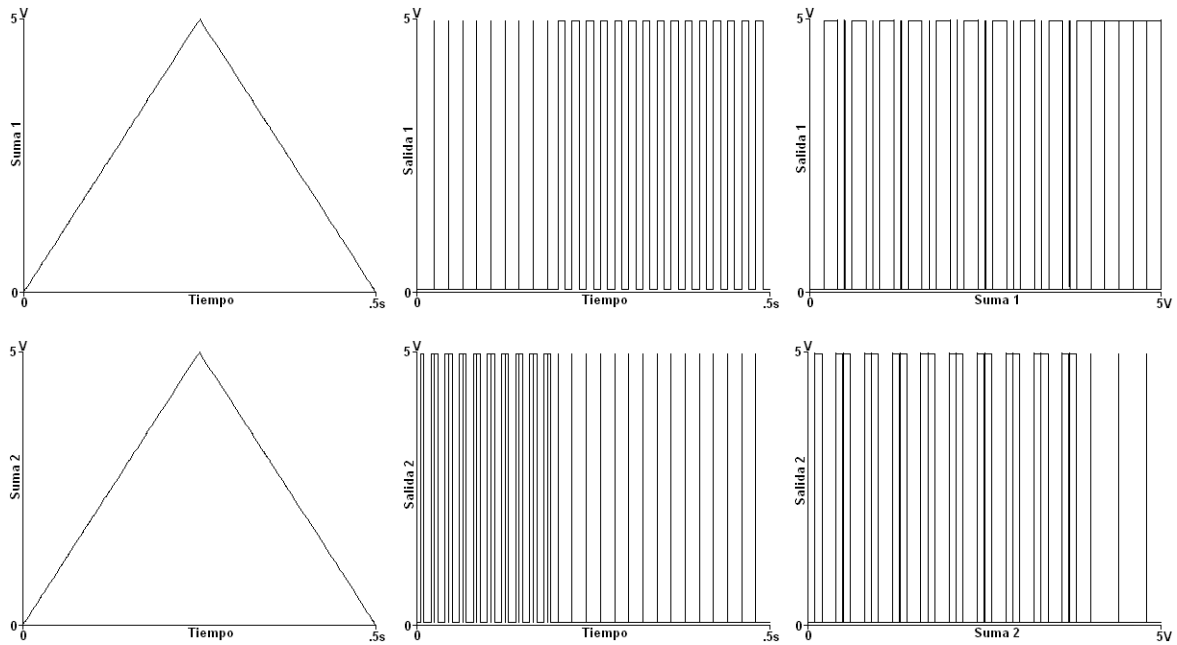


Figura 66. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangulares, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 20ms, Ret2 = 10ms.

Para entradas romboides tenemos: Entradas romboides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 20ms, Ret2 = 10ms. Los resultados son los que muestra la figura 67.

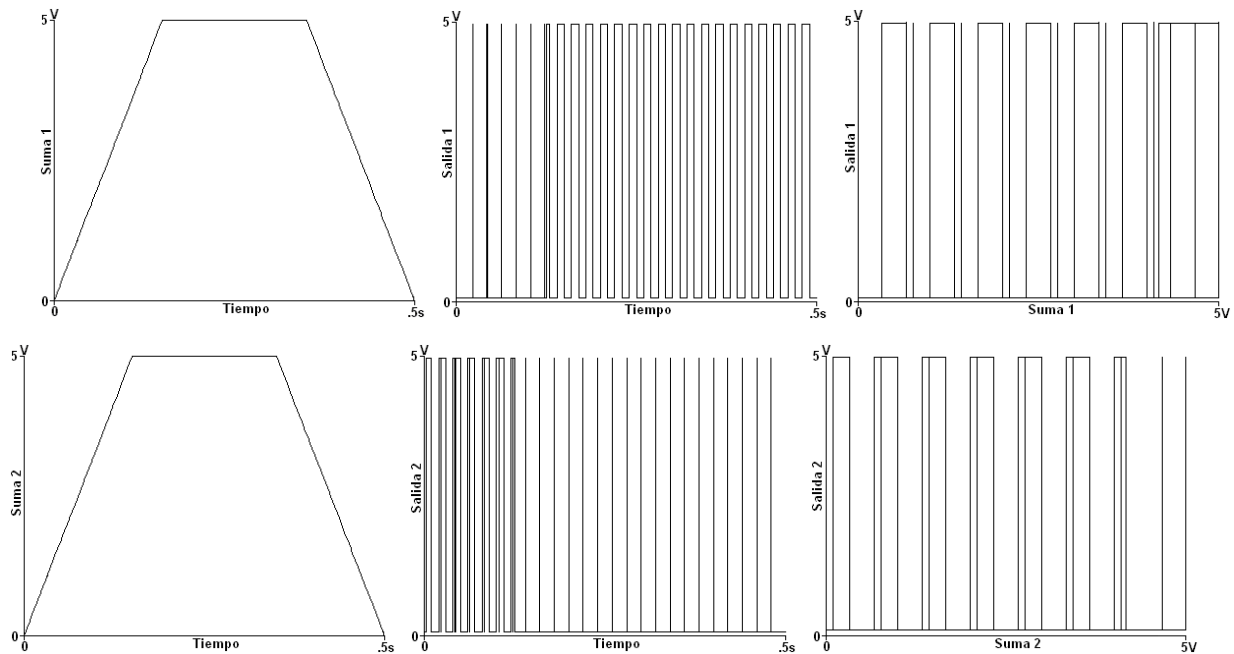


Figura 67. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 20ms, Ret2 = 10ms.

Vamos ahora a realizar experimentos en los cuales los retardos sean iguales. Para este experimento los parámetros serán: Entradas senoides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 10ms$. Los resultados se muestran en la figura 68.

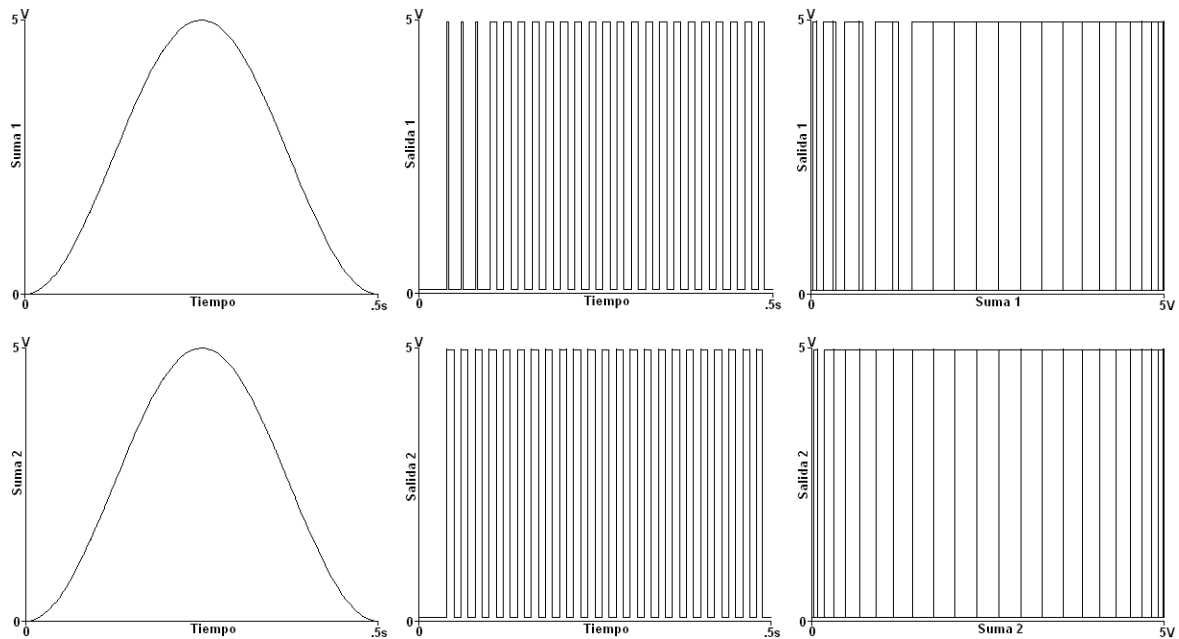


Figura 68. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

Para entradas triangulares tendremos los siguientes parámetros: Entradas Triangulares Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 10ms$. Los resultados son los de la figura 69.

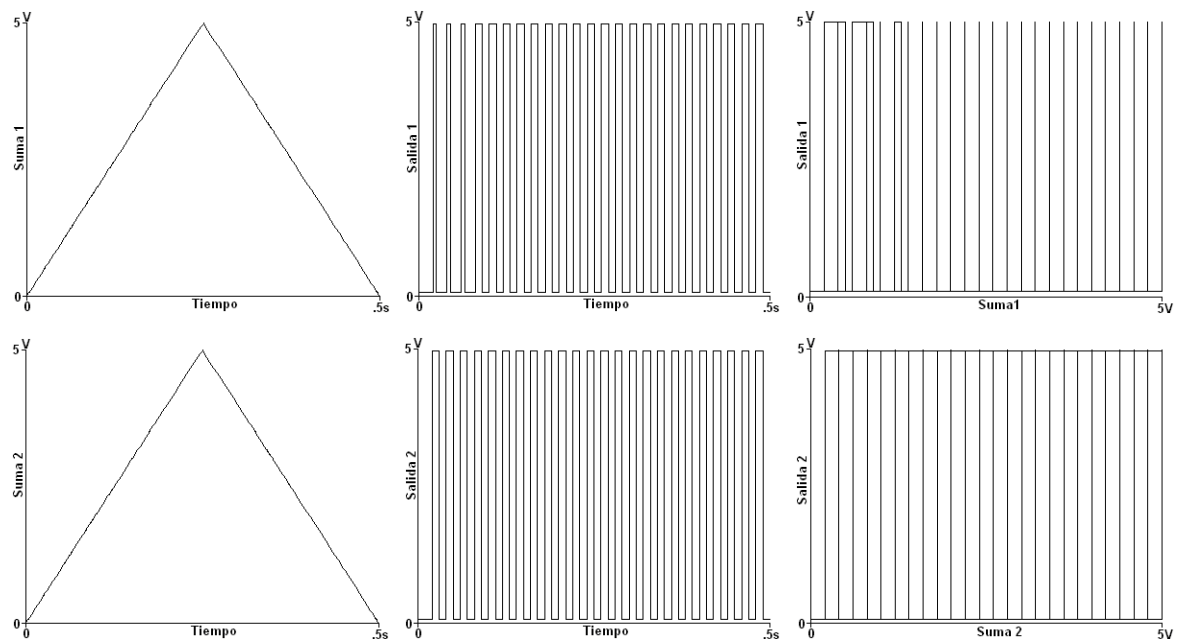


Figura 69. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangulares, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

Si las entradas son romboides tendremos los parámetros: Entradas romboides Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 10ms. Los resultados se muestran en la figura 70.

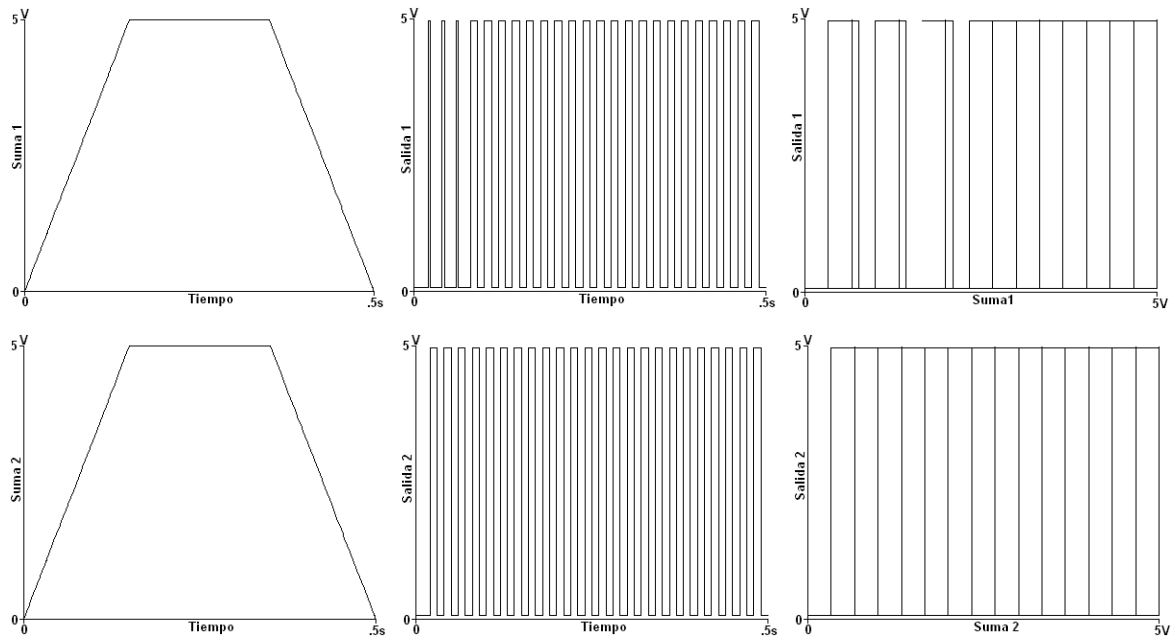


Figura 70. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = Ret2 = 10ms.

En los siguientes experimentos vamos a combinar las señales de entrada. Para este experimento los parámetros serán: Entradas senoide y triangular Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = 10ms, Ret2 = 10ms. Los resultados se muestran en la figura 71.

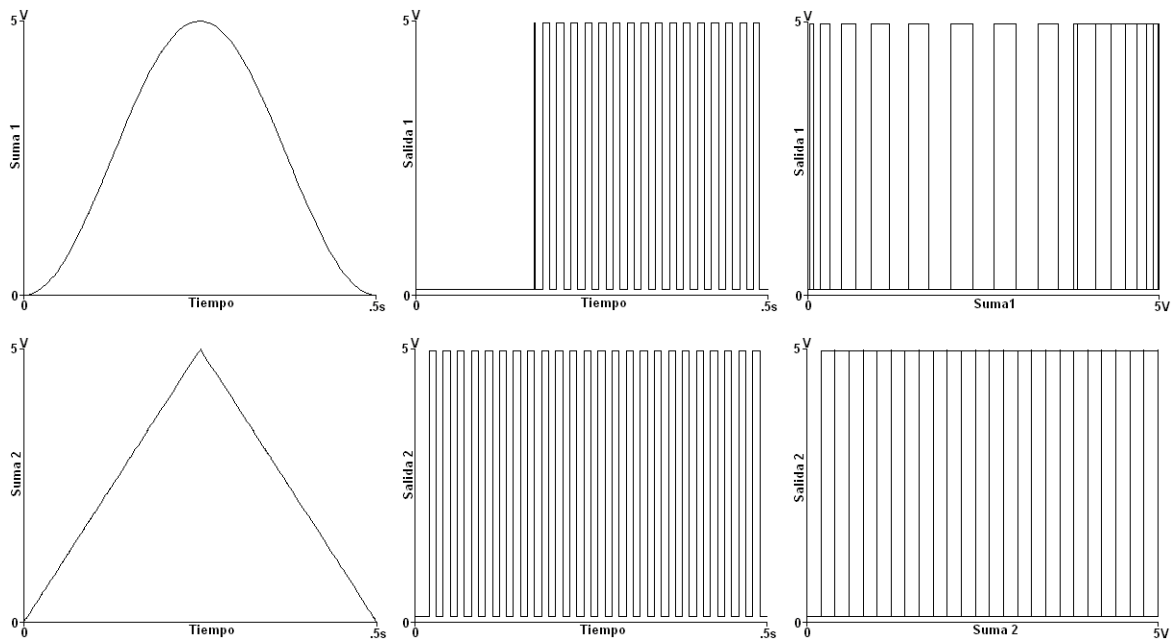


Figura 71. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Si alternamos las entradas, tendremos por parámetros: Entradas triangular y senoide Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 10ms. La figura 72 muestra los resultados.

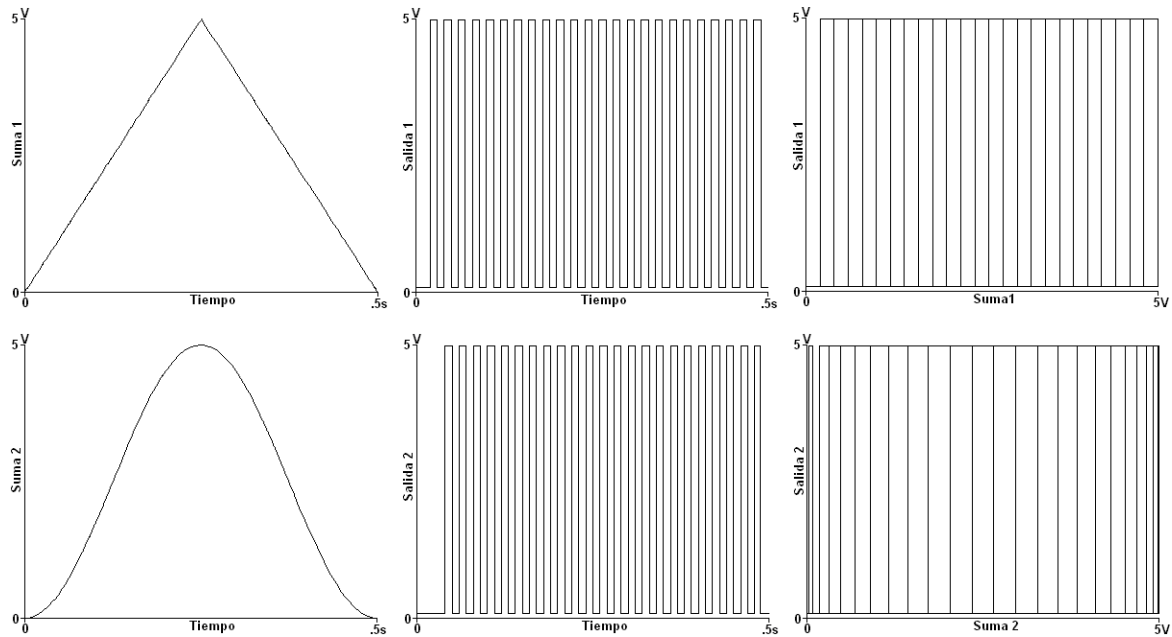


Figura 72. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y senoide, Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Para el caso de entradas senoide y romboide tendremos en el experimento los siguientes parámetros: Entradas senoide y Romboide Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 10ms. Los resultados se muestran en la figura 73.

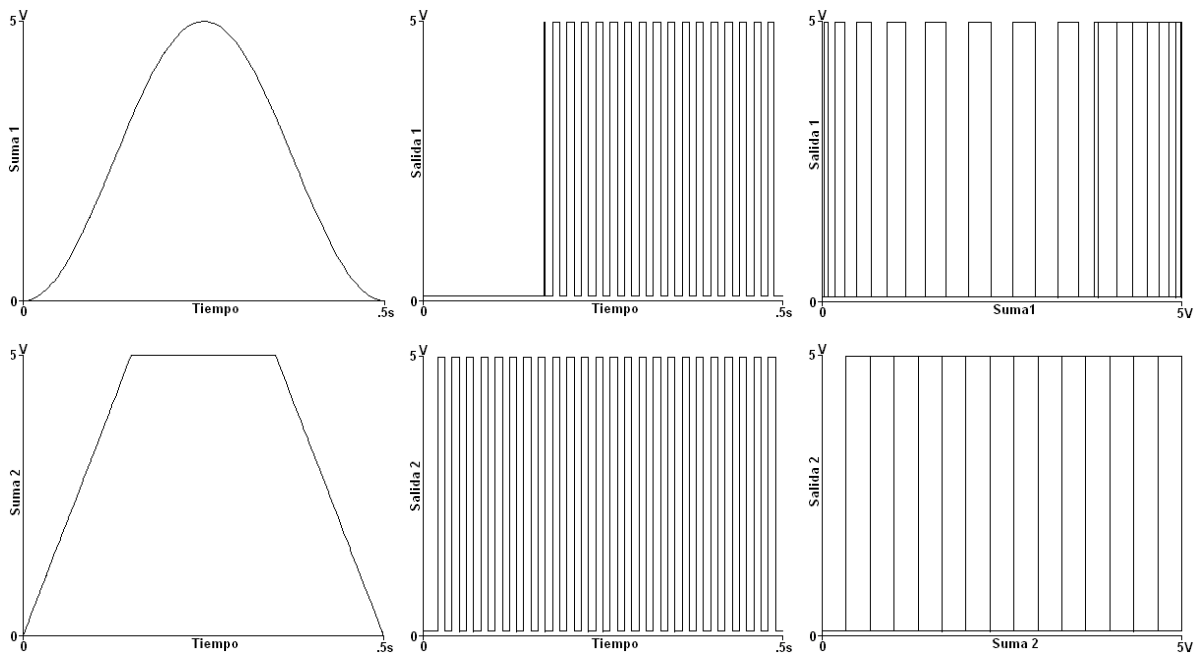


Figura 73. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y romboide, Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Volvemos a alternar las entradas y con eso los parámetros nuevos serán: Entradas Romboide y senoide Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 10ms. En la figura 74 se muestran los resultados.

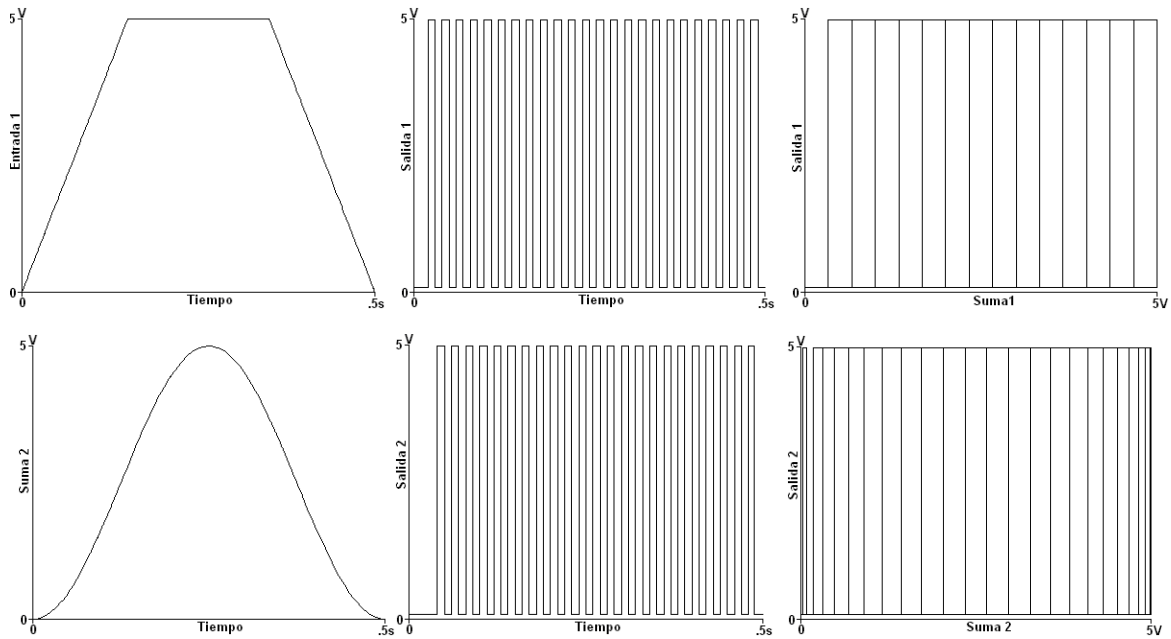


Figura 74. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y senoide, Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Para las entradas triangular y romboide tendremos los siguientes parámetros: Entradas triangular y romboide Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 10ms. Los resultados so los que se presentan en la figura 75.

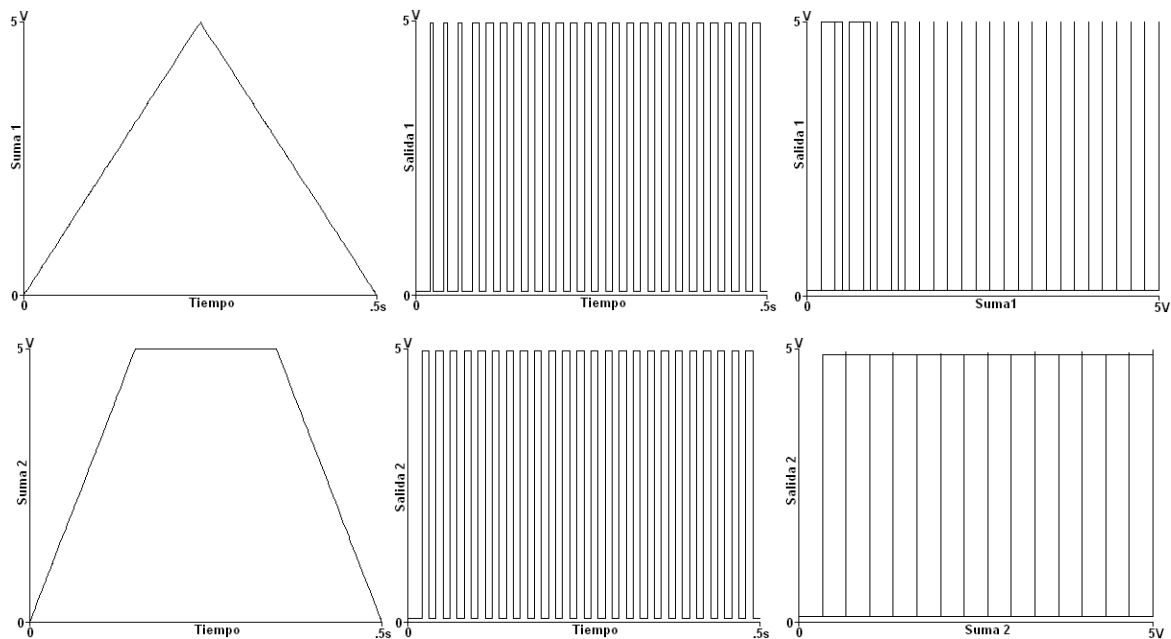


Figura 75. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y romboide, Amplitud = 5V, V1 = 5V, V2 = 5V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Si alternamos las entradas tendremos por nuevos parámetros los siguientes: Entradas romboide y triangular Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 10ms$, $Ret2 = 10ms$. En la figura 76 se muestran los resultados.

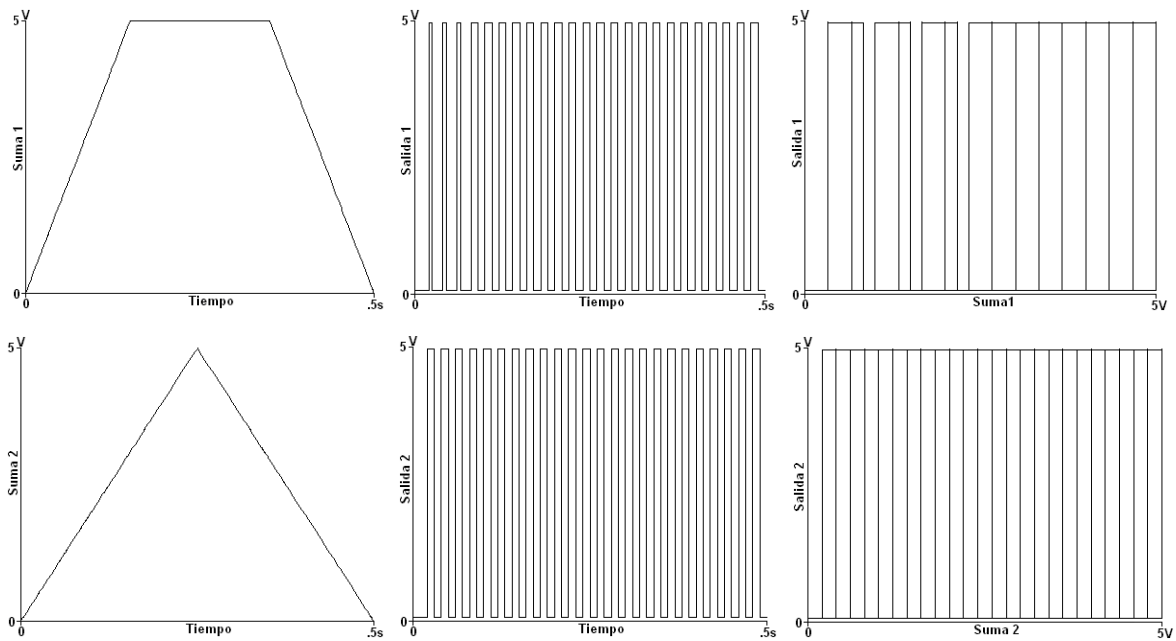


Figura 76. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y triangular, Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = Ret2 = 10ms$.

En los siguientes experimentos vamos a crecer el segundo retardo una razón 1:10 respecto del primero. Los parámetros del experimento serán: Entradas senoide Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$. Los resultados en la figura 77.

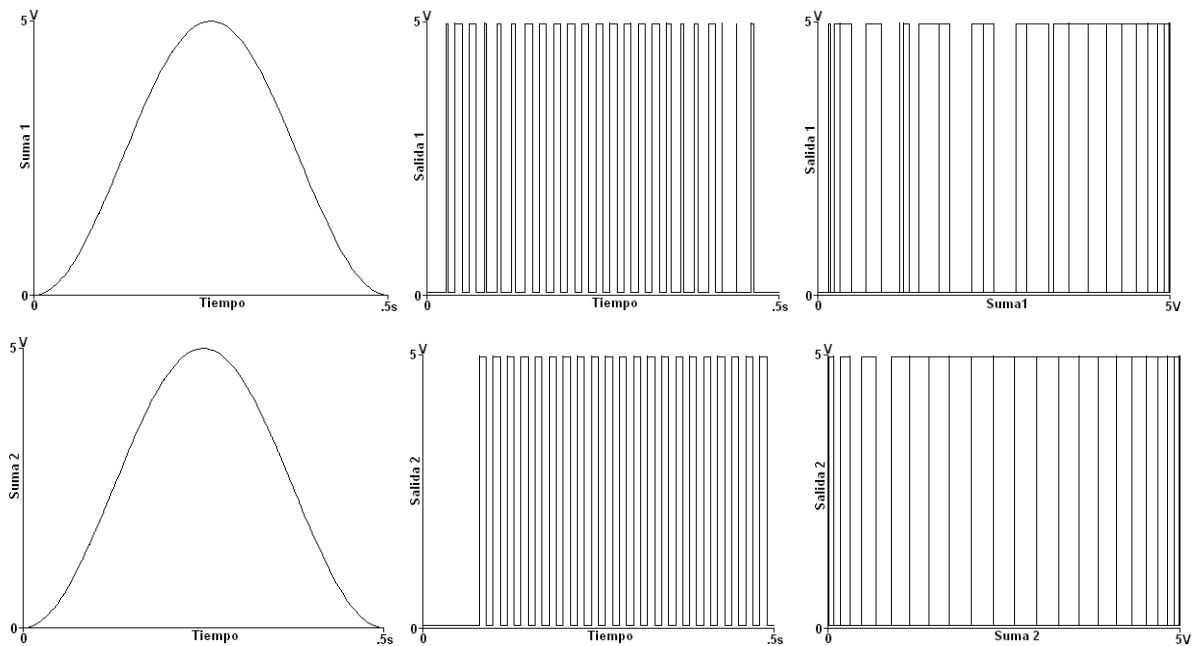


Figura 77. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide Amplitud = 5V, $V_1 = 5V$, $V_2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

Veremos lo que sucede en la red cuando con los mismos parámetros que en el experimento anterior cambiamos las entradas a triangulares. Los resultados de lo anterior se muestran en la figura 78.

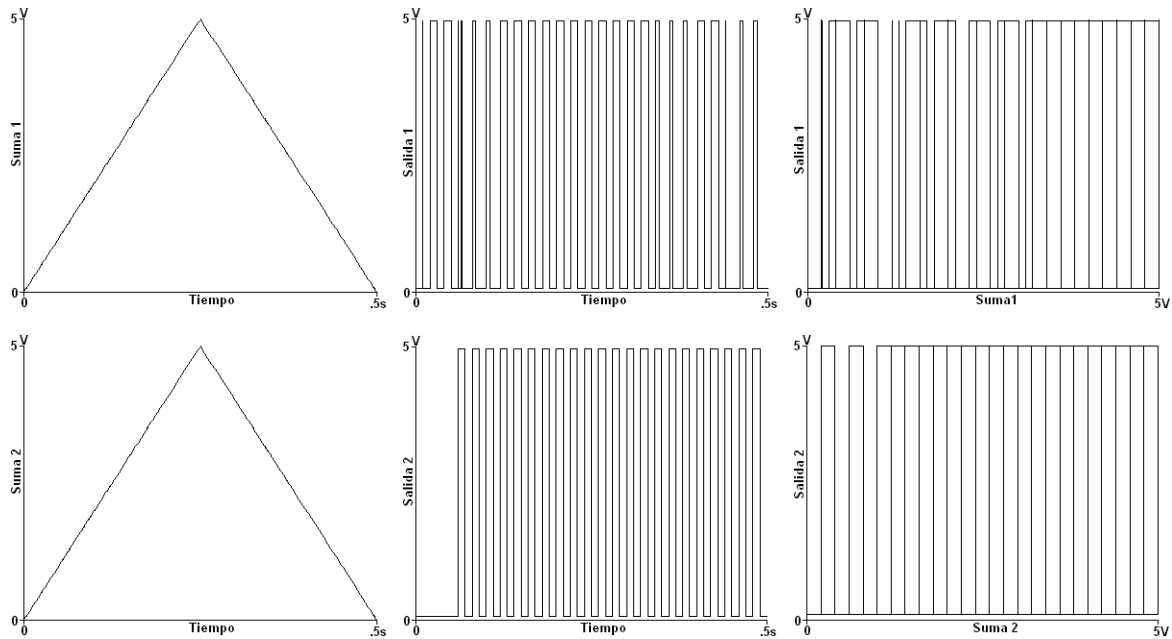


Figura 78. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangulares, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

Si cambiamos ahora por entradas romboides y dejamos todos los parámetros de la red sin cambiar, los nuevos parámetros serán: Entradas romboides Ampl. = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$. Los resultados se muestran en la figura 79.

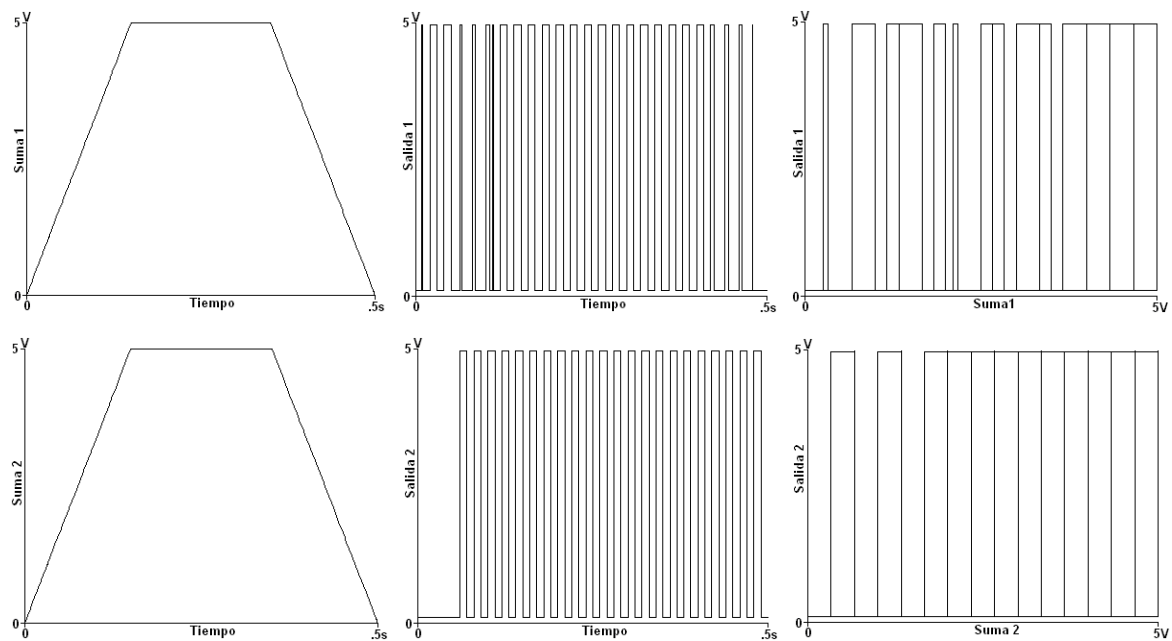


Figura 79. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboides, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

Veamos lo que sucede si ahora combinamos entradas sin cambiar los parámetros de la red. El primer experimento será la combinación de entradas senoide con triangular. Los resultados se presentan en la figura 80.

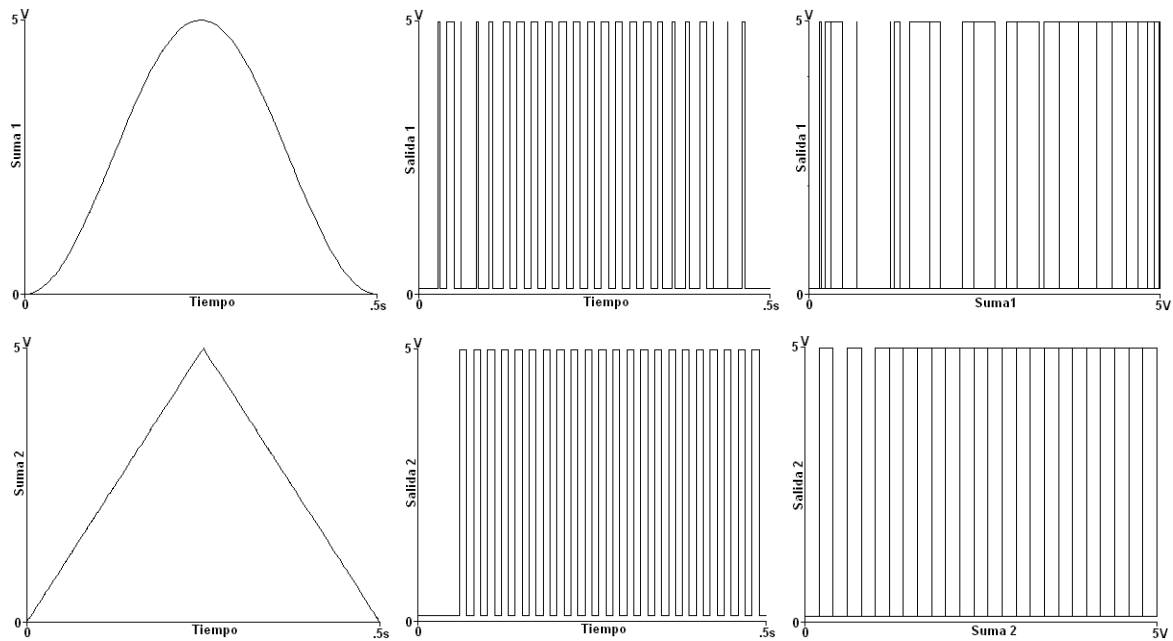


Figura 80. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y triangular, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

La siguiente combinación de entradas será la de senoide y romboide. Los demás parámetros de la red se mantienen invariantes y los resultados se presentan en la figura 81.

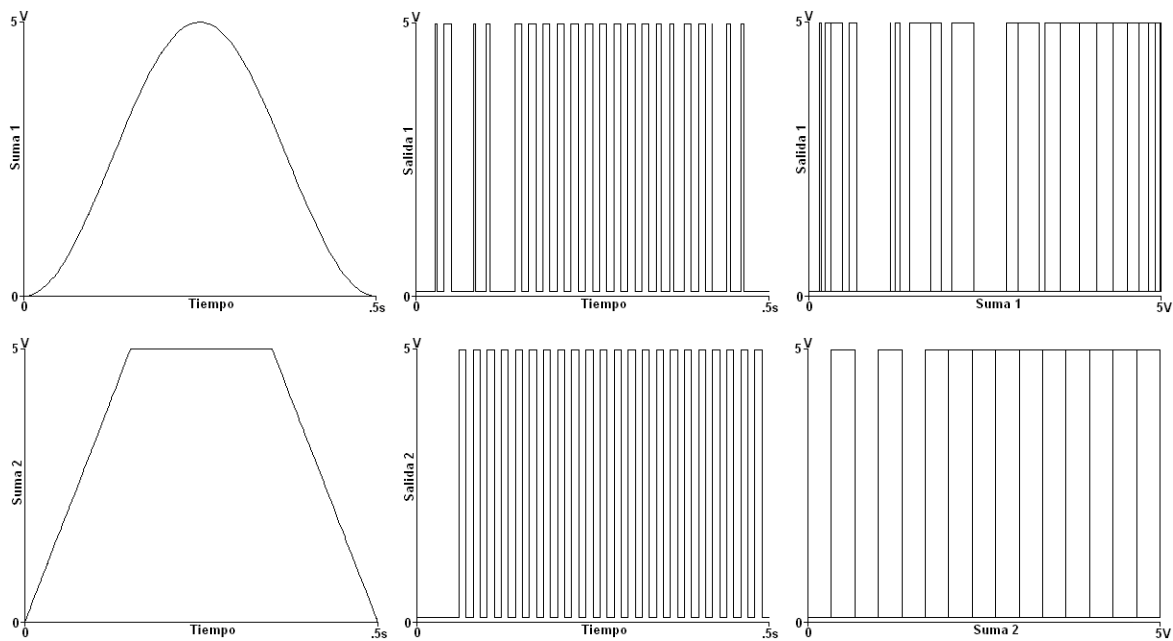


Figura 81. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide y romboide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

La última combinación de entradas será la combinación de una triangular con una romboide. Todos los demás parámetros de la red se mantienen sin cambio. Los resultados en la figura 82.

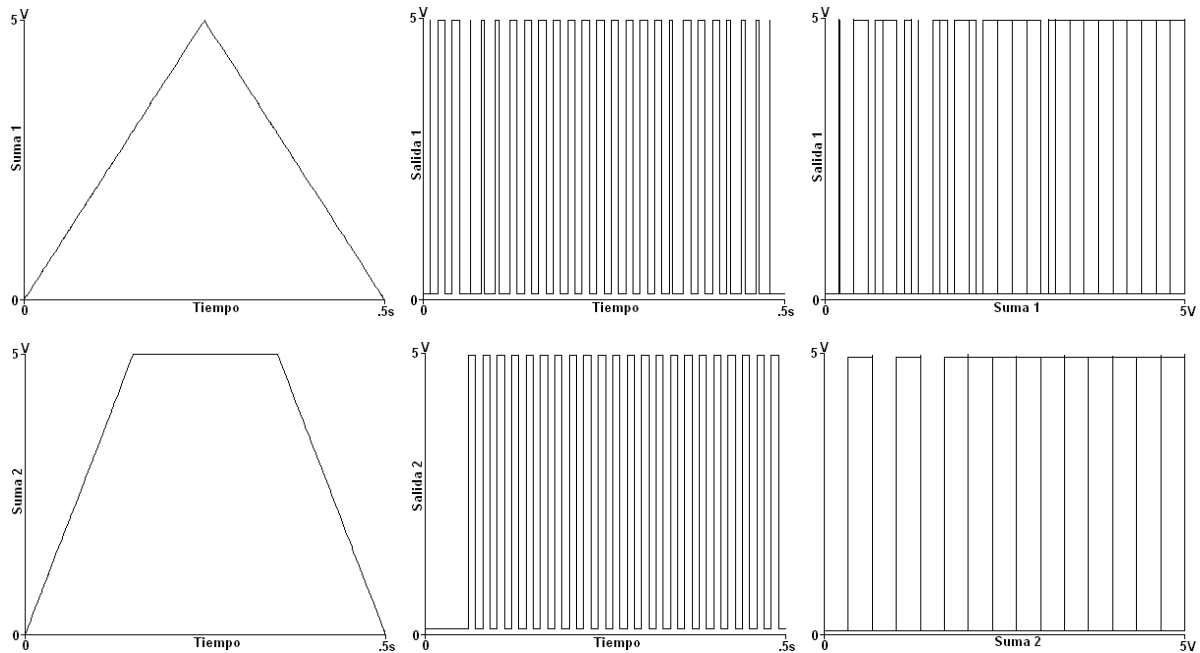


Figura 82. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y romboide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

Para los mismos parámetros de la red, ahora vamos a alternar las entradas, así la primera alternancia nos dará la combinación triangular con senoide. Los resultados se muestran en la figura 83.

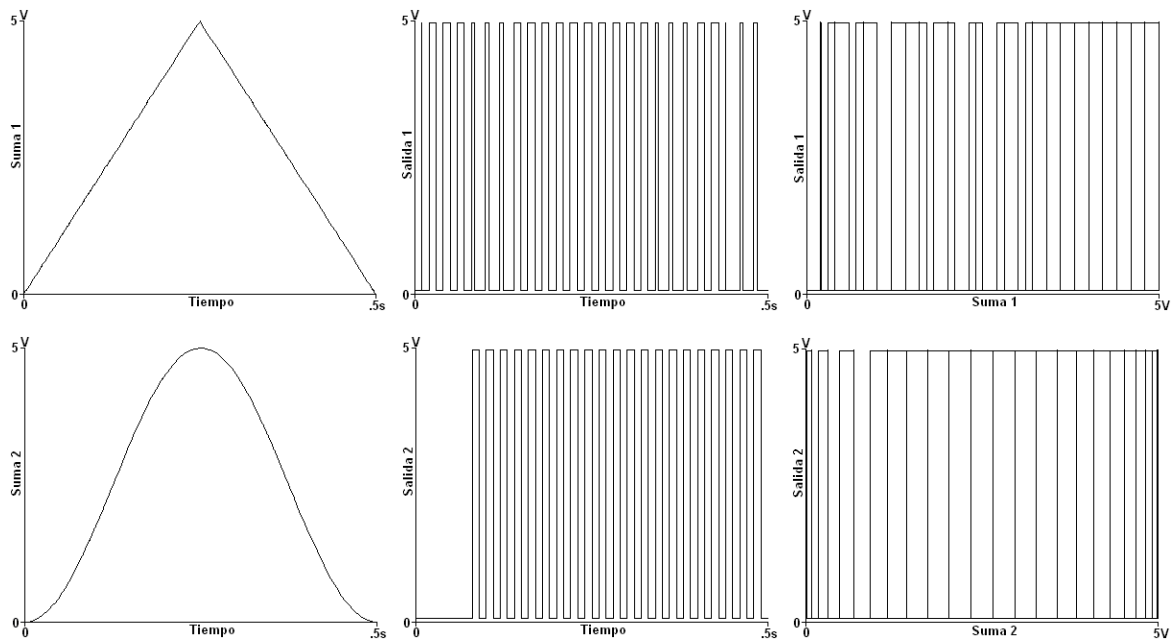


Figura 83. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular y senoide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

La segunda alternancia de entradas nos dará la combinación romboide senoide. Los demás parámetros de la red no cambian, y en la figura 84, se muestran los resultados del experimento de alternancia de entradas.

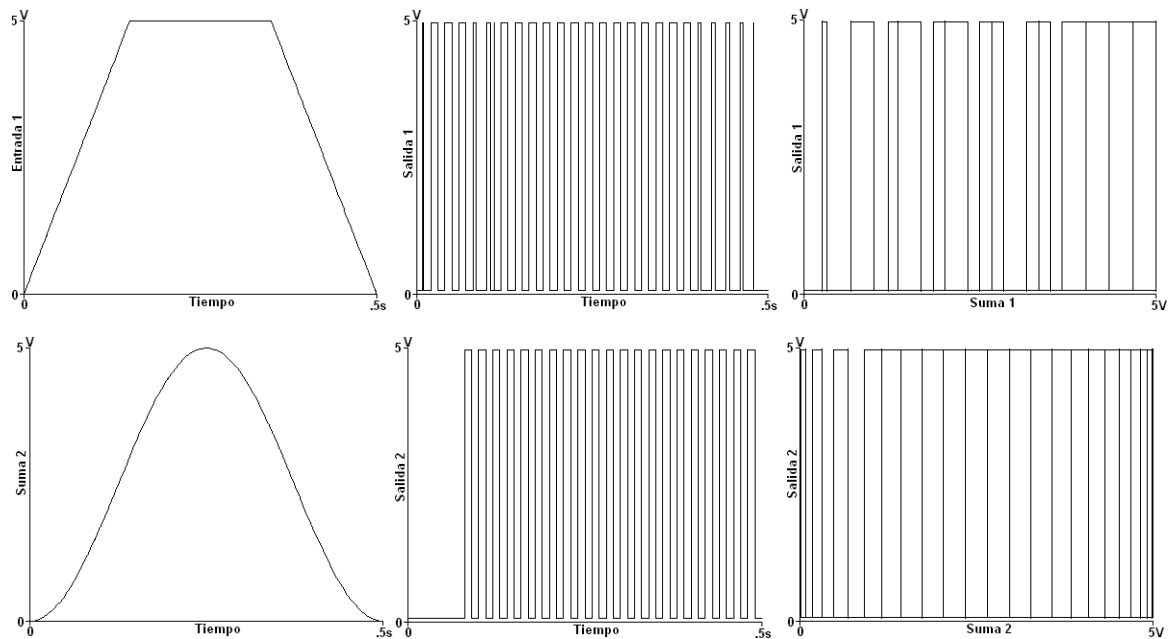


Figura 84. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y senoide, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

La última de las alternancias de entrada es la que nos da la combinación romboide triangular. Los demás parámetros de la red se mantienen sin cambiar. Los resultados del experimento se muestran en la figura 85.

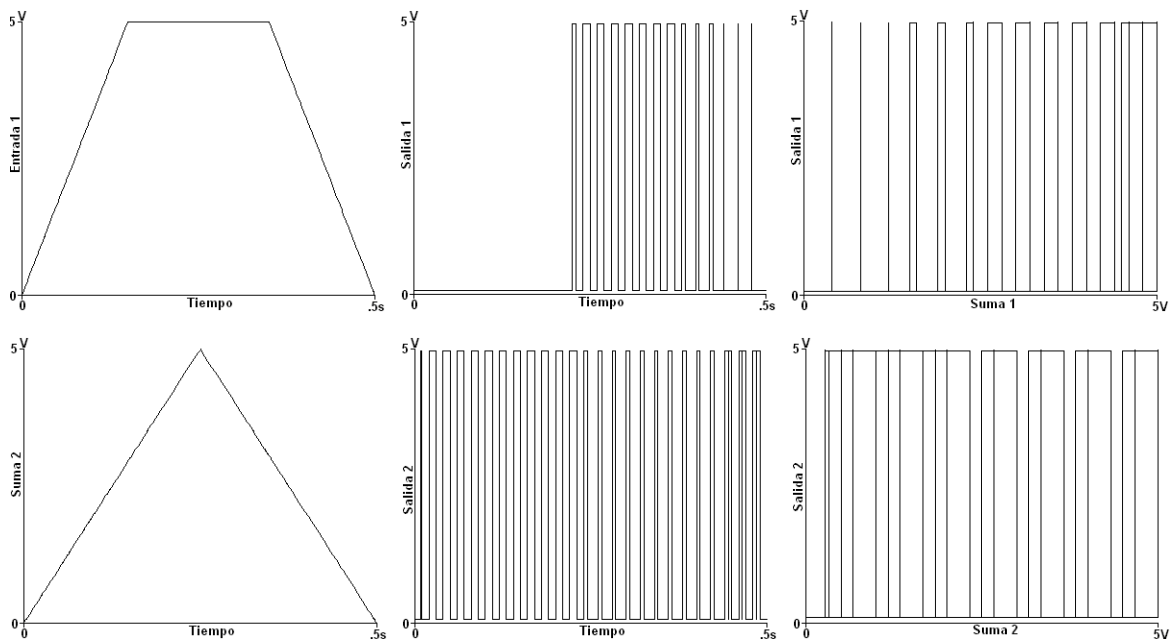


Figura 85. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide y triangular, Amplitud = 5V, $V1 = 5V$, $V2 = 5V$, $Ret1 = 5ms$, $Ret2 = 50ms$.

7. Redes sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda

Dados los resultados de los capítulos anteriores decidimos ver qué sucede si seguimos una neurona de la otra de tal manera que la red tenga una sola entrada y una sola salida. Tenemos combinaciones de salidas con ráfagas y sin ráfagas. Repetiremos algunos de los experimentos realizados en las secciones anterior para compararlos y estudiar lo que aporta el hecho de seguir una neurona de la otra.

Para realizar los experimentos con ráfagas tenemos tres opciones: La primera opción es que la primera neurona tenga ráfagas, pero la segunda neurona no; la segunda opción es que la primera neurona no tenga ráfagas, pero la segunda sí, y la tercera opción es que las dos neuronas tengan salida de ráfagas.

En este capítulo estudiaremos una red en la cual la primera neurona no tendrá salida de ráfagas y la segunda tendrá una salida con ráfagas. En la figura 86, se muestra el diagrama de bloques de esta red

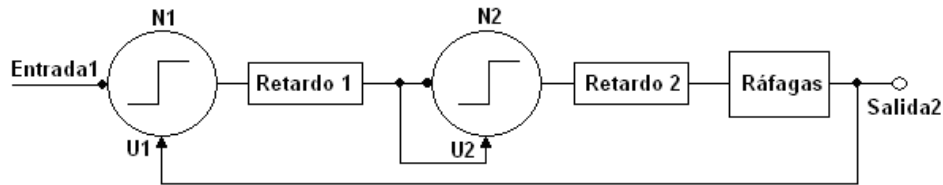


Figura 86. Diagrama de bloques de una red con la primera neurona sin salida de ráfagas parabólicas y la segunda con salida de ráfagas simples.

En la figura 87 se muestra el diagrama esquemático de la red.

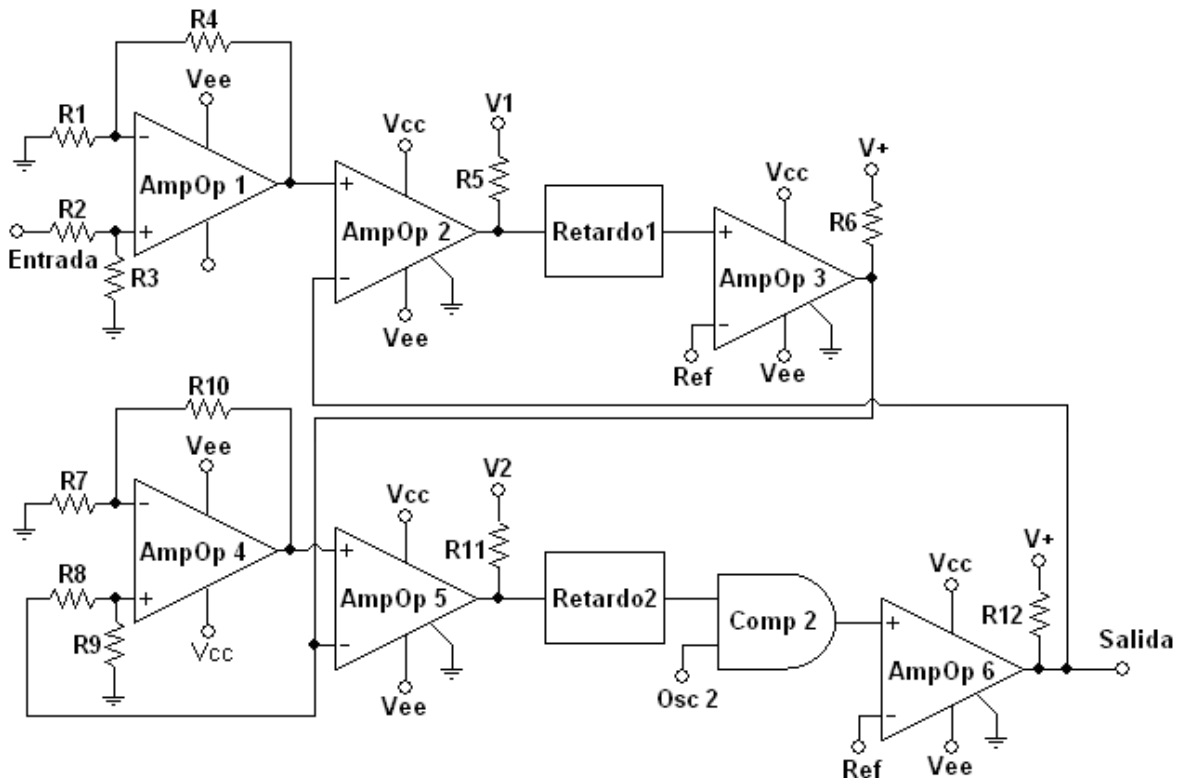


Figura 87. Diagrama esquemático de una red con la primera neurona con salida de ráfagas parabólicas y la segunda con salida de ráfagas simples.

8. Experimentos sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda

En este primer experimento tendremos que la salida de la primera neurona no tiene ráfagas, mientras que la salida de la segunda neurona es con ráfagas. Los parámetros de la red serán: Entrada senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Retardo1 = Retardo2 = 10 ms. Los resultados en la figura 88.

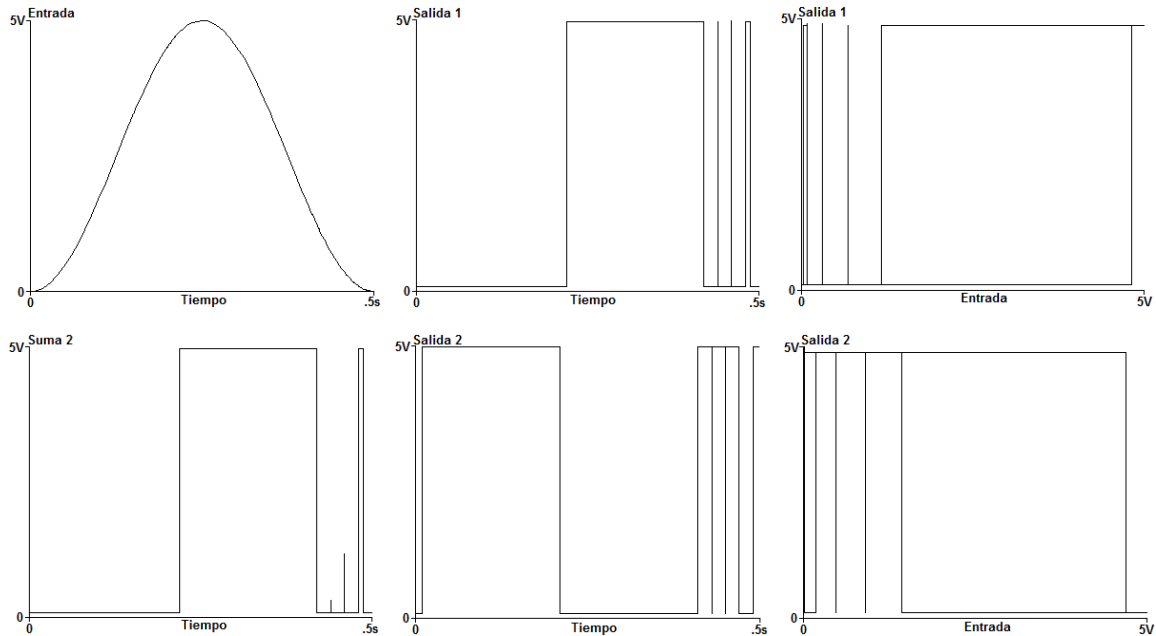


Figura 88. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

En nuestro siguiente experimento sólo cambiamos la entrada a una señal triangular, los demás parámetros permanecieron iguales. Los resultados en la figura 89.

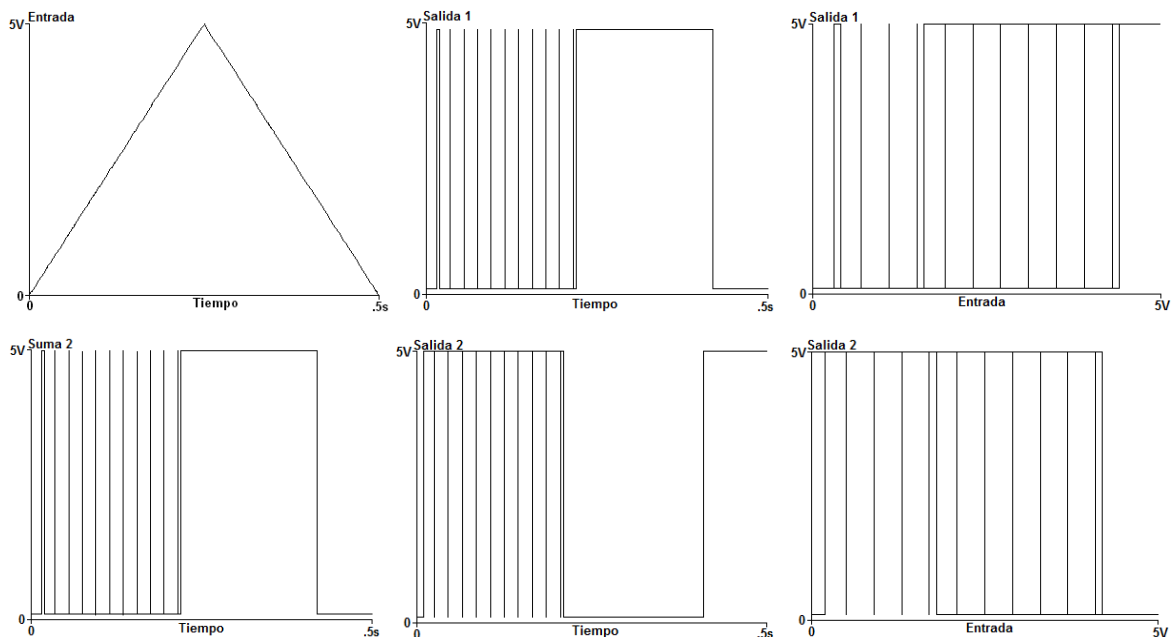


Figura 89. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

En nuestro siguiente experimento sólo cambiamos la entrada a una señal romboide, los demás parámetros permanecieron iguales. Los resultados se muestran en la figura 90.

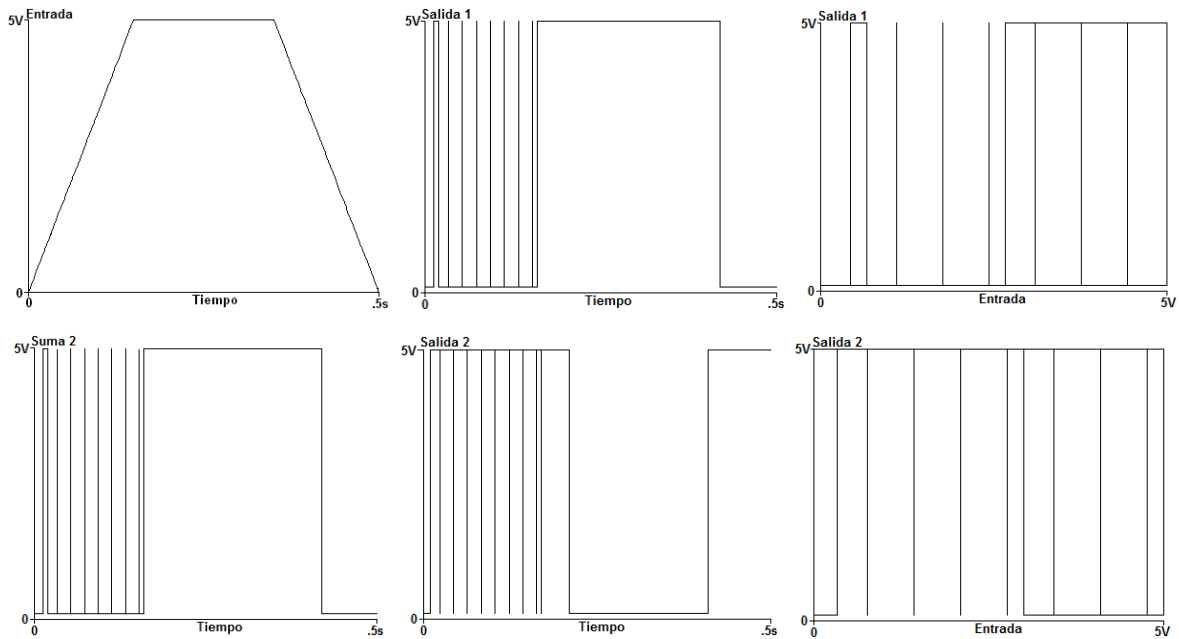


Figura 90. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Dentro de los parámetros de la red que podemos cambiar tenemos los retardos de las neuronas. Dadas las formas de disparo y las entradas al sistema los umbrales de las neuronas darían poca información, ya que están controlados por las salidas de las neuronas contrapuestas. Para los siguientes experimentos veremos que sucede cuando cambiamos los retardos. En nuestro primer experimento el retardo 1 = 5ms y el retardo2 = 10ms. La entrada será una senoide. Los resultados se muestran en la figura 91.

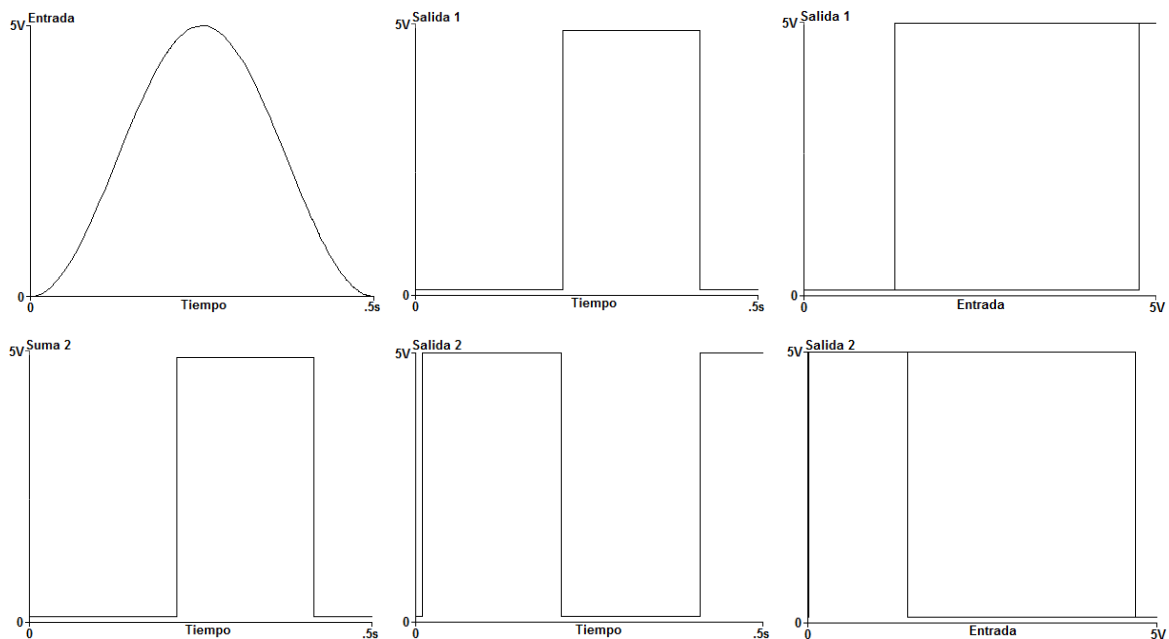


Figura 91. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms.

Con los mismos parámetros de la red pero con una entrada triangular, los resultados que obtenemos los muestra la figura 92.

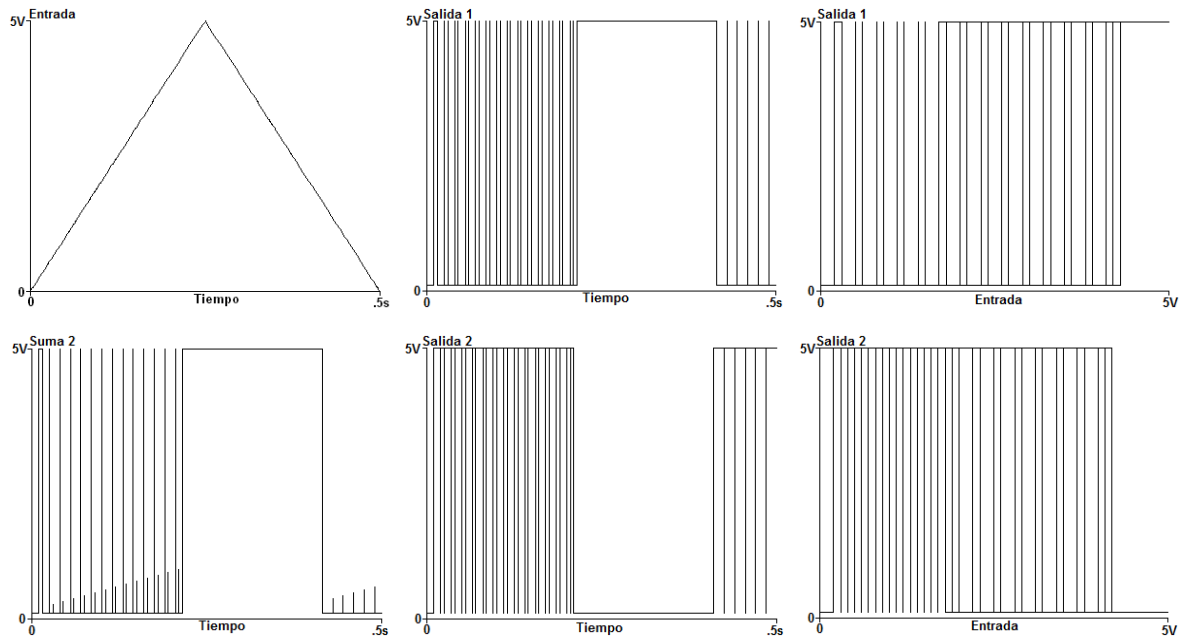


Figura 92. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms.

Vamos ahora a cambiar la entrada por una señal romboide. Los parámetros de la red van a ser: Entradas romboide, Amplitud = 5V, Ref1 = 5V, Ref2 = 5V, Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms. Los resultados se muestran en la figura 93.

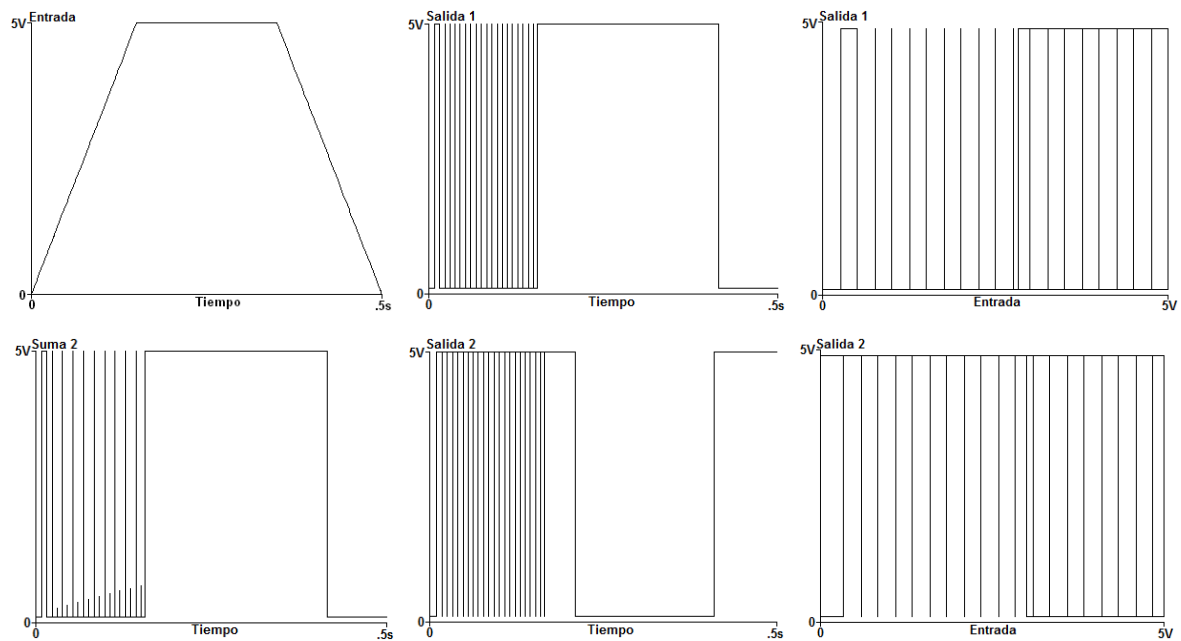


Figura 93. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 5V, Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms.

Vamos a alternar los retardos de tal manera que ahora el primer retardo sea de 10 ms y el segundo retardo sea de 5 ms. Los demás parámetros de la red se mantienen sin cambio. Así para una entrada senoide tendremos por resultados los que se muestran en la figura 94.

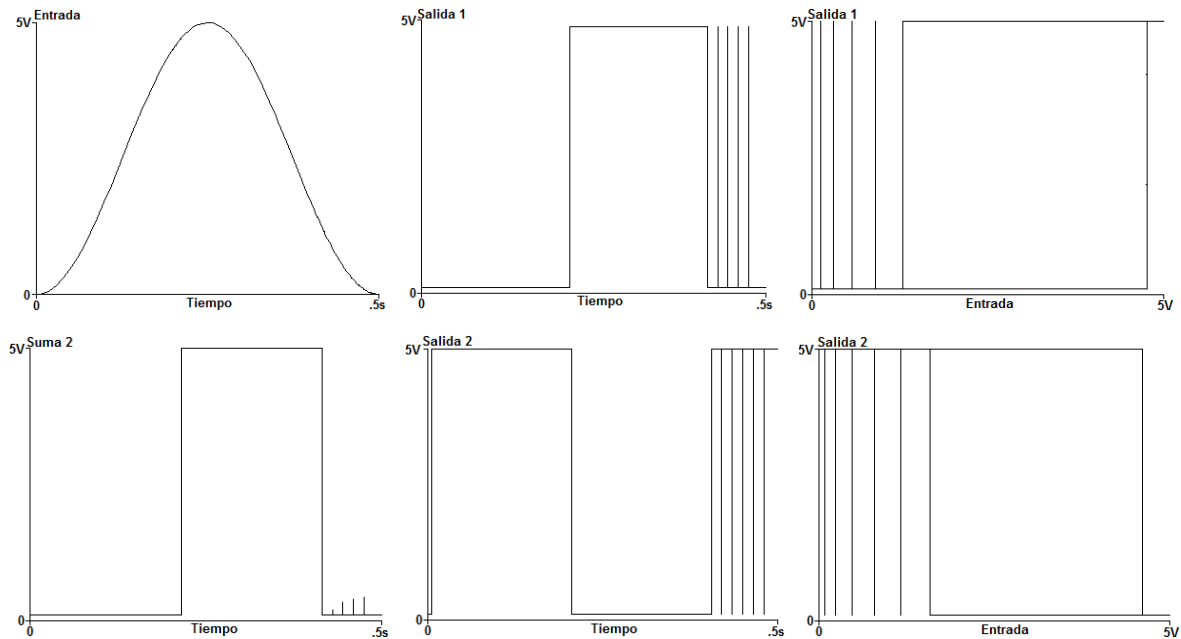


Figura 94. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 5V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 5ms.

Para una entrada triangular con los mismos parámetros para la red, tendremos los resultados de la figura 95.

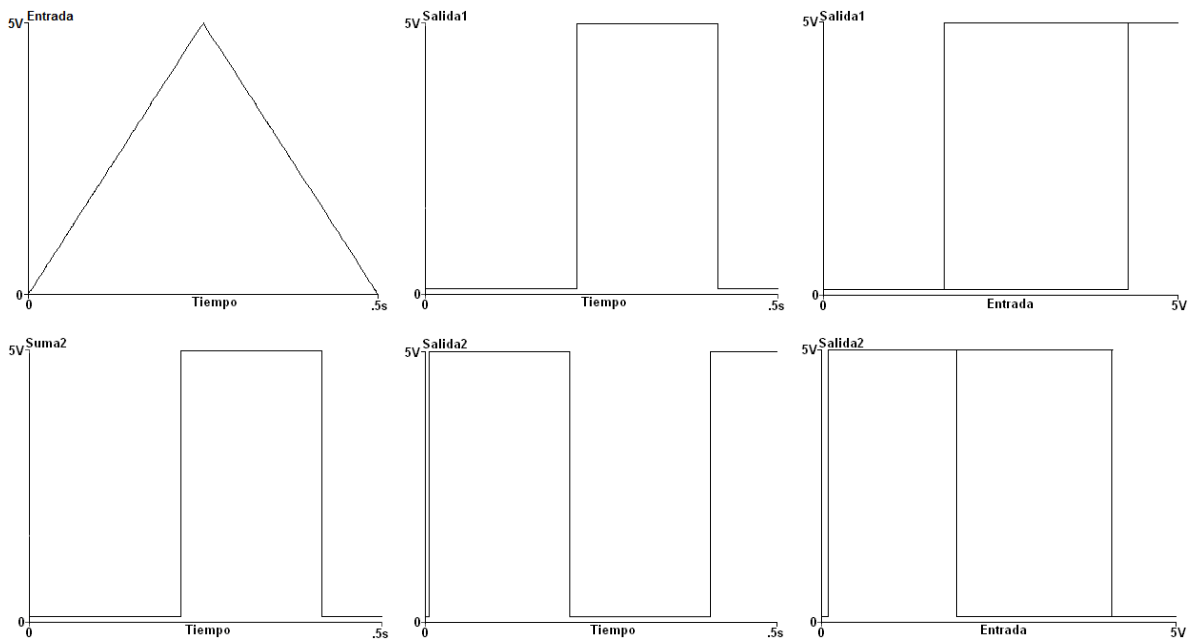


Figura 95. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 5V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 5ms.

Para una entrada romboide pero manteniendo todos los demás parámetros de la red de neuronas sin cambio, tenemos los resultados que se muestran en la figura 96.

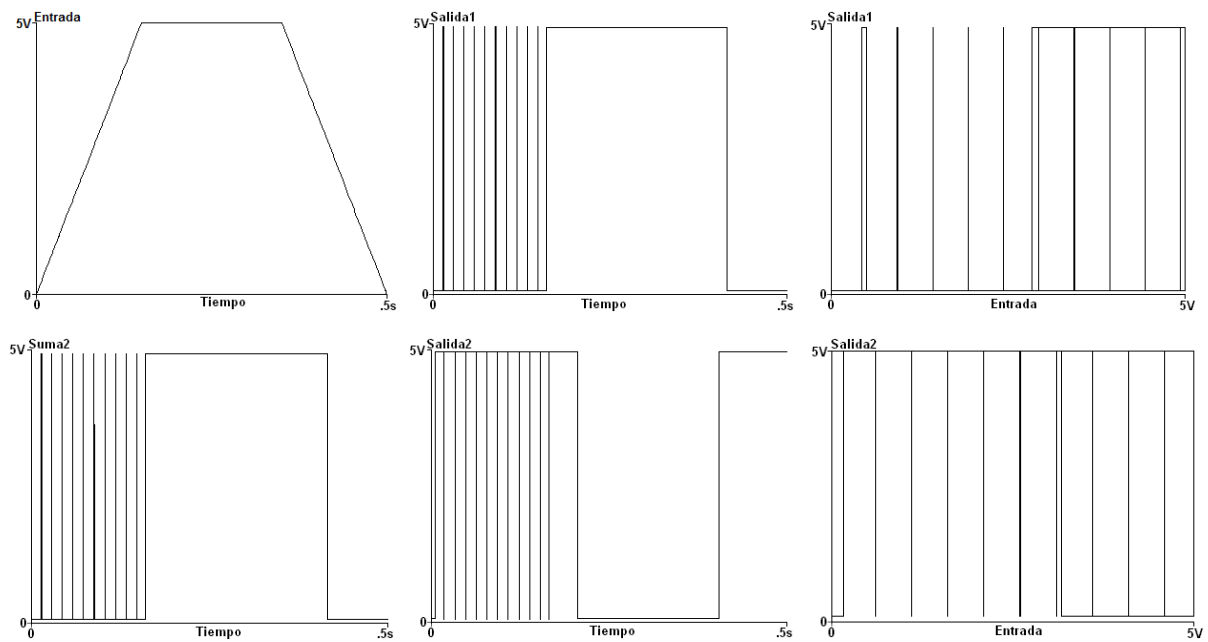


Figura 96. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 5V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 5ms.

De nuevo encontramos procesos evocados en nuestros experimentos, como ejemplos podemos ver la figura 96 que tiene una entrada senoide y comparar con la figura 90 que tiene una entrada triangular. Otro ejemplo de esto lo encontramos si comparamos la figura 84 que tiene entrada triangular con la figura 91 que tiene entrada romboide.

Recordemos que los procesos evocados son aquellos en los cuales los planos fase de la red son los mismos, aunque tengan parámetros diferentes. En nuestro caso estos parámetros son la entrada y los retardos.

9. Experimentos con ráfagas en la primera neurona y sin ráfagas en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda

En este experimento tendremos que la salida de la primera neurona tiene ráfagas, mientras que la salida de la segunda neurona no tiene ráfagas. Los parámetros de la red serán: Entrada senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Retardo1 = Retardo2 = 10 ms. Los resultados en la figura 97.

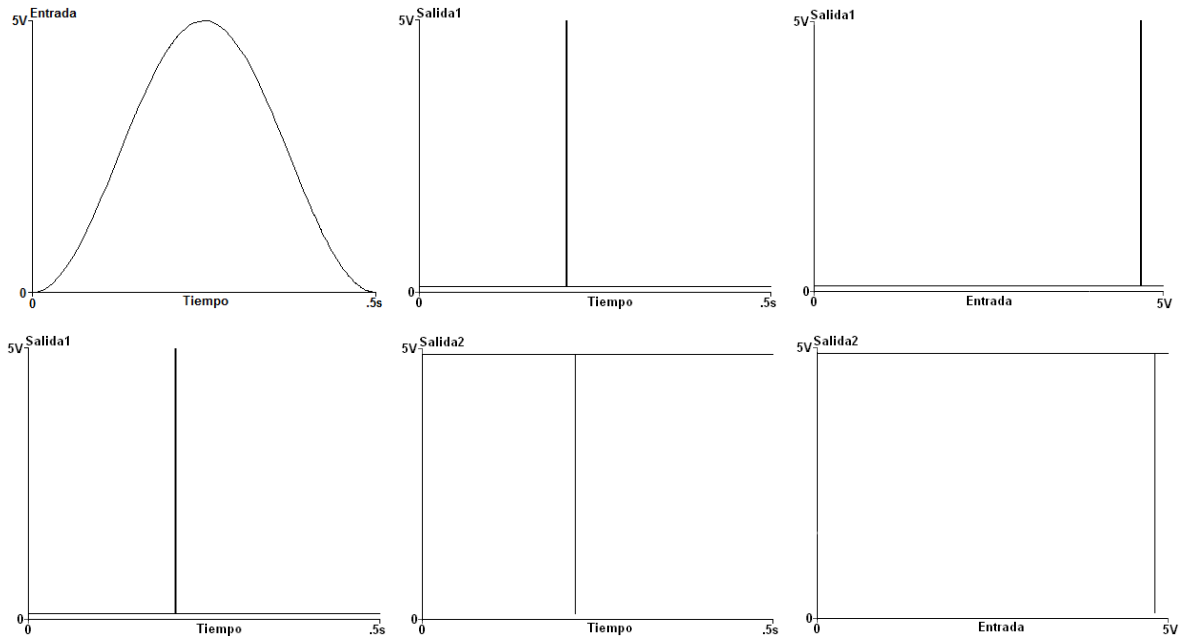


Figura 97. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Sin modificar ningún parámetro de la red con excepción de la entrada a triangular, podemos ver los resultados en la figura 98.

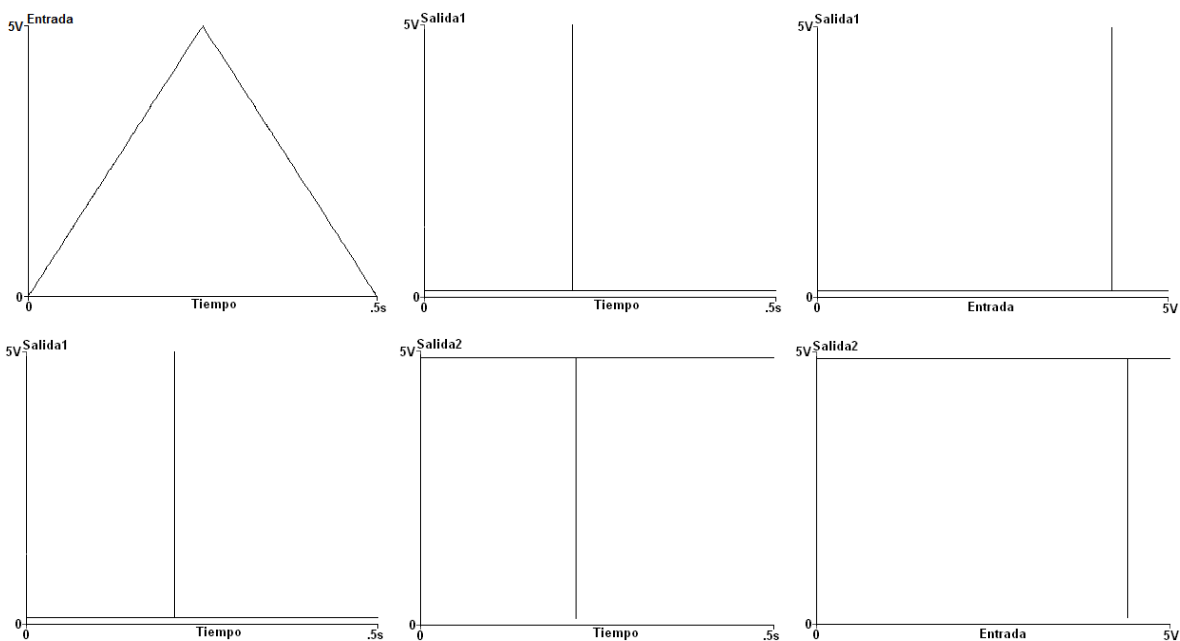


Figura 98. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Vemos que tanto en la entrada senoide como en la triangular encontramos un solo pulso de disparo, veamos lo que pasa si cambiamos la entrada por una romboide. Los resultados se muestran en la figura 99.

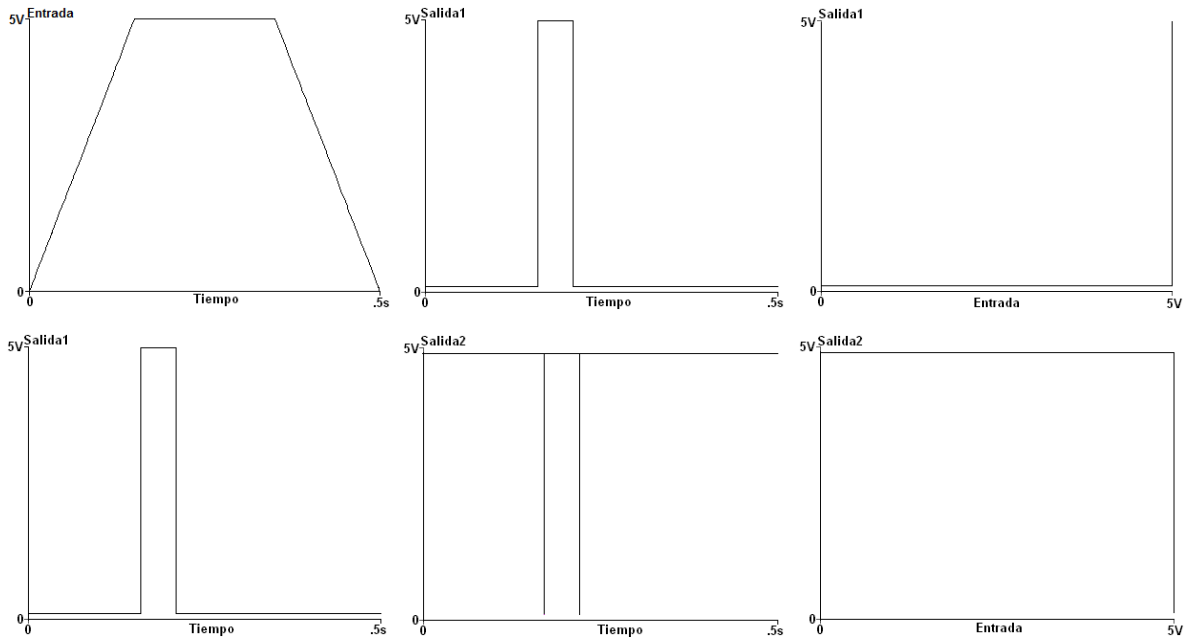


Figura 99. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Como vimos de las figuras 92, 93 y 94, las respuestas son deltas de Dirac por lo que en los siguientes experimentos no esperamos cambios de la respuesta del sistema y los espacios fase serán evocaciones de estos tres experimentos anteriores. Como ejemplo Vamos a cambiar los retardos del último experimento a los valores ret1 = 5ms, y el ret2 = 10ms. Las respuestas en la figura 100.

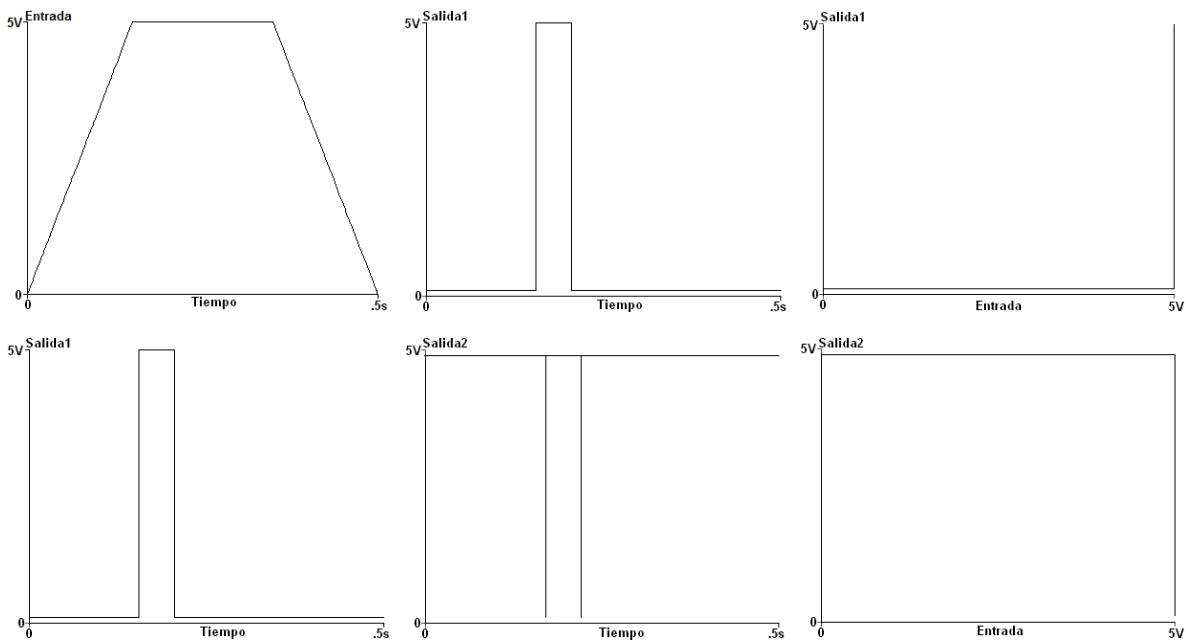


Figura 100. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms.

10. Experimentos con ráfagas en la primera y en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda

En este experimento tendremos que las salidas de las neuronas tienen ráfagas. Los parámetros de la red serán: Entrada senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Retardo1 = Retardo2 = 10 ms. Los resultados en la figura 101.

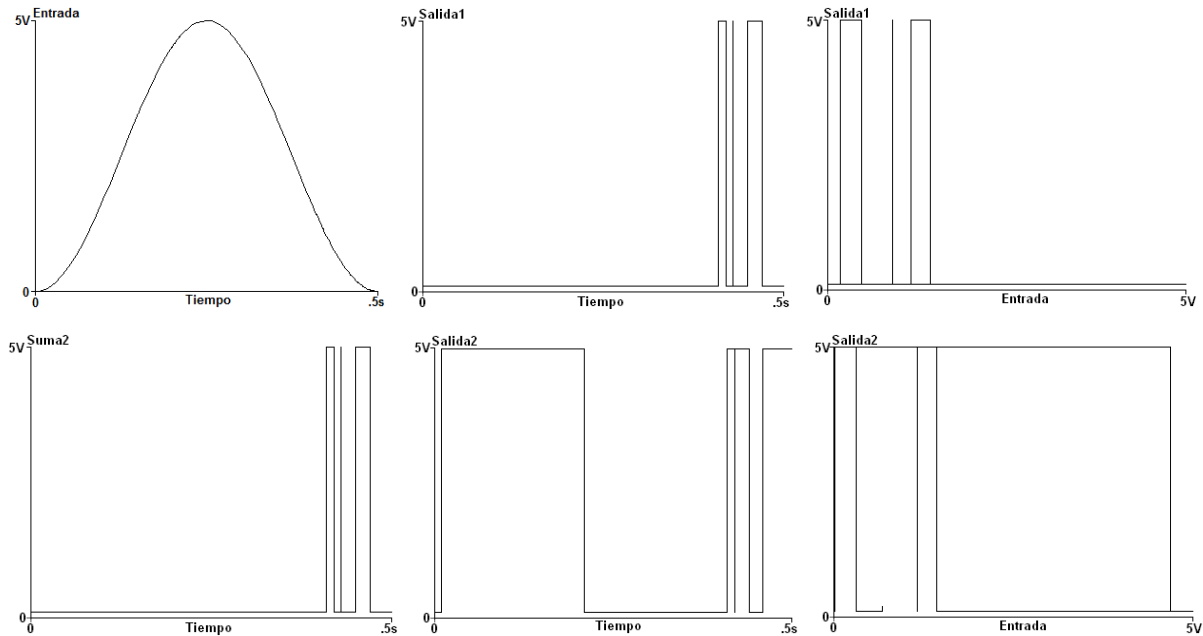


Figura 101. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Con todos los demás parámetros de la red sin cambios vamos a cambiar la entrada a una triangular. La figura 102 muestra los resultados.

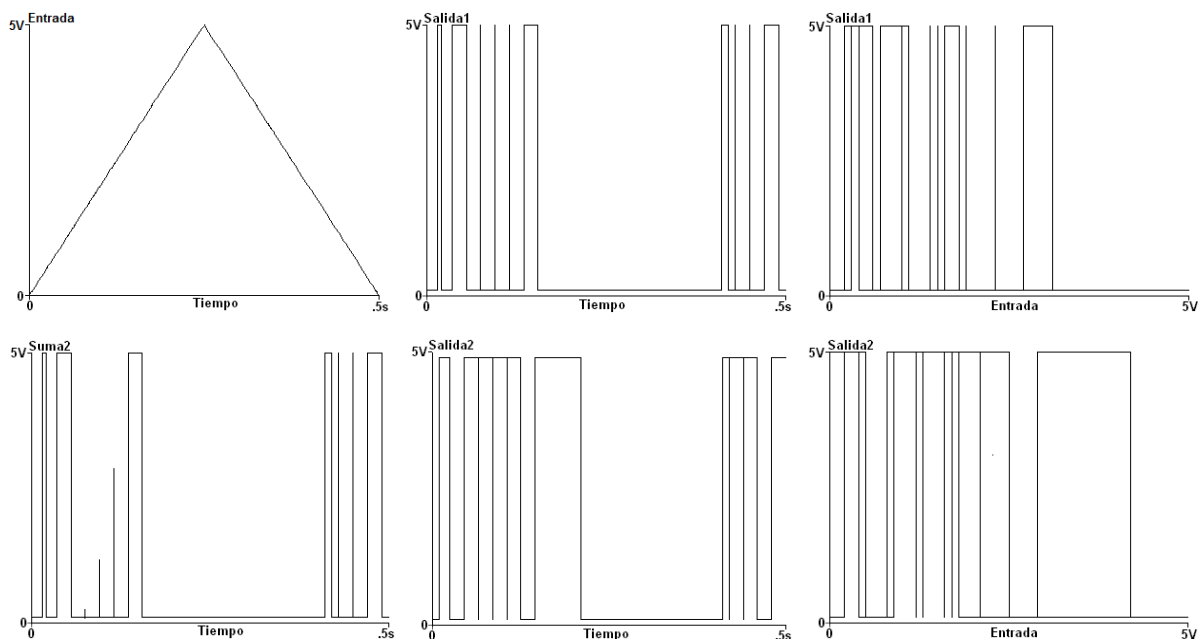


Figura 102. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

De nuevo con todos los demás parámetros de la red sin cambios vamos a cambiar la entrada a una romboide. La figura 103 muestra los resultados.

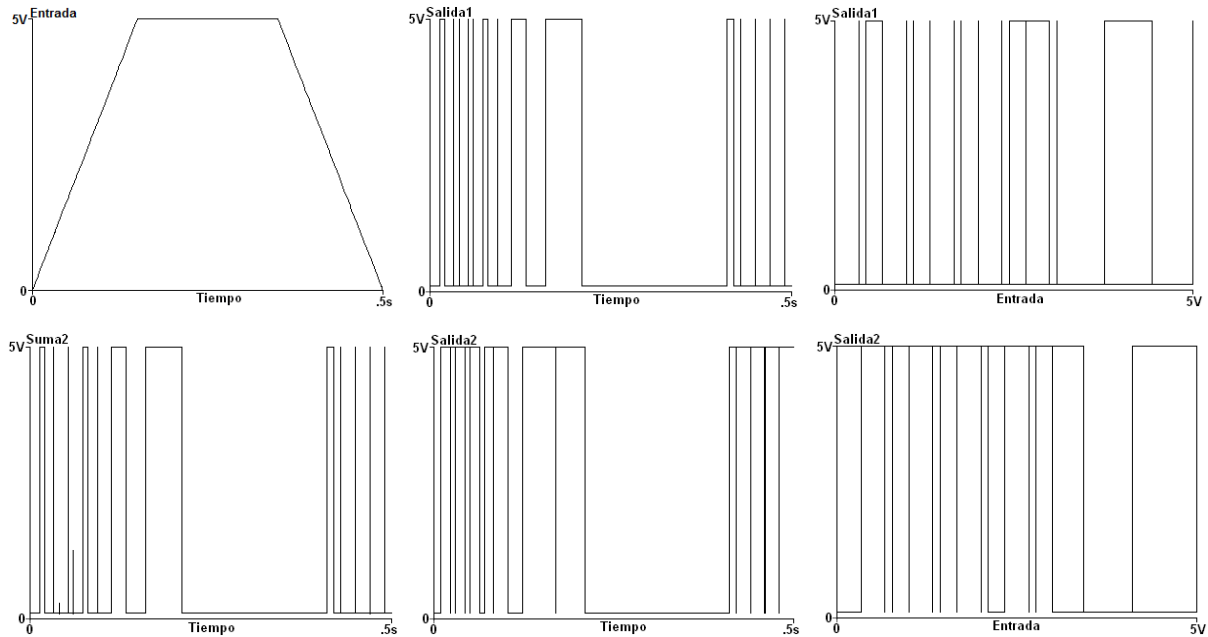


Figura 103. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = Ret2 = 10ms.

Dentro de los parámetros de la red que podemos cambiar tenemos los retardos de las neuronas. Dadas las formas de disparo y las entradas al sistema los umbrales de las neuronas darían poca información, ya que están controlados por las salidas de las neuronas contrapuestas. Para la siguiente secuencia de experimentos veremos que sucede cuando cambiamos los retardos. En nuestro primer experimento el retardo 1 = 5ms y el retardo2 = 10ms. La entrada será una senoide. Los resultados en la figura 104.

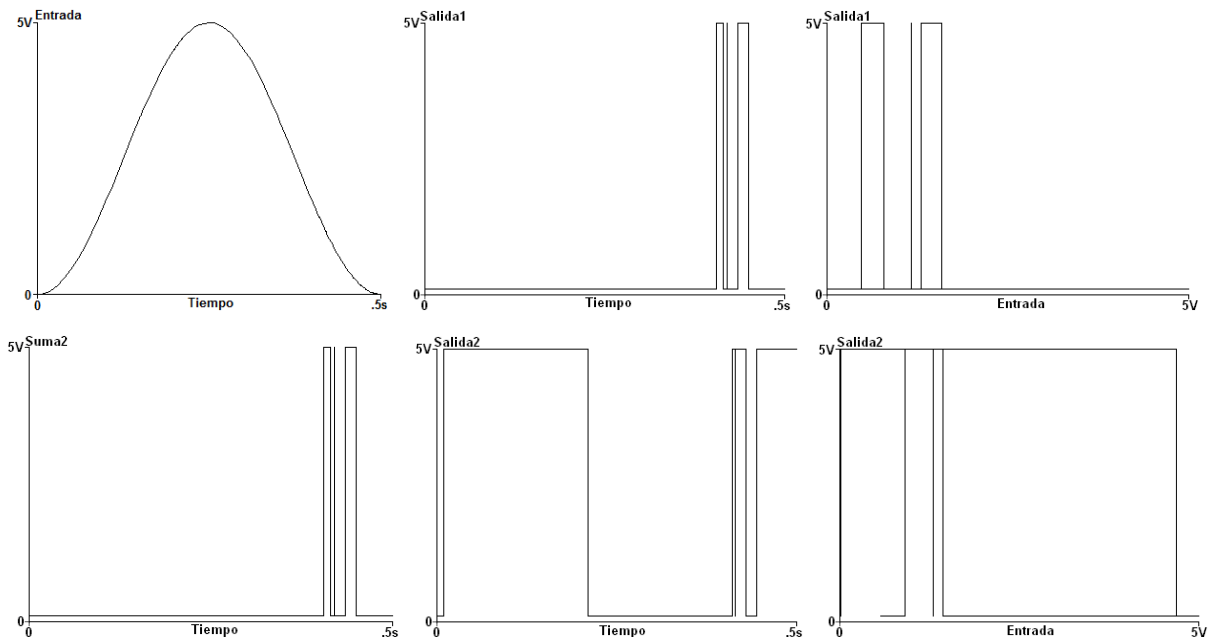


Figura 104. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms.

Para continuar con nuestros experimentos vamos a mantener todos los parámetros de la red sin cambio excepto la entrada que en este caso será triangular. Los resultados se muestran en la figura 105.

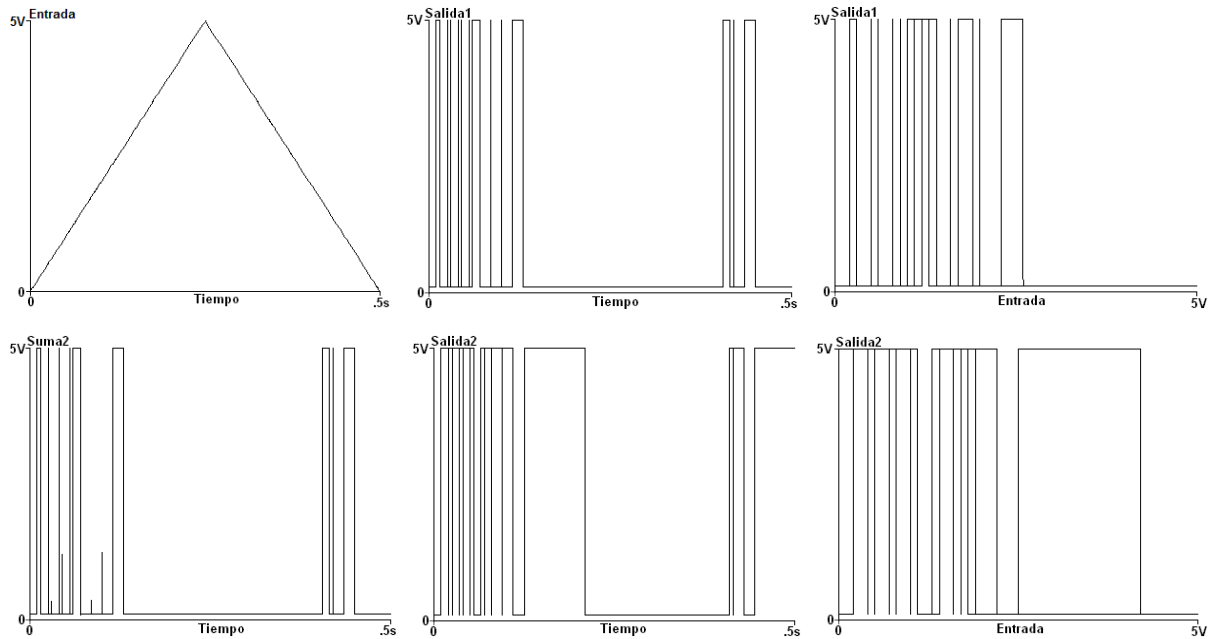


Figura 105. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms.

Vamos ahora a cambiar a una señal de entrada romboide, dejando todos los demás parámetros de la red sin cambio. Los resultados de este experimento se muestran en la figura 106.

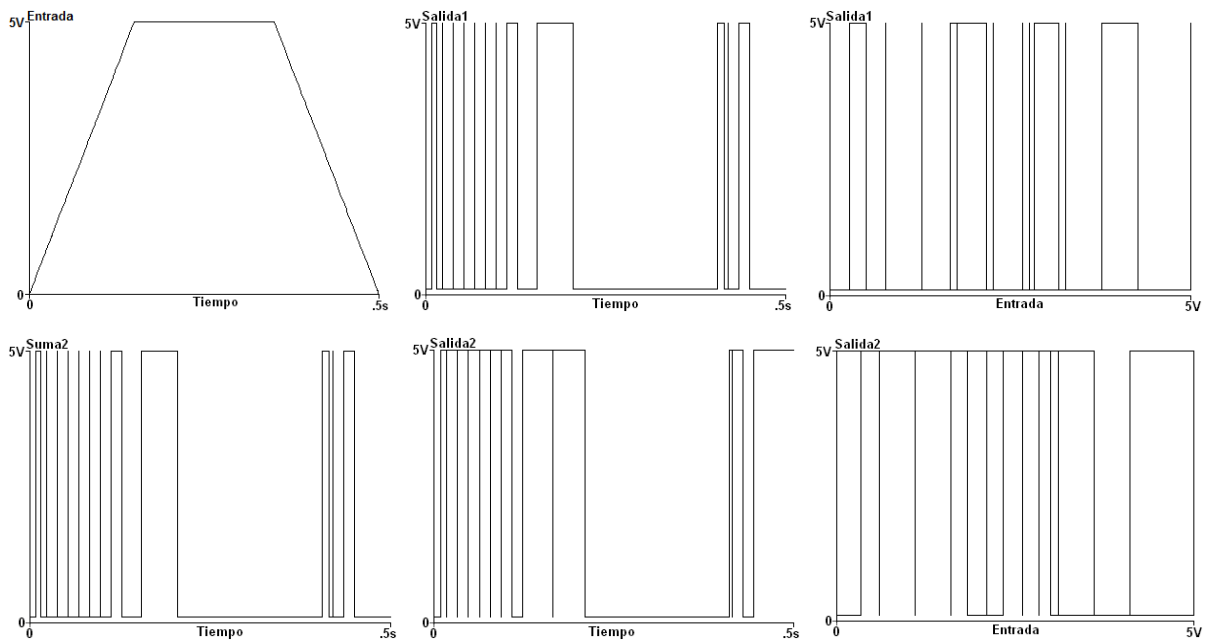


Figura 106. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms.

Para la siguiente secuencia de experimentos veremos que sucede cuando de nuevo cambiamos los retardos, en este caso vamos a invertir sus valores, de tal forma que el Ret1 = 10 ms. y el Ret2 = 5 ms. La entrada será una senoide. Los resultados en la figura 107.

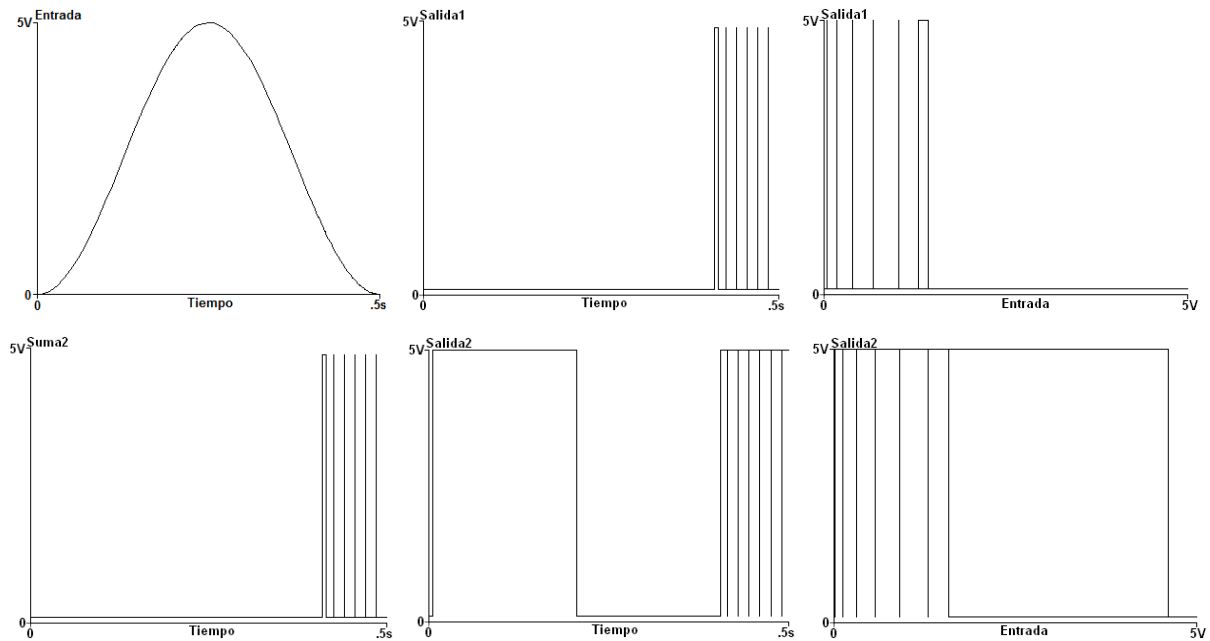


Figura 107. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas senoide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 5ms.

Vamos a cambiar la entrada a una señal triangular sin modificar ningún otro parámetro de la red. La figura 108 nos muestra los resultados de este experimento.

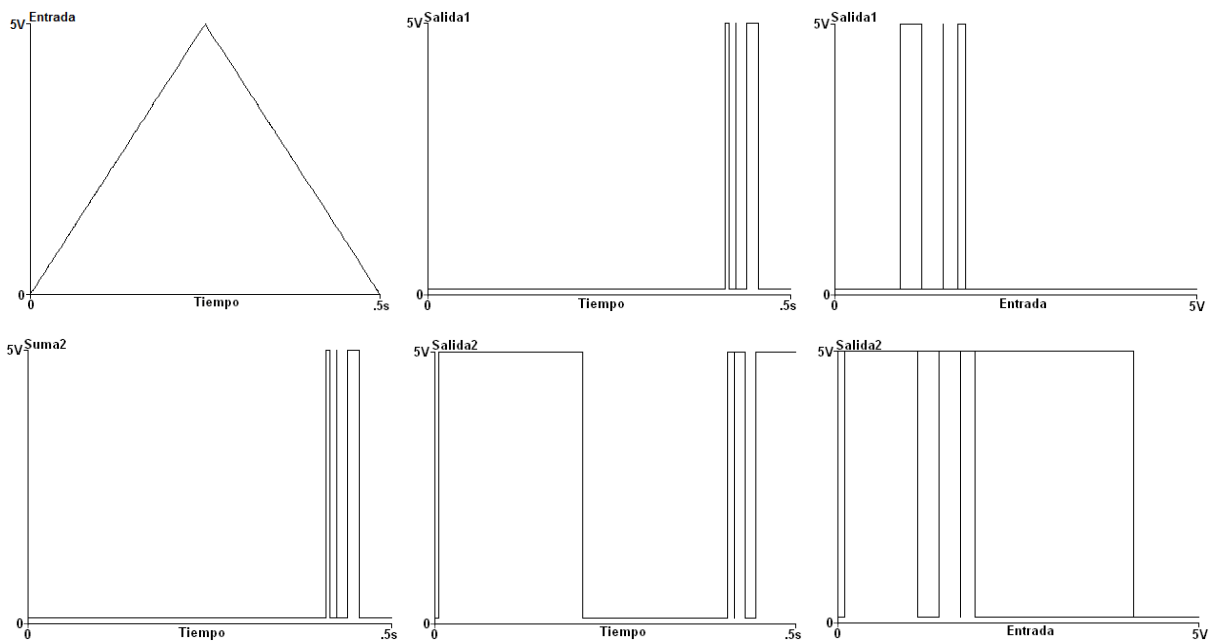


Figura 108. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas triangular, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 5ms.

De nuevo y por último cambiaremos la entrada a una señal romboide manteniendo todos los demás parámetros de la red invariantes. Los resultados de experimento se muestran en la figura 109.

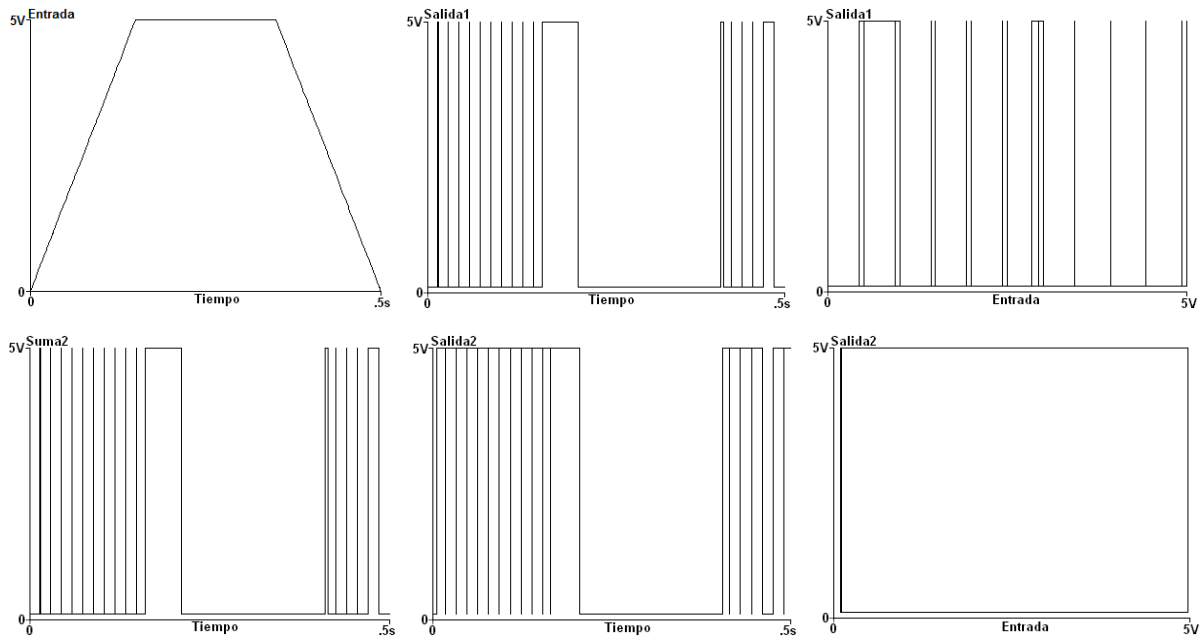


Figura 109. Resultados del experimento con los parámetros: Entradas romboide, Amplitud = 5V, Ref1 = Ref2 = 1V, Ret1 = 10ms, Ret2 = 5ms.

De nuestros últimos experimentos nos podemos dar cuenta que de nuevo volvemos a tener fenómenos evocados muy claramente. Si comparamos las figura 95 con la figura 104 nos encontramos con que los espacios fase de salida son los mismos.

11. Comparación de los experimentos

En los experimentos con salida de ráfagas simples encontramos los siguientes hechos: Es claro que en las gráficas 3 y 5 se da evocación de forma, es decir cuando las entradas son senoide y romboide y los retardos son $Ret1 = 20$ y el $Ret2 = 10$ ms. Para el caso con los mismos parámetros pero con entradas triangulares la evocación de forma no se da.

En este mismo experimento pero en el caso de entradas combinadas en el caso de senoide-romboide para los retardos $Ret1 = 20$ ms y el $Ret2 = 10$ ms, existe evocación de forma con la combinación senoide-triangular, y en el caso de la combinación romboide-senoide existe evocación de forma con la combinación senoide-triangular.

El caso de la combinación triangular con triangular es único.

Al alternar los retardos en este experimento, es decir, $Ret1 = 10$ ms y el $Ret2 = 20$ ms encontramos que para el caso senoide-senoide existe evocación de forma con el caso triangular-romboide con los retardos $Ret1 = 20$ ms y el $Ret2 = 10$ ms. En el caso triangular-triangular $Ret1 = 10$ ms y el $Ret2 = 20$ ms y el caso romboide-romboide con $Ret1 = 20$ ms y el $Ret2 = 10$ ms.

Con los retardos $Ret1 = 20$ ms y el $Ret2 = 10$ ms existe evocación de forma en los casos triangular-senoide y las mismas entradas con los retardos $Ret1 = 10$ ms y el $Ret2 = 20$ ms, y entre las entradas senoide-romboide con los retardos $Ret1 = 10$ ms y el $Ret2 = 20$ ms, y la senoide-romboide con los retardos $Ret1 = 20$ ms y el $Ret2 = 10$ ms. En estos casos existe también evocación total.

En los casos triangular-senoide para retardos iguales de 10ms, existe evocación con el caso de las mismas entradas pero con retardos iguales de 10ms, y el caso romboide-triangular con retardos iguales de 10ms, y el caso senoide-romboide con retardos $Ret1 = 20$ ms y el $Ret2 = 10$ ms, figuras 25 y 17.

Para el caso triangular romboide con retardos iguales de 10ms existe evocación completa con el caso romboide, romboide para los retardos $Ret1 = 15$ ms y el $Ret2 = 50$ ms.

Para los experimentos con ráfagas en la primera neurona y la segunda sin ráfagas encontramos que para las combinaciones de entradas senoide-senoide triangular-triangular y romboide-romboide con retardos $Ret1 = 10$ ms y el $Ret2 = 20$ ms, existe evocación de forma.

Con los mismos retardos pero para combinación de formas de entradas senoide-triangular y triangular-senoide no existe evocación, por lo que en orden de las entradas altera la conducta de la red.

Para retardos iguales de 10ms pero para combinaciones de entradas existe evocación en todos los casos en los cuales la segunda entrada sea la misma, por ejemplo senoide-senoide y romboide-senoide. En todos los casos en que la segunda entrada sea la misma existe evocación por lo que sin importar las formas de onda de entrada, lo que evoca es la segunda.

Para el caso de retardos $Ret1 = 5$ ms y el $Ret2 = 50$ ms existe evocación de forma con el caso de retardos iguales con las mismas entradas, pero para el caso de retardos $Ret1 = 50$ ms y el $Ret2 = 5$ ms, la evocación no se da en ninguna de sus formas.

Para los casos de experimentos sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda, encontramos que para los retardos de $Ret1 = 10$ ms y el $Ret2 = 20$ ms no existe evocación para entradas iguales. Para los retardos $Ret1 = 20$ ms y el $Ret2 = 10$ ms, tampoco existe evocación.

Para retardos iguales de 10ms existe evocación en los casos: triangular-senoide; triangular-triangular; senoide-senoide; triangular-senoide y romboide-senoide, es decir se repite el caso de los experimentos con ráfagas en la primera neurona, donde la que manda es la salida de la segunda neurona aunque en este caso esta sea la que tiene las ráfagas.

Para retardos de Ret1 = 5ms y el Ret2 = 50ms, de nuevo tenemos evocación para los casos con la misma segunda entrada.

También existe evocación con casos de experimentos anteriores como se ve en los casos de las figuras 41, 45, 48, 65 y 68, y en los casos de las figuras 47, 60, 61, 69, 70, 71, 73, y 75.

En los experimentos sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda encontramos que existe evocación de forma entre entradas senoide y retardos Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms y entradas triangular con retardos Ret1 = 10ms, Ret2 = 5ms.

En los experimentos con ráfagas en la primera neurona y sin ráfagas en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda, tenemos evocación en los casos de entrada senoide y entrada triangular con retardos Ret1 = Ret2 = 10ms, y entrada romboide con retardos Ret1 = Ret2 = 10ms y entrada romboide con retardos Ret1 = 5ms, Ret2 = 10ms.

En los experimentos con ráfagas en la primera y en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda encontramos que en ningún caso se dan procesos evocativos.

Las anteriores evocaciones se pueden resumir en las siguientes tablas:

Primer experimento con salida de ráfagas simples

Entradas	Retardos	Tipo	Figura	Página
Sen-Sen	20/10	Total	3	6
Romb-Romb	20/10	Total	5	7
Sen-Romb	20/10	Total	8	8
Sen-Romb	10/20	Total	17	13
Trian-Sen	20/10	Total	16	12
Trian-Sen	10/10	Total	23	16
Trian-Romb	15/50	Forma	27	18
Romb-Romb	15/50	Forma	26	17
Sen-Romb	20/10	Forma	17	13
Romb-Sen	10/10	Forma	25	18

Segundo experimento con ráfagas en la primera neurona y la segunda sin ráfagas

Entradas	Retardos	Tipo	Figura	Página
Sen-Sen	10/20	Forma	30	20
Trian-Trian	10/20	Forma	31	20
Romb-Romb	10/20	Forma	32	21
Sen-Trian	10/20	No	33	21
Tiarn-Sen	10/20	No	34	22
Sen Sen	10/10	Total	42	26
Trian-Sen	10/10	Total	40	25
Romb-Sen	10/10	Total	47	28
Trian-Romb	15/50	Forma	27	18
Romb-Romb	15/50	Forma	26	17
Sen-Romb	10/10	Total	40	27
Trian-Romb	10/10	Total	46	28
Romb-Romb	10/10	Forma	50	30

Tercer experimento sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda

Entradas	Retardos	Tipo	Figura	Página
Sen-Sen	10/20	No	56	33
Trian-Trian	10/20	No	57	33
Romb-Romb	10/20	No	58	34
Sen-Sen	20/10	No	65	37
Trian-Trian	20/10	No	66	37
Romb-Romb	20/10	No	67	38
Sen-Sen	10/q0	Total	68	239
Trian-Sen	10/q0	Total	72	41
Romb-Sen	10/q0	Total	74	42
Sen-Trian	10/10	Total	71	40
Trian-Trian	10/10	Total	69	39
Romb-Trian	10/10	Total	76	43
Sen-Romb	10/10	Total	73	41
Trian-Romb	10/10	Total	75	42
Romb-Romb	10/10	Forma	79	440

En los experimentos sin ráfagas en la primera neurona y con ráfagas en la segunda neurona, seguidas la primera de la segunda encontramos

Entradas	Retardos	Tipo	Figura	Página
Senoide	5/10	Forma	88	49
Triangular	10/5	Forma	91	50

Conclusiones

Dentro de los resultados que se obtuvieron resalta el hecho de que las formas selectivas son muy pocas, pero que se modulan claramente por medio de los retardos axónicos y un resultado sobresaliente es que no logramos una selectividad muy alta, pero si tenemos procesos evocados, en el caso de diferentes condiciones y diferentes entradas.

Otra de las cosas que pudimos encontrar es la ventaja que presenta el hecho de tener modulación en las ráfagas, esto nos permite diferenciar claramente lo que Marr propone en su trabajo, acerca de los subeventos, ya que las formas de los espacios fase están claramente diferenciadas en función de la señal de entrada.

Referencias Bibliográficas

Marr, David (1969) A theory of cerebellar cortex. **J. Physiol.** (202), p.437-470.