

2
29j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**NEUORED: SIMULADOR Y ANALIZADOR
DE REDES NEURONALES
ARTIFICIALES TIPO BIOLÓGICO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN COMPUTACION**

**P R E S E N T A
MAURO ANTONIO ALCANTARA GALINDO**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. ISMAEL ESPINOSA ESPINOSA**

MEXICO, D. F.

1992



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

	PAG.
CAPITULO:	
I INTRODUCCION	1
II JUSTIFICACION Y OBJETIVOS	4
II.1 Justificación	4
II.2 Objetivos	4
II.3 Requerimientos	5
III NEURORED:SIMULADOR Y ANALIZADOR DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES TIPO BIOLOGICO	7
III.1 Descripción del Paquete	8
III.1.1 Diagrama General	9
III.1.2 Objetivo	9
III.1.3 Pseudocódigo	11
III.1.4 Proceso en la elaboración y análisis de una Red Neuronal	12
III.2 Entrada al Simulador	12
III.3 Diseño de una Red Neuronal (FORMARED)	14
III.3.1 Diagrama General	14
III.3.2 Objetivo	14
III.3.3 Análisis del Programa	14
III.3.4 Pseudocódigo	16

	PAG.
III.3.5 Representación de Redes.....	18
III.3.6 Teclas usadas por el Sistema	19
III.3.7 Funcionamiento de FORMARED	20
III.3.8 Ventajas de FORMARED	29
III.3.9 Limitaciones de FORMARED	29
III.4 Simulador Neuronal de MacGregor (NEURORED).....	30
III.4.1 Diagrama General	30
III.4.2 Objetivo	32
III.4.3 Método de Simulación	32
III.4.4 Formato del Archivo de entrada al Simulador	32
III.4.5 Parámetros de NEURORED	34
III.4.6 Limitaciones de NEURORED	36
III.4.7 Funcionamiento de NEURORED	36
III.5 Despliegue de Impulsos Neuronales (PUNTOS)	38
III.5.1 Diagrama General	38
III.5.2 Objetivo	38
III.5.3 Análisis del Programa	38
III.5.4 Pseudocódigo	40
III.5.5 Funcionamiento	41
III.5.6 Limitaciones de PUNTOS	43
III.6 Despliegue de Actividad Neuronal en Redes Neuronales con arquitectura bidireccional en dos capas (MOSAICOS)	44
III.6.1 Diagrama General	44
III.6.2 Objetivo	44

	PAG.
III.6.3 Análisis del Programa	44
III.6.4 Pseudocódigo	45
III.6.5 Funcionamiento	
III.6.5.1 Análisis en dos capas (36 x 16 neuronas artificiales)	47
III.6.6 Limitaciones de MOSAICOS	49
 IV APLICACIONES	 50
IV.1 Hamming	51
IV.2 Asignación de tareas	70
IV.3 Osciladores	82
IV.4 Análizador de Conectividad Funcional	87
IV.5 Análisis de Redes Neuronales (CORRELAC)	102
IV.5.1 Diagrama General	102
IV.5.2 Objetivo	102
IV.5.3 Análisis del Programa	102
IV.5.4 Pseudocódigo	104
IV.5.5 Funcionamiento	105
IV.5.6 Resultados de la correlación	107
 V CONCLUSIONES	 108
 APENDICES	
A : Archivos componentes del Sistema	111
B : Listados de los Programas	112
 BIBLIOGRAFIA	 114

CAPITULO I

INTRODUCCION

Muy pocas veces nos detenemos a pensar y preguntarnos sobre cosas tan normales como son el caminar, el por qué oímos ruidos, el por qué no nos preocupamos de nuestra respiración, el por qué vemos, hablamos y tomamos decisiones, etc. La ciencia nos ha enseñado que se debe a la interacción de los sistemas biológicos que poseemos como son el nervioso, el muscular, el renal, el circulatorio y otros que nos dan la característica de autonomía en el control de los sentidos y los órganos. Por nuestra experiencia humana, sabemos que hablar, conversar y tomar decisiones, entre otras cosas, lleva implícito un aprendizaje que se adquiere con el tiempo y que forma parte de nuestra habilidad cognoscitiva. Muchas propiedades biológicas de tipo cognoscitivo se han retomado e incorporado a los MODELOS NEURONALES factibles de ser implantados en computadoras, autómatas y robots flexibles, que les dan así un cierto grado de posibilidades de aprendizaje e inteligencia.

El avance de la Neurociencia así como de la Tecnología nos obliga a pensar a futuro en la existencia de equipos inteligentes, con funciones similares a las biológicas, equipos con la capacidad de entender y modificar su conducta, de aprender y tomar decisiones, que por ahora sólo son capaces de hacerlo los seres vivos. Uno de los apoyos en el avance de esta rama es la disciplina conocida como Neurociencia Computacional que se interesa en simular por medio de computadora, hardware y software, alguna parte del cerebro por medio de modelos matemáticos comprobados y validados por medio de la experimentación. Estos modelos representan la interacción de neuronas conectadas entre sí y analizan la dinámica funcional por medio de diversas arquitecturas y parámetros tan fisiológicos como sea posible, ya sea dentro de un contexto conductual o uno espontáneo.

Es importante hacer notar las similitudes y las diferencias entre la Neurociencia Computacional y las Redes Neuronales Artificiales (también conocidas como Conexionismo y Procesamiento Distribuido en Paralelo). En ambos casos se trabaja con modelos de neuronas que pueden ser matemáticos o electrónicos. Pero en el caso de la Neurociencia Computacional se trata de que el modelo de red neuronal y sus

parámetros sea lo más cercano posible a un sistema biológico conocido total o parcialmente por medio de la experimentación neurofisiológica. Así pues, la Neurociencia Computacional va de la mano con la Neurofisiología. Por el otro lado, las Redes Neuronales Artificiales son más una herramienta ingenieril que está inspirada bastante superficialmente en conocimientos neurofisiológicos. A las redes neuronales artificiales no les interesa en particular la neurofisiología, sino las aplicaciones ingenieriles donde se requiere de inteligencia, es decir, en optimización, reconocimiento de patrones, robótica flexible, entre muchas otras. Por sus objetivos, las redes neuronales artificiales se han empezado a enlazar naturalmente con otras técnicas como lo son la programación evolutiva, los algoritmos genéticos, la lógica difusa y en los aspectos teóricos con la cinámica no lineal, el caos y los fractales.

Existen en el mercado una gran cantidad de simuladores de redes neuronales artificiales, tanto en software como en hardware. En software proporcionan la elección de uno o varios tipos de algoritmo de aprendizaje para el ajuste de los pesos (análogo superficial de la intensidad sináptica de las neuronas biológicas), pero el diseño de la arquitectura de la red es restringido a las más conocidas. En hardware es algo similar, pero con la gran ventaja de la velocidad proporcionada por la utilización de electrónica muy rápida. Usualmente se adaptan como coprocesadores o aceleradores en una computadora convencional, también se les conoce como neurocomputadoras.

El concepto de red neuronal artificial es relativamente nuevo en el ambiente informático; existen numerosos simuladores de redes, pero casi todos realizan simulación de modelos y algoritmos ya definidos, son muy pocos los que trabajan con parámetros biológicos, y son aquellos precisamente los que tienen mayor aceptación, puesto que son simuladores hechos específicamente para alguna aplicación.

Para el momento de terminar la escritura de esta tesis, se conocen decenas de simuladores en hardware y en software. La mayoría de ellos son didácticos y, unos pocos, son para desarrollo, pero tienen precios muy elevados.

Por el contrario, en el caso de la Neurociencia Computacional existen muy pocos simuladores comerciales, debido a que usualmente son diseñados para un problema o red neuronal biológica específica. En algunos se enfatizan características macroscópicas de la neurona, mientras que en otros se enfatizan las características

microscópicas. Las posibilidades son prácticamente infinitas ya que la complejidad de las neuronas y del sistema nervioso en general hace imposible realizar una simulación que abarque todo. Dentro de esta clase de simuladores está ubicado el que ocupa esta tesis y que se le ha dado el nombre de NEURORED.

NEURORED se inició con uno de los simuladores de MacGregor (SYSTEM11) y a su alrededor se le diseñaron programas que realizan diferentes tareas o tipos de despliegues como se describirá en esta tesis. En este simulador el núcleo dinámico está representado primordialmente por la variable conocida como el potencial de la membrana de la neurona y es alrededor de éste que se incluyen una serie significativa de parámetros neurofisiológicos como constantes de tiempo, umbral, conductancias, etc. En cambio, en las redes neuronales artificiales la dinámica está concentrada en la variación de los pesos y no en el potencial de la membrana y la producción de potenciales de acción. En realidad, son enfoques complementarios, pero se sabe más sobre el potencial de la membrana que sobre la dinámica sináptica distribuida, aunque se especula con cierta evidencia experimental que son las variaciones en la sinapsis las que están involucradas con el aprendizaje.

La presente tesis tiene la intención de apoyar la tarea de investigación neurofisiológica por medio de la generación de un paquete interactivo que elabore la red, simule la dinámica, analice la conectividad y despliegue los resultados. La tesis consta de seis capítulos; en el cap. I se da una introducción al tema; en el cap. II se da una justificación y los objetivos del trabajo, así como el ambiente de trabajo; en el cap. III se desarrolla el manual del sistema así como análisis y programas de cada módulo, cabe mencionar que basta leer este capítulo para trabajar con NEURORED; en el cap. IV se muestran ejemplos completos de aplicación de NEURORED; se dan algunas conclusiones y, finalmente, se incluye una bibliografía relevante para el tema. Además, se presenta una serie de apéndices que apoyan este trabajo; en el A se mencionan los archivos que componen al sistema y en el B se ofrecen a otros usuarios los programas realizados.

CAPITULO II

JUSTIFICACION Y OBJETIVOS.

II.1. Justificación

Para lograr un buen estudio de las funciones cerebrales es importante contar con laboratorios muy bien equipados para la experimentación, en ocasiones por la complejidad o la falta de medios para experimentar se tienen que elaborar medios alternos para seguir adelante, como lo son el modelado de ciertas funciones y simulados por redes neuronales, pero para llevar a cabo esto es importante contar con simuladores que proporcionen al investigador una serie de resultados para la toma de decisiones, existen una gran variedad de simuladores en el mercado, pero si pensamos que en el país "La neurociencia" es relativamente joven esa gran variedad se ve limitada a lo "importado" y también a la tecnología con la que se cuenta en México, ya que generalmente por las características propias de los simuladores se requieren de máquinas muy veloces con capacidades de memoria y espacio demasiado grandes y en ocasiones hasta de equipos más avanzados denominados "supercomputadoras", si a esto le agregamos un bajo presupuesto para la investigación, sería difícil continuar con la tarea de investigación, es por eso que se ha comenzado a trabajar, principalmente en la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M), en la elaboración de paquetes relacionados con redes neuronales. El presente trabajo forma parte de ellos.

II.2 Objetivos.

Asegurar que se cuente con las herramientas necesarias para agilizar la investigación en el tema de "Redes Neuronales", contemplando lo siguiente:

- Facilidad para construir la red, es decir, generar la arquitectura.
- Generación de archivos necesarios para analizar la conducta dinámica de la red con base a los trenes de impulsos (actividad).

- Despliegue gráfico de la actividad neuronal y la arquitectura de la red.
- Desplegar los efectos de variación de la intensidad sináptica, apoyándose en la correlación cruzada de trenes de impulsos entre pares de neuronas artificiales.
- Facilidad para cambiar los parámetros de interés por medio de un procesador de texto convencional.
- Mostrar ejemplos sencillos que ilustren el uso del paquete y el potencial de las redes neuronales artificiales, tanto en la Ingeniería como en la Neurociencia.

11.3 Requerimientos.

Configuración mínima requerida.

El simulador de redes neuronales NEURORED es un paquete diseñado para MICROCOMPUTADORAS IBM y compatibles.

Para el buen funcionamiento del Sistema se requiere del siguiente equipo:

- Microcomputadora PC con un mínimo de 512 k de memoria RAM.
- Tarjeta de gráficos instalada en la PC.
- Es deseable contar con disco duro para así tener el paquete integrado, es decir, los cinco módulos unidos por menú, de otra forma se tendrían que trabajar módulos por separado.

- Impresora capaz de imprimir caracteres gráficos.

- El Sistema realiza una gran cantidad de cálculos matemáticos, lo cual en una computadora con las características mencionadas, tendrá un tiempo de respuesta aceptable, sin embargo existen microcomputadoras (con procesador 8086 o 8088) capaces de aceptar un "Coprocesador" (procesadores matemáticos 8087 o 80287 dedicados a realizar operaciones lógicas y matemáticas y a mayor velocidad) y así poder tener una respuesta más rápida.

CAPITULO III

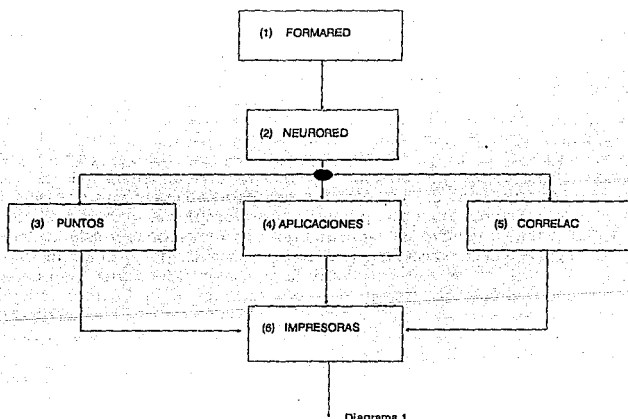
NEURORED: SIMULADOR Y ANALIZADOR DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES TIPO BIOLÓGICO.

Existe un extraordinario resurgimiento del estudio y aplicaciones de las Redes Neuronales. Se les aplica en reconocimiento de patrones, en solución de problemas de optimización, como controladores en procesos distribuidos, como nuevos modelos de la arquitectura funcional del cerebro, y como computadoras en paralelo.

Hay en el mercado extranjero un gran número de simuladores de redes neuronales; algunos son baratos, otros bastante caros y también existen versiones en hardware que son muy costosas. En general, trabajar con redes neuronales no es barato. En el laboratorio se decidió construir un simulador que apoyara a las tareas de investigación. Se utilizó como "shell" uno de los programas simuladores de neuronas de MacGregor, y luego se le hicieron a la medida programas para despliegue y análisis. El paquete NEURORED toma su nombre del programa que simula neuronas y está fuertemente orientado hacia el tipo de análisis que realizan los neurofisiólogos, es decir, correlación cruzada y la utilización de ésta para inferir la conectividad funcional entre pares de neuronas en un grupo. La versión que aquí se presenta no permite variaciones automáticas de la intensidad sináptica o peso de las conexiones, ya que posee una cantidad considerable de parámetros biológicos y, entonces, tienen que hacerse las modificaciones con un procesador de texto.

III.1 Descripción del Paquete.

El paquete NEURORED está formado por cinco programas que intervienen secuencialmente y que en conjunto permiten hacer el estudio de alguna Red Neuronal en particular, es decir, desde su elaboración con FORMARED, su simulación de funcionamiento con NEURORED y su análisis con PUNTOS, MOSAICOS y CORRELAC. El diagrama siguiente muestra como está integrado el paquete.



(1) FORMARED: Es una herramienta de manejo fácil que permite graficar, mediante las teclas más comunes, una red neuronal en pantalla, una vez elaborada construye el archivo de datos para NEURORED. El archivo que construye (NOMBRE.DAT) es modificable con cualquier editor.

(2) **NEURORED:** Simulador de redes neuronales. Apoyado en el archivo **NOMBRE.DAT** genera trenes de impulsos de las neuronas y de las fibras graficadas, dejando esos impulsos en el archivo **NOMBRE.SAL**.

(3) **PUNTOS:** Despliega los trenes de impulsos generados por **NEURORED**, de neuronas o fibras, en un intervalo de tiempo especificado.

(4) **APLICACIONES:** Es una recopilación de ejemplos prácticos que se apoyan en el Sistema Simulador y Analizador de Redes Neuronales Artificiales Tipo Biológico.

(5) **CORRELAC:** Construye histogramas de correlación cruzada de pares de trenes de impulsos elegidos por el usuario, basándose en el archivo **NOMBRE.SAL** que genera **NEURORED**.

III.1.1 Diagrama General

Como se observa en el diagrama 2, se tienen módulos relacionados entre sí, básicamente por la información de entrada y salida que se generan en cada uno de ellos.

III.1.2 Objetivo

Analizar la actividad sináptica en una red neuronal, apoyándose en las herramientas propias del Sistema.

DIAGRAMA GENERAL DE BLOQUES DEL SIMULADOR

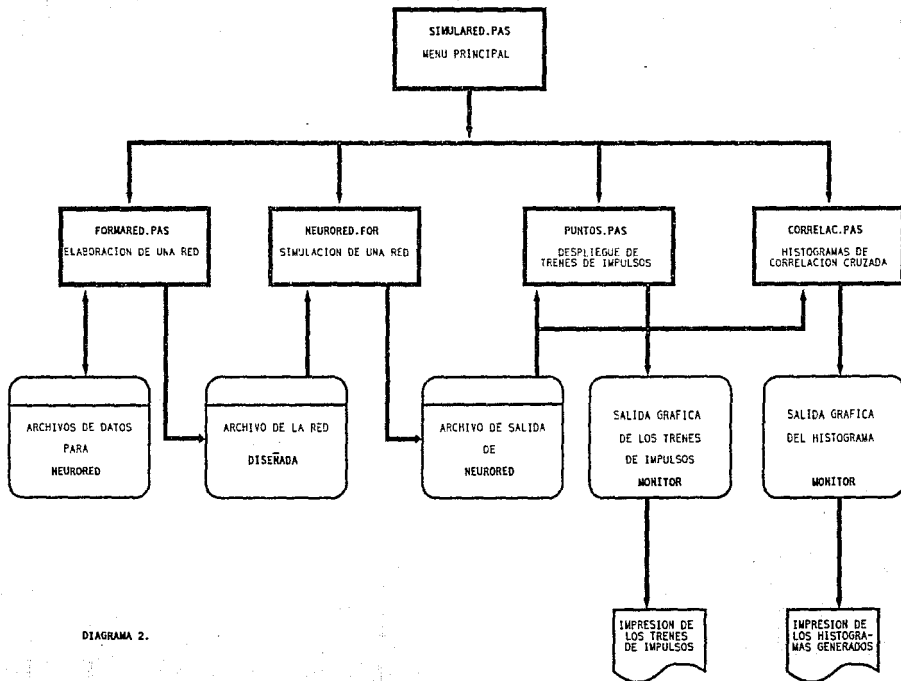


DIAGRAMA 2.

III.1.3 Pseudocódigo

El siguiente pseudocódigo muestra de manera general los procesos involucrados en el presente trabajo y en las páginas siguientes se hace hincapié en cada proceso.

Declaración de módulos componentes del Simulador (procesos generales).
(* inicia Simulared *)

Repite

Muestra derechos de autor y reconocimientos;

Determina proceso a iniciar.

Según el caso seleccionado realiza:

Si fue el caso 1, o proceso 1, realizar :

Formared

Si fue el caso 2, o proceso 2, realiza: :

Simulador Neurored

Si fue el caso 3, o proceso 3, realizar :

Puntos

Si fue el caso 4, o proceso 4, realizar :

Mosaicos

Si fue el caso 5, o proceso 5, realizar :

Correlac

Si fue el caso 6, o proceso 6, realizar :

Abandona el Sistema

fin de casos

hasta seleccionar la salida del módulo.

(* Termina Simulared *)

III.1.4 Proceso en la elaboración y análisis de una Red Neuronal.

El presente trabajo es sistema modular que puede ser o no integrado según el fin que se tenga, es decir, podemos utilizar el Sistema para la elaboración y análisis usando todos los módulos o trabajar con el módulo que se desee.

El Proceso completo sería la siguiente secuencia :

- a).- Definir la Red Neuronal con topología y parámetros.
- b).- Dibujar en pantalla la Red diseñada (usar FORMARED).
- c).- Generar el archivo de entrada al simulador NEURORED (usar FORMARED).
- d).- Correr el Simulador NEURORED usando el archivo generado por FORMARED (usar NEURORED).
- e).- Si se desea, analizar las ráfagas o trenes de impulsos, resultado de la simulación (usar PUNTOS).
- f).- Analizar la correlación cruzada entre pares de neuronas (usar CORRELAC).
- g).- Repetir las acciones a-f cuantas veces se requiera.

III.2 Entrada al Simulador.

Para entrar al SISTEMA SIMULADOR Y ANALIZADOR DE REDES NEURONALES, basta con teclear SIMULARED y presionar <ENTER> (figura 1) y aparecerá una pantalla mostrando los diferentes módulos que integran al paquete (figura 2). Para entrar a cualquiera de ellos basta seleccionarlo con la opción correspondiente.

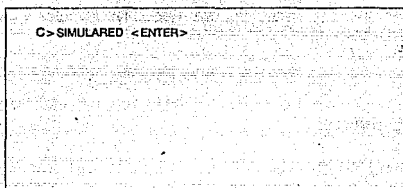


figura 1.

Con lo cual aparecerá la siguiente pantalla:

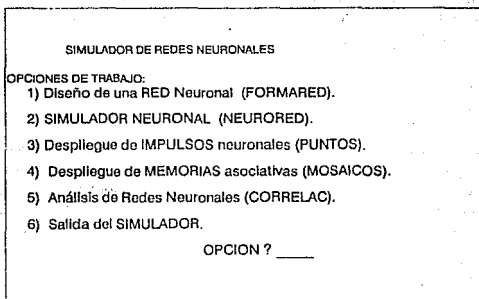


figura 2.

El funcionamiento de cada módulo se describe en los capítulos siguientes.

III.3 Diseño de una Red Neuronal (FORMARED) .

Este módulo FORMARED, permite elaborar Redes Neuronales y generar los archivos de entrada a NEURORED.

III.3.1 Diagrama General.

Como se observa en el diagrama 3, se pueden elaborar Redes Neuronales y salvarlas para su modificación en los archivos .RED, una vez realizada la Red, se puede generar el archivo de entrada al Simulador de MacGregor, llamado archivo.DAT.

III.3.2 Objetivo.

Generar en forma automática los archivos de datos con el formato adecuado para alimentar al Simulador de MacGregor.

III.3.3 Análisis del Programa.

El propósito de esta sección es definir los requerimientos que se deben cumplir.

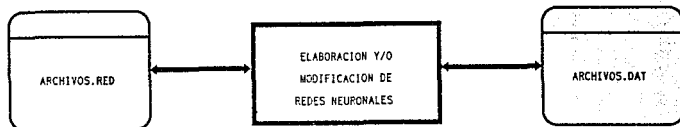
El requerimiento básico es la generación de los archivos.DAT (entrada a NEURORED) basándose en los siguientes factores:

- **DINAMICO:** El módulo fue creado bajo el concepto de "apuntadores" o "variables dinámicas", para realizar Redes Neuronales sin limitar el número de neuronas o fibras.

- **SEGURIDAD:** Respaldo de la Red Neuronal cuando se desee.

- **FUNCIONAL:** Los archivos generados (archivos.RED) son modificables con cualquier editor.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODULO FORMARED



ARCHIVOS CON EXTENSION RED, EN LOS CUALES SE ALMACENAN LOS PARAMETROS NECESARIOS PARA LA EDICION DE REDES YA EXISTENTES.

ARCHIVOS CON EXTENSION DAT, QUE ALIMENTAN AL SIMULADOR DE MAGREGOR Y CON PARAMETROS BIOLÓGICOS FIJOS.

III.3.4 Pseudocódigo.

A continuación se muestran los procesos de manera general:

Programa FORMARED;

Declaración de parámetros biológicos del archivo que se genera;

Declaración de arreglos para ayudas;

Declaración de apuntadores para Fibras y Neuronas;

Declaración de variables para la conectividad;

Declaración de variables de apoyo al módulo;

Procedimiento para el chequeo de existencia de archivos;

Procedimientos de apoyo a la graficación :

- Círculos;
- Puntos;
- Cajas;
- Líneas;
- Números;
- Cursor;

Procedimiento para almacenamiento de la Red que se observa en pantalla;

Procedimiento para formar el archivo de entrada a NEURORED.

Procedimiento para la recuperación de una red elaborada
previamente;

Procedimiento para diseñar e implementar la red;

(* inicio de Formared*)

Inicializa parámetros y variables propias del sistema;

Diseño e implementación de la Red Neuronal nueva o previamente diseñada;

Guardar o actualizar la Red en pantalla;

Al salir se puede:

generar el archivo de datos o de entrada a NEURORED y

generar el archivo .RED con parámetros de diseño de la Red.

(* fin de Formared*)

III.3.5 Representación de Redes.

Generalmente las Redes neuronales son representadas con círculos (neuronas y fibras) y segmentos de arcos para realizar las conexiones entre ellas, en este trabajo la nomenclatura a usar a lo largo del sistema es la siguiente:



Representación de una fibra llamada **Fn**.



Representación de una neurona llamada **Nn**



Conexión entre las neuronas N1 y N2

io e

-i

Representación del peso o intensidad de una conexión inhibitoria (negativo).

+e

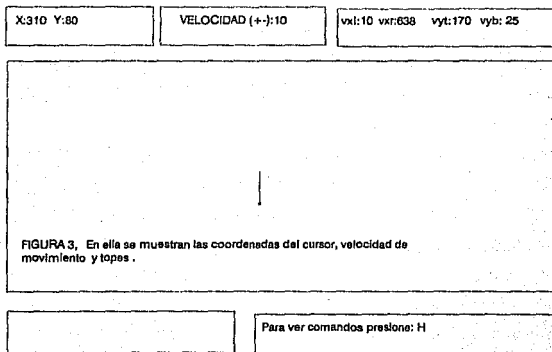
Representación del peso o intensidad de una conexión excitatoria (positivo).

III.3.6 Teclas usadas por el Sistema.

- H Permite observar a pie de pantalla las diferentes opciones del paquete.
- \ / Mueve el cursor hacia arriba 'x' posiciones dentro de la pantalla.
- \ / Mueve el cursor hacia abajo 'x' posiciones dentro de la pantalla.
- <- Mueve el cursor hacia la izquierda 'x' posiciones dentro de la pantalla.
- + Incrementa en forma unitaria la velocidad del cursor.
- Decrementa la velocidad del cursor.
- F Despliega una fibra en la pantalla y pide el número entero que le corresponde.
- N Despliega una neurona en la pantalla y pide el número entero que le corresponde.
- C Inicia la conectividad de una neurona hacia otra neurona.
- I Termina la conectividad de una neurona hacia otra neurona. Pide el valor de la intensidad o peso de la conexión que puede ser -i (inhibitorio) o +e (excitatoria).
- E Inicia la conectividad de una fibra hacia una neurona.
- A Termina la conectividad de una fibra hacia una neurona. Pide el valor de la intensidad o peso de la conexión que puede ser positivo o negativo, aunque usualmente será positivo, se recomienda +5. Despliega la conexión.
- S Habilita la salida del sistema y pregunta si se desea generar el archivo de entrada al simulador neurored.
- G Guarda en disco la red que se está diseñando en pantalla.
- R Recupera de disco la red y la despliega en la pantalla.

III.3.7 Funcionamiento de FORMARED.

Al entrar a este módulo, ya sea seleccionándolo o tecleando FORMARED se verá una pantalla como se muestra a continuación:



Como se observa el cursor aparece al centro de la pantalla y con las teclas ya antes mencionadas podemos graficar la red previamente diseñada. Por ejemplo grafiquemos la red que se muestra en la figura 4.

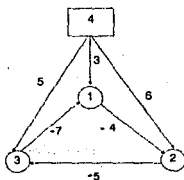


FIGURA 4. Los números dentro de los círculos y el cuadro son los nombres de elemento. Los números cerca de las líneas son los valores del peso de la conexión.

Una opción de graficación sería la secuencia de pantallas que se muestran de la figura 5 a la 15.

a).- Mover el cursor hacia arriba para colocar la neurona 1 mediante el uso de las flechas y la letra N para generarla.

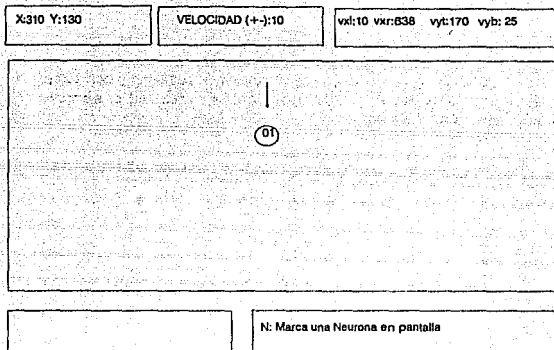


Figura 5: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

b).- Del mismo modo se generan las neuronas 2 y 3 ej.

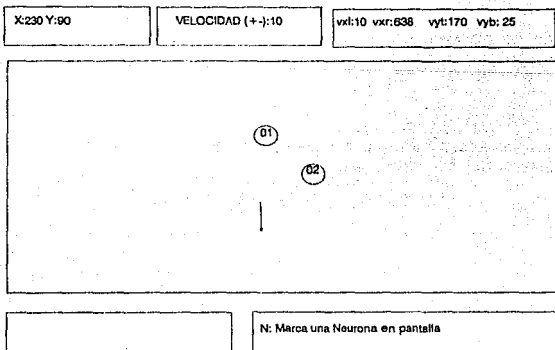


Figura 6: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

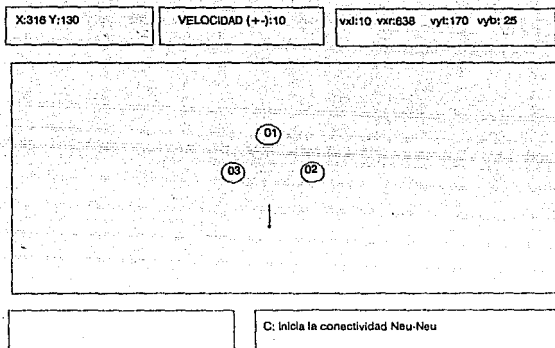


Figura 7: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

c).- Una vez que se han generado las neuronas, se procede a realizar las conexiones usando las tecla C (para iniciar la conectividad) y con la tecla I para determinar el destino de la conexión, en ambos casos es indispensable tocar con el cursor la neurona involucrada, como se muestra a continuación para las neuronas 1 y 2.

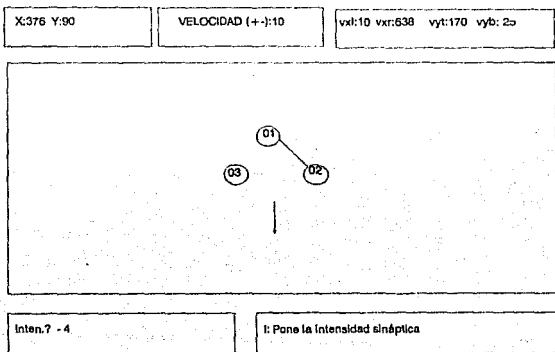
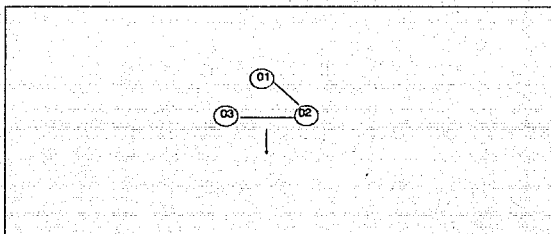


Figura 8: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

X:378 Y:90

VELOCIDAD (+-):10

vx:10 vxr:638 vyt:170 vyb: 25



Inten.? - 5

!: Pone la intensidad sináptica

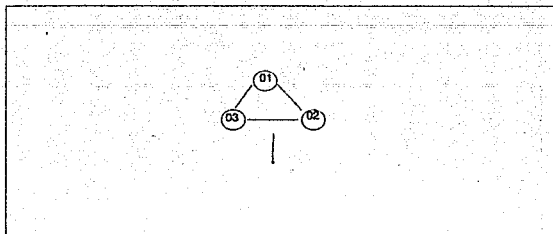
Conectividad de la neurona 2 a 3, con intensidad de -5.

Figura 9: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

X:306 Y:130

VELOCIDAD (+-):10

vx:10 vxr:638 vyt:170 vyb: 25



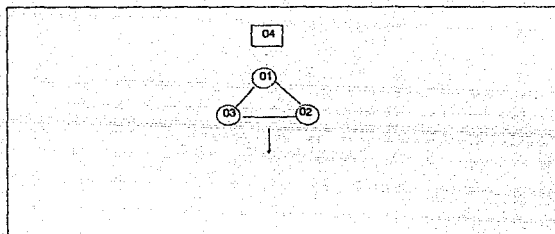
Inten.? - 7

!: Pone la intensidad sináptica

Conectividad de la neurona 3 a 1, con intensidad de -7.

Figura 10: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

X:306 Y:130	VELOCIDAD (+-):10	vx:10 vxr:638 vyt:170 vyb:25
-------------	-------------------	------------------------------



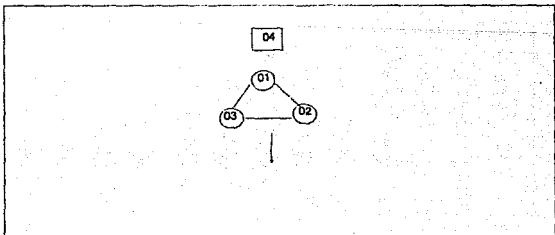
Nombre? 4	M: Marca una fibra en pantalla
-----------	--------------------------------

Fibra que estimula a las neuronas.

Figura 11: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

Usando las teclas E (inicio de conectividad Fib-Neu) y A (pone intensidad de Fib-Neu) para asignar la intensidad sináptica, procedemos a enlazar la fibra con todas las neuronas.

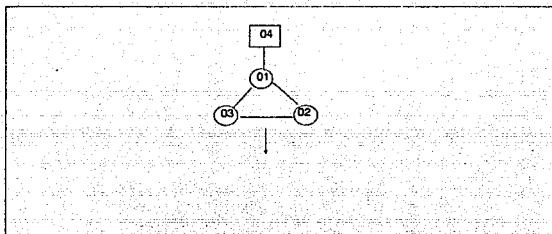
X:306 Y:130	VELOCIDAD (+-):10	vx:10 vxr:638 vyt:170 vyb:25
-------------	-------------------	------------------------------



	E: Inicia la conectividad Fib-Neu
--	-----------------------------------

Figura 12: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

X:306 Y:130 VELOCIDAD (+-):10 vxl:10 vxr:638 vyt:170 vyb: 25

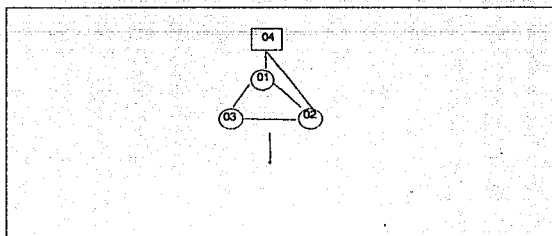


Inten.? 3 A: Pone intensidad sináptica Fib-Neu

Conectividad de Fibra 4 con neurona 1.

Figura 13: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

X:306 Y:130 VELOCIDAD (+-):10 vxl:10 vxr:638 vyt:170 vyb: 25



Inten.? 8 A: Pone la intensidad sináptica Fib-Neu

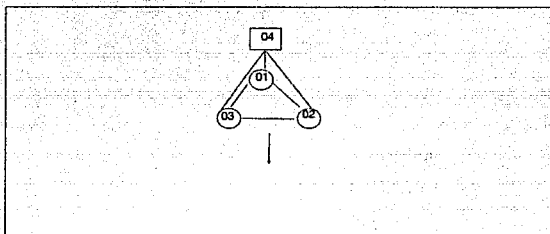
Conectividad de Fibra 4 con neurona 2.

Figura 14: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

X:306 Y:130

VELOCIDAD (+):10

vxl:10 vxr:838 vyt:170 vyb: 25



Inten.? 5

A.Pone la intensidad sináptica Fib-Neu

Conectividad de Fibra 4 con neurona 3.

Figura 15: Pasos para la generación de un Oscilador en pantalla.

Al salir del módulo con presionando la letra "S", se realizan las siguientes preguntas:

Nombre del archivo de salida de Neurored ?

Oscila

Milsegundos a procesar ?

100

Nombre del archivo de datos ?

Oscila

Al Salir de FORMARED con la opción [S] salida y contestar en forma afirmativa a la pregunta: ¿ Genera Archivo de Salida ?. El sistema generará el archivo .RED y el archivo .DAT o datos de entrada a Neurored, a continuación se muestra el archivo .DAT o datos.

oscila.sal

4,1,3,1,2,2,1.,1,-10

70.,1.,-10.,2.

1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,1

2,2,1,1,4.,155,1508,396

1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,1

3,2,1,1,5.,155,1508,396

1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,1

1,2,1,1,7.,155,1508,396

1,1,0,1,999,1626,23,3478,3

1,1,1,1,3.,1227,1357,3498

2,1,1,1,6.,1227,1357,3498

3,1,1,1,5.,1227,1357,3498

100

III.3.8 Ventajas de FORMARED.

Es atractivo por ser muy interactivo con el usuario y por dar una serie de posibilidades en el diseño de las redes neuronales tales como : movimientos con las flechas, guardar y recuperar las redes, etc ...

Genera archivos (archivos.RED y archivos.DAT) modificables con cualquier editor.

III.3.9 Limitaciones de FORMARED.

El diseño de redes neuronales se ve limitado por el espacio en pantalla y en memoria de la PC, una red del tipo memoria asociativa (con 55 neuronas por ejemplo) perdería claridad y sería bastante tediosa de cargar, por otra parte, únicamente se permite modificar la intensidad sináptica entre pares de neuronas, los demás parámetros son dados por defecto, sin embargo, la posibilidad de error y la velocidad en la obtención del archivo final (entrada a neurored) es menor que si se realizara con algún editor de textos.

III.4 Simulador Neuronal de MacGregor (NEURORED).

El simulador NEURORED es una versión simplificada del simulador SYSTM11 de MacGregor. Además, es una adaptación para computadora personal compatible con IBM, y está escrito en FORTRAN77.

NEURORED es un programa que simula el funcionamiento de un número arbitrario de neuronas activadas por un número arbitrario de fibras o axones de entrada. Las neuronas pueden interconectarse de cualquier manera elegida por el usuario.

Las neuronas están conectadas entre sí por axones con terminales sinápticas que pueden ser excitatorias o inhibitorias. Una vez que los axones o fibras han activado a un grupo de neuronas, éste a su vez excita o inhibe a otra u otras neuronas con las cuales está conectada.

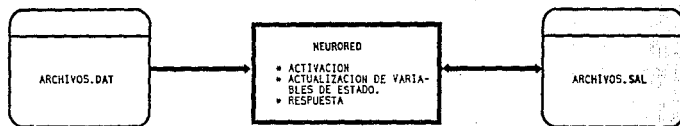
El programa NEURORED es general, es decir que, con sólo cambiar los parámetros y los datos, puede simularse cualquier red neuronal. Sin embargo, el programa presenta un problema de introducción de datos. Para redes neuronales muy pequeñas es factible proporcionar los datos al momento de correr el programa y conforme éste los va necesitando; pero para redes más grandes, la cantidad de datos es enorme, por lo que es más conveniente proporcionarlos por medio de un archivo de datos redirigido, que se puede construir con el programa interactivo FORMARED.

NEURORED tiene dos subrutinas principales: una que está encargada de hacer llegar el mensaje de activación de las fibras a las neuronas y, la otra, de actualizar las variables de estado de cada neurona en cada instante de integración. También cuenta con una tercera subrutina que sirve para generar números aleatorios.

III.4.1 Diagrama General

Como se observa en el diagrama 4, el archivo generado por FORMARED (archivo.DAT), es reconocido por NEURORED, con el cual al realizar la simulación genera otro archivo (archivo.SAL), con los resultados de la actividad de la Red Neuronal.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SIMULADOR DE MacGREGOR



ARCHIVOS CON EXTENSION DAT,
QUE ALIMENTAN AL SIMULADOR
DE MacGREGOR.

ARCHIVOS CON EXTENSION SAL,
QUE ALIMENTAN A LOS MODULOS
DE ANALISIS, COMO PUNTOS Y
CORRELAC.

III.4.2 Objetivo.

Simular la actividad neuronal, representada por la Red y parámetros biológicos y generar los archivos que representan dicha actividad (archivo.SAL).

III.4.3 Método de Simulación.

El programa resuelve ecuaciones diferenciales discretizadas a partir de las funciones de entrada que dependen del potencial de la membrana y así obtiene el estado y las funciones de salida. Las ecuaciones utilizadas son versiones similares a las de Hodgkin-Huxley, aunque más sencillas por estar linealizadas. En el libro de MacGregor se pueden ver los detalles acerca de esto, ya que no era parte de esta tesis el entrar al análisis numérico correspondiente, sino utilizar el paquete ya programado y generarle programas auxiliares.

III.4.4 Formato del Archivo de entrada al Simulador.

El archivo de la siguiente página fue generado por FORMARED, en el se observan los parámetros principales que entran al Simulador de MacGregor.

FORMATO DE ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA A NEUORED.

Nombre del archivo de **Salida**.

NTPOPS,NFPOPS,NCPOPS,NCLS,NCTP1,ISNTP,STEP,NTGMX,EK

EQ(1),T(1),EQ(2),T(2)

N,C,TTH,B,TGK,TMEM,THO,NTGR

IRCP,TYPE,NCT,NT,STR,3 SEMILLAS

N,P,INSTR,INSTP,3 SEMILLAS,NTGR

IRCP,TYPE,NCT,NT,STR,3 SEMILLAS

LTSTOP

DONDE:

NTPOPS = Número total de poblaciones.

NFPOPS = Número total de fibras.

NCPOPS = Número total de neuronas.

NCLS = Máximo número de neuronas en una población.

MCTP1 = Tiempo de conducción entre dos poblaciones en ms + 1.

ISNTP = Número de tipos sinápticos (1 = EXC, 2 = INH)

STEP = Tamaño del paso de integración (REC. = 1 ms)

NTGMX = Número máximo de objetivos desde una población.

III.4.5 Parámetros de NEURORED.

NEURORED tiene funciones de entrada, de estado y de salida. Además, tiene un número considerable de parámetros que aquí se listan para que el posible usuario se entere de las posibilidades "biológicas" que tiene el simulador.

B = incremento en Gk (cambios en conductancia) (período refractario)

C = 0 umbral fijo (constante); = 1 el umbral se eleva junto con el potencial de la membrana Em.

EK = potencial de equilibrio del potasio relativo al de reposo (aprox. -10 mv)

EQ = potencial de reposo [-10 para el potasio; +70 para el sodio]

INFSED = semilla del generador de números aleatorios para los disparos de potenciales de acción.

INSED = Semilla para el número aleatorio de la conexión.

INSTP = Tiempo de cese de la actividad en ms.

INSTR = Tiempo de iniciación de la actividad en ms.

IRCP = Identificación de la neurona que recibe

ISNTP = Número de tipos sinápticos (2)

LTSTOP = Duración de la simulación en ms.

MCTP1 = Tiempo de conducción máximo entre dos neuronas (milisegundos + 1)

N = Número de fibras o número de neuronas por población (= 1 en esta versión)

NCLS = Número máximo de neuronas en una población

NCPOPS = Número total de neuronas.

NCT = Tiempo de conducción de soma a soma en ms.

NFPOPS = Número total de fibras o axones.

NT = Número de terminales de una fibra proyectada

NTGR = Número de neuronas a las que una neurona o fibra proyecta axones, incluyéndose a sí misma.

NTPOPS = Número total de componentes = número de fibras o axones + número de neuronas.

P = Probabilidad de disparo de cada fibra en cada paso temporal.

STEP = Duración del paso de integración (sugerencia = 1 ms).

STR = intensidad de la sinápsis.

NTGMX = número máximo de conexiones existente desde una neurona a otra.

TGK = constante de tiempo para Gk (valor sugerido 5 ms) (periodo refractario)

THO = umbral de reposo (valor sugerido 10 mv)

TMEM = constante de tiempo de la membrana (valor sugerido 5 ms)

TTH = constante de tiempo para cambios en el umbral (valor sugerido 20 ms)

TYPE = tipo de sinapsis

III.4.6 Limitaciones de NEURORED.

NEURORED está limitado por la memoria de la computadora y el tipo de almacenamiento (disco flexible o disco duro). En disco flexible puede trabajarse hasta con 100 neuronas. Con disco duro pueden utilizarse 200 o 300 neuronas, pero la simulación es muy lenta y los archivos de datos son muy largos. Así que, para resultados satisfactorios, es preferible trabajar con un número pequeño de neuronas (alrededor de 60). Para las finalidades de este proyecto éste no es un factor limitante, pues precisamente ese es, aproximadamente, el número de neuronas que pueden registrarse simultáneamente con la tecnología actual empleada en la neurofisiología.

III.4.7 Funcionamiento de NEURORED.

Los pasos fundamentales para utilizar NEURORED son:

a).- Diseñar la red neuronal deseada, es decir, topología y parámetros.

b).- Dibujar la red neuronal en la pantalla utilizando la variedad de opciones y ayudas que ofrece FORMARED y al finalizar se podrá generar automáticamente el archivo de datos de entrada al simulador NEURORED.

c).- Correr NEURORED con las siguientes instrucciones :

```
NEURORED < ARCHIVO.DAT
```

Con esto se iniciará la simulación de la red, generando un archivo con extensión SAL semejante al que se muestra a continuación:

El siguiente archivo muestra la Salida de la Red Neuronal, es decir, una serie de 1's y 0's, que son resultado de la actividad en paralelo. El primer número es el tiempo, los 3 siguientes son las neuronas 1, 2 y 3 y el cuarto número es la fibra, así lo representa el diagrama de la figura 15, de la página 27.

1 0 0 0 1	38 1 0 1 1	75 0 0 1 1
2 1 1 1 1	39 0 0 1 1	76 0 1 1 1
3 0 0 0 1	40 0 0 1 1	77 0 1 0 1
4 0 0 0 1	41 0 0 1 1	78 0 1 0 1
5 1 0 0 1	42 0 0 1 1	79 0 1 0 1
6 1 0 1 1	43 0 0 1 1	80 0 1 0 1
7 0 0 1 1	44 0 1 1 1	81 1 1 0 1
8 0 0 1 1	45 0 1 0 1	82 1 0 0 1
9 0 0 1 1	46 0 1 0 1	83 1 0 0 1
10 0 0 1 1	47 0 1 0 1	84 1 0 0 1
11 0 0 1 1	48 0 1 0 1	85 1 0 0 1
12 0 1 1 1	49 1 1 0 1	86 1 0 1 1
13 0 1 0 1	50 1 0 0 1	87 0 0 1 1
14 0 1 0 1	51 1 0 0 1	88 0 0 1 1
15 0 1 0 1	52 1 0 0 1	89 0 0 1 1
16 0 1 0 1	53 1 0 0 1	90 0 0 1 1
17 1 1 0 1	54 1 0 1 1	91 0 0 1 1
18 1 0 0 1	55 0 0 1 1	92 0 1 1 1
19 1 0 0 1	56 0 0 1 1	93 0 1 0 1
20 1 0 0 1	57 0 0 1 1	94 0 1 0 1
21 1 0 0 1	58 0 0 1 1	95 0 1 0 1
22 1 0 1 1	59 0 0 1 1	96 0 1 0 1
23 0 0 1 1	60 0 1 1 1	97 1 1 0 1
24 0 0 1 1	61 0 1 0 1	98 1 0 0 1
25 0 0 1 1	62 0 1 0 1	99 1 0 0 1
26 0 0 1 1	63 0 1 0 1	100 1 0 0 1
27 0 0 1 1	64 0 1 0 1	
28 0 1 1 1	65 1 1 0 1	
29 0 1 0 1	66 1 0 0 1	
30 0 1 0 1	67 1 0 0 1	
31 0 1 0 1	68 1 0 0 1	
32 0 1 0 1	69 1 0 0 1	
33 1 1 0 1	70 1 0 1 1	
34 1 0 0 1	71 0 0 1 1	
35 1 0 0 1	72 0 0 1 1	
36 1 0 0 1	73 0 0 1 1	
37 1 0 0 1	74 0 0 1 1	

III.5 Despliegue de Impulsos Neuronales (PUNTOS).

PUNTOS es un módulo que permite observar, a la manera de los neurofisiólogos, el archivo generado por NEURORED, dicho archivo está compuesto por ceros (0) y unos (1), que representan los impulsos de la neurona o fibra en determinado instante de tiempo.

III.5.1 Diagrama General.

En el diagrama 5 se muestra como este módulo obtiene la información de los archivos .SAL generados por NEURORED para mostrar en pantalla los impulsos de neuronas seleccionadas.

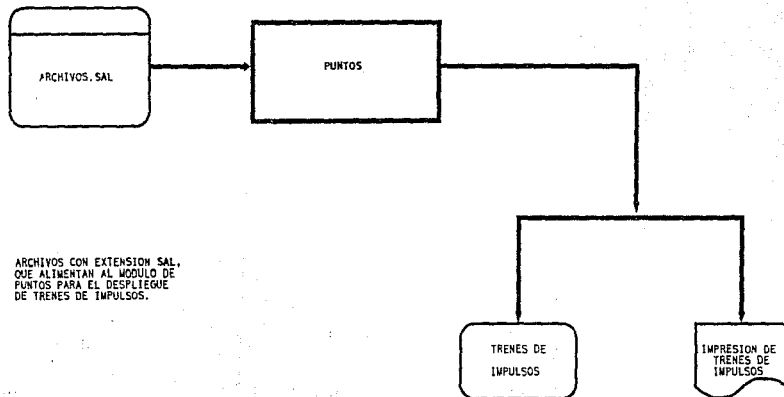
III.5.2 Objetivo.

Desplegar en 4 puertos de salida los trenes de impulsos, resultado de la simulación de una Red Neuronal.

III.5.3 Análisis del Programa.

El requerimiento a este módulo es el despliegue de impulsos en forma ordenada y documentada; está construido bajo el concepto "ventana-puerto", es decir, posee la capacidad para desplegar en una pantalla de 640 x 200 pixeles, trenes de impulsos hasta de 640 impulsos o disparos.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODULO PUNTOS



103

III.5.4 Pseudocódigo

A continuación se muestran los procesos en forma general:

Programa Puntos;

Declaración de arreglos equivalentes al tiempo de simulación;

Declaración de variables de ventanas y puertos;

Declaración de otras variables usadas en el módulo;

Procedimiento para cargar los resultados de una neurona a un arreglo;

Procedimiento para dibujar los puertos y ventanas reales;

Procedimiento para transformación de coordenadas de Ventana-Puerto;

(* Inicio de Puntos*)

inicializa parámetros;

Dibuja Puntos y ventanas;

Repite

 Pregunta en que puerto se va a desplegar;

 Pregunta que neurona o fibra;

 Despliega tren de impulsos;

Hasta que neurona y fibra = 0s

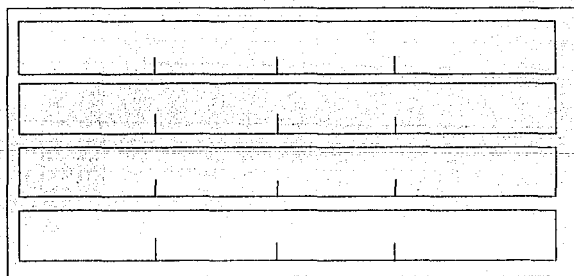
(* fin de Puntos*)

III.5.5 Funcionamiento

Para entrar a este módulo, se selecciona la opción correspondiente (3) y se presionar <ENTER> con lo cual se muestra una pantalla en donde se pregunta el nombre del archivo (sin extensión) que se va a desplegar.

Archivo de trabajo ?

Al proporcionar el nombre correcto, se muestra otra pantalla (ver figura 16) en donde se observan 4 rectángulos principales, los cuales representan una ventana con escala, en donde serán mostrados los trenes de impulsos de la neuronas o fibras que se pidan.



DOSN

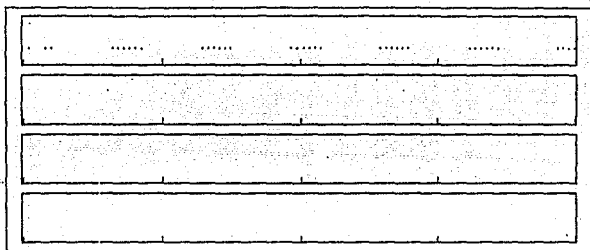
TIEMPO MAXIMO :200

PUERTO #1	PUERTO # 2	PUERTO # 3	PUERTO # 4	ESCOGE??
Neurona:	Neurona:	Neurona:	Neurona:	PUERTO:
Escala:	Escala:	Escala:	Escala:	NEURONA:
disparos:	disparos:	disparos:	disparos:	T1: T2:
T1: T2:	T1: T2:	T1: T2:	T1: T2:	

Figura 16. Pantalla para despliegue de trenes de impulsos.

Como se puede observar es muy útil tener las cuatro ventanas de despliegue para realizar comparaciones entre las neuronas. Para desplegarlas se selecciona el puerto de despliegue, la neurona o fibra y el período de tiempo que se quiere analizar, por ejemplo, en las siguiente secuencia de pantallas se despliega de uno en uno los trenes de impulsos de 4 neuronas que forman parte del archivo OSCILA.SAL.

Por ejemplo, se pide que en el puerto o ventana 1 se muestre la neurona 1 desde el milisegundo 1 hasta el milisegundo 100, como se muestra en la figura 17.



oscila		TIEMPO MAXIMO: 100		
PUERTO #1	PUERTO #2	PUERTO #3	PUERTO #4	ESCOGE ??
Neurona :1	Neurona :	Neurona :	Neurona :	PUERTO :
Escala:25,0	Escala:	Escala:	Escala:	NEURONA :1
disparos:37	disparos:	disparos:	disparos:	T1:1 T2:100
T1:1 T2:100	T1: T2:	T1: T2:	T1: T2:	

Fig. 17 Se observa una ráfaga de impulsos en el primer cuadro o puerto.

Se realiza lo mismo con las demás neuronas y/o fibras, y al terminar de seleccionar los elementos, se visualiza, aunque en forma limitada, un panorama del comportamiento de la red, que nos permita hacer el análisis y comparaciones requeridos (ver fig. 18).

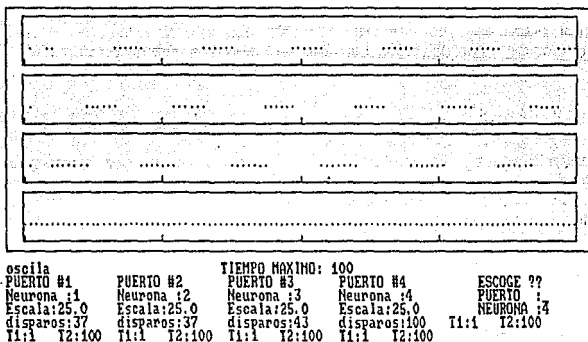


Fig. 18 Impulsos en las ventanas o puertos de salida.

III.5.6 Limitaciones de PUNTOS.

Sin duda alguna PUNTOS es un módulo que apoyará mucho el estudio de Redes Neuronales, pero, es una herramienta que sólo se concreta al desplegado de trenes de impulsos de un máximo de 60 neuronas.

III.6 Despliegue de actividad neuronal en Redes Neuronales con arquitectura bidireccional en dos capas (MOSAICOS).

MOSAICOS es un módulo que permite observar, el despliegue de impulsos neuronales.

III.6.1 Diagrama General.

En el diagrama 6 se muestra como este módulo obtiene la actividad de las Redes Neuronales de los archivos.SAL para posteriormente mostrarlas en pantalla.

III.6.2 Objetivo.

Apoyar al investigador en el análisis de Redes Neuronales, generando gráficas de la actividad neuronal, presenta un despliegue en donde se observa un mosaico en forma de dos capas, es decir, 6 x 4 (un mosaico de 6x6 cuadros y otro de 4x4), en donde se representan las neuronas y/o fibras seleccionadas.

III.6.3 Análisis del Programa

Este módulo se apoya en un 100% en el ambiente grafico de Pascal para presentar 2 Mosaicos representativos de las redes neuronales diseñadas.

El programa trabaja con elementos primitivos de graficación y ecuaciones para dibujar los diferentes mosaicos segun sea el tren de impulsos que se graficara.

III.6.4 Pseudocódigo.

Programa Mosaicos;

Bloque de declaración de variables, coordenadas y parámetros en general;

Validación de archivos solicitados;

Procedimiento para dibujar mosaicos en pantalla;

Procedimiento para lectura de archivos donde se encuentran los trenes de impulsos;

(*Inicio de Mosaicos)

Presentación de Derechos;

Inicialización de algunos parámetros;

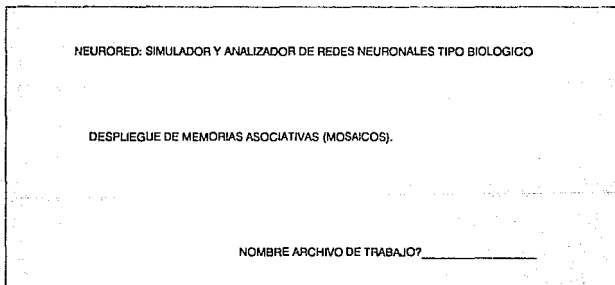
Selección de archivo de trenes de impulsos;

Desplegado de mosaicos;

(*fin de Programa)

III.6.5 Funcionamiento.

Para entrar a este módulo, se selecciona la opción correspondiente (4) o teclear MOSAICOS, si se trabaja con módulos separados. Al entrar al módulo se desplegará una pantalla pidiéndose el nombre de un archivo sin extensión (figura 19) o Red Neuronal, el cual debe de existir en el disco de trabajo o no podrá continuar.



NEURORED: SIMULADOR Y ANALIZADOR DE REDES NEURONALES TIPO BIOLÓGICO

DESPLIEGUE DE MEMORIAS ASOCIATIVAS (MOSAICOS).

NOMBRE ARCHIVO DE TRABAJO? _____

Figura 19.

III.6.5.1 Análisis en dos capas (36 x 16 neuronas artificiales)

En esta opción se analizan Redes Neuronales de 2 capas de 36 x 16 (figura 20.); en esta pantalla se observa para cada milisegundo 2 mosaicos en forma de matriz; el primero de 6 x 6 (figura 21.), sirve para desplegar las primeras 36 neuronas y/o fibras; en el segundo mosaico de 4 x 4 se despliegan las siguientes 16 (figura 22.); la secuencia de las neuronas y/o fibras está relacionada con el archivo.SAL generado por el simulador NEURORED.

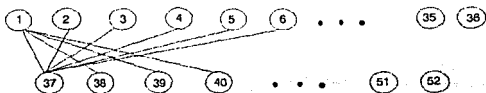


Figura 20.

ARCHIVO DE TRABAJO: MAC.SAL

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36

37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48
49	50	51	52

Figura 22

<ESC> Para salir de MOSAICOS.

<ENTER> Para visualizar el siguiente milisegundo.

Figura 21

En la parte inferior de la pantalla se observan los comandos que se pueden usar para desplegar en cada milisegundo la actividad y su relación. En realidad la importancia de este módulo radica en el análisis que se puede realizar de los mosaicos que se estén presentando en pantalla.

Los 0's y 1's o resultado del análisis en paralelo de el Simulador de MacGregor se pueden observar en dos mosaicos (figura 23 y 24), y dependiendo del problema es la interpretación que se le de.

En el primer Mosaico se visualizan 36 neuronas y en el Segundo Mosaico las siguientes 16 neuronas y fibras que tenga la Red Neuronal.

ARCHIVO DE TRABAJO: MAC.SAL

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36

<ESC> Para salir de MOSAICOS.

<ENTER> Para visualizar el siguiente

Figura 23.

37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48
49	50	51	52

Figura 24.

III.6.6 Limitaciones de MOSAICOS.

EL desplegado en dos capas (36 x 16) está condicionado para manejar 52 neuronas y/o fibras como máximo.

Las dimensiones de los mosaicos son fijas (6x6 y 4x4).

El análisis visual depende de la experiencia y conocimiento del investigador.

Al terminar la tesis ya se ha desarrollado un despliegue general para cualquier número de neuronas en una MAB, pero ya no se incluyó aquí.

CAPITULO IV

APLICACIONES

El presente Capitulo tiene como objetivo mostrar algunas de las aplicaciones de la redes neuronales en situaciones reales. Cabe aclarar que algunos de los trabajos ya han sido realizados por alumnos de la Facultad de Ingeniería.

Es importante mencionar que la utilidad de este simulador depende en un 80 % de la creatividad y claridad para resolver problemas concretos con apoyo de Redes Neuronales.

IV.2 Hamming.

Una de las muchas aplicaciones de las Redes Neuronales , es el Reconocimiento de Patrones , Detección de Errores, Búsqueda de Valores Máximos y Mínimos, etc ...

Para este tipo de aplicaciones existe una configuración de Red, denominada RED DE HAMMING que apoyadas en REDES DE HOPFIELD, para máximos y mínimos, es capaz de identificar vectores en un grupo dado.

En las páginas siguientes se analiza un ejemplo que utiliza este tipo de de RED NEURONAL.

RED NEURONAL TIPO HAMMING.

Distancia de Hamming.

Sean los vectores \underline{u}_i ejemplares y los vectores \underline{x}_j patrones ruidosos. La distancia de Hamming entre los ejemplares y los vectores se define como:

$$H(\underline{x}_j, \underline{u}_i) = \frac{1}{2} \left\{ N - \langle \underline{u}_i, \underline{x}_j \rangle \right\}$$

Donde N es el número de elementos (características o rasgos) en cada vector (patrón).

Para vectores bipolares, es decir cuyos elementos sean unos o menos unos, la distancia de Hamming indica el número de elementos o rasgos en el vector o patrón \underline{x}_j que son diferentes a los de ejemplar \underline{u}_i .

Ejemplo con papel y lápiz:

supongamos que tenemos un ejemplar :

$$\underline{u} = [1 \ 1 \ 1 \ -1]$$

y los siguientes patrones X :

$$\underline{x}_1 = [1 \ -1 \ 1 \ -1]$$

$$\underline{x}_2 = [-1 \ -1 \ 1 \ -1]$$

$$\underline{x}_3 = [-1 \ -1 \ -1 \ -1]$$

$$\underline{x}_4 = [-1 \ -1 \ -1 \ 1]$$

Calcular las correspondientes distancias de Hamming y verificar el resultado:

En este ejemplo se tiene que $N=4$

Caso 1:

$$\begin{aligned}H(\underline{X}_1, \underline{U}) &= 1/2 \{ 4 - [1*1 + 1*(-1) + 1*1 + (-1)*(-1)] \} \\ &= 1/2 \{ 4 - (1 - 1 + 1 + 1) \} = 1/2 \{ 4 - 2 \}\end{aligned}$$

$$H(\underline{X}_1, \underline{U}) = 1$$

Efectivamente, entre \underline{X}_1 y \underline{U} , sólo el elemento 2 es diferente.

Caso 2:

$$\begin{aligned}H(\underline{X}_2, \underline{U}) &= 1/2 \{ 4 - [1(-1) + 1(-1) + 1(+1) + (-1)(-1)] \} \\ &= 1/2 \{ 4 - (-1 - 1 + 1 + 1) \} = 1/2 \{ 4 - 0 \}\end{aligned}$$

$$H(\underline{X}_2, \underline{U}) = 2$$

Efectivamente, entre \underline{X}_2 y \underline{U} los elementos 1 y 2 son diferentes.

Caso 3:

$$\begin{aligned}H(\underline{X}_3, \underline{U}) &= 1/2 \{ 4 - [1(-1) + 1(-1) + 1(-1) + (-1)(-1)] \} \\ &= 1/2 \{ 4 - (-1 - 1 - 1 + 1) \} = 1/2 \{ 4 - (-2) \}\end{aligned}$$

$$H(\underline{X}_3, \underline{U}) = 1/2 \{ 4 + 2 \} = 1/2(6) = 3$$

Efectivamente, 3 elementos (1o, 2o y 3o) de \underline{X}_3 son diferentes a los de \underline{U} .

Caso 4:

$$\begin{aligned}H(\underline{X}_4, \underline{U}) &= 1/2 \{ 4 - [1(-1) + 1(-1) + 1(-1) + (-1) * 1] \} \\ &= 1/2 \{ 4 - (-1 - 1 - 1 - 1) \} = 1/2 \{ 4 - (-4) \}\end{aligned}$$

$$H(\underline{X}_4, \underline{U}) = 1/2 \{ 8 \} = 4$$

Efectivamente, todos los elementos de \underline{X}_4 son diferentes a los de \underline{U} . Notemos que en este caso \underline{X}_4 es el vector ortogonal de \underline{U} .

Comentario:

Si calculamos H para $\underline{x} = \underline{u}$ obtendríamos cero, esta sería la situación óptima, pues no habría un error entre \underline{x} y \underline{u} . En la práctica de lo que se trata es de encontrar la distancia de Hamming mínima y para eso puede utilizarse una red neuronal artificial como veremos a continuación.

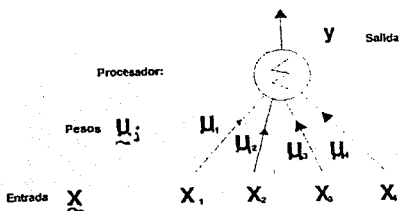
Síntesis de una red neuronal que computa distancias de Hamming.

De la fórmula para la distancia de Hamming vemos que si:

$$\sum u_j x_j = -2H(u_j, x_j)$$

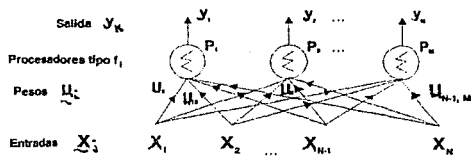
Esta suma es función de la distancia de Hamming e indica que mientras mayor sea ésta, menor será la sumatoria. Así pues, si lo que buscamos es distancia de Hamming mínima, al trabajar con la sumatoria buscaremos que ésta sea máxima.

La sumatoria se puede implementar inmediatamente con una red neuronal. Por ejemplo, para un sólo ejemplar como el del ejemplo, tendríamos la siguiente red:



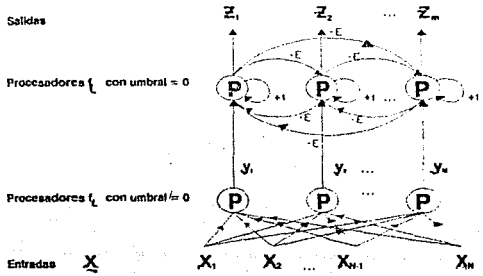
Donde se observa que los elementos del ejemplar han sido utilizados como pesos de las conexiones entre la entrada \underline{X} y el procesador. La salida del procesador está en función de la distancia de Hamming.

Para el caso general en que se tienen M ejemplares, entonces se requieren M procesadores para poder computar las distancias de Hamming correspondientes. El diagrama de la red neuronal es el siguiente:



¿Qué son las salidas Y_k ? Son funciones de la distancia Hamming. En general todas diferentes entre ellas y una tiene un valor máximo que es el que habría que tomar para una distancia de Hamming mínima.

El siguiente problema entonces, es utilizar una red que elija el máximo entre las salidas Y_k . La solución es una red tipo Hopfield con una pequeña variación: los nodos se retroalimentan ellos mismos. Así pues la red queda:



ALGORITMO DE LA RED NEURONAL DE HAMMING.

PASO 1: Asignar los pesos y el umbral.

En la red de arriba:

En la red de abajo:

$$w_{ij} = u_j^j, \quad e_j = N$$

$$1 \leq i \leq N, \quad 1 \leq j \leq M$$

$$t_{kl} = \begin{cases} 1 & k = l \\ -E & k \neq l \end{cases} \quad \text{donde } E < \frac{1}{M}$$

$$1 \leq k, l \leq M$$

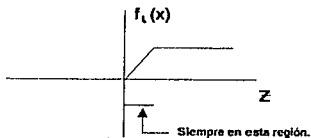
En estas ecuaciones w_{ij} es el peso de la conexión de la entrada i al nodo j en la red de abajo y 0 es el umbral en ese nodo. El peso de la conexión del nodo k al nodo l en la red de arriba es kl y todos los umbrales en esta red son cero. u_j^j es el elemento j del ejemplar j .

PASO 2: Inicializar con un patrón de entrada desconocido.

$$u_j(t) = f_e \left(\sum_{i=1}^N w_{ij} x_i - \theta_j \right)$$

$$1 \leq j \leq M$$

En esta ecuación $u_j(t)$ es la salida del nodo j en la red de arriba con el tiempo t , x_i es el elemento i de la entrada y f_e es una no-linealidad tipo lógica del umbral. Aquí y en lo que sigue se supone que la entrada máxima a la no-linealidad nunca causa saturación de la salida.



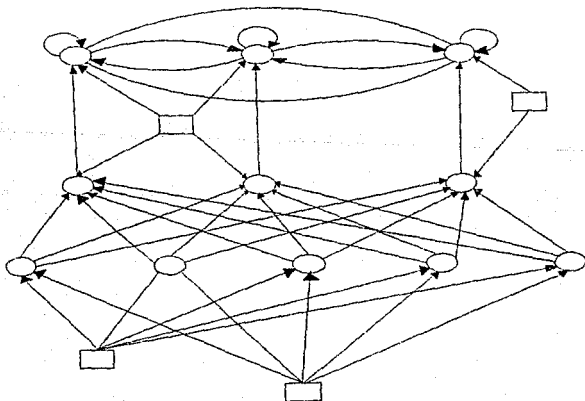
PASO 3: ITERAR HASTA CONVERGENCIA.

$$u_j = f_e (u_j(t) - E \sum_{k \neq j} u_k(t))$$

$$1 \leq j, k \leq M$$

Este proceso se repite hasta convergencia después de la cual sólo un nodo de la salida permanece activo.

En la implementación del ejemplo que se muestra en la figura 24, utilizando NEURORED, todos los procesadores son del mismo tipo, lo que no evita que la red funcione correctamente.



Ejemplo de aplicación de una red de Hamming utilizando NEURORED.

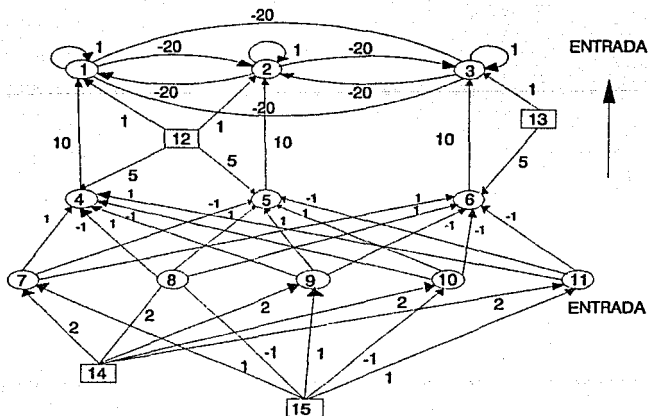
Se construirá una red de Hamming que pueda identificar los tres siguientes vectores cada uno con cinco componentes:

$$\mu_1 = [+1 -1 +1 -1 +1]$$

$$\mu_2 = [-1 +1 +1 +1 -1]$$

$$\mu_3 = [+1 +1 -1 -1 -1]$$

La red necesaria se muestra a continuación.



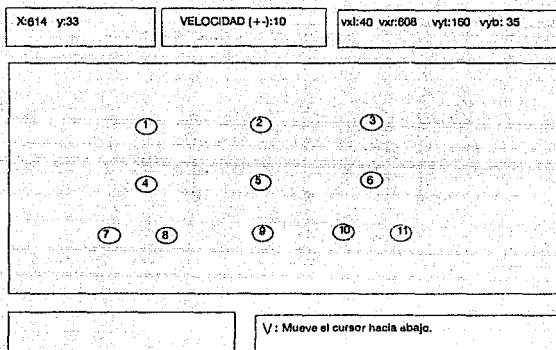


Figura 25 , PASO 1: Apoyados en el programa de FORMARED, se realiza la RED Neuronal, en esta figura se observa la construcción de las neuronas.

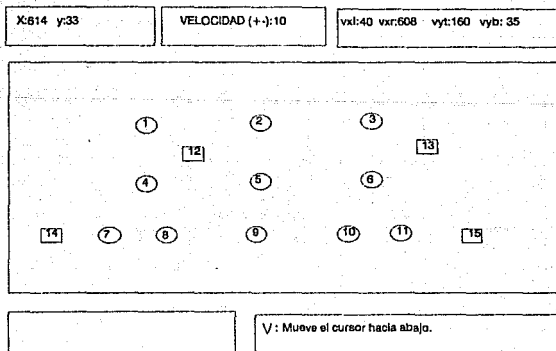


Figura 26, PASO 2: Al igual que las neuronas se realizan las fibras, en la figura se muestran las fibras necesarias para este problema.

Al salir de FORMARED con la opción [S]salida y contestar en forma afirmativa a la pregunta de: ¿Genera archivo de salida? El sistema generará los archivos .RED y el archivo .DAT o datos de entrada a NEURORED. En este ejemplo se generó el archivo HAM.DAT que se muestra a continuación.

hamm1.sal	5,1,1,1,1.,155,1508,396
15,4,11,1,2,2,1.,1,-10	6,2,1,1,1.,155,1508,396
70.,1.,-10.,2.	1,0.,20.,20.,5.,5.,0.,3
1,0.,20.,20.,5.,5.,0.,3	4,1,1,1,1.,155,1508,396
1,1,1,1,1.,155,1508,396	5,2,1,1,1.,155,1508,396
2,2,1,1,20.,155,1508,396	6,2,1,1,1.,155,1508,396
3,2,1,1,20.,155,1508,396	1,1,0,1,999,1626,23,3478,4
1,0.,20.,20.,5.,5.,0.,3	1,1,1,1,1.,1227,1357,3498
1,2,1,1,20.,155,1508,396	2,1,1,1,1.,1227,1357,3498
2,1,1,1,1.,155,1508,396	4,1,1,1,5.,1227,1357,3498
3,2,1,1,20.,155,1508,396	5,1,1,1,5.,1227,1357,3498
1,0.,20.,20.,5.,5.,0.,3	1,1,0,1,999,1626,23,3478,2
1,2,1,1,20.,155,1508,396	3,1,1,1,1.,1227,1357,3498
2,2,1,1,20.,155,1508,396	6,1,1,1,5.,1227,1357,3498
3,1,1,1,1.,155,1508,396	1,1,0,1,999,1626,23,3478,5
1,1.,20.,20.,5.,5.,10.,1	7,1,1,1,2.,1227,1357,3498
1,1,1,1,10.,155,1508,396	8,1,1,1,2.,1227,1357,3498
1,1.,20.,20.,5.,5.,10.,1	9,1,1,1,2.,1227,1357,3498
2,1,1,1,10.,155,1508,396	10,1,1,1,2.,1227,1357,3498
1,1.,20.,20.,5.,5.,10.,1	11,1,1,1,2.,1227,1357,3498
3,1,1,1,10.,155,1508,396	1,1,0,1,999,1626,23,3478,5
1,0.,20.,20.,5.,5.,0.,3	7,1,1,1,1.,1227,1357,3498
4,1,1,1,1.,155,1508,396	8,2,1,1,1.,1227,1357,3498
5,2,1,1,1.,155,1508,396	9,1,1,1,1.,1227,1357,3498
6,1,1,1,1.,155,1508,396	10,2,1,1,1.,1227,1357,3498
1,0.,20.,20.,5.,5.,0.,3	11,1,1,1,1.,1227,1357,3498
4,2,1,1,1.,155,1508,396	200
5,1,1,1,1.,155,1508,396	
6,1,1,1,1.,155,1508,396	
1,0.,20.,20.,5.,5.,0.,3	
4,1,1,1,1.,155,1508,396	
5,1,1,1,1.,155,1508,396	
6,2,1,1,1.,155,1508,396	
1,0.,20.,20.,5.,5.,0.,3	
4,2,1,1,1.,155,1508,396	

Fibra 14

Fibra 15

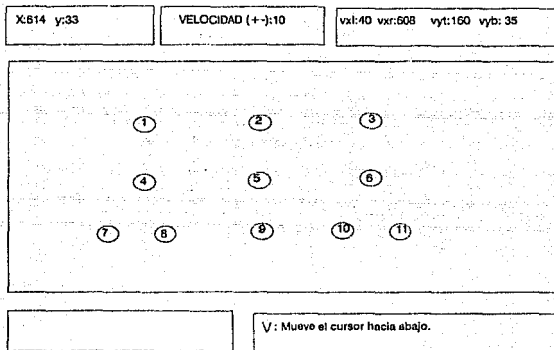


Figura 25 , PASO 1: Apoyados en el programa de FORMARED, se realiza la RED Neuronal, en esta figura se observa la construcción de las neuronas.

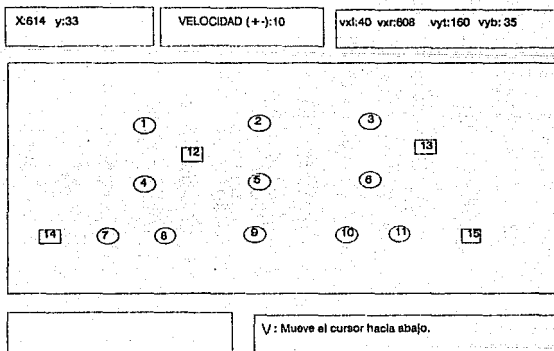
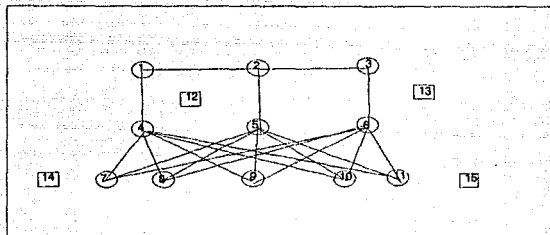


Figura 26, PASO 2: Al igual que las neuronas se realizan las fibras, en la figura se muestran las fibras necesarias para este problema.

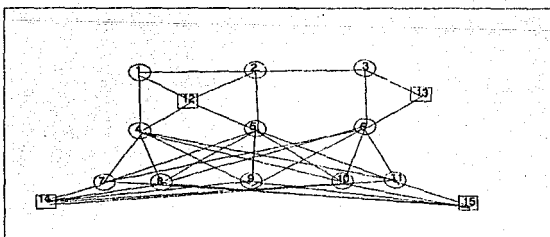
X:614 y:33	VELOCIDAD (+-):10	vxl:40 vxr:608 vyt:160 vyb:35
------------	-------------------	-------------------------------



	V : Muevo el cursor hacia abajo.
--	----------------------------------

Figura 27, PASO 3: En la figura se se muestra la conectividad entre las neuronas.

X:614 y:33	VELOCIDAD (+-):10	vxl:40 vxr:608 vyt:160 vyb:35
------------	-------------------	-------------------------------



	V : Muevo el cursor hacia abajo.
--	----------------------------------

Figura 28, PASO 4: En esta figura se muestra la red que finalmente se va a evaluar.

Al salir de FORMARED con la opción [S]salida y contestar en forma afirmativa a la pregunta de: ¿Genera archivo de salida? El sistema generará los archivos .RED y el archivo .DAT o datos de entrada a NEURORED. En este ejemplo se generó el archivo HAM.DAT que se muestra a continuación.

hamm1.sal	5,1,1,1,1,,155,1508,396	
15,4,11,1,2,2,1,1,-10	6,2,1,1,1,,155,1508,396	
70,,1,-10,,2	1,0,,20,,20,,5,,5,,0,,3	
1,0,,20,,20,,5,,5,,0,,3	4,1,1,1,1,,155,1508,396	
1,1,1,1,1,,155,1508,396	5,2,1,1,1,,155,1508,396	
2,2,1,1,20,,155,1508,396	6,2,1,1,1,,155,1508,396	
3,2,1,1,20,,155,1508,396	1,1,0,1,999,1626,23,3478,4	
1,0,,20,,20,,5,,5,,0,,3	1,1,1,1,1,,1227,1357,3498	
1,2,1,1,20,,155,1508,396	2,1,1,1,1,,1227,1357,3498	
2,1,1,1,1,,155,1508,396	4,1,1,1,5,,1227,1357,3498	
3,2,1,1,20,,155,1508,396	5,1,1,1,5,,1227,1357,3498	
1,0,,20,,20,,5,,5,,0,,3	1,1,0,1,999,1626,23,3478,2	
1,2,1,1,20,,155,1508,396	3,1,1,1,1,,1227,1357,3498	
2,2,1,1,20,,155,1508,396	6,1,1,1,5,,1227,1357,3498	
3,1,1,1,1,,155,1508,396	1,1,0,1,999,1626,23,3478,5	----- Fibra 14
1,1,,20,,20,,5,,5,,10,,1	7,1,1,1,2,,1227,1357,3498	
1,1,1,1,10,,155,1508,396	8,1,1,1,2,,1227,1357,3498	
1,1,,20,,20,,5,,5,,10,,1	9,1,1,1,2,,1227,1357,3498	
2,1,1,1,10,,155,1508,396	10,1,1,1,2,,1227,1357,3498	
1,1,,20,,20,,5,,5,,10,,1	11,1,1,1,2,,1227,1357,3498	
3,1,1,1,10,,155,1508,396	1,1,0,1,999,1626,23,3478,5	----- Fibra 15
1,0,,20,,20,,5,,5,,0,,3	7,1,1,1,1,,1227,1357,3498	
4,1,1,1,1,,155,1508,396	8,2,1,1,1,,1227,1357,3498	
5,2,1,1,1,,155,1508,396	9,1,1,1,1,,1227,1357,3498	
6,1,1,1,1,,155,1508,396	10,2,1,1,1,,1227,1357,3498	
1,0,,20,,20,,5,,5,,0,,3	11,1,1,1,1,,1227,1357,3498	
4,2,1,1,1,,155,1508,396	200	
5,1,1,1,1,,155,1508,396		
6,1,1,1,1,,155,1508,396		
1,0,,20,,20,,5,,5,,0,,3		
4,1,1,1,1,,155,1508,396		
5,1,1,1,1,,155,1508,396		
6,2,1,1,1,,155,1508,396		
1,0,,20,,20,,5,,5,,0,,3		
4,2,1,1,1,,155,1508,396		

El archivo HAM.DAT se utiliza como base para introducir los diferentes vectores que se quieran identificar. Para introducir los vectores ejemplares como pregunta a la red, basta escribir los componentes en los renglones correspondientes del archivo. En este ejemplo, después del renglón para la fibra 15 (indicado con flecha) están cuatro renglones de datos y en las columnas 2 y 5 de éstos están los componentes del vector que se quiere identificar. Si se quieren cambiar se puede utilizar cualquier editor. Hay que recordar que el número en la columna 2 indica el signo (1 = +, 2 = -) y el número en la columna 5 es el valor. En el archivo que se muestra tenemos [+1,-1,+1,-1,1], es decir el vector \underline{u}_1 .

Una vez creados los archivos .DAT y .RED, se pueden alterar para mejorar los resultados u obtener las respuestas esperadas, tal es el caso de nuestro ejemplo, que se modifico el archivo .RED, quedando como se muestra a continuación.

N	C	N	6	5	N	U	U
1	3	5	394	274	11	4	8
164	394	274	93	93	434	164	194
143	143	93	1	1	55	93	55
C	-2	C	N	C	C	2	2
1	N	2	8	6	4	U	U
164	3	274	194	394	164	5	9
143	394	143	55	93	93	274	274
1	143	1	C	-1	1	93	55
C	C	N	4	N	C	2	2
2	3	6	164	10	5	F	U
274	394	394	93	354	274	13	10
143	143	93	-1	55	93	464	354
-2	1	C	C	C	-1	113	55
C	C	3	5	4	C	U	2
3	1	394	274	164	6	3	U
394	164	143	93	93	394	394	11
143	143	1	1	-1	93	143	434
-2	-2	N	C	C	-1	2	55
N	C	7	6	5	F	U	2
2	2	124	394	274	12	6	F
274	274	55	93	93	224	394	15
143	143	C	1	1	113	93	504
C	-2	4	N	C	U	2	30
1	N	164	9	4	1	F	U
164	4	93	274	164	164	14	7
143	164	1	55	93	143	64	124
-2	93	C	C	1	2	30	55
C	C	5	4	C	U	U	1
2	1	274	164	6	2	7	U
274	164	93	93	394	274	124	
143	143	-1	1	93	143	55	
1	1	C	C	-1	2	2	

Al dirigir el archivo de datos HAM.DAT al simulador NEURORED, resulta el archivo de salida HAMM1.SAL. Este archivo se muestra a continuación.

```
1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
2 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
6 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
7 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
8 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
9 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
10 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
11 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
12 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
13 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
14 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
15 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
16 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
17 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
18 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
19 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
20 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
21 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1
22 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
23 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
24 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
25 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
26 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
27 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
28 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1
29 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
30 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
31 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
32 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
33 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
```

Continua ...

34 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1
 35 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 36 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 37 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 38 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 39 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 40 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 41 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 42 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 43 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 44 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 45 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 46 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 47 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1
 48 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 49 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 50 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 51 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 52 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 53 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 54 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 55 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 56 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 57 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 58 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 59 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 60 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1
 61 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 62 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 63 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 64 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 65 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 66 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 67 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 68 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 69 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 70 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 71 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 72 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 73 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1
 74 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 75 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
 76 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1

Continua ...

77 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
78 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
79 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
80 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
81 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
82 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
83 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
84 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
85 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
86 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1
87 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
88 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
89 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
90 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
91 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
92 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
93 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
94 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
95 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
96 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
97 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
98 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
99 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1
100 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
101 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
102 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
103 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
104 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
105 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
106 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
107 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
108 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
109 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
110 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
111 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
112 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1
113 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
114 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
115 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
116 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
117 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
118 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
119 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1

Continua ...

120 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
121 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
122 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
123 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
124 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
125 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1
126 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
127 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
128 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
129 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
130 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
131 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
132 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
133 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
134 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
135 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
136 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
137 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
138 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1
139 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
140 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
141 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
142 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
143 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
144 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
145 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
146 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
147 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
148 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
149 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
150 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
151 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1
152 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
153 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
154 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
155 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
156 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
157 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
158 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
159 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
160 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
161 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
162 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1

Continua ...

163	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
164	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1
165	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
166	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
167	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
168	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
169	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
170	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
171	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
172	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
173	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
174	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
175	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
176	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
177	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
178	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
179	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
180	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
181	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
182	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
183	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
184	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
185	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
186	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
187	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
188	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
189	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
190	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
191	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
192	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
193	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
194	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
195	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
196	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
197	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
198	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
199	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
200	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fin.

En el archivo HAMM1.SAL la primera columna es el tiempo (desde 1 hasta 200) y el resto de columnas son las activaciones (unos o ceros) de las neuronas y de las fibras, en ese orden, leyendo de izquierda a derecha. De la columna 2 a la columna 12 están las activaciones de las neuronas 1 a 11; y de la columna 13 a la 15 son las activaciones de las fibras 12 a 14 (véase Fig. 28). En esta red, las neuronas que toman la decisión final son las de salida, es decir, las neuronas 1, 2 y 3, cuyas activaciones están en las columnas 2, 3 y 4. Si únicamente nos fijamos en estas tres columnas, notamos que del tiempo 1 al tiempo 58 los disparos de las neuronas 1,2 y 3 se dan en cualquier orden, es decir, se disparan las neuronas por pares o las tres simultáneamente o no se dispara ninguna. Pero a partir del tiempo 59 y por el resto del tiempo de la simulación (hasta 200) ya sólo se dispara la neurona 1. Esto indica la obtención de la solución y que se ha identificado al vector μ_1 (ya que está asociado con la neurona 1) como el presentado para identificación. Se puede hacer lo mismo para los vectores μ_2 y μ_3 y por la capacidad para generalizar de las redes neuronales se puede presentar cualquier otro vector de cinco componentes y la red de Hamming tratará de identificarlo. Si el vector es muy diferente es posible que la red no llegue a una solución y, entonces, por más larga que se haga la simulación no se llegará a un estado en el que sólo se dispare una neurona de las tres de salida.

IV.2 Asignación de Tareas.

Otra de las aplicaciones de las Redes Neuronales, es apoyar en las solución de problemas de optimización, por ejemplo: Optimización de Tiempos, distancias, energías, etc..., es decir, en todos aquellos problemas en donde se busca el máximo aprovechamiento de los recursos.

Es muy importante saber cuándo y cómo utilizar algún modelo de Red Neuronal, (Hamming, Hopfield, Mab, etc...).

Problema Propuesto:

Una biblioteca pública da servicio a varias Universidades, preparatorias y secundarias, lo cual implica que la entrada y salida de libros es continua y numerosa. En la biblioteca laboran 6 personas que se encargan de acomodar, repartir y proporcionar libros a los usuarios, cada uno de ellos cuenta con una calificación de eficiencia en su trabajo, en la figura No. 29 de la siguiente página se observa una matriz con las calificaciones por empleado y temas de libros que proporcionan.

Este ejemplo lo popularizó John Hopfield y ha sido muy útil para entender el funcionamiento distribuido y en paralelo, así como la capacidad para optimizar de las redes neuronales artificiales.

		TEMAS					
ASISTENTES	ADRIANA	10	5	4	6	5	1
	FRANCISCO	6	4	9	7	3	
	ARACELI	1	8	3	6	4	6
	CARLOS	5	3	7	2	1	4
	ESTELA	3	2	5	6	8	7
	PATRICIA	7	6	4	1	3	2
		GEOLOGIA	FISICA	QUIMICA	HISTORIA	POESIA	ARTE

Figura 29, Ej.: Adriana tiene una calificación de 10 para trabajar con libros de Geología, pero no es buena trabajando con libros de Arte.

TEMAS

ASISTENTES	10	5	4	6	5	1	ADRIANA
	6	4	9	7	3		FRANCISCO
	1	8	3	6	4	6	ARACELI
	5	3	7	2	1	4	CARLOS
	3	2	5	6	8	7	ESTELA
	7	6	4	1	3	2	PATRICIA
	GEOLOGIA	FISICA	QUIMICA	HISTORIA	POESIA	ARTE	

Figura 29, Ej.: Adriana tiene una calificación de 10 para trabajar con libros de Geología, pero no es buena trabajando con libros de Arte.

El problema aquí es distribuir el trabajo a los empleados de tal forma que la eficiencia colectiva sea máxima.

Sin duda alguna este problema se puede resolver con algunos métodos ya conocidos como "Ruta Crítica", " Método Alfa", "Método Gama", "Máximos y Mínimos", etc..., pero son métodos que no "ven" a los empleados como un todo y para encontrar la solución requieren de realizar una serie de pasos y operaciones ya establecidas.

Lo interesante al resolverlo con Redes Neuronales es precisamente que el tratamiento es en paralelo, es decir, "ve" a los empleados a la misma vez y la solución la obtiene en muy poco tiempo.

Desarrollo:

Para resolver el problema es necesario hacer algunas suposiciones:

- a).- Cada elemento renglón-columna (Asistentes-Temas) será considerado como una neurona.
- b).- Las calificaciones iniciales serán la intensidad sináptica de conexión de la Fibra hacia las neuronas, es decir, funcionará como un disparador de la actividad.
- c).- Cada neurona inhibe a todas las demás del renglón y la columna correspondiente, implicando la competencia, entre las neuronas y, a la larga, solo una de ellas ganará en cada renglón y columna.

En las siguientes figuras se muestra la solución del problema, apoyándose en el módulo de FORMARED.

Figura 30, PASO 1: Se Generan las neuronas correspondientes , es decir, las 36 que representan al Empleado-Tema.

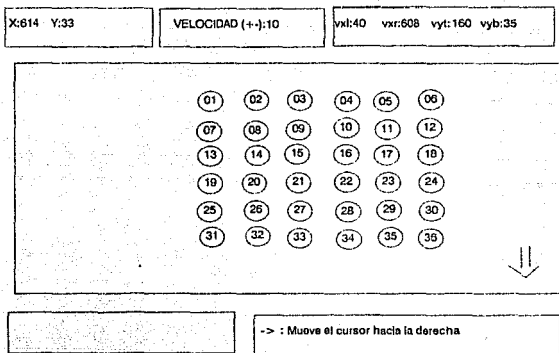


Figura 31, PASO 2: Se Genera la Fibra que dará Inicio a la actividad Neuronal.

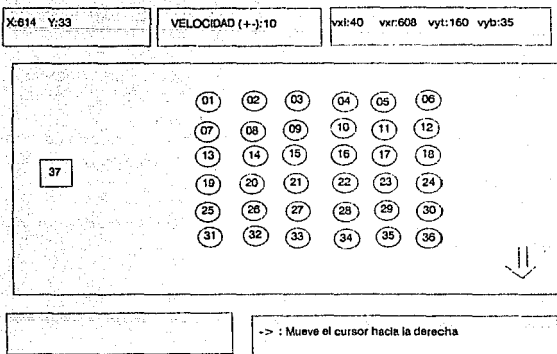


Figura 32, PASO 3: Se realiza la conexión de cada una de las neuronas con todas las demás neuronas, con lo que se mantiene la actividad en paralelo.

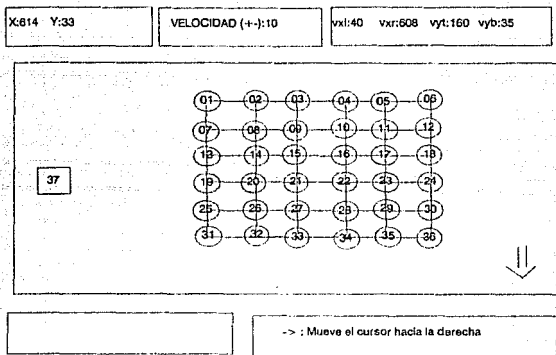
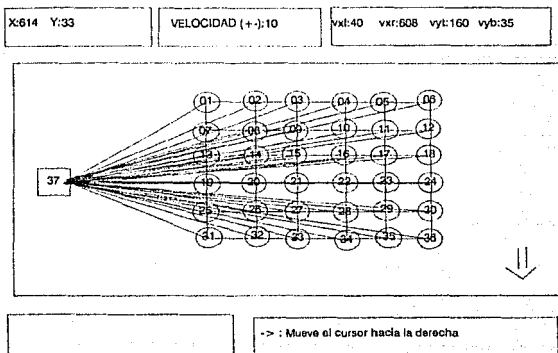


Figura 33, PASO 4: Se conecta la Fibra con todas las Neuronas, con una Intensidad sináptica Igual a la calificación de eficiencia de cada empleado por tema.



Al Salir de FORMARED con la opción [S] salida y contestar en forma afirmativa a la pregunta : ¿Genera Archivo de Salida ?. El sistema generará los archivos .RED y el archivo .DAT o datos de entrada a Neurored, a continuación se muestra una parte del archivo .DAT o datos.

optim4.sad	20.2,1,1,10,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	15,2,1,1,19,155,1508,390	17,1,1,1,4,1227,1357,3490
37,1,20,1,2,2,1,1,-10	35,2,1,1,10,155,1508,390	4,2,1,1,18,155,1508,390	10,2,1,1,19,155,1508,390	18,1,1,1,6,1227,1357,3490
70,1,-10,2	1,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	17,2,1,1,19,155,1508,390	10,1,1,1,3,1227,1357,3490
1,0,20,20,5,5,10,10	2,2,1,1,19,155,1508,390	22,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	20,1,1,3,1227,1357,3490
7,2,1,1,19,155,1508,390	3,2,1,1,19,155,1508,390	23,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	21,1,1,1,7,1227,1357,3490
13,2,1,1,19,155,1508,390	4,2,1,1,19,155,1508,390	34,2,1,1,19,155,1508,390	3,2,1,1,19,155,1508,390	22,1,1,2,1227,1357,3490
19,2,1,1,19,155,1508,390	0,7,1,1,10,155,1508,390	7,2,1,1,19,155,1508,390	8,2,1,1,10,155,1508,390	23,1,1,1,1,1227,1357,3490
25,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	8,2,1,1,19,155,1508,390	21,2,1,1,19,155,1508,390	33,1,1,1,4,1227,1357,3490
31,2,1,1,19,155,1508,390	12,2,1,1,19,155,1508,390	0,2,1,1,19,155,1508,390	27,2,1,1,19,155,1508,390	25,1,1,3,1227,1357,3490
3,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	33,2,1,1,19,155,1508,390	26,1,1,2,1227,1357,3490
3,2,1,1,19,155,1508,390	24,2,1,1,19,155,1508,390	12,2,1,1,19,155,1508,390	13,2,1,1,19,155,1508,390	27,1,1,5,1227,1357,3490
4,2,1,1,19,155,1508,390	30,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	14,2,1,1,19,155,1508,390	29,1,1,6,1227,1357,3490
8,2,1,1,19,155,1508,390	36,2,1,1,19,155,1508,390	5,2,1,1,19,155,1508,390	16,2,1,1,19,155,1508,390	20,1,1,8,1227,1357,3490
8,2,1,1,19,155,1508,390	42,1,1,19,155,1508,390	17,2,1,1,19,155,1508,390	17,2,1,1,19,155,1508,390	30,1,1,1,7,1227,1357,3490
1,0,20,20,5,5,10,10	2,2,1,1,19,155,1508,390	23,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	31,1,1,7,1227,1357,3490
8,2,1,1,19,155,1508,390	3,2,1,1,19,155,1508,390	29,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	39,1,1,1,6,1227,1357,3490
14,2,1,1,19,155,1508,390	4,2,1,1,19,155,1508,390	35,2,1,1,19,155,1508,390	4,2,1,1,19,155,1508,390	24,1,1,1,4,1227,1357,3490
20,2,1,1,19,155,1508,390	5,2,1,1,19,155,1508,390	7,7,1,1,19,155,1508,390	10,2,1,1,19,155,1508,390	34,1,1,1,1,1227,1357,3490
26,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	8,2,1,1,19,155,1508,390	22,2,1,1,19,155,1508,390	35,1,1,1,1,1227,1357,3490
32,2,1,1,19,155,1508,390	1,2,1,1,10,155,1508,390	9,2,1,1,19,155,1508,390	23,2,1,1,19,155,1508,390	30,1,1,1,2,1227,1357,3490
1,2,1,1,19,155,1508,390	13,2,1,1,19,155,1508,390	10,2,1,1,19,155,1508,390	34,2,1,1,19,155,1508,390	25
3,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	12,2,1,1,19,155,1508,390	13,2,1,1,19,155,1508,390	
4,2,1,1,19,155,1508,390	25,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	14,2,1,1,19,155,1508,390	
5,2,1,1,19,155,1508,390	31,2,1,1,19,155,1508,390	8,2,1,1,19,155,1508,390	15,2,1,1,19,155,1508,390	
6,2,1,1,19,155,1508,390	0,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	17,2,1,1,19,155,1508,390	
1,0,20,20,5,5,10,10	8,2,1,1,19,155,1508,390	24,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	
9,2,1,1,19,155,1508,390	10,2,1,1,19,155,1508,390	30,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	
15,2,1,1,19,155,1508,390	11,2,1,1,19,155,1508,390	36,2,1,1,19,155,1508,390	5,2,1,1,19,155,1508,390	
21,2,1,1,19,155,1508,390	12,2,1,1,19,155,1508,390	7,2,1,1,19,155,1508,390	11,2,1,1,19,155,1508,390	
27,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	8,2,1,1,19,155,1508,390	23,2,1,1,19,155,1508,390	
33,2,1,1,19,155,1508,390	2,2,1,1,19,155,1508,390	0,2,1,1,19,155,1508,390	20,2,1,1,19,155,1508,390	
1,2,1,1,19,155,1508,390	14,2,1,1,19,155,1508,390	10,2,1,1,19,155,1508,390	33,2,1,1,19,155,1508,390	
2,2,1,1,19,155,1508,390	20,2,1,1,19,155,1508,390	11,2,1,1,19,155,1508,390	13,2,1,1,19,155,1508,390	
4,2,1,1,19,155,1508,390	26,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	14,2,1,1,19,155,1508,390	
5,2,1,1,19,155,1508,390	32,2,1,1,19,155,1508,390	1,2,1,1,19,155,1508,390	15,2,1,1,19,155,1508,390	
6,2,1,1,19,155,1508,390	7,2,1,1,19,155,1508,390	7,2,1,1,19,155,1508,390	16,2,1,1,19,155,1508,390	
1,0,20,20,5,5,10,10	10,2,1,1,19,155,1508,390	10,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	
10,2,1,1,19,155,1508,390	10,2,1,1,19,155,1508,390	25,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	
18,2,1,1,19,155,1508,390	11,2,1,1,19,155,1508,390	31,2,1,1,19,155,1508,390	6,2,1,1,19,155,1508,390	
22,2,1,1,19,155,1508,390	12,2,1,1,19,155,1508,390	14,2,1,1,19,155,1508,390	12,2,1,1,19,155,1508,390	
28,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	15,2,1,1,19,155,1508,390	24,2,1,1,19,155,1508,390	
34,2,1,1,19,155,1508,390	3,2,1,1,19,155,1508,390	10,2,1,1,19,155,1508,390	30,2,1,1,19,155,1508,390	
1,2,1,1,19,155,1508,390	15,2,1,1,19,155,1508,390	17,2,1,1,19,155,1508,390	36,2,1,1,19,155,1508,390	
2,2,1,1,19,155,1508,390	21,2,1,1,19,155,1508,390	18,2,1,1,19,155,1508,390	13,2,1,1,19,155,1508,390	
3,2,1,1,19,155,1508,390	27,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	14,2,1,1,19,155,1508,390	
8,2,1,1,19,155,1508,390	33,2,1,1,19,155,1508,390	2,2,1,1,19,155,1508,390	15,2,1,1,19,155,1508,390	
6,2,1,1,19,155,1508,390	7,2,1,1,19,155,1508,390	8,2,1,1,19,155,1508,390	16,2,1,1,19,155,1508,390	
1,0,20,20,5,5,10,10	0,2,1,1,19,155,1508,390	20,2,1,1,19,155,1508,390	17,2,1,1,19,155,1508,390	
11,2,1,1,19,155,1508,390	10,2,1,1,19,155,1508,390	26,2,1,1,19,155,1508,390	1,0,20,20,5,5,10,10	
17,2,1,1,19,155,1508,390	11,2,1,1,19,155,1508,390	32,2,1,1,19,155,1508,390	1,2,1,1,19,155,1508,390	
23,2,1,1,19,155,1508,390	12,2,1,1,19,155,1508,390	13,2,1,1,19,155,1508,390	7,2,1,1,19,155,1508,390	

El siguiente archivo fue generado por el módulo de FORMARED, para el ejemplo de asignación de Tareas, en él se puede observar cómo está formada físicamente la Red Neuronal, es decir, si se tuviera lápiz y papel milimétrico a la mano, se podría dibujar la Red. ¿Cómo?. Primero hay que definir el significado de las letras : N: Neurona; F:Fibra; C:Conexión de Neurona a Neurona ; U: Conexión de la Fibra a la Neurona ; Los números son Coordenadas, Intensidades Sinápticas o etiquetas de identificación.

N	150	6	-5	450	C	-5
1	-5	500	C	150	4	C
250	N	150	6	-5	400	10
190	2	-5	500	C	150	250
C	300	N	150	6	-5	90
7	150	3	-5	500	C	-5
250	C	390	N	150	5	C
130	6	150	4	-5	500	25
-5	300	C	400	N	150	250
C	150	9	150	5	-5	70
13	-5	350	C	450	N	-5
250	C	130	10	150	6	C
110	14	-5	400	C	500	31
-5	300	C	130	11	150	250
C	110	15	-5	450	C	50
19	-5	350	C	130	12	-5
250	C	119	16	-5	500	C
90	20	-5	400	C	130	5
-5	300	C	110	17	-5	300
C	90	21	-5	450	C	130
25	-5	300	C	110	18	-5
250	C	90	22	-5	500	C
70	28	-5	400	C	110	9
-5	300	C	90	23	-5	350
C	70	27	-5	450	C	130
31	-5	350	C	90	24	-5
250	C	70	28	-5	500	C
50	32	-5	400	C	90	10
-5	300	C	70	29	-5	400
C	50	33	-5	450	C	130
2	-5	350	C	70	33	-5
300	C	50	34	-5	500	C
150	1	-5	400	C	70	11
-5	250	C	80	30	-5	450
C	150	1	-5	450	C	130
3	-5	250	C	90	36	-5
350	C	150	1	-5	500	C
130	3	-5	250	C	80	12
-5	350	C	150	1	-5	500
C	150	2	-5	250	N	130
4	-5	300	C	150	7	-5
400	C	150	2	-5	250	N
150	4	-5	300	C	130	8
-5	400	C	150	2	C	300
C	150	4	-5	300	1	130
5	-5	400	C	150	250	C
450	C	150	3	-5	150	2
150	5	-5	300	C	-5	300
-5	450	C	150	3	C	150
C	150	5	-5	350	13	-5
6	-5	450	C	150	250	C
500	C	150	6	-5	110	14

Al entrar al módulo de MOSAICOS y pedir por el archivo .SAL (OPTIM4.SAL), la primera impresión será la siguiente :

ARCHIVO DE TRABAJO: OPTIM4.SAL

<ESC> Para salir de MOSAICOS.

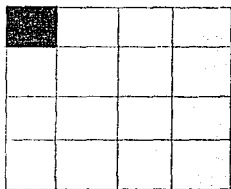
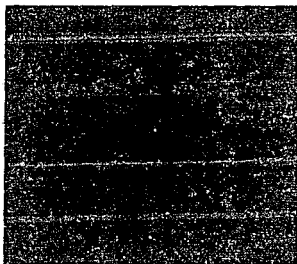
<ENTER> Para visualizar el siguiente

Al recorrer el archivo .SAL y mostrarlo en la pantalla, se observa la actividad neuronal en cada milisegundo; en nuestro problema, cada milisegundo desplegado será una solución que quizás sea factible, pero no óptima.

Ejemplos:

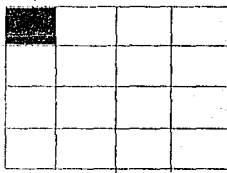
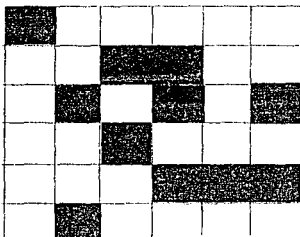
- Cuando el milisegundo es igual a 2, la red empieza a activarse y no presenta ninguna solución.:

MILISEGUNDO # 2



- Cuando el milisegundo es igual a 7, la Red empieza a buscar soluciones.

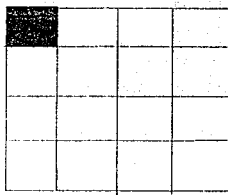
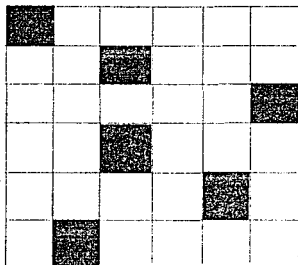
MILISEGUNDO # 7



ESTA TESTS NO PUEDE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

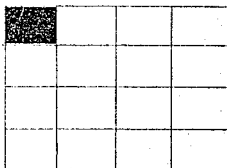
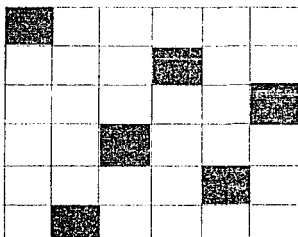
- Cuando el milisegundo es igual a 13, se acerca a una solución, pero faltaría alguien que trabajara en el guardado de los libros de Historia.

MILISEGUNDO # 13



Cuando el milisegundo es igual a 19, se encuentra una solución óptima, esto es, "a cada asistente se le asigna un tema en especial y la resultante global es máxima.

MILISEGUNDO # 19



Analizando la solución anterior, se puede concluir que la forma más eficiente de trabajar de los empleados en la Biblioteca es la siguiente:

ADRIANA archivará los libros de GEOLOGIA = 10

FRANCISCO los libros de HISTORIA = 7

ARACELI los libros de ARTE = 6

CARLOS los libros de QUIMICA = 7

ESTELA los de POESIA = 8

PATRICIA los libros de FISICA = 6

TOTAL = 44 OPTIMO GLOBAL

Se podrían generar más soluciones cambiando las intensidades sinápticas de las neuronas, pero las soluciones que se obtendrían serían muy similares a la mostrada anteriormente, pero representarían óptimos locales.

Otra conclusión a este problema, es la velocidad de trabajo, es decir, en este caso el resultado lo encontró en el milisegundo 19. Es posible que un método tradicional hubiera sido más lento. Otro punto importante es la cantidad de neuronas, ya que al realizar un problema con 100 neuronas se facilita más en Redes Neuronales que con otros métodos.

IV.3 Osciladores.

Los osciladores son sistemas que tienen una salida que los caracteriza, es decir, son salidas que varían, pero que en rangos continuos siguen una cierta periodicidad y regularidad.

Los osciladores son muy comunes y los podemos observar en péndulos, vibradores, ondas eléctricas y en los movimientos de locomoción, etc...

En Redes Neuronales se pueden diseñar redes que tengan como salida un Oscilador, y que pueden servir de entrada a otros Sistemas o Procesos.

En las siguientes páginas se diseña una red y se variarán los parámetros en forma manual para buscar los valores que hagan que la red genere las salidas oscilatorias que se desean.

Este es un ejemplo de la utilización de NEURORED para simular un oscilador con inspiración biológica.

Desarrollo:

Es siempre un buen ejercicio de prueba, de un simulador neuronal, el lograr encontrar los parámetros adecuados para producir oscilaciones en una red pequeña, los pasos a seguir son:

a).- Apoyandose en FORMARED, realizar la Red Neuronal y generar el archivo de entrada a NEURORED.

b).- Correr NEURORED con el archivo de datos generado, con lo cual se generarán una serie de 1's y 0's, que son las salidas oscilatorias.

c).- Revisar visualmente las salidas de 1's y 0's.

Si las salidas no son las esperadas se varían los parámetros de conectividad para obtener mejores resultados.

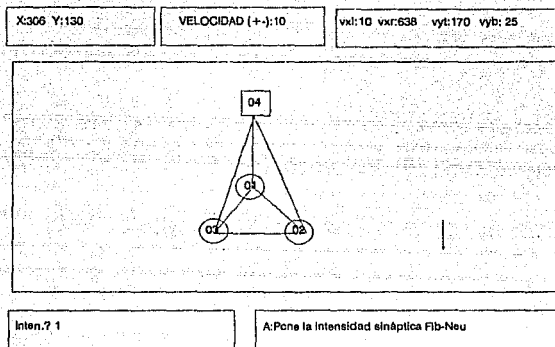


Figura 34, Oscilador Neuronal.

En la red neuronal de la figura 34, la fibra envía tres terminales excitatorias, una a cada neurona. Esto sirve para iniciar la actividad simultánea de las neuronas 1, 2 y 3. A su vez las neuronas se inhiben entre sí, es decir, la neurona 1 inhibe a la neurona 2 y ésta a su vez inhibe a la neurona 3, y ésta a la neurona 1. Al salir del Módulo FORMARED, se genera el archivo de datos entrada a NEURORED y el archivo .RED, que genera gráficamente a la RED.

En la siguiente página se muestra la salida con los parámetros adecuados para generar las salidas deseadas.

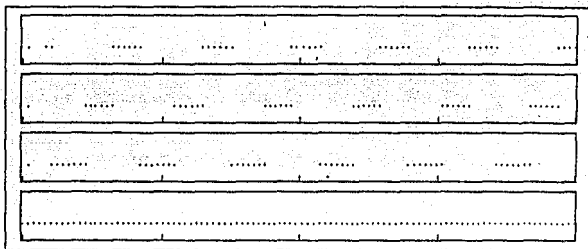
Al Salir de FORMARED con la opción [S] salida y contestar en forma afirmativa a la pregunta: ¿ Genera Archivo de Salida ?. El sistema generará el archivo .RED y el archivo .DAT o datos de entrada a Neurored, a continuación se muestra el archivo .DAT o datos.

```
oscla.sal
4,1,3,1,2,2,1.,1,-10
70.,1.,-10.,2.
1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,1
2,2,1,1,100.,155,1508,396
1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,1
3,2,1,1,60.,155,1508,396
1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,1
1,2,1,1,50.,155,1508,396
1,1,0,1,999,1626,23,3478,3
1,1,1,1,5.,1227,1357,3498
2,1,1,1,5.,1227,1357,3498
3,1,1,1,5.,1227,1357,3498
100
```

El siguiente archivo muestra la Salida de la Red Neuronal, es decir, una serie de 1's y 0's, que son resultado de la actividad en paralelo.

1 0 0 0 1	38 1 0 1 1	75 0 0 1 1
2 1 1 1 1	39 0 0 1 1	76 0 1 1 1
3 0 0 0 1	40 0 0 1 1	77 0 1 0 1
4 0 0 0 1	41 0 0 1 1	78 0 1 0 1
5 1 0 0 1	42 0 0 1 1	79 0 1 0 1
6 1 0 1 1	43 0 0 1 1	80 0 1 0 1
7 0 0 1 1	44 0 1 1 1	81 1 1 0 1
8 0 0 1 1	45 0 1 0 1	82 1 0 0 1
9 0 0 1 1	46 0 1 0 1	83 1 0 0 1
10 0 0 1 1	47 0 1 0 1	84 1 0 0 1
11 0 0 1 1	48 0 1 0 1	85 1 0 0 1
12 0 1 1 1	49 1 1 0 1	86 1 0 1 1
13 0 1 0 1	50 1 0 0 1	87 0 0 1 1
14 0 1 0 1	51 1 0 0 1	88 0 0 1 1
15 0 1 0 1	52 1 0 0 1	89 0 0 1 1
16 0 1 0 1	53 1 0 0 1	90 0 0 1 1
17 1 1 0 1	54 1 0 1 1	91 0 0 1 1
18 1 0 0 1	55 0 0 1 1	92 0 1 1 1
19 1 0 0 1	56 0 0 1 1	93 0 1 0 1
20 1 0 0 1	57 0 0 1 1	94 0 1 0 1
21 1 0 0 1	58 0 0 1 1	95 0 1 0 1
22 1 0 1 1	59 0 0 1 1	96 0 1 0 1
23 0 0 1 1	60 0 1 1 1	97 1 1 0 1
24 0 0 1 1	61 0 1 0 1	98 1 0 0 1
25 0 0 1 1	62 0 1 0 1	99 1 0 0 1
26 0 0 1 1	63 0 1 0 1	100 1 0 0 1
27 0 0 1 1	64 0 1 0 1	
28 0 1 1 1	65 1 1 0 1	
29 0 1 0 1	66 1 0 0 1	
30 0 1 0 1	67 1 0 0 1	
31 0 1 0 1	68 1 0 0 1	
32 0 1 0 1	69 1 0 0 1	
33 1 1 0 1	70 1 0 1 1	
34 1 0 0 1	71 0 0 1 1	
35 1 0 0 1	72 0 0 1 1	
36 1 0 0 1	73 0 0 1 1	
37 1 0 0 1	74 0 0 1 1	

En la figura 35, se muestra la salida oscilatoria, apoyandose en PUNTOS, se puede observar la salida que se tiene en cada segundo. En el recuadro uno, o puerto uno, se observa la neurona 1, en el puerto dos, la neurona 2, en el puerto 3, la neurona 3 y en el puerto cuatro se observa la fibra o señal que inicia la actividad entre las tres neuronas.



oscila					TIEMPO MAXIMO: 100			
PUERTO #1	PUERTO #2	PUERTO #3	PUERTO #4	ESCOGE ??				
Neurona :1	Neurona :2	Neurona :3	Neurona :4	PUERTO :				
Escala:25.0	Escala:25.0	Escala:25.0	Escala:25.0	NEURONA :4				
disparos:37	disparos:37	disparos:43	disparos:100	T1:1	T2:100			
T1:1	T2:100	T1:1	T2:100	T1:1	T2:100			

Figura 35

IV.4 Analizador de Conectividad Funcional.

Más que una aplicación es mostrar en una manera gráfica los conceptos biológicos que es indispensable se conozcan para un mejor análisis. Para realizar este ejemplo se requiere contar con el apoyo de los módulos: FORMARED, PUNTOS y CORRELAC.

Desarrollo:

- Con apoyo de FORMARED se generan las redes neuronales, archivos de datos (.DAT) y archivos (.RED).

- Generar el archivo de 0's y 1's con el apoyo de NEURORED.

- Desplegar los puntos o disparos con PUNTOS.

- Apoyándose en CORRELAC, analizar los conceptos de :

Inhibición.

Excitación.

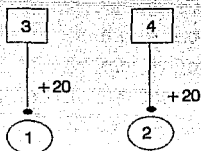
Independencia.

Huecos.

Picos.

CASO 1:

Red Neuronal con dos neuronas independientes entre si, excitadas o disparadas cada una por una fibra respectivamente.



La red anterior, se debe de realizar con el apoyo de FORMARED.

X:310 Y:80	VELOCIDAD (+-):10	vxl:10 vxr:638 vyt:170 vyb:25
------------	-------------------	-------------------------------

¿ Intensidad Sináptica?	Para ver comandos presione: H
-------------------------	-------------------------------

Figura 36.

Al Salir de FORMARED con la opción [S] salida y contestar en forma afirmativa a la pregunta : ¿Genera Archivo de Salida ?. El sistema generará los archivos .RED y el archivo .DAT o datos de entrada a Neurored, a continuación se muestra el archivo .DAT

```

ancofu1.sal
4,2,2,1,2,2,1.,1,-10
70.,1.,-10.,2.
1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,0
1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,0
1,1,0,1,999,1787,14126,2311,1
1,1,1,1,20.,3795,461,5208
1.,2,1,999,178,1126,23811,1
2,1,1,1,20.,379,4610,508
300

```

El siguiente archivo fue generado por el módulo de FORMARED, para el ejemplo anterior, en él se puede observar cómo está formada físicamente la Red Neuronal, es decir, si se tuviera lápiz y papel milimétrico a la mano, se podría dibujar la Red.

N	U	63
1	1	20
284	284	
63	63	
N	20	
2	F	
354	4	
63	354	
F	93	
3	U	
284	2	
93	354	

El siguiente archivo muestra la Salida de la Red Neuronal, es decir, una serie de 1's y 0 's, que son resultado de la actividad en paralelo. Para desplegar y concluir este problema nos apoyaremos en el módulo CORRELAC.

1 0 0 1 0	51 1 0 1 0	101 1 0 1 1	151 1 1 1 0	201 1 0 1 0	251 1 1 1 1
2 1 0 1 0	52 1 0 1 0	102 1 1 1 0	152 1 1 1 0	202 1 0 1 0	252 1 1 1 0
3 1 0 1 0	53 1 0 1 1	103 1 1 1 0	153 1 0 1 0	203 1 0 1 0	253 1 1 1 1
4 1 0 1 0	54 1 1 1 0	104 1 0 1 0	154 1 0 1 0	204 1 0 1 0	254 1 1 1 0
5 1 0 1 0	55 1 1 1 0	105 1 0 1 0	155 1 0 1 0	205 1 0 1 0	255 1 1 1 0
6 1 0 1 0	56 1 0 1 0	106 1 0 1 0	156 1 0 1 1	206 1 0 1 0	256 1 0 1 1
7 1 0 1 0	57 1 0 1 1	107 1 0 1 0	157 1 1 1 0	207 1 0 1 1	257 1 1 1 0
8 1 0 1 0	58 1 1 1 0	108 1 0 1 0	158 1 1 1 1	208 1 1 1 0	258 1 1 1 0
9 1 0 1 0	59 1 1 1 0	109 1 0 1 0	159 1 1 1 0	209 1 1 1 0	259 1 0 1 0
10 1 0 1 0	60 1 0 1 1	110 1 0 1 0	160 1 1 1 0	210 1 1 1 0	260 1 0 1 0
11 1 0 1 0	61 1 1 1 0	111 1 0 1 0	161 1 0 1 1	211 1 0 1 0	261 1 0 1 0
12 1 0 1 0	62 1 1 1 0	112 1 0 1 1	162 1 1 1 0	212 1 0 1 0	262 1 0 1 1
13 1 0 1 0	63 1 0 1 1	113 1 1 1 1	163 1 1 1 0	213 1 0 1 0	263 1 1 1 0
14 1 0 1 0	64 1 0 1 0	114 1 1 1 0	164 1 0 1 0	214 1 0 1 0	264 1 1 1 0
15 1 0 1 0	65 1 0 1 0	115 1 1 1 1	165 1 0 1 0	215 1 0 1 1	265 1 0 1 0
16 1 0 1 0	66 1 0 1 0	116 1 1 1 0	166 1 0 1 0	216 1 1 1 0	266 1 0 1 0
17 1 0 1 0	67 1 0 1 0	117 1 1 1 1	167 1 0 1 0	217 1 1 1 0	267 1 0 1 1
18 1 0 1 0	68 1 0 1 0	118 1 1 1 0	168 1 0 1 0	218 1 0 1 0	268 1 1 1 1
19 1 0 1 1	69 1 0 1 0	119 1 1 1 0	169 1 0 1 0	219 1 0 1 0	269 1 1 1 0
20 1 1 1 0	70 1 0 1 0	120 1 0 1 0	170 1 0 1 1	220 1 0 1 0	270 1 1 1 0
21 1 1 1 0	71 1 0 1 0	121 1 0 1 0	171 1 1 1 1	221 1 0 1 0	271 1 0 1 1
22 1 1 1 0	72 1 0 1 0	122 1 0 1 1	172 1 1 1 0	222 1 0 1 0	272 1 1 1 0
23 1 0 1 0	73 1 0 1 0	123 1 1 1 0	173 1 1 1 1	223 1 0 1 0	273 1 1 1 0
24 1 0 1 0	74 1 0 1 0	124 1 1 1 0	174 1 1 1 0	224 1 0 1 0	274 1 0 1 0
25 1 0 1 0	75 1 0 1 0	125 1 0 1 0	175 1 1 1 1	225 1 0 1 0	275 1 0 1 0
26 1 0 1 0	76 1 0 1 1	126 1 0 1 0	176 1 1 1 0	226 1 0 1 1	276 1 0 1 0
27 1 0 1 1	77 1 1 1 0	127 1 0 1 1	177 1 1 1 0	227 1 1 1 0	277 1 0 1 1
28 1 1 1 0	78 1 1 1 0	128 1 1 1 0	178 1 0 1 0	228 1 1 1 0	278 1 1 1 0
29 1 1 1 0	79 1 1 1 0	129 1 1 1 1	179 1 0 1 0	229 1 1 1 0	279 1 1 1 0
30 1 1 1 0	80 1 0 1 0	130 1 1 1 0	180 1 0 1 0	230 1 0 1 0	280 1 0 1 0
31 1 0 1 0	81 1 0 1 0	131 1 1 1 0	181 1 0 1 0	231 1 0 1 1	281 1 0 1 0
32 1 0 1 0	82 1 0 1 0	132 1 0 1 1	182 1 0 1 1	232 1 1 1 0	282 1 0 1 0
33 1 0 1 0	83 1 0 1 0	133 1 1 1 0	183 1 1 1 0	233 1 1 1 0	283 1 1 1 1
34 1 0 1 0	84 1 0 1 0	134 1 1 1 1	184 1 1 1 0	234 1 0 1 0	284 1 1 1 1
35 1 0 1 0	85 1 0 1 0	135 1 1 1 1	185 1 0 1 0	235 1 0 1 0	285 1 1 1 0
36 1 0 1 0	86 1 0 1 0	136 1 1 1 0	186 1 0 1 0	236 1 0 1 0	286 1 1 1 0
37 1 0 1 0	87 1 0 1 0	137 1 1 1 0	187 1 0 1 0	237 1 0 1 1	287 1 0 1 0
38 1 0 1 0	88 1 0 1 0	138 1 0 1 0	188 1 0 1 0	238 1 1 1 0	288 1 0 1 0
39 1 0 1 0	89 1 0 1 0	139 1 0 1 0	189 1 0 1 0	239 1 1 1 1	289 1 0 1 0
40 1 0 1 0	90 1 0 1 0	140 1 0 1 1	190 1 0 1 0	240 1 1 1 1	290 1 0 1 1
41 1 0 1 0	91 1 0 1 0	141 1 1 1 0	191 1 0 1 0	241 1 1 1 0	291 1 1 1 0
42 1 0 1 0	92 1 0 1 1	142 1 1 1 0	192 1 0 1 0	242 1 1 1 0	292 1 1 1 0
43 1 0 1 0	93 1 1 1 0	143 1 0 1 1	193 1 0 1 0	243 1 0 1 1	293 1 0 1 1
44 1 0 1 0	94 1 1 1 0	144 1 1 1 0	194 1 0 1 0	244 1 1 1 1	294 1 1 1 1
45 1 0 1 0	95 1 1 1 0	145 1 1 1 0	195 1 0 1 0	245 1 1 1 0	295 1 1 1 0
46 1 0 1 1	96 1 0 1 1	146 1 0 1 0	196 1 0 1 0	246 1 1 1 0	296 1 1 1 0
47 1 1 1 0	97 1 1 1 0	147 1 0 1 0	197 1 0 1 1	247 1 0 1 0	297 1 0 1 0
48 1 1 1 0	98 1 1 1 0	148 1 0 1 0	198 1 1 1 0	248 1 0 1 0	298 1 0 1 0
49 1 1 1 0	99 1 0 1 0	149 1 0 1 0	199 1 1 1 0	249 1 0 1 1	299 1 0 1 1
50 1 0 1 0	100 1 0 1 0	150 1 0 1 1	200 1 1 1 0	250 1 1 1 0	300 1 1 1 1

En la siguiente gráfica de correlación, se observa que no existen espigas que indiquen alguna dependencia, es decir, "la neurona 1 es independiente de la neurona 2".

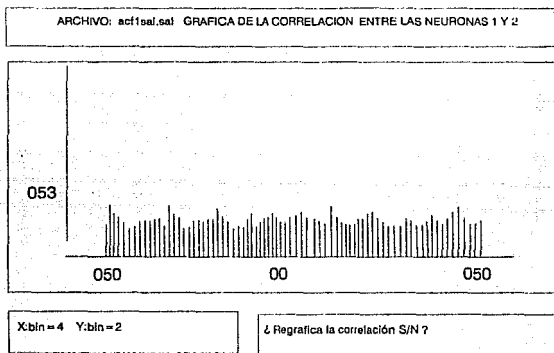


Figura 37.

En la siguiente gráfica de correlación, se observa una espiga después del 0, lo que indica que "la fibra 4 excita a la neurona 2".

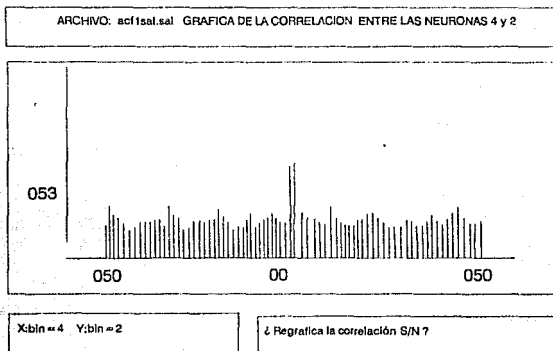


Figura 38

En la siguiente grafica de correlación, se observa una espiga antes del 0, lo que indica que " la neurona 2 es excitada por la fibra 4".

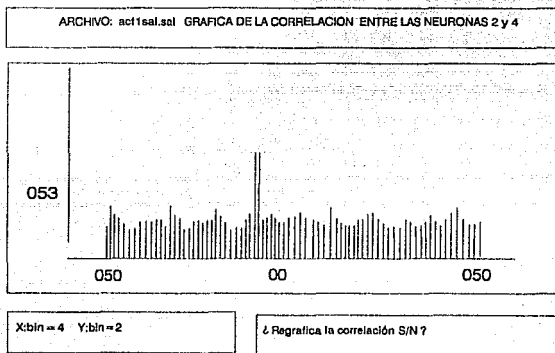
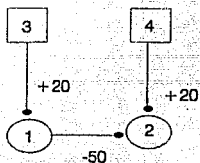


Figura 39.

CASO 2:

La red esta compuesta por dos neuronas excitadas por una fibra cada una, pero, la neurona 1 inhibe a la neurona 2.



La red anterior, se debe de realizar con el apoyo de FORMARED.

X:310 Y:80	VELOCIDAD (+,-):10	vxl:10 vxr:638 vyt:170 vyb:25
------------	--------------------	-------------------------------

```
graph TD; N3[3] -- +20 --> N1((1)); N4[4] -- +20 --> N2((2)); N1 -- -50 --> N2;
```

¿ Intensidad Sináptica?	Para ver comandos prestone: H
-------------------------	-------------------------------

Figura 40

Al Salir de FORMARED con la opción [S] salida y contestar en forma afirmativa a la pregunta : ¿Genera Archivo de Salida ?. El sistema generará los archivos .RED y el archivo .DAT o datos de entrada a Neurored, a continuación se muestra el archivo .DAT o datos.

```

ancofu3.sal
4,2,2,1,2,2,1,1,-10
70.,1.,-10.,2.
1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,1
2,2,1,1,50.,1234,371,475
1,0.,20.,20.,5.,5.,10.,0
1,1,0,1,999,1787,14126,2311,1
1,1,1,1,20.,3795,461,5208
1,1,0,1,999,178,1126,23811,1
2,1,1,1,20.,379,4610,508
300

```

El siguiente archivo fue generado por el módulo de FORMARED, para el ejemplo anterior, en él se puede observar cómo está formada físicamente la Red Neuronal, es decir, si se tuviera lápiz y papel millimétrico a la mano, se podría dibujar la Red.

N	83	384
1	F	113
284	3	U
83	284	2
C	113	384
2	U	83
384	1	20
83	284	
-50	83	
N	20	
2	F	
384	4	

El siguiente archivo muestra la Salida de la Red Neuronal, es decir, una serie de 1's y 0's, que son resultado de la actividad en paralelo. Para desplegar y concluir este problema nos apoyaremos en el módulo CORRELAC.

1	0	0	1	53	1	0	1	105	1	0	1	187	1	0	1	209	1	0	1	281	1	0	1
2	1	1	1	54	1	0	1	106	1	0	1	188	1	0	1	210	1	0	1	282	1	0	1
3	1	1	1	55	1	0	1	107	1	0	1	189	1	0	1	211	1	0	1	283	1	0	1
4	1	1	1	56	1	0	1	108	1	0	1	190	1	0	1	212	1	0	1	284	1	0	1
5	1	0	1	57	1	0	1	109	1	0	1	191	1	0	1	213	1	0	1	285	1	0	1
6	1	0	1	58	1	0	1	110	1	0	1	192	1	0	1	214	1	0	1	286	1	0	1
7	1	0	1	59	1	0	1	111	1	0	1	193	1	0	1	215	1	0	1	287	1	0	1
8	1	0	1	60	1	0	1	112	1	0	1	194	1	0	1	216	1	0	1	288	1	0	1
9	1	0	1	61	1	0	1	113	1	0	1	195	1	0	1	217	1	0	1	289	1	0	1
10	1	0	1	62	1	0	1	114	1	0	1	196	1	0	1	218	1	0	1	290	1	0	1
11	1	0	1	63	1	0	1	115	1	0	1	197	1	0	1	219	1	0	1	291	1	0	1
12	1	0	1	64	1	0	1	116	1	0	1	198	1	0	1	220	1	0	1	292	1	0	1
13	1	0	1	65	1	0	1	117	1	0	1	199	1	0	1	221	1	0	1	293	1	0	1
14	1	0	1	66	1	0	1	118	1	0	1	200	1	0	1	222	1	0	1	294	1	0	1
15	1	0	1	67	1	0	1	119	1	0	1	201	1	0	1	223	1	0	1	295	1	0	1
16	1	0	1	68	1	0	1	120	1	0	1	202	1	0	1	224	1	0	1	296	1	0	1
17	1	0	1	69	1	0	1	121	1	0	1	203	1	0	1	225	1	0	1	297	1	0	1
18	1	0	1	70	1	0	1	122	1	0	1	204	1	0	1	226	1	0	1	298	1	0	1
19	1	0	1	71	1	0	1	123	1	0	1	205	1	0	1	227	1	0	1	299	1	0	1
20	1	0	1	72	1	0	1	124	1	0	1	206	1	0	1	228	1	0	1	300	1	0	1
21	1	0	1	73	1	0	1	125	1	0	1	207	1	0	1	229	1	0	1	301	1	0	1
22	1	0	1	74	1	0	1	126	1	0	1	208	1	0	1	230	1	0	1	302	1	0	1
23	1	0	1	75	1	0	1	127	1	0	1	209	1	0	1	231	1	0	1	303	1	0	1
24	1	0	1	76	1	0	1	128	1	0	1	210	1	0	1	232	1	0	1	304	1	0	1
25	1	0	1	77	1	0	1	129	1	0	1	211	1	0	1	233	1	0	1	305	1	0	1
26	1	0	1	78	1	0	1	130	1	0	1	212	1	0	1	234	1	0	1	306	1	0	1
27	1	0	1	79	1	0	1	131	1	0	1	213	1	0	1	235	1	0	1	307	1	0	1
28	1	0	1	80	1	0	1	132	1	0	1	214	1	0	1	236	1	0	1	308	1	0	1
29	1	0	1	81	1	0	1	133	1	0	1	215	1	0	1	237	1	0	1	309	1	0	1
30	1	0	1	82	1	0	1	134	1	0	1	216	1	0	1	238	1	0	1	310	1	0	1
31	1	0	1	83	1	0	1	135	1	0	1	217	1	0	1	239	1	0	1	311	1	0	1
32	1	0	1	84	1	0	1	136	1	0	1	218	1	0	1	240	1	0	1	312	1	0	1
33	1	0	1	85	1	0	1	137	1	0	1	219	1	0	1	241	1	0	1	313	1	0	1
34	1	0	1	86	1	0	1	138	1	0	1	220	1	0	1	242	1	0	1	314	1	0	1
35	1	0	1	87	1	0	1	139	1	0	1	221	1	0	1	243	1	0	1	315	1	0	1
36	1	0	1	88	1	0	1	140	1	0	1	222	1	0	1	244	1	0	1	316	1	0	1
37	1	0	1	89	1	0	1	141	1	0	1	223	1	0	1	245	1	0	1	317	1	0	1
38	1	0	1	90	1	0	1	142	1	0	1	224	1	0	1	246	1	0	1	318	1	0	1
39	1	0	1	91	1	0	1	143	1	0	1	225	1	0	1	247	1	0	1	319	1	0	1
40	1	0	1	92	1	0	1	144	1	0	1	226	1	0	1	248	1	0	1	320	1	0	1
41	1	0	1	93	1	0	1	145	1	0	1	227	1	0	1	249	1	0	1	321	1	0	1
42	1	0	1	94	1	0	1	146	1	0	1	228	1	0	1	250	1	0	1	322	1	0	1
43	1	0	1	95	1	0	1	147	1	0	1	229	1	0	1	251	1	0	1	323	1	0	1
44	1	0	1	96	1	0	1	148	1	0	1	230	1	0	1	252	1	0	1	324	1	0	1
45	1	0	1	97	1	0	1	149	1	0	1	231	1	0	1	253	1	0	1	325	1	0	1
46	1	0	1	98	1	0	1	150	1	0	1	232	1	0	1	254	1	0	1	326	1	0	1
47	1	0	1	99	1	0	1	151	1	0	1	233	1	0	1	255	1	0	1	327	1	0	1
48	1	0	1	100	1	0	1	152	1	0	1	234	1	0	1	256	1	0	1	328	1	0	1
49	1	0	1	101	1	0	1	153	1	0	1	235	1	0	1	257	1	0	1	329	1	0	1
50	1	0	1	102	1	0	1	154	1	0	1	236	1	0	1	258	1	0	1	330	1	0	1
51	1	0	1	103	1	0	1	155	1	0	1	237	1	0	1	259	1	0	1	331	1	0	1
52	1	0	1	104	1	0	1	156	1	0	1	238	1	0	1	260	1	0	1	332	1	0	1

En la siguiente gráfica de correlación, se observa un hueco después del 0, es decir, "la neurona 1 inhibe a la neurona 2".

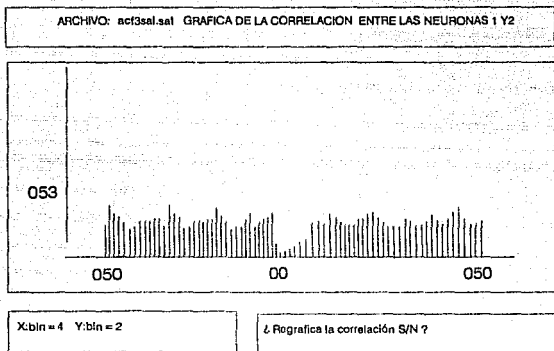


Figura 41

En la siguiente gráfica de correlación, se observa un hueco antes del 0, es decir, "la neurona 2 es inhibida por la neurona 1".

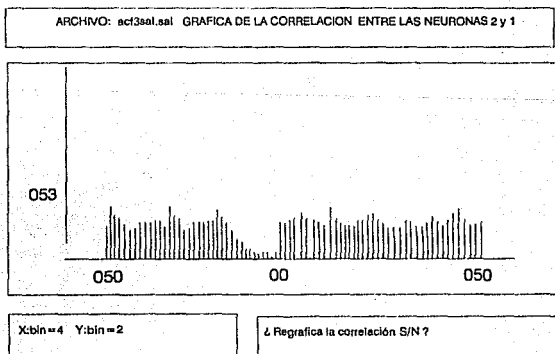
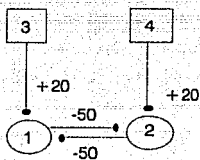


Figura 42

CASO 3:

Red compuesta por 2 neuronas excitadas por una fibra cada una, pero inhibidas mutuamente.



La red anterior, se debe de realizar con el apoyo de FORMARED.

X:310 Y:80	VELOCIDAD (+):10	vxl:10 vxr:638 vyt:170 vyb: 25
------------	------------------	--------------------------------


```
graph TD; F3[3] --- N1((1)); F4[4] --- N2((2)); N1 --- N2; N2 --- N1;
```

¿ Intensidad Sináptica?	Para ver comandos presione: H
-------------------------	-------------------------------

Figura 43

Al Salir de FORMARED con la opción [S] salida y contestar en forma afirmativa a la pregunta : ¿Genera Archivo de Salida ? . El sistema generará los archivos .RED y el archivo .DAT o datos de entrada a Neurored, a continuación se muestra el archivo .DAT o datos.

```

ancofu4.sal
4,2,2,1,2,2,1,1,-10
70,1,-10,2
1,0,,20,,20,,5,5,10,,1
2,2,1,1,50,,1234,371,475
1,0,,20,,20,,5,5,10,,1
1,2,1,1,50,,1274,371,475
1,1,0,1,999,1787,14126,2311,1
1,1,1,1,20,,3795,461,5208
1,1,0,1,999,178,1126,23811,1
2,1,1,1,20,,379,4610,508
300

```

El siguiente archivo fue generado por el módulo de FORMARED, para el ejemplo anterior, en él se puede observar cómo está formada físicamente la Red Neuronal, es decir, si se tuviera lápiz y papel milimétrico a la mano, se podría dibujar la Red.

N	83	284
1	C	83
284	1	20
83	284	F
C	83	4
2	-50	384
384	F	113
83	3	U
-50	284	2
N	113	384
2	U	83
384	1	20

El siguiente archivo muestra la Salida de la Red Neuronal, es decir, una serie de 1's y 0's, que son resultado de la actividad en paralelo. Para desplegar y concluir este problema nos apoyaremos en el módulo CORRELAC.

1	0	0	1	1	51	1	1	1	1	101	1	1	1	1	151	1	1	1	1	201	1	1	1	1	251	1	1	1	1
2	1	1	1	1	52	0	0	1	1	102	0	0	1	1	152	0	0	1	1	202	0	0	1	1	252	0	0	1	1
3	1	1	1	1	53	1	1	1	1	103	1	1	1	1	153	1	1	1	1	203	1	1	1	1	253	1	1	1	1
4	1	1	1	1	54	1	1	1	1	104	1	1	1	1	154	1	1	1	1	204	1	1	1	1	254	1	1	1	1
5	0	0	1	1	55	0	0	1	1	105	0	0	1	1	155	0	0	1	1	205	0	0	1	1	255	0	0	1	1
6	1	1	1	1	56	1	1	1	1	106	1	1	1	1	156	1	1	1	1	206	1	1	1	1	256	1	1	1	1
7	0	0	1	1	57	0	0	1	1	107	0	0	1	1	157	0	0	1	1	207	0	0	1	1	257	0	0	1	1
8	1	1	1	1	58	1	1	1	1	108	1	1	1	1	158	1	1	1	1	208	1	1	1	1	258	1	1	1	1
9	1	1	1	1	59	1	1	1	1	109	1	1	1	1	159	1	1	1	1	209	1	1	1	1	259	1	1	1	1
10	0	0	1	1	60	0	0	1	1	110	0	0	1	1	160	0	0	1	1	210	0	0	1	1	260	0	0	1	1
11	1	1	1	1	61	1	1	1	1	111	1	1	1	1	161	1	1	1	1	211	1	1	1	1	261	1	1	1	1
12	0	0	1	1	62	0	0	1	1	112	0	0	1	1	162	0	0	1	1	212	0	0	1	1	262	0	0	1	1
13	1	1	1	1	63	1	1	1	1	113	1	1	1	1	163	1	1	1	1	213	1	1	1	1	263	1	1	1	1
14	1	1	1	1	64	1	1	1	1	114	1	1	1	1	164	1	1	1	1	214	1	1	1	1	264	1	1	1	1
15	0	0	1	1	65	0	0	1	1	115	0	0	1	1	165	0	0	1	1	215	0	0	1	1	265	0	0	1	1
16	1	1	1	1	66	1	1	1	1	116	1	1	1	1	166	1	1	1	1	216	1	1	1	1	266	1	1	1	1
17	0	0	1	1	67	0	0	1	1	117	0	0	1	1	167	0	0	1	1	217	0	0	1	1	267	0	0	1	1
18	1	1	1	1	68	1	1	1	1	118	1	1	1	1	168	1	1	1	1	218	1	1	1	1	268	1	1	1	1
19	1	1	1	1	69	1	1	1	1	119	1	1	1	1	169	1	1	1	1	219	1	1	1	1	269	1	1	1	1
20	0	0	1	1	70	0	0	1	1	120	0	0	1	1	170	0	0	1	1	220	0	0	1	1	270	0	0	1	1
21	1	1	1	1	71	1	1	1	1	121	1	1	1	1	171	1	1	1	1	221	1	1	1	1	271	1	1	1	1
22	0	0	1	1	72	0	0	1	1	122	0	0	1	1	172	0	0	1	1	222	0	0	1	1	272	0	0	1	1
23	1	1	1	1	73	1	1	1	1	123	1	1	1	1	173	1	1	1	1	223	1	1	1	1	273	1	1	1	1
24	1	1	1	1	74	1	1	1	1	124	1	1	1	1	174	1	1	1	1	224	1	1	1	1	274	1	1	1	1
25	0	0	1	1	75	0	0	1	1	125	0	0	1	1	175	0	0	1	1	225	0	0	1	1	275	0	0	1	1
26	1	1	1	1	76	1	1	1	1	126	1	1	1	1	176	1	1	1	1	226	1	1	1	1	276	1	1	1	1
27	0	0	1	1	77	0	0	1	1	127	0	0	1	1	177	0	0	1	1	227	0	0	1	1	277	0	0	1	1
28	1	1	1	1	78	1	1	1	1	128	1	1	1	1	178	1	1	1	1	228	1	1	1	1	278	1	1	1	1
29	1	1	1	1	79	1	1	1	1	129	1	1	1	1	179	1	1	1	1	229	1	1	1	1	279	1	1	1	1
30	0	0	1	1	80	0	0	1	1	130	0	0	1	1	180	0	0	1	1	230	0	0	1	1	280	0	0	1	1
31	1	1	1	1	81	1	1	1	1	131	1	1	1	1	181	1	1	1	1	231	1	1	1	1	281	1	1	1	1
32	0	0	1	1	82	0	0	1	1	132	0	0	1	1	182	0	0	1	1	232	0	0	1	1	282	0	0	1	1
33	1	1	1	1	83	1	1	1	1	133	1	1	1	1	183	1	1	1	1	233	1	1	1	1	283	1	1	1	1
34	1	1	1	1	84	1	1	1	1	134	1	1	1	1	184	1	1	1	1	234	1	1	1	1	284	1	1	1	1
35	0	0	1	1	85	0	0	1	1	135	0	0	1	1	185	0	0	1	1	235	0	0	1	1	285	0	0	1	1
36	1	1	1	1	86	1	1	1	1	136	1	1	1	1	186	1	1	1	1	236	1	1	1	1	286	1	1	1	1
37	0	0	1	1	87	0	0	1	1	137	0	0	1	1	187	0	0	1	1	237	0	0	1	1	287	0	0	1	1
38	1	1	1	1	88	1	1	1	1	138	1	1	1	1	188	1	1	1	1	238	1	1	1	1	288	1	1	1	1
39	1	1	1	1	89	1	1	1	1	139	1	1	1	1	189	1	1	1	1	239	1	1	1	1	289	1	1	1	1
40	0	0	1	1	90	0	0	1	1	140	0	0	1	1	190	0	0	1	1	240	0	0	1	1	290	0	0	1	1
41	1	1	1	1	91	1	1	1	1	141	1	1	1	1	191	1	1	1	1	241	1	1	1	1	291	1	1	1	1
42	0	0	1	1	92	0	0	1	1	142	0	0	1	1	192	0	0	1	1	242	0	0	1	1	292	0	0	1	1
43	1	1	1	1	93	1	1	1	1	143	1	1	1	1	193	1	1	1	1	243	1	1	1	1	293	1	1	1	1
44	1	1	1	1	94	1	1	1	1	144	1	1	1	1	194	1	1	1	1	244	1	1	1	1	294	1	1	1	1
45	0	0	1	1	95	0	0	1	1	145	0	0	1	1	195	0	0	1	1	245	0	0	1	1	295	0	0	1	1
46	1	1	1	1	96	1	1	1	1	146	1	1	1	1	196	1	1	1	1	246	1	1	1	1	296	1	1	1	1
47	0	0	1	1	97	0	0	1	1	147	0	0	1	1	197	0	0	1	1	247	0	0	1	1	297	0	0	1	1
48	1	1	1	1	98	1	1	1	1	148	1	1	1	1	198	1	1	1	1	248	1	1	1	1	298	1	1	1	1
49	1	1	1	1	99	1	1	1	1	149	1	1	1	1	199	1	1	1	1	249	1	1	1	1	299	1	1	1	1
50	0	0	1	1	100	0	0	1	1	150	0	0	1	1	200	0	0	1	1	250	0	0	1	1	300	0	0	1	1

En la siguiente gráfica de correlación, se observa un hueco en el 0, es decir, "la neurona 1 y la neurona 2 se inhiben mutuamente".

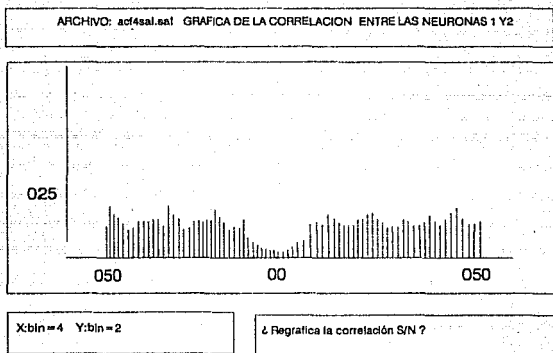


Figura 44

En la siguiente gráfica de correlación, se observa una espiga después del 0, es decir, "la fibra excita a la neurona 1".

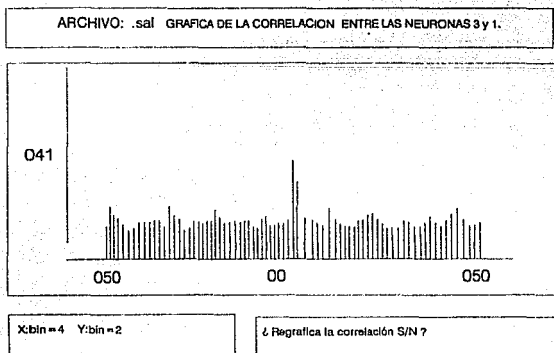


Figura 45

En la siguiente gráfica de correlación, se observa una espiga antes del 0, lo que indica que "la fibra 4 excita a la neurona 2."

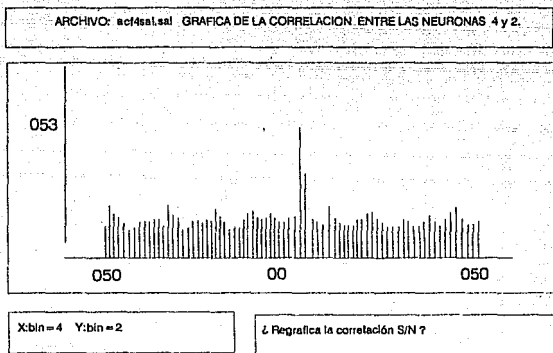


Figura 46

Debe observarse que la inhibición entre neuronas es simétrica como se muestra en la figura 44.

IV.5 Análisis de Redes Neuronales (CORRELAC).

Este módulo permite observar y analizar la CONECTIVIDAD NEURONAL existente entre pares de neuronas, fibras o la combinación de ambas.

El módulo de ANALISIS se apoya en los resultados obtenidos con el SIMULADOR NEURORED , es decir, de los trenes de impulsos generados, de los cuales se toma un par de trenes de impulsos deseado y se realiza la correlación cruzada.

Otra función de este módulo es de permitir observar y analizar la correlación cruzada en ciertos intervalos de tiempo (VENTANAS DE CALCULO), así como de poder amplificar la correlación tantas veces como permitan las características propias del equipo de cómputo (resolución y velocidad).

IV.5.1 Diagrama General.

Como se observa en el diagrama 6, CORRELAC se apoya en el archivo de salida generado por el Simulador NEURORED, y despliega sus resultados en pantalla o impresora.

IV.5.2 Objetivo.

Proporcionar en forma gráfica un histograma con los resultados de la Correlación cruzada entre dos trenes de impulsos de dos neuronas.

IV.5.3. Análisis del Programa.

El módulo de CORRELAC esta basado en la implementación de ecuaciones estadísticas y calculos matematicos.

El programa esta diseñado y desarrollado con apuntadores dinamicos para soportar cualquier Red neuronal, sin embargo la limitante en este módulo se encuentra en la memoria de la maquina que se use.

IV.5 Análisis de Redes Neuronales (CORRELAC).

Este módulo permite observar y analizar la CONECTIVIDAD NEURONAL existente entre pares de neuronas, fibras o la combinación de ambas.

El módulo de ANALISIS se apoya en los resultados obtenidos con el SIMULADOR NEURORED , es decir, de los trenes de impulsos generados, de los cuales se toma un par de trenes de impulsos deseado y se realiza la correlación cruzada.

Otra función de este módulo es de permitir observar y analizar la correlación cruzada en ciertos intervalos de tiempo (VENTANAS DE CALCULO), así como de poder amplificar la correlación tantas veces como permitan las características propias del equipo de cómputo (resolución y velocidad).

IV.5.1 Diagrama General.

Como se observa en el diagrama 6, CORRELAC se apoya en el archivo de salida generado por el Simulador NEURORED, y despliega sus resultados en pantalla o impresora.

IV.5.2 Objetivo.

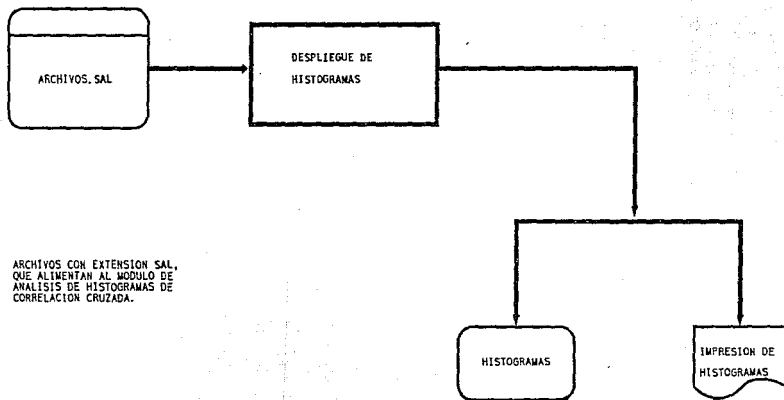
Proporcionar en forma gráfica un histograma con los resultados de la Correlación cruzada entre dos trenes de impulsos de dos neuronas.

IV.5.3. Análisis del Programa.

El módulo de CORRELAC esta basado en la implementación de ecuaciones estadísticas y calculos matematicos.

El programa esta diseñado y desarrollado con apuntadores dinamicos para soportar cualquier Red neuronal, sin embargo la limitante en este módulo se encuentra en la memoria de la maquina que se use.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODULO DE ANALISIS



IV.5.4 Pseudocódigo

A continuación se muestran los procesos generales realizados:

Programa Correlac;

Declaración de apuntadores para Neuronas y fibras;
Declaración de variables para conectividad;
Declaración de otras variables usadas por el módulo;
Procedimiento para checar la existencia de archivos;
Procedimiento de apoyo a la graficación;

- Puntos;

- Cajas;

- Líneas;

- Números;

Procedimiento para realizar Clipping en la elaboración

del histograma;

Procedimiento para trazar los ejes coordenados;

Procedimiento para cargar a memoria los disparos de las

neuronas a correlacionar;

Procedimiento para graficar los resultados

(histograma);

Procedimiento para realizar la correlación;

Procedimiento para Regraficar la correlación a escalas;

(inicio de Correlac*)

inicializa parámetros;

Que archivo se desea trabajar ?

Mientras se desee correlacionar

Pide neuronas a correlacionar;

Carga las neuronas a memoria;

Realiza la correlación;

Traza ejes coordenados;

Mientras se desee

Regrafica la correlación a mayor o

menor escala;

fin;

fin;

(* termina Correlac*)

IV.5.5 Funcionamiento

Para entrar a este módulo del sistema, basta seleccionar del menú principal la opción 5 de ANALISIS de redes neuronales (CORRELAC) y presionar <ENTER> , con lo cual se observará una pantalla que será el inicio de trabajo.

En ella se pide el archivo de ANALISIS o archivo de impulsos generados por el SIMULADOR NEURORED (ARCHIVO.SAL).

El módulo sólo acepta archivos generados por NEURORED y que se encuentren dentro del área de trabajo de este paquete; por ejemplo, en el archivo de impulsos OSCILADO, si al proporcionar el nombre del archivo no se encuentra, el sistema lo indicará y no podrá avanzar hasta que se proporcione el nombre del archivo que si exista.

Al proporcionar el nombre correcto del archivo el sistema muestra otra pantalla en la cual pregunta el par de neuronas a correlacionar y la ventana de cálculo o intervalo de correlación, cabe mencionar que para salir de esta pantalla basta con seleccionar un par de neuronas con ceros. En la siguiente secuencia de gráficas se observa la entrada de datos correspondiente :

ARCHIVO: acf1sal.sal GRAFICA DE LA CORRELACION ENTRE LAS NEURONAS	
[Empty area for graph or data]	
X:bin = 1 Y:bin = 1	¿ Neuronas a correlacionar ?

Figura. 47.

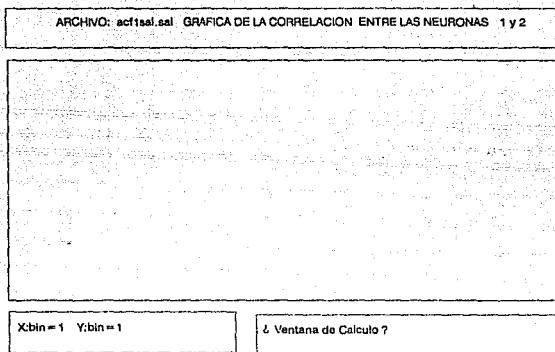


Figura 48

Una vez dados todos los datos, el sistema iniciará el cálculo de la correlación entre el par de neuronas pedido, en tanto, en pantalla se observará un mensaje de espera.

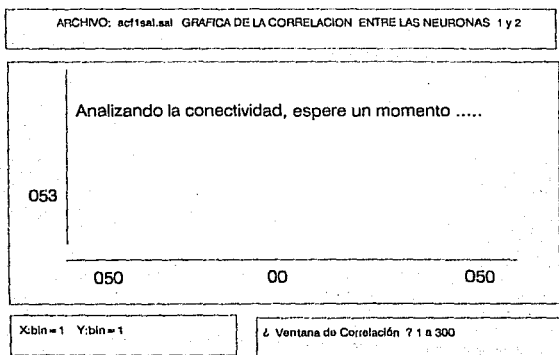


Figura 49

IV.5.6 Resultados de la correlación.

Internamente el sistema calcula las escalas y puntos de graficación para mostrar el histograma de correlación. Tomando como ejemplo el OSCILADOR (visto en APLICACIONES), después de esperar la correlación, el sistema podrá regraficar para amplificar la imagen, como se muestra a continuación.

En la siguiente gráfica de correlación, se observa una espiga antes del 0, lo que indica que " la neurona 2 es excitada por la neurona 1".

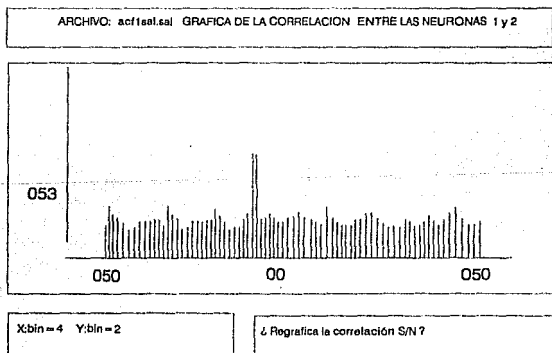


Figura 50

La opción para regraficar la correlación permite ver el histograma en baja resolución y también en alta resolución, y se pueden probar varias hasta que el resultado sea mejor en términos de visualización.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Se han presentado varios ejemplos utilizando NEURORED y sus programas auxiliares. Dos de ellos, el de la red de Hamming y el de asignación de tareas, pertenecen a las redes neuronales artificiales. En la red de Hamming se demuestra cómo utilizando inhibición lateral es posible lograr que solo una neurona de la capa de salida se dispare y así indique cuál es el vector buscado. En el problema de asignación de tareas es posible mostrar la evolución distribuida de la red hasta que encuentra una solución óptima o casi óptima. Los otros dos ejemplos muestran redes de tipo biológico como el oscilador y diferentes tipos de conexiones. Aquí lo que ha sido importante es la obtención del histograma de correlación cruzada para así determinar la conectividad entre pares de neuronas a partir de la actividad (los ceros y unos) de cada una de ellas.

Las ejemplos que se presentaron aquí tienen cuando más 40 elementos, esto se debe a que los ejemplos se realizaron en computadoras PC tipo XT. Para el momento de terminar esta tesis se podría multiplicar ese número por 10 sin ninguna dificultad, ya que ahora es común encontrar computadoras económicas y muy rápidas. Sin embargo, con eso también aumentaría la cantidad de datos y estos no son fáciles de analizar. El laboratorio de Cibernética está trabajando en este problema y pronto se determinará el tamaño óptimo de una red simulada con estos recursos.

Por otra parte, hay que hacer notar que para NEURORED se escogió el programa simulador más sencillo de los realizados por MacGregor. Esto facilita mucho el trabajo, pero no incluye aprendizaje Hebbiano, por ejemplo. Tampoco se puede simular distribución espacial. Estas no son desventajas si se considera que el paquete no es para redes neuronales artificiales, sino más bien para Neurociencia computacional y, entonces, existen muchos parámetros biológicos de importancia y no solamente los pesos como es el caso en las redes neuronales artificiales que utilizan el algoritmo de retropropagación.

Desde que se inició esta tesis en 1988 han ocurrido muchos avances en las redes neuronales artificiales, sobre todo en el mejor conocimiento de los algoritmos de aprendizaje y las arquitecturas involucradas. Como se hizo notar en la introducción, el simulador aquí presentado (NEURORED) está enfocado esencialmente a modelos biológicos de redes neuronales con parámetros fijos, ya que no se utiliza ningún algoritmo de aprendizaje, sino que la dinámica está incluida en las ecuaciones diferenciales que representan a las neuronas.

Este tipo de simulador de redes neuronales queda enmarcado en la disciplina conocida como Neurociencia Computacional y es por esto que el paquete está más orientado a la investigación y docencia en neurobiología, aunque el lector atento habrá notado que algunos de los ejemplos presentados en el Cap. IV se resuelven más directamente con los métodos tradicionales de las redes neuronales artificiales. Sin embargo, esto sólo demuestra que las redes neuronales artificiales son un subconjunto de las redes neuronales biológicas: todo lo que pueden hacer las redes neuronales artificiales lo pueden hacer las redes neuronales biológicas, pero no a la inversa.

De cualquier manera, el paquete ha sido utilizado en la Facultad de Ingeniería en los cursos de Bioingeniería y Temas Especiales de Computación. Ha tenido una aceptación condicionada, pues debido a que utiliza nomenclatura especializada de neurobiología no ha sido del gusto de estudiantes de ingeniería que no adquieren tales antecedentes. Sin embargo, los estudiantes que han tenido algo de paciencia han podido resolver problemas interesantes y esto los ha motivado a estudiar con más detalle las Redes Neuronales Artificiales contemporáneas, es decir, las que utilizan algoritmos de aprendizaje y modelos de neuronas simplificados.

Por otra parte, el paquete también se ha utilizado en la Facultad de Ciencias en la materia Seminario de Cibernética. Aquí el problema ha sido diferente, pues aunque algunos estudiantes han sido de biología y otros de física, su poco conocimiento de computación no les ha permitido aprovecharlo enteramente.

Es importante hacer notar que aunque en un principio el paquete se pensaba para fines didácticos, ha resultado que su utilidad mayor ha sido demostrada en investigaciones en neurociencia computacional, principalmente en el estudio de la conectividad entre neuronas de un grupo, utilizando las técnicas de correlación cruzada. Es aquí donde este paquete se ha utilizado y se utilizará intensamente en el futuro conectado a otros paquetes de análisis de trenes de impulsos registrados simultáneamente.

Se puede concluir que el desarrollo del paquete ha cumplido con los objetivos propuestos y será de mucha utilidad en el Laboratorio de Cibernética. Muchos otros usuarios podrían encontrarlo útil para enseñanza e investigación, aunque aquí el problema es la inexistencia de canales eficaces para difundir su aplicación. Además que en nuestro medio existe un interés más fuerte en la tecnología de redes neuronales artificiales que en la neurociencia computacional.

APENDICE A.

ARCHIVOS COMPONENTES DEL SISTEMA.

Módulos ejecutables que componen el presente Simulador.

NEUORED.EXE	Módulo para generar los archivos de salida.
CORRELAC.EXE	Módulo de análisis de Correlación Cruzada.
MENUPRIN.EXE	Menú principal del presente Simulador.
FORMARED.EXE	Módulo que permite diseñar una Red Neuronal, y crear los archivos de Datos y Red.
MOSAICOS.EXE	Módulo de análisis con apoyo de despliegues visuales de dos capas.
PUNTOS .EXE	Módulo de análisis apoyado en ventanas para desplegar los trenes de impulsos.
README .COM	Ayuda para el uso del presente Simulador.

APENDICE B

LISTADOS DE LOS PROGRAMAS

Tanto los programas fuente como los ejecutables pueden solicitarse por escrito a la dirección indicada y enviando una copia del acuerdo a continuación.

Para recibir el simulador NEURORED en su versión completa, me comprometo a lo siguiente:

(1) Se utilizará únicamente con propósitos educacionales y no comerciales, para promover el conocimiento sobre la simulación en computadora de fenómenos fisiológicos.

(2) Cualquier publicación de investigación o difusión que utilice el programa o parte de él, recibirá el reconocimiento debido en ella y se enviarán sobretiros de tales publicaciones a la dirección del laboratorio de Cibernética.

(3) El laboratorio de Cibernética no se hace responsable de errores en los programas o problemas que pueda ocasionar el uso de ellos. Y se reserva el derecho de hacer las modificaciones que considere pertinentes.

(4) El programa no será entregado a terceros sin el permiso del laboratorio de Cibernética y firmando un acuerdo como el aquí contenido.

NOMBRE:

DIRECCION:

TELEFONO:

E-MAIL:

INSTITUCION:

NOMBRAMIENTO:

FIRMA:

Dr. Ismael Espinosa E.
Facultad de Ciencias, UNAM
Dept. de Física
Lab. de Cibernética
Ciudad Universitaria
México, D.F. 04510
tel. 622 4871
e-mail: espin@unamvm1.bitnet

BIBLIOGRAFIA.

MacGREGOR, R.J., "Neural and Brain Modeling", Academic Press, 1987.

ESPINOSA E., I. y ARROYO A., R., "Ejemplos de interconexión de osciladores neuronales y la capacidad codificadora de su actividad temporal", Rev. Mex. Ing. Biomed., vol. 13(2): 357-367, 1992.

AVALOS, M., LEONETTI, G., ALCANTARA, M. y ESPINOSA E., I., "Estudio comparativo de métodos para análisis de conectividad neuronal", Memorias XIII Congreso Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, pp. 109-123, nov. 1990.

ESPINOSA I.E., "Conectividad en computadoras biológicas y en neurocomputadoras: propiedades computacionales", Memorias Acad. Nac. Ing. XIV: 111-115, 1988.

ESPINOSA E., I. y ALCANTARA G., M., NEURORED: simulador de redes neuronales y analizador de conectividad funcional, Memorias Acad. Nac. Ing., vol. 15: 40-44, Sept. 1989.

ESPINOSA E., I., LARA V., R. y HEREDIA L., F., Crosscorrelation and synaptic strength in a bidirectional associative memory (BAM) model, Society for Neuroscience Abstract 15: 111, Oct.-Nov. 1989.

HEREDIA L., F., GONZALEZ F., J., LARA V., R. y ESPINOSA E., I., Estudios sobre memoria asociativa bidireccional (MAB) utilizando dos simuladores diferentes de redes neuronales, Memorias 5a. Conf. Int. Las computadoras en las Inst. de Educ. e Investigación, DGSCA-UNAM-UNISYS, Nov. 1989.

LIPPMANN, R.P., An Introduction to Computing with Neural Nets, IEEE ASSP Mag., April 1987. pp. 4-22.

TANK, D.W. AND HOPFIELD, J.J., Simple "neural" optimization networks: An A/D converter, Signal decision circuit, and a linear programming circuit, IEEE Trans. Circ. Syst. 33: 533-541, 1986.

TANK, D.W. AND HOPFIELD, J.J., Collective computation in neuronlike circuits, Sci. Am. 257: 62-70, Dec. 1987.