

deje 10



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**SIMULACION DE ALGUNOS ASPECTOS
DEL SISTEMA VISUAL DEL GATO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

MARIA GISELA ANTONIO PEÑA

HECTOR CALVARIO MARTINEZ

ESTEBAN LOPEZ BRACHO



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 esta 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.

I N D I C E

	pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
ANTECEDENTES	4
CAPITULO II	
BASES FISIOLÓGICAS	13
CAPITULO III	
POSTULADOS	48
CAPITULO IV	
MODELADO	56
CAPITULO V	
RESULTADOS	109
CAPITULO VI	
PROGRAMA PERIFÉRICO	122
CONCLUSIONES	161
APENDICE A	164
APENDICE B	193
APENDICE C	216
REFERENCIAS	266

INTRODUCCION

Desde los más remotos tiempos el ser humano se ha preocupado por conocerse a sí mismo, pero sólo recientemente esa búsqueda le ha conducido al estudio del funcionamiento del más importante de sus órganos vitales: el cerebro. El estudio fisiológico del cerebro es imposible sin el conocimiento de su unidad básica, es decir, la neurona.

Hoy en día el funcionamiento de la neurona es bien conocido y se han desarrollado diversos modelos de ella. Uno de los primeros llevados a cabo fue el modelo electrónico del Dr. Harmon de los laboratorios de la Bell Telephone (9), consistente en cuatro transistores, una docena de resistencias y dos capacitores, las señales producidas reproducen fielmente a sus equivalentes biológicos. En México, el M. en C. Rolando Lara y Zavala desarrolló un modelo electrónico (19) y posteriormente bajo su dirección se realizó un modelo matemático capaz de simular el comportamiento de una neurona (6) y un programa en computadora digital capaz de simular el comportamiento de un circuito o red neuronal usando el modelo matemático anterior (2). El presente trabajo es una continuación de los dos anteriores y tiene como finalidad la de modelar algunas redes neuronales específicas del sistema visual de los mamíferos.

Actualmente ya se han realizado diversos modelos de redes neuronales, asociando para ello un cierto número de neuronas artificiales, pero se ha objetado que les falta a estas redes el número preciso para comportarse del mismo modo que los diez mil millones de neuronas con que el ser humano piensa y percibe información del medio que lo rodea (9). Uno de los propósitos de esta tesis es demostrar la inexactitud de lo anterior, es decir, los modelos de redes neuronales mencionados no fallan en el número de neuronas, sino en el enfoque global de la red. Nosotros consideraremos el cerebro como la conjunción de diversas redes neuronales especializadas y no como una enorme red neuronal glo-

bal. El sistema visual es así, formado por una o varias redes neuronales especializadas,-- de las cuales intentamos modelar algunos aspectos en el presente trabajo.

En el capítulo I hacemos una breve descripción de la neurona y del programa en-- computadora digital que permite simular el comportamiento de un circuito o red neuronal-- previamente mencionado. En el capítulo II se mencionan las bases fisiológicas usadas en-- el desarrollo de nuestro trabajo. El capítulo III trata de los postulados en los que basa -- mos nuestro modelo. En el capítulo IV se hace el desarrollo del modelo. En el capítulo -- V se muestran los resultados obtenidos y en el capítulo VI se desarrolla un programa peri-- férico que facilita la simulación. Finalmente, en los apéndices se encuentran los listados de los programas y un instructivo de usuario.

Los programas se corrieron en la computadora digital B-6700 del Centro de Servi-- cios de Cómputo de la U.N.A.M.

CAPITULO I

"ANTECEDENTES"

1).- LA NEURONA

La unidad fundamental en el sistema nervioso de los mamíferos es la célula nerviosa o "neurona". En la figura 1-1 se muestra la representación de una neurona típica, la cual está formada de un cuerpo celular o soma y diversas ramificaciones que se clasifican como dendritas y axón; la superficie celular está constituida por la membrana neuronal. - Las dendritas por lo general son cortas y muy ramificadas y son el sitio donde se establece el contacto sináptico con las terminales axónicas de otras células. El axón es una elongación que se ramifica y ensancha en su extremo distal, terminando en el botón axónico que está separado de las dendritas o soma de otras neuronas por el espacio sináptico que mide de 100 a 150 angstroms; el axón se encarga de la conducción del impulso nervioso.

La comunicación entre dos neuronas se realiza a través del proceso electroquímico-

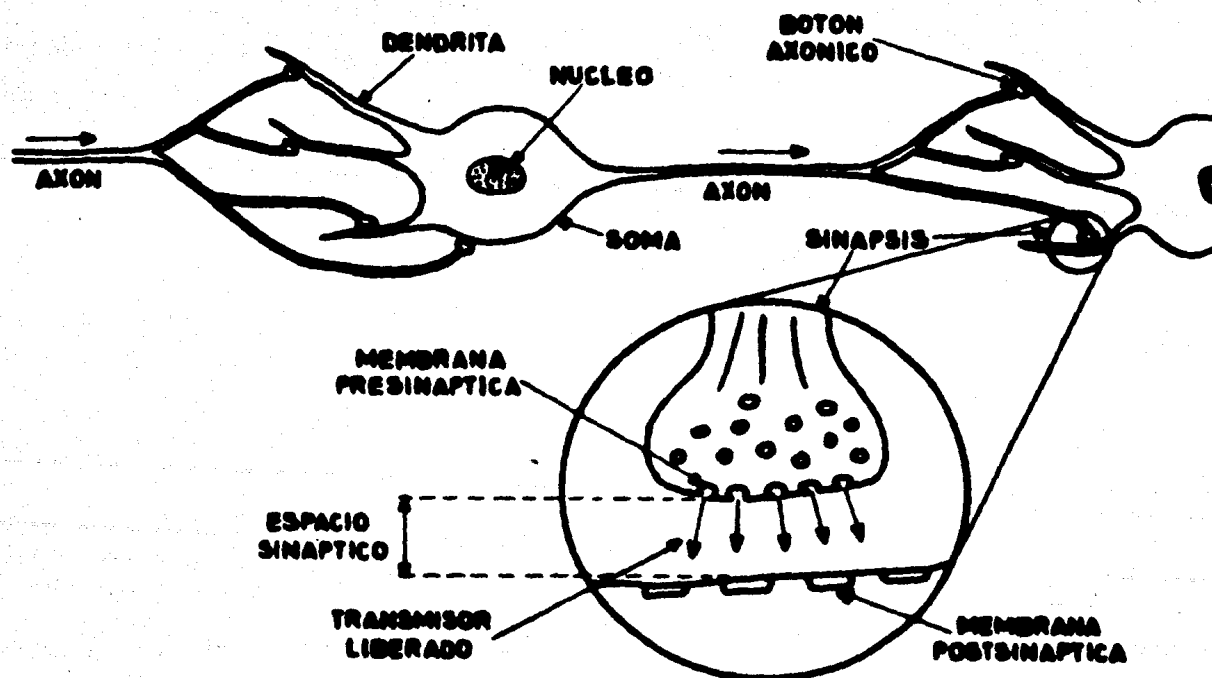


FIG. I-1

co denominado "sinapsis" (Fig. 1-1). El área donde se realiza este proceso comprende la membrana presináptica, el espacio sináptico y la membrana postsináptica. La sinapsis se realiza en un solo sentido, es decir, desde el botón terminal axónico (presinapsis) hacia las dendritas o el cuerpo celular de la otra neurona (postsinapsis).

La membrana separa el interior y el exterior de la neurona y tiene un potencial de reposo de aproximadamente 70 mV, negativos en el interior con respecto al exterior. Esta diferencia de potencial se genera fundamentalmente por la diferencia de concentración de los iones potasio (K^+), cloro (Cl^-) y sodio (Na^+), entre el interior y el exterior de la membrana.

El inicio de la sinapsis se realiza cuando se presenta en la neurona un impulso eléctrico, el cual es transmitido a través del axón, hasta llegar al botón axónico, donde ocasiona la liberación de un transmisor químico ("transmisor liberado") que se difunde en el espacio sináptico. El transmisor liberado interactúa químicamente con un receptor en la membrana postsináptica, modificando la permeabilidad de ésta, permitiendo así que ciertos iones se muevan a través de la membrana y modifiquen la diferencia de potencial existente en ésta. Cuando el transmisor liberado es de tipo excitador se provoca una disminución en la diferencia de potencial de la membrana postsináptica (depolarización); -asimismo, cuando el transmisor liberado es de tipo inhibitor se ocasiona un aumento en la diferencia de potencial de la membrana postsináptica (hiperpolarización).

Si la depolarización en la membrana ocasionada por un impulso excitador alcanza un valor límite de aproximadamente -40 mV (tomando como 0 volts, el potencial en el exterior de la membrana), la célula nerviosa produce un pulso que se denomina "potencial de acción", que es el que se propaga a lo largo del axón ("potencial propagado",

Fig. 1-2). Al valor límite de depolarización necesario para que la neurona produzca un potencial de acción se le denomina "umbral". Si la excitación no alcanza el valor del umbral de la neurona, ésta no activa el mecanismo de disparo y sólo se observa una depolarización local de la membrana o "potencial local", el cual no se transmite a la siguiente neurona. Si la señal de estímulo es una inhibición, se producirá solamente una hiperpolarización local, a consecuencia de la cual la depolarización necesaria para alcanzar el umbral aumenta y por consiguiente disminuye la posibilidad de producir un potencial propagado en la neurona postsináptica.

Cuando diferentes entradas se aplican simultáneamente en diferentes zonas de la neurona, dan como resultado la suma algebraica de todas ellas; esta suma algebraica incluye a los estímulos inhibitorios que hiperpolarizan la membrana así como a los excitado

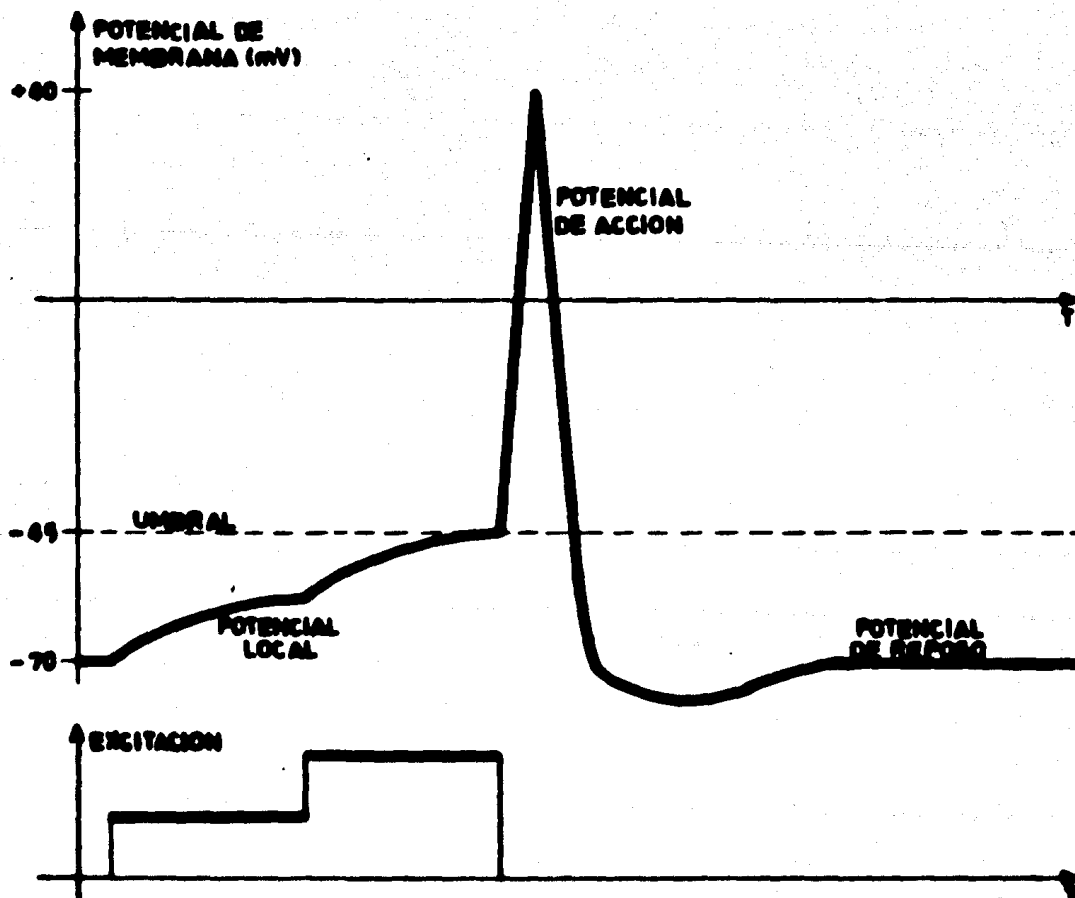


FIG. I - 2

res que la depolarizan. El potencial de acción puede también ser producido por una sola entrada que se aplica repetidamente (suma temporal). Una vez que termina el proceso de la sinapsis, la membrana regresa a sus condiciones iniciales, es decir, al potencial de reposo.

En vista de que el potencial de acción se transmite hasta el botón axónico en -- donde provoca la expulsión del transmisor liberado, en adelante, cuando hablemos de la respuesta de una neurona, implicaremos ambos procesos.

2).- SIMULACION DE REDES NEURONALES

En el trabajo de tesis "SIMULACION DE PROCESOS PLASTICOS EN LA SINAPSIS" (6), se llevó a cabo el desarrollo de un modelo matemático de la sinapsis, así como el planteamiento de los fundamentos que justifican su validez. En dicho trabajo también se hace una descripción amplia del funcionamiento de las células nerviosas, así como del comportamiento de éstas al comunicarse entre sí, como partes constitutivas de un circuito nervioso.

Posteriormente, usando los resultados del trabajo anterior se desarrolló, en el trabajo de tesis "SIMULACION EN COMPUTADORA DIGITAL DE PROCESOS DEL SISTEMA NERVIOSO" (2), un programa de simulación de circuitos o redes neuronales. En dicho trabajo se considera el comportamiento de dos tipos de neuronas, las llamadas "neuronas constantes", que no modifican su conectividad y por lo tanto siempre que responden producen una misma cantidad de transmisor liberado, y las llamadas "neuronas plásticas", que varían su eficiencia sináptica dependiendo de su actividad pasada y de su relación con otras vías (reforzamiento positivo y negativo).

El anterior programa de simulación es el que usaremos en nuestro trabajo para implementar en computadora digital las diferentes redes neuronales del sistema visual de los mamíferos, que desarrollaremos en base a las observaciones fisiológicas que se describirán en el capítulo II.

El programa de simulación anteriormente mencionado requiere para su uso, que se le proporcione la siguiente información:

a).- La información sobre la simulación en general que consta de los siguientes parámetros:

- Número de neuronas que contendrá la red neuronal a simular.
- Tiempo que durará la simulación.
- Tipo de simulación que se llevará a cabo (esto se debe a que el programa se desarrolló previendo la posibilidad de usar otro modelo matemático).

b).- La información de cada una de las neuronas que componen la red y que consta de los siguientes parámetros:

- Número de la neurona, que sirve para la identificación de la misma dentro del programa.
- Umbral de disparo: un número entero que no puede ser menor que 0 ni mayor que 100.
- Tipo: la neurona puede ser constante o plástica.
- Transmisor liberado: se especifica sólo en caso de que la neurona sea de tipo constante; también debe ser un número entero no menor que 0 ni mayor que 100.
- Entradas: para cada neurona es necesario especificar cuando menos una fuente de estímulos, ya sean agentes externos a la red (entradas externas), o bien, otras neuro

nas.

- Reforzador: en el caso de que la neurona esté asociada a otra neurona que actúa como reforzador, se especifica si éste es positivo o negativo.

c).- La información para indicar al programa qué resultados se desean obtener.

Los tres tipos de información anteriores se proporcionan al programa mediante tres archivos de datos que se identifican con las siguientes tarjetas de control:

? DATA DATOSSIMULACION

? DATA DATOSNEURONAS

? DATA DATOSIMPRESION

DATOSSIMULACION

En este archivo se proporcionan tres tarjetas de datos; en la primera se especifica el número de neuronas que contiene la red, en la segunda el tiempo que durará la simulación y en la tercera el tipo de simulación mediante una letra 'E', si se desea que la simulación sea con el modelo matemático (ó).

DATOSNEURONAS

En el archivo DATOSNEURONAS se proporcionan las tarjetas de datos que contienen la descripción de la red neuronal, la cual se compone de los parámetros y las entradas de cada una de las neuronas.

El nombre de un parámetro se constituye con un identificador del mismo, seguido de cualquier combinación de letras, dígitos y espacios en blanco. Los identificadores de parámetros son los siguientes:

Número de la neurona	N
Tipo	T
Transmisor liberado	L
Umbral de disparo	U
Entradas a la neurona	E
Entradas externas	X
Reforzador	R

La especificación de cualquier parámetro se hace con el nombre del parámetro, - seguido de un signo "=" (igual) y del valor asociado al parámetro.

Las entradas provenientes de otras neuronas se indican por los números de éstas, - separados por "comas" (,); si la entrada es inhibidora el número va precedido de un signo "menos" (-) y si es excitadora, el número no lleva signo. Las entradas externas se - expresan por ternas de números enteros, separados por "comas" (,), donde el primero y - el segundo de cada terna, son los límites inferior y superior respectivamente, de un in - tervalo de tiempo en el cual se puede presentar la entrada externa; y el tercer número - de cada tema es la frecuencia con que la entrada externa se presentará en el intervalo; si este último vale 0, se considerará que la entrada se presenta aleatoriamente.

El tipo de neurona se expresa por una letra "C" si la neurona es constante y por una letra "P" si la neurona es plástica.

Para terminar la especificación de un parámetro se usa el signo ";" (punto y co - ma). La información de una neurona se debe proporcionar especificando primero su nú - mero y después todos los demás parámetros, sin importar el orden de éstos. La termina - ción de los datos se indica perforando un asterisco (*) en la columna 80 de la última tar

jeta de datos.

DATOSIMPRESION

En este archivo se proporciona la información referente al tipo de resultados que se deseen conocer, los cuales pueden ser gráficas y/o tabulaciones de las ecuaciones -- del modelo matemático, de cualesquiera neurona de la red y durante el tiempo que se prolongue la simulación.

El tipo de salidas que se desea se especifica por medio de los comandos "GRA" o "TAB" para gráficas o tabulaciones, respectivamente. Después del comando se especifican parejas de números enteros encerrados en paréntesis y separados por una "coma" (,); la separación entre las parejas de números también se hace mediante una "coma". El primer número de cada pareja indica la neurona para la cual se desea graficar o tabular la ecuación del modelo matemático indicada por el segundo número.

En el presente trabajo la ecuación que nos puede interesar graficar o tabular es la '12', que corresponde al transmisor liberado (respuesta de la neurona).

Una lista completa de las ecuaciones del modelo matemático usado, así como un instructivo de usuario detallado y el listado completo del programa de simulación se puede encontrar en el trabajo ya mencionado (2).

CAPITULO II

"BASES FISIOLÓGICAS"

1).- EL SISTEMA VISUAL

En los mamíferos el proceso de la percepción visual, se inicia cuando el haz luminoso alcanza el ojo y atraviesa sucesivamente la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo, hasta incidir en la retina (Fig. II-1).

La córnea tiene un índice de refracción mayor que el del aire, por lo que su acción es enfocar la luz en la retina. La cantidad de luz que penetra en el ojo es controlada por el iris, que se encuentra situado justo enfrente del cristalino, se trata de una membrana coloreada con una perforación central: la pupila. La pupila se contrae o se

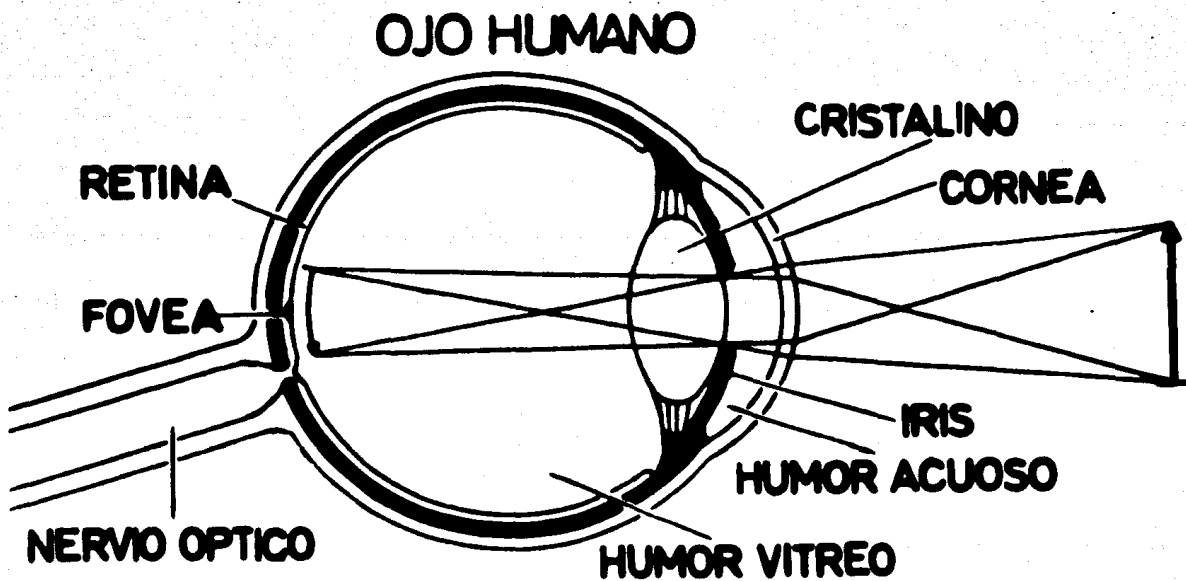


FIG. II-1

dilata según la mayor o menor cantidad de luz incidente.

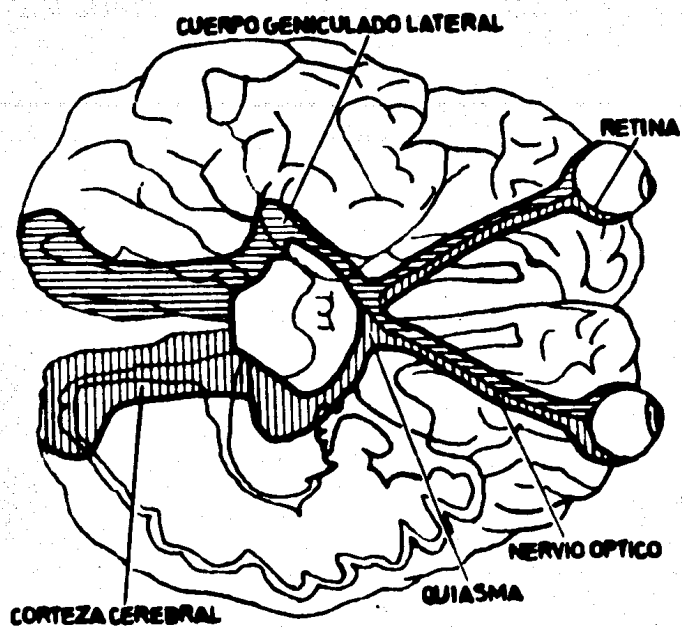
El cristalino tiene un índice de refracción apenas mayor que el del humor acuoso situado por delante y que el del humor vítreo situado por detrás, por lo tanto, su acción para llevar la luz a un foco en la retina no es tan importante como la de la córnea; su importancia estriba en que siendo elástico, su distancia focal puede variar en forma considerable, por lo que hace posible enfocar exactamente la luz proveniente de objetos situados a diversas distancias.

La luz no afecta inmediatamente a los fotorreceptores al atravesar el humor vítreo y alcanzar la retina, sino que tiene que atravesar las fibras nerviosas y las células que existen en las capas internas transparentes del revestimiento nervioso retiniano. Cuando la luz actúa sobre los fotorreceptores, los impulsos nerviosos originados por la estimulación luminosa se transmiten en dirección inversa a la entrada luminosa, como si se dirigieran hacia el humor vítreo. Posteriormente, las fibras nerviosas salen de la retina y forman el nervio óptico.

Desde la retina de cada ojo, los mensajes visuales viajan a lo largo de los nervios ópticos y al llegar a la unión conocida como el quiasma, aproximadamente la mitad de las fibras nerviosas de cada nervio óptico cruzan hacia el hemisferio cerebral opuesto y el resto siguen en el mismo hemisferio (Fig. 11-2a).

En seguida, las fibras nerviosas se dirigen a un par de grupos celulares, llamadas los cuerpos geniculares laterales. Desde allí, nuevas fibras van hacia la parte posterior del cerebro, a las áreas visuales de la corteza cerebral, es decir, a las zonas 17, 18 y 19 (Fig. 11-2).

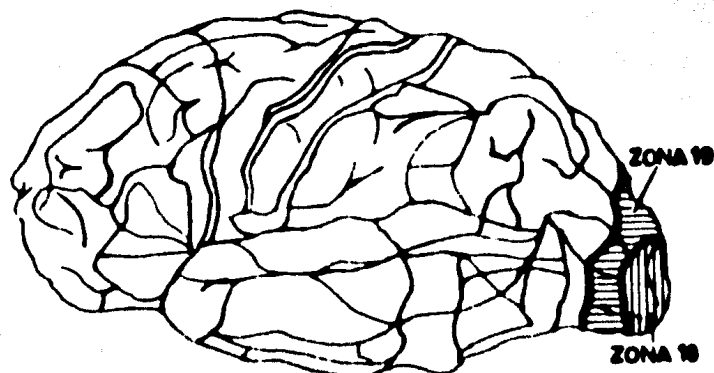
CEREBRO HUMANO



(a) SISTEMA VISUAL



(b) SUPERFICIE MEDIAL



(c) SUPERFICIE LATERAL

FIG. II - 2

Desde el punto de vista funcional, la característica más importante del sistema visual es la existencia de un campo receptivo para cada una de las neuronas que lo constituyen.

El campo receptivo de una célula nerviosa del sistema visual es el área de la retina que, cuando es estimulada, influencia la actividad eléctrica de la célula, en una forma excitatoria o inhibitoria. Las diversas neuronas del sistema visual difieren en las características de su campo receptivo, tales como: tamaño, forma, localización, orientación y tipos de estímulos a los cuales son sensible. En un sentido amplio, el campo receptivo de una neurona del sistema visual se puede definir como el área de la retina funcionalmente conectada con ella, ya sea en una forma directa o indirecta. Por ejemplo, dada una célula ganglionar retinal que es estimulada o inhibida por una pequeña población de células fotorreceptoras, su campo receptivo es el área de la retina cubierta por estos fotorreceptores.

2).- RETINA

En la retina, los cuerpos de las células nerviosas están arreglados en tres capas distintas (Fig. 11-3). La más alejada del cristalino comprende las células receptoras, -- que contienen los pigmentos visuales que detectan la luz. La siguiente capa incluye las células bipolares, horizontales y amacrinas. Las células bipolares conducen mensajes -- desde los receptores a las células en la tercera capa; mientras que las células horizontales y amacrinas están involucradas en la transmisión lateral de información. La tercera

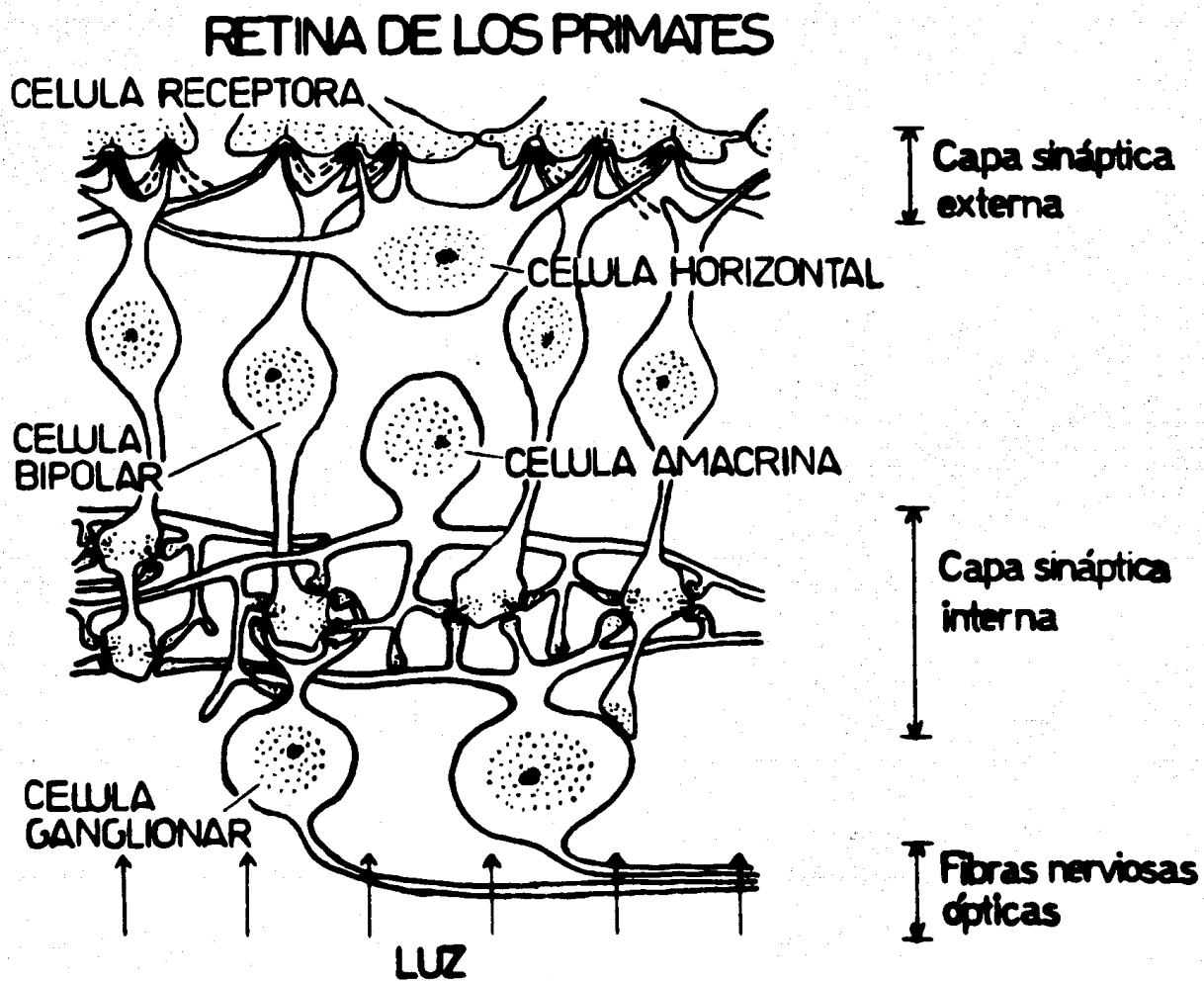


FIG. II-3

capa contiene las células ganglionares, sus axones forman el nervio óptico, el cual es la única salida de la retina.

Entre las tres capas de cuerpos celulares existen dos capas sinápticas, en las cuales entran en contacto las diferentes elongaciones celulares (Fig. 11-3).

Células receptoras

Las características neuronales de los receptores son un potencial de reposo de --membrana muy bajo (10 a 30 mV), y un potencial transitorio lento en respuesta a un punto de luz.

Los receptores celulares se clasifican en "bastones" y "conos"; los primeros responden a la intensidad de la luz y los segundos son de tres tipos, dependiendo de su sensibilidad a la luz azul, verde y roja. Se sabe que en el hombre existen en cada retina alrededor de 120 000 000 de bastones y 7 000 000 de conos. Los bastones son responsables de la detección de brillo y contraste, así como de la visión en lugares poco iluminados; los conos permiten la visión en color en lugares iluminados.

En el hombre se ha descubierto la existencia en los bastones de un pigmento fotosensitivo llamado rodopsina, el cual cambia químicamente cuando la luz incide sobre él, produciendo lo que se ha llamado blanqueamiento. Rushton (24) demostró que la rodopsina es blanqueada con luz brillante, regenerándose en la oscuridad quizás a partir de --precursores químicos almacenados en el ojo o transportados por la sangre. Bajo iluminación estable ocurre un balance entre estos dos procesos, causando que la concentración de rodopsina en los receptores sea menor cuanto mayor es la intensidad de la luz incidente. El resultado anterior también lo demostró Rushton para los pigmentos visuales de los conos sensibles a la luz verde y roja.

La respuesta de los receptores de la retina debe ser, por lo tanto, dependiente de la concentración de los pigmentos visuales o de la rapidez de variación de dicha concentración.

Células horizontales

Estas células también dan una respuesta lenta al estímulo de luz. Como en las células receptoras, la respuesta asciende desde un potencial de reposo bajo. Sus respuestas son de dos tipos: del tipo de luminosidad (L), que consiste en la hiperpolarización de la célula para todas las longitudes de onda; y del tipo de cromaticidad (C), en el cual la respuesta puede ser hiperpolarizante o depolarizante, dependiendo de la longitud de onda de la luz incidente.

Se piensa que no existen excepciones a la regla de que los transmisores sinápticos son liberados por depolarización de la membrana celular; debido a esto, se ha postulado que en la oscuridad los receptores liberan transmisores sinápticos continuamente y que la luz suprime esta liberación.

Parece posible que el mecanismo de respuesta de las células horizontales es similar en principio, al de los receptores, en vez de ser un proceso inhibitorio activo.

Células bipolares

Estas células, similarmente a las células horizontales y receptoras, generan únicamente una respuesta lenta para un estímulo de luz. La respuesta inicial de estas células es similar a la de las células horizontales, lo cual es consistente con la observación de que la terminal receptora provee estimulación a ambos tipos de células. Las respuestas también crecen desde un potencial de reposo relativamente bajo (30 a 40 mV). La respuesta puede ser hiperpolarizante o depolarizante. Las células bipolares responden

en forma distinta dependiendo de si el estímulo incide en el centro o en la periferia de su campo receptivo. La célula bipolar es la primera en la secuencia de neuronas dentro de la retina que muestra marcadamente un antagonismo centro-contorno, por medio de polaridades opuestas de respuesta.

Células amacrinas

Estas neuronas responden para un estímulo de luz con potenciales gradualmente depolarizados, en los cuales pueden estar superpuestos uno o dos picos. Las células amacrinas son por consiguiente, las primeras en la secuencia de neuronas dentro de la retina que responden con depolarización semejante a la de otras neuronas en el cerebro y las primeras en generar actividades de pulsos.

Las células amacrinas pueden responder de diferentes formas al encendido (ON) o al apagado (OFF) de un punto de luz, así como con diferente amplitud en su respuesta. Estas respuestas son relativamente transitorias comparadas con las respuestas de los otros tipos de células.

Células ganglionares

Las células ganglionares responden con varias combinaciones de potenciales post sinápticos excitatorios e inhibitorios. Los potenciales de reposo de membrana son relativamente bajos (40 a 50 mV). Estas células son las únicas neuronas en la retina que muestran actividad espontánea de impulsos. Algunas de ellas responden con una descarga continua a un punto central de luz y son inhibidas por un anillo iluminado alrededor del mismo punto. Otras células ganglionares muestran respuestas transitorias tanto para el encendido como para el apagado de un estímulo de luz; esto es similar al patrón de respuestas de las células amacrinas, lo que sugiere que tales células ganglionares son contro

ladas principalmente a través de las células amacrinas.

En retinas simples las células ganglionares responden principalmente a puntos estacionarios y a anillos de luz (Kuffler, 1953). En retinas complejas responden menos a estímulos simples y estacionarios, y responden mejor a estímulos complicados (Barlow, 1953). Por ejemplo una célula ganglionar de una retina compleja (como la de la rana), puede responder únicamente si el estímulo es un punto de luz en movimiento y no responde si el estímulo es un punto estático.

En el gato, el campo receptivo de las células ganglionares está organizado en una forma concéntrica con una área central circular rodeada por una zona de forma anular. En algunos casos, al iluminar un punto de luz en la región central se excita la célula (respuesta ON), mientras que al iluminar el contorno se inhibe cualquier descarga espontánea; al cesar la iluminación en el mismo se tiene un tren de impulsos (respuesta OFF). En otras células la situación es la opuesta, el centro produce una respuesta OFF y el contorno una respuesta ON (Fig. 11-4). Un estímulo cubriendo simultáneamente -- tanto el centro como el contorno tiene un efecto prácticamente nulo en la descarga de las células.

Debido a las características anteriores Kuffler y Michael (22) han propuesto que las células ganglionares comparan la iluminación del centro y del contorno de su campo receptivo.

A partir de este momento, nos referiremos a las células ganglionares cuya respuesta en el centro es de tipo ON y en el contorno dan respuesta OFF como células -- ganglionares "ON-OFF"; las inversas las llamaremos "OFF-ON" (Fig. 11-4).

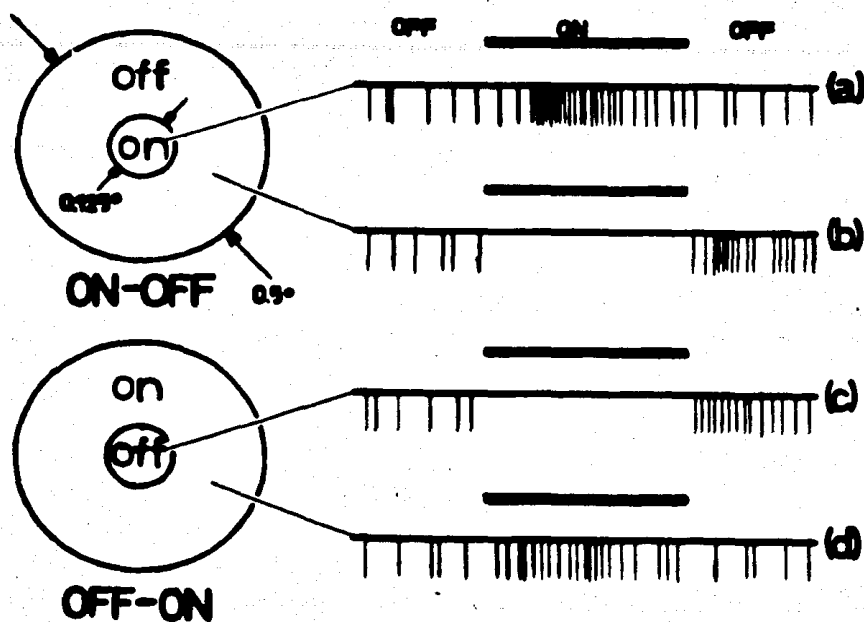


FIG. II-4

3).- CUERPO GENICULADO LATERAL

Comparado con la retina, el cuerpo geniculado lateral es una estructura simple. Hay únicamente una sinapsis involucrada, puesto que las terminaciones de las fibras del nervio óptico entran a células que envían sus fibras directamente a la corteza visual. - Existe también realimentación desde la corteza visual hacia el cuerpo geniculado lateral.

En el cuerpo geniculado lateral se ha hallado que las células tienen algunas de las características de las células ganglionares retinales. Cada célula del cuerpo geniculado es gobernada por una región retinal (campo receptivo) y tiene un centro ON o un centro OFF, con una periferia opuesta. Hay sin embargo, diferencias entre las células del cuerpo geniculado y las células ganglionares retinales; la más importante de ellas, - es la gran capacidad de la periferia del campo receptivo de las células del cuerpo geni-

culado para cancelar el efecto del centro. Esto significa que las células del cuerpo geniculado son aún más especializadas que las células ganglionares retinales en responder a diferencias espaciales en la iluminación retinal. El cuerpo geniculado lateral tiene la función de aumentar la disparidad (siempre presente en las células ganglionares retinales) entre las respuestas para un pequeño punto de luz y para la luz difusa.

4).- CORTEZA CEREBRAL: ZONAS 17, 18 y 19

En contraste con el comparativamente simple cuerpo geniculado lateral, la corteza cerebral es una estructura de gran complejidad. Las células de esta gran placa de materia gris están arregladas en distintas capas. Los millones de fibras que llegan a ella -- desde el cuerpo geniculado lateral conectan con células corticales en la cuarta capa hacia adentro. Desde aquí, la información es diseminada a todas las capas de la corteza por medio de ricas interconexiones entre ellas. Muchas de las células, particularmente -- aquellas de la tercera y quinta capas, llevan sus fibras fuera de la corteza, proyectándose a centros profundos en el cerebro, o bien, pasando hacia áreas corticales cercanas para procesar aún más los mensajes visuales. La mayoría de las conexiones entre células -- corticales se realizan en una dirección perpendicular a la superficie de la corteza, las conexiones hacia los lados generalmente son muy escasas.

La retina proyecta a la corteza visual, por la vía del cuerpo geniculado lateral, de una manera tal que la entrada a una zona de la corteza es un área circunscrita de la retina. Además, cada célula cortical tiene un pequeño campo receptivo, esto es, es influenciada solamente por una región circunscrita de la retina, tal como en las células ganglionares retinales y en las del cuerpo geniculado lateral.

De acuerdo a las observaciones anatómicas de la corteza se podría pensar que -- las células corticales están provistas de campos receptivos concéntricos, característicos de las células en la retina y en el cuerpo geniculado lateral. Sin embargo, Hubel y --- Wiesel (13, 14, 15), no observaron en la corteza visual del gato células con campos re- - receptivos concéntricos, en vez de ello hallaron varios tipos diferentes de células con - - campos receptivos marcadamente diferentes de los vistos en células retinales y del cuer- - po geniculado lateral. Los distintos tipos de células corticales del sistema visual han si- do clasificados de acuerdo a su función en tres grandes grupos. Hubel y Wiesel (14, 15) han denominado estos grupos como células "simples", "complejas" e "hipercomplejas". - Las células simples se caracterizan por responder a estímulos de líneas, tales como "reji- llas" (líneas iluminadas en un fondo oscuro), "barras" (líneas oscuras en un fondo ilumi- nado) y "bordes" (fronteras rectilíneas entre regiones de luz y oscuridad). Generalmen- te dan una respuesta más fuerte para un estímulo estático que para uno en movimiento. - Una célula simple responde dependiendo de la forma, posición y orientación del estímu- lo al que se somete su campo receptivo. Por ejemplo, en un gato anestesiado fueron in- movilizados los ojos, las pupilas fueron dilatadas y se le colocó una pantalla enfrente; - una barra colocada verticalmente en la pantalla pudo activar una determinada célula de la corteza cerebral (la cual fue detectada por medio de un microelectrodo hidráulico -- previamente implantado en el cráneo); sin embargo, la misma célula no respondió cuan- do la barra se desplazó a un lado, o cuando fue girada apreciablemente fuera de la ver- tical. No obstante, otras células que no habían respondido al estímulo original lo hi -- cieron bajo las nuevas condiciones del mismo.

Las células complejas son muy similares a las simples, también responden a rejillas, barras y bordes, adecuadamente orientados, pero no son tan discriminativas con respecto a la posición exacta del estímulo. Además, responden más fuerte a estímulos en movimiento que a estímulos estáticos.

Las células hipercomplejas responden preferentemente a estímulos en movimiento adecuadamente orientados, tales como rejillas, barras, "esquinas" (bordes de longitud limitada en un extremo) y "lengüetas" (bordes limitados en ambos extremos). Las células hipercomplejas se han subdividido en hipercomplejas de "bajo orden" y de "alto orden", de acuerdo a los tipos de estímulos a los cuales responden y a su aparente complejidad.

Los campos receptivos de las células corticales simples están divididos en áreas "excitatorias" e "inhibitorias" similares respectivamente a las zonas ON y OFF de las células ganglionares retinales; las células complejas no presentan diferentes zonas en sus campos receptivos, mientras que los campos receptivos de las células hipercomplejas se dividen en áreas "activadoras" y "antagonistas" que ya no presentan las características ON y OFF, en lugar de ello, al estimular la parte activadora la neurona responde y al estimular la parte antagonista la neurona simplemente no responde (recuérdese que en las neuronas de campos receptivos ON-OFF y OFF-ON existe respuesta al estimular cualquiera de las áreas, las cuales sólo difieren en su tipo de respuesta); además, al estimular simultáneamente las áreas activadora y antagonista de una neurona hipercompleja no se presenta respuesta.

Hubel y Wiesel detectaron cientos de neuronas en la corteza visual del gato y observaron que el campo receptivo de varias neuronas es igual en forma y funcionamiento

to, pero diferente en tamaño, orientación y posición en la retina. Encontraron que en general el campo receptivo es de mayor tamaño mientras más alejado esté del centro de la retina, pero no encontraron evidencia de que la orientación del mismo dependa de la distancia que lo separa del centro de la retina, ni de que alguna orientación sea más común que las otras.

Algunas células corticales pueden activarse desde ambos ojos, pero con frecuencia los dos ojos no fueron igualmente efectivos y fueron vistos diferentes grados de dominio de un ojo sobre el otro.

La mayoría de las células simples se detectaron en la zona 17 de la corteza cerebral (área visual I) y las células complejas e hipercomplejas se detectaron principalmente en las zonas 18 y 19 de la corteza cerebral (áreas visuales II y III), respectivamente.

5).- CELULAS CORTICALES SIMPLES

Los campos receptivos de las células simples al estar divididas en áreas excitatorias e inhibitorias (ON y OFF), semejan los campos receptivos de las células ganglionares, aunque difieren notablemente en la forma y arreglo de dichas áreas; es decir, ya no tienen el patrón concéntrico dado en las células ganglionares. Es lógico que las células simples tengan características de las células ganglionares, puesto que sólo existe una sinapsis entre ellas, que se efectúa en el cuerpo geniculado lateral.

Un ejemplo de campo receptivo de una célula simple es el que se muestra en la Fig. 11-5a. La neurona que presenta este campo fue detectada principalmente en la zona 17 de la corteza cerebral. En la Fig. 11-5a, la región marcada con cruces represen

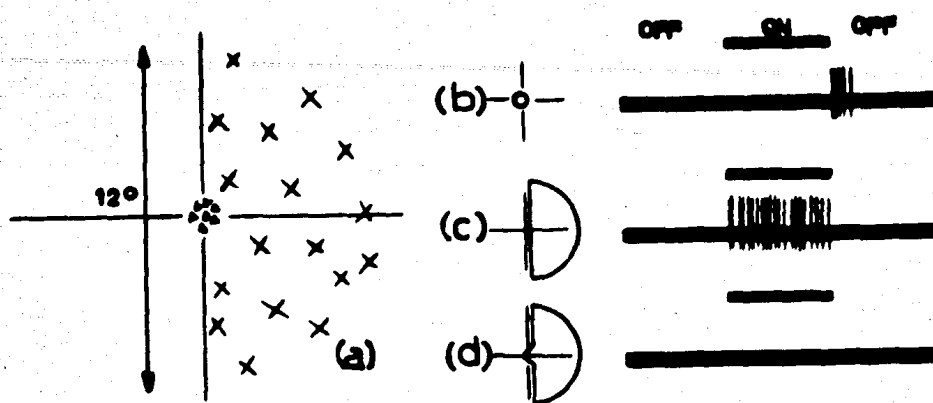


FIG. II - 5

ta la zona excitadora, y la región marcada con triángulos representa la zona inhibitoria; en las subsiguientes figuras las zonas excitadora e inhibitoria también serán representadas en esta forma.

La Fig. II-5b muestra la respuesta de esta célula al iluminar un punto en la región inhibitoria de 1° de diámetro ($1^\circ \approx 250$ micras en la retina), nótese que la respuesta es de tipo OFF. El área excitatoria situada a la derecha de la inhibitoria es mucho más grande, es necesario un punto de al menos 4° de diámetro para evocar una respuesta (de tipo ON), y al iluminar un semicírculo de 12° de diámetro se logra la máxima respuesta, es decir, al iluminar toda el área excitadora (Fig. II-5c). Aunque la diferencia de tamaños de las áreas excitatoria e inhibitoria es notable, al estimular simultáneamente las dos áreas la respuesta se cancela completamente (Fig. II-5d).

El estímulo semicircular (Fig. II-5c) es de especial interés porque la posición exacta del borde vertical que divide la luz y la oscuridad es muy crítica. Un pequeño desplazamiento hacia la izquierda, permitiendo que la luz ilumine una parte del área inhibitoria, cancela completamente la respuesta obtenida con la iluminación de toda el área ex

citatoria.

En las células simples son muy comunes los campos receptivos teniendo una área central excitatoria o inhibitoria y dos áreas laterales opuestas.

En la Fig. II-6 se muestra el campo receptivo de una neurona simple con áreas laterales simétricas y un área central angosta. En esta neurona al colocar un punto luminoso de 1° de diámetro sobre un eje vertical se produce un decremento en su actividad espontánea y al apagarse el estímulo se produce un tren de pulsos (respuesta OFF, Fig. II-6a,b,c). Otras áreas al ser iluminadas por el punto producen un incremento en el disparo de la neurona (respuesta ON, Fig. II-6d,e).

Debido a los resultados anteriores es que se concluye que el campo receptivo de esta neurona (Fig. II-6g) consiste de una región angosta orientada verticalmente, desde la cual se obtienen respuestas OFF (triángulos), y de dos regiones laterales, las cuales -

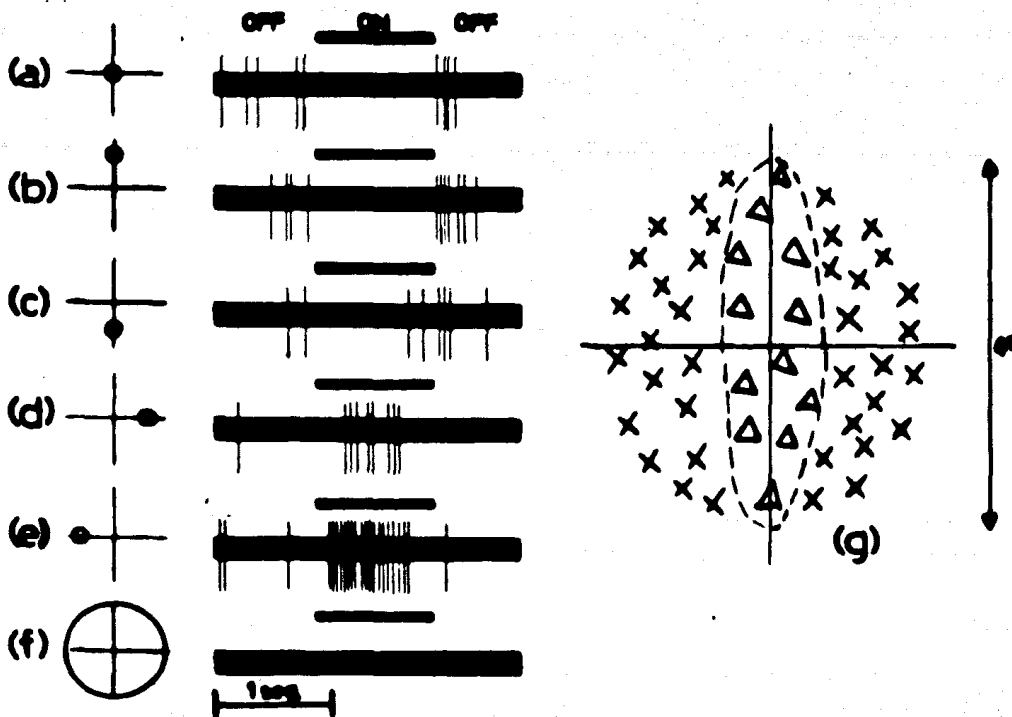


FIG. II-6

dan respuesta ON (cruces). La mayor respuesta OFF se obtiene al iluminar en la parte central una rendija orientada verticalmente y la respuesta máxima ON se obtiene de un estímulo que contiene ambos costados del campo receptivo; es decir, cuando se suman las respuestas de las dos áreas laterales. Al iluminar por completo el campo receptivo, con un círculo de 4° de diámetro, o sea, al estimular simultáneamente las dos áreas excitatorias y el área inhibitoria no se obtiene respuesta (Fig. II-6f).

También se detectó la neurona de la Fig. II-6 en forma inversa: teniendo su parte central como región excitadora y las áreas laterales como inhibitorias (Fig. II-7f). La neurona de la Fig. II-7 es fuertemente activada con un estímulo en forma de rendija de $1^\circ \times 8^\circ$ orientado verticalmente y colocado sobre la región excitadora (Fig. II-7a); en contraste, una rendija de luz orientada horizontalmente es completamente inefectiva (Fig. II-7e).

La obtención de una máxima respuesta cuando se estimula con una rendija orientada verticalmente se explica porque cubre toda la región excitadora y excluye por completo las áreas inhibitorias; cuando al rotar la rendija se incluyen partes de las áreas inhibitorias las respuestas son reducidas o abolidas (Fig. II-7b, c, d). Así una rendija horizontal

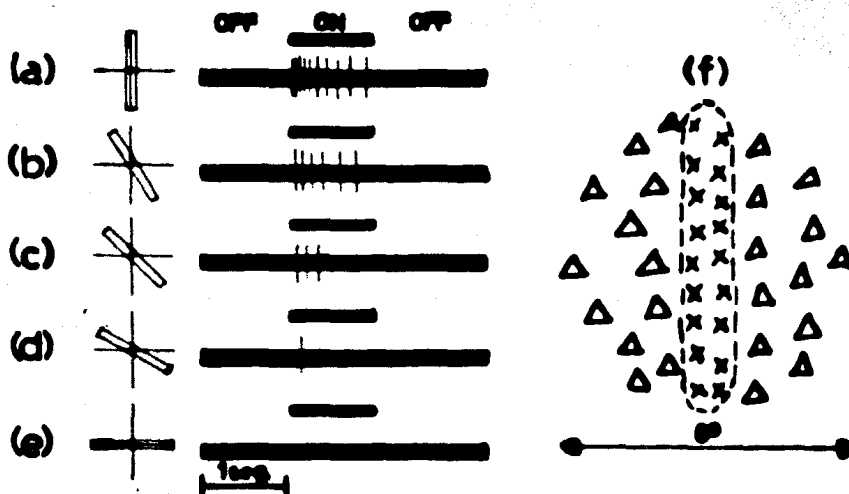


FIG. II-7

es inefectiva porque se estimula una porción pequeña del área excitadora central y grandes porciones de las regiones inhibitoras. En la Fig. II-8 se muestra el comportamiento de esta célula para estímulos en movimiento. En la Fig. II-8a una rendija vertical se mueve de lado a lado sobre el campo receptivo, evocando en cada cruzamiento una respuesta definida, mientras que no hay efecto al mover una rendija horizontal hacia arriba y hacia abajo (Fig. II-8b).

Otra neurona simple detectada en la zona 17 de la corteza cerebral es aquella cuyo campo receptivo se muestra en la Fig. II-9. Esta neurona presenta dos zonas estrechas, una inferior y una superior de tipo excitatorio (respuesta ON), y una extensa área central inhibitoria (respuesta OFF). Al pasar una rendija de luz moviéndose de arriba hacia abajo sobre las áreas excitadoras la célula evoca una respuesta (Fig. II-9b), y un re-

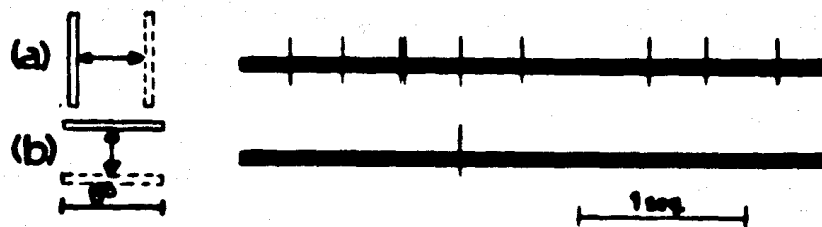


FIG. II-8

sultado similar se obtiene al pasar la rendija de abajo hacia arriba (Fig. II-9c). En la Fig. II-9 la velocidad de la rendija es de aproximadamente $8^\circ/\text{seg}$. En la Fig. II-10a se muestra la respuesta de esta célula a una rendija de luz estática; cuando la rendija se coloca en las regiones excitatorias la célula evoca una respuesta ON (Fig. II-10a, b) y cuando se coloca en la región inhibitoria se obtiene una respuesta OFF (Fig. II-10c).

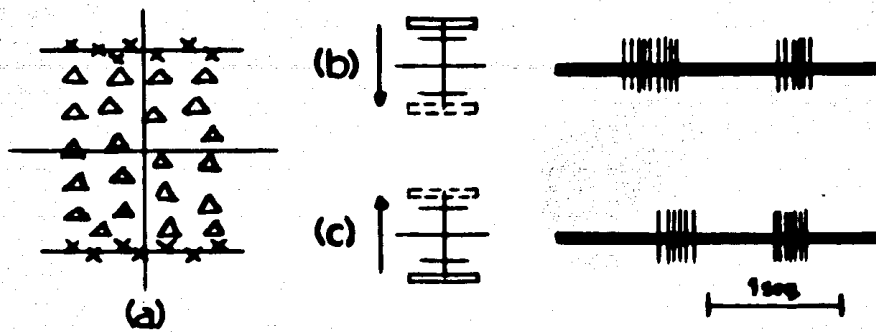


FIG. II-9

Algunas células muestran selectividad direccional para los estímulos en movimiento; un ejemplo de estas células simples se observa en la Fig. II-11, en donde se puede notar que además de responder a rejillas estáticas con las características ON-OFF (Fig. II-11a,b) responde al movimiento de derecha a izquierda mejor que al movimiento de izquierda a derecha (Fig. II-11d). Hubel y Wiesel postulan que esto se debe a lo asi-

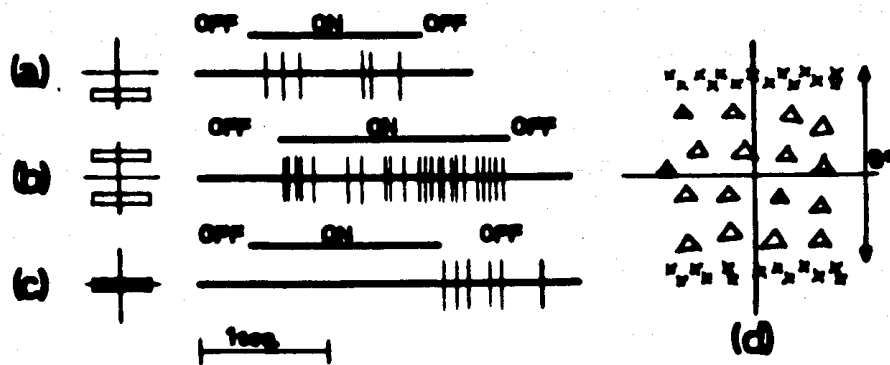


FIG. II-10

métrico del campo receptivo, ya que sus dos regiones excitadoras laterales no son iguales.

En todas las neuronas mencionadas es crítica la orientación, la posición y la velocidad del estímulo para obtener una respuesta óptima.

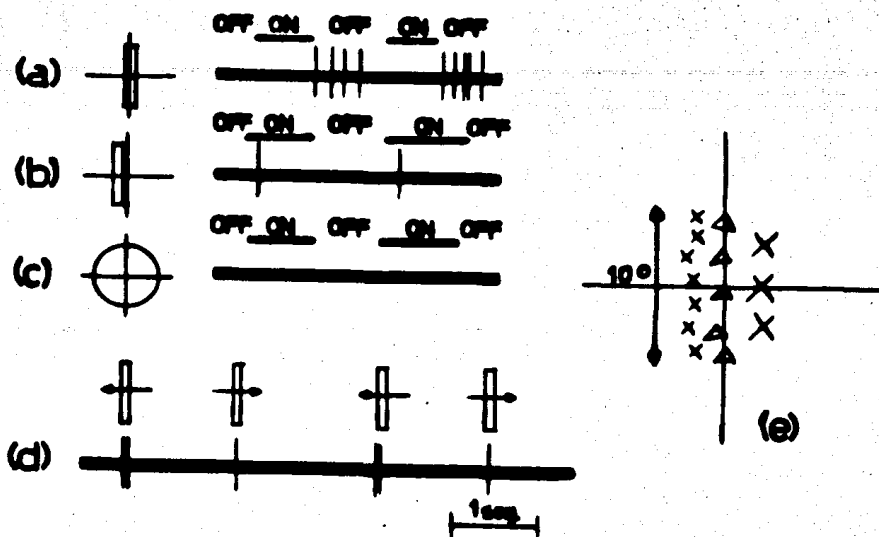


FIG. II - 11

Hubel y Wiesel detectaron los campos receptivos de estas neuronas en diferentes tamaños, orientaciones y posiciones en la retina, y, para todos los tipos de neuronas simples mencionados, encontraron campos con regiones laterales OFF y central ON, así como sus recíprocos de regiones laterales ON y central OFF (14).

6).- CELULAS CORTICALES COMPLEJAS

Como en el caso de las células simples, este grupo de células corticales responden también a estímulos lineales (barras, rejillas y bordes) adecuadamente orientados. Las células complejas, sin embargo, no son tan discriminativas respecto a la posición exacta -- del estímulo, siendo suficiente con que éste se halle apropiadamente orientado. Además, las neuronas complejas responden con un encendido sostenido a estímulos en movimiento.

Una célula compleja responde a la estimulación dentro de una región circunscrita de la retina: el campo receptivo. Sin embargo, los campos receptivos de neuronas com-

plejas, al contrario de los de las simples, no pueden ser mapeados en regiones opuestas - ON y OFF.

En la Fig. 11-12 se muestra el campo receptivo de una célula compleja típica estudiada por Hubel y Wiesel, la cual responde a un borde vertical, en forma ON y OFF, dependiendo de si la luz está a la izquierda o a la derecha del mismo (Fig. 11-12a,b). - Otras orientaciones del borde prácticamente no tienen efecto (Fig. 11-12c,d,e). Estas - respuestas son las que podrían esperarse de una célula simple con un campo receptivo -- consistiendo de una área excitatoria separada de una inhibitoria por una frontera vertical. En este caso, empero, la célula tiene una propiedad adicional que según Hubel y Wiesel no podría ser explicada por tal arreglo: un borde vertical evoca respuesta en cualquier - lugar del campo receptivo, siendo de tipo ON cuando la luz se encuentra a la izquierda (Fig. 11-12a,f,g) y de tipo OFF con la luz a la derecha del borde (Fig. 11-12b,h,i). - Debe notarse, sin embargo, que las respuestas son más fuertes cuando el borde se coloca aproximadamente en el centro del campo receptivo.

En la Fig. 11-13 se muestra una célula compleja respondiendo vigorosamente al - movimiento lento hacia abajo de una barra oscura horizontal. El movimiento hacia arriba produce una respuesta débil y el movimiento horizontal de una barra vertical no produce respuesta.

Las neuronas complejas representan la mayoría de las células en la zona 18 de la corteza cerebral (área visual II).

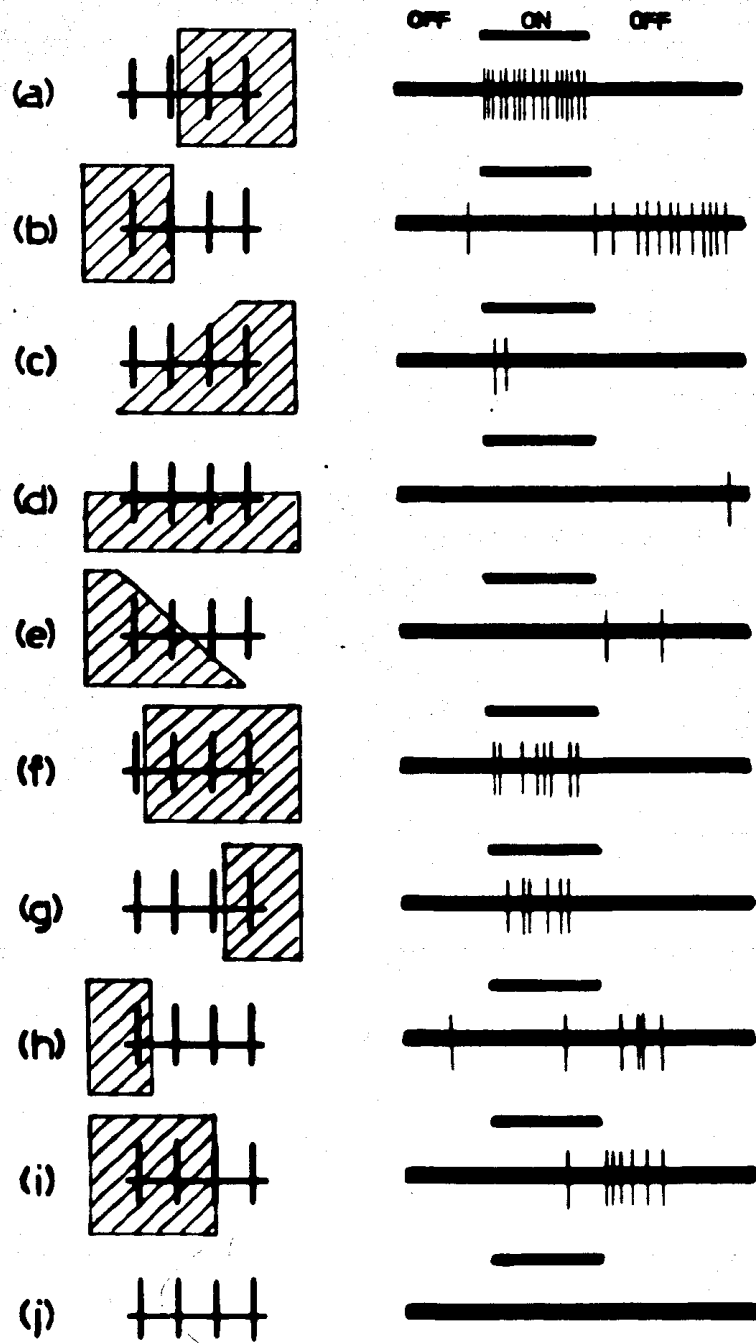


FIG. II-12

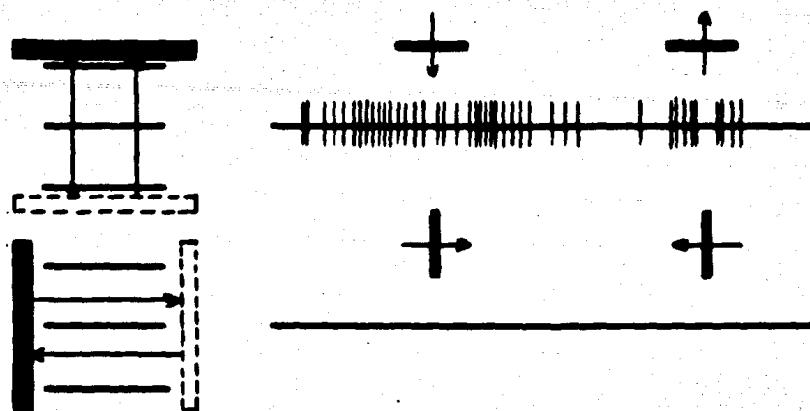


FIG.II-13

7).- CELULAS CORTICALES HIPERCOMPLEJAS

Las neuronas hipercomplejas se hallan principalmente en la zona 19 de la corteza cerebral (área visual III). Las células de este tipo muestran ciertos rasgos comunes, aunque varían ampliamente en los tipos de estímulos a los cuales responden y en su aparente grado de complejidad. A esto último se debe el que hayan sido subclasificadas en hipercomplejas de bajo orden e hipercomplejas de alto orden.

Células hipercomplejas de bajo orden

En las Figs. II-14 y II-15 se muestran las respuestas de una célula hipercompleja de bajo orden detectada en la zona 18 de la corteza cerebral. La respuesta óptima de la célula se obtiene al estimularla con un borde con la oscuridad abajo, movido hacia arriba, sobre una región circunscrita, a una velocidad de aproximadamente $4^\circ/\text{seg}$, tal como se muestra en la Fig. II-14c. El área sobre la cual se evocan las respuestas es aproximadamente la indicada por la mitad izquierda del rectángulo de $4^\circ \times 2^\circ$ dibujado con líneas punteadas en las Figs. II-14 y II-15. Conforme se estimula más esta área la respuesta aumenta (Fig. II-14a, b, c). La orientación del borde es crítica, puesto que --

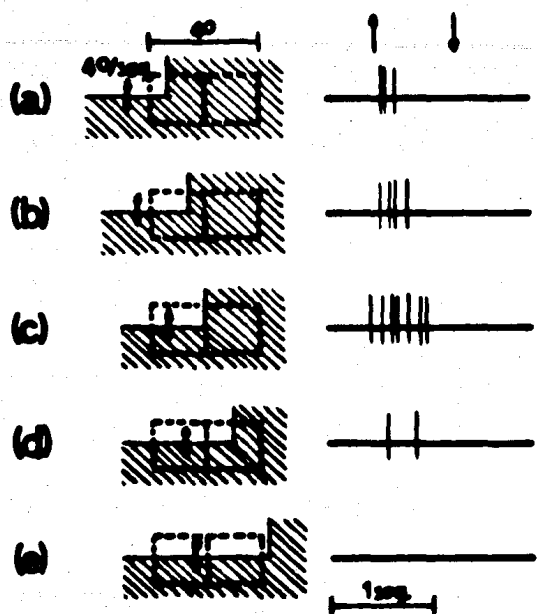


FIG II-14

cambiándola de 10° a 15° se produce una marcada disminución en la respuesta, y un cambio de 30° hace completamente inefectivo al estímulo. No hay respuesta en esta célula si el movimiento es hacia abajo, si el estímulo son pequeños puntos circulares, si la luz es difusa o si hay movimiento hacia arriba o hacia abajo de un borde con oscuridad arriba.

En los incisos (d) y (e) de la figura II-14 se muestra que, conforme se incluye en la estimulación la parte derecha del campo receptivo, la res-

puesta se hace progresivamente débil hasta que desaparece por completo cuando se estimula toda el área rectangular. De lo anterior puede pensarse que lo que esta célula requiere como estímulo es un borde cruzando la mitad izquierda de su campo receptivo y, que a la vez, no haya un borde cruzando la mitad derecha del mismo. En los experimentos de la figura II-15 la mitad izquierda del campo rectangular es estimulada en su totalidad y la mitad derecha es, mientras tanto, estimulada con bordes formando diversos ángulos con la horizontal. Es claro que mientras más cercana es la orientación del estímulo de la parte derecha a la de la parte izquierda más débil es la respuesta, y ésta desaparece por completo cuando el estímulo de la mitad derecha (región antagonista) es idéntico en orientación al de la mitad izquierda (región activadora) del campo receptivo (Fig. II-15d). El tamaño del área antagonista es aproximadamente igual al del área activadora ($2^\circ \times 2^\circ$).

De los anteriores experimentos se concluye que la propiedad esencial de esta neurona hipercompleja es su responsividad a un borde específicamente orientado y limitado en su longitud en un extremo (en este caso el derecho). Respecto a la extensión del borde hacia la izquierda, la respuesta mejora mientras más se alarga el borde, hasta que pasa la frontera izquierda del campo receptivo rectangular, a partir de ahí, la longitud del borde no

tiene efecto en la respuesta. Puede decirse que esta célula se especializa en responder a esquinas en ángulo recto ya que para este tipo de estímulo se obtiene la mejor respuesta (Figs. II-14c y II-15b, e). Obsérvese además, que esta célula responde a un estímulo de dos dimensiones, al contrario que las células simples y complejas, las cuales responden a estímulos en una sola dimensión (líneas).

En las figuras II-16 a II-18 se describe una célula hipercompleja de bajo orden de un segundo tipo, la cual fue detectada por Hubel y Wiesel en la zona 19 de la corteza cerebral. Esta célula responde cuando un borde se mueve rápidamente hacia abajo, pero únicamente si la región estimulada está limitada en ambos lados.

La Fig. II-16a muestra que moviendo hacia abajo un borde muy largo no se obtiene respuesta; el borde se hace efectivo conforme es acortado, bloqueado ambos extremos de la región estimulada, hasta que se elimina todo excepto el centro de 2.5° de ancho (Fig. II-16b, c, d); en ese momento no solo hay una fuerte respuesta al movimiento -

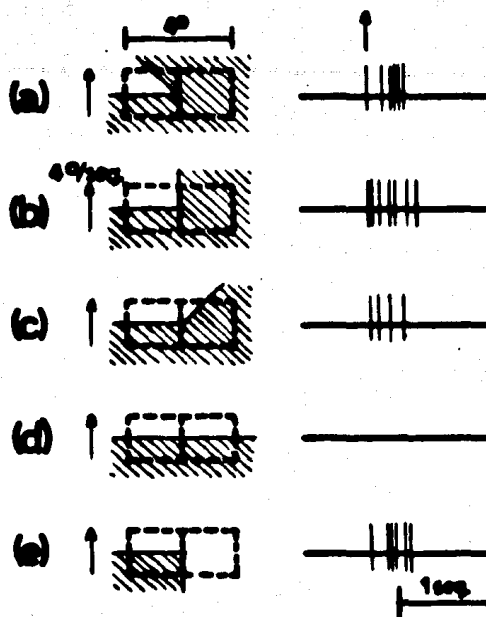


FIG. II-15

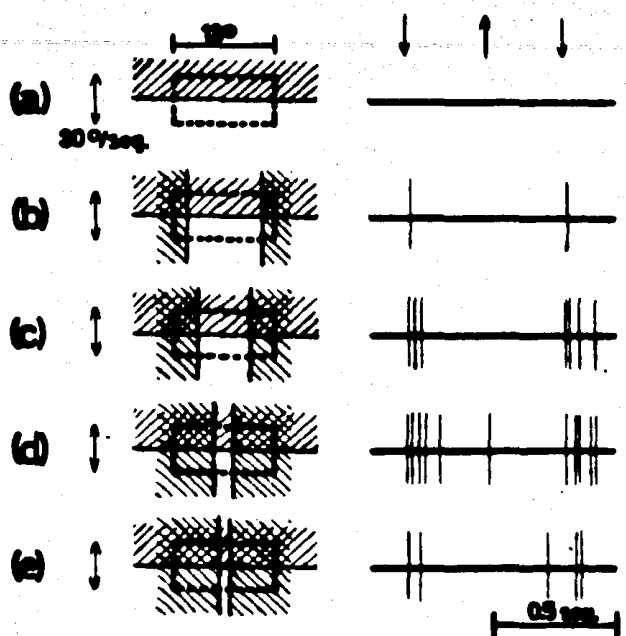


FIG. II - 16

hacia abajo, sino también una respuesta débil al movimiento hacia arriba (Fig. II-16d); un acortamiento adicional del área estimulada reduce la respuesta (Fig. II-16e). El estímulo de 2.5° de la Fig. II-16d es más potente cuando el borde móvil se orienta horizontalmente, un cambio de 30° en la orientación elimina por completo la respuesta.

En la Fig. II-17a,b se observa que ambas regiones laterales son capaces

de antagonizar las respuestas. La región estimulada puede reducirse bloqueando las regiones laterales del campo receptivo (como en las Figs. II-16 y II-17a,b) o disminuyendo la longitud del borde de estímulo (Fig. II-17c-e); cuando la longitud del borde es reducida, el estímulo óptimo es una lengüeta de 2.5° de ancho, moviéndose rápidamente dentro de la región activadora del campo receptivo (Fig. II-16e). La posición exacta del estímulo es entonces altamente crítica, puesto que introduciéndolo ligeramente a la derecha o a la izquierda la respuesta de la neurona se debilita (Fig. II-18), presumiblemente debido a la reducción del área activadora cubierta, incluyendo al mismo tiempo parte de la antagonista.

Para esta neurona y la anterior los campos receptivos están divididos en regiones antagonistas y activadoras en una forma similar a las partes inhibitorias y excitatorias de los campos receptivos de células simples. Los términos "antagonista" y "activadora" --

usados en las neuronas hipercomplejas tienen, sin embargo, un sentido más abstracto que los términos "excitatoria" e "inhibitoria", puesto que los efectos de las regiones no se suman o restan en un sentido espacial simple, sino únicamente a lo largo de una línea paralela al eje del campo receptivo.

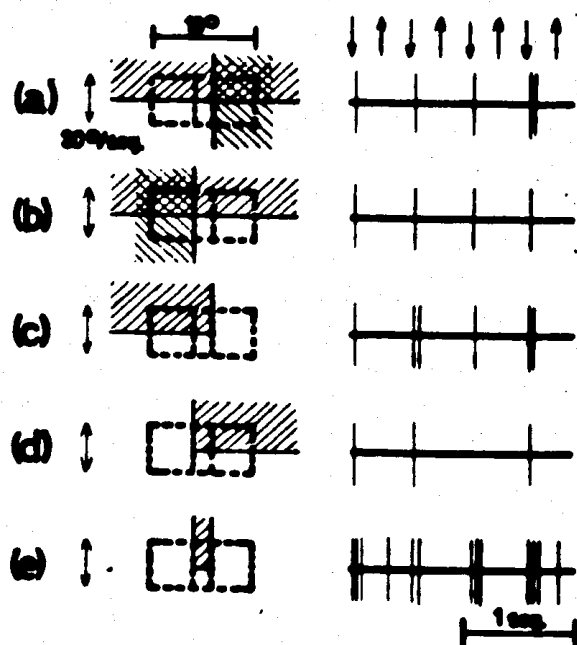


FIG. II - 17

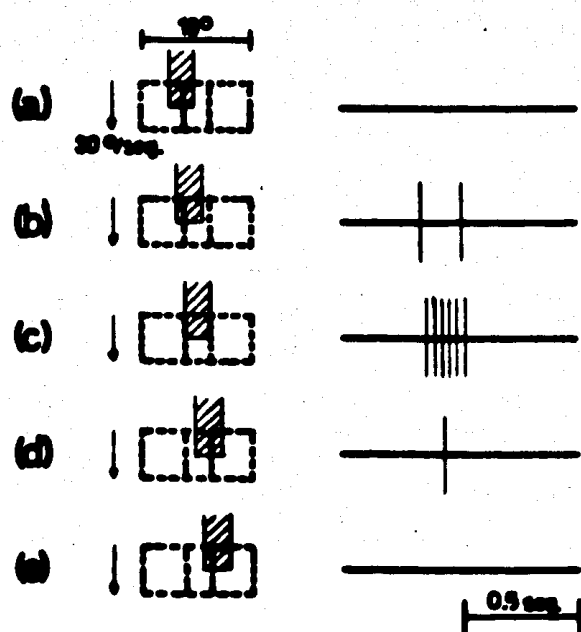


FIG. II - 18

En las células que se describen a continuación, los rectángulos dibujados con líneas punteadas se usan para mostrar la división activadora de los campos receptivos, --- mientras que no se muestran las regiones antagonistas de los mismos.

La neurona hipercompleja cuyo campo receptivo (parte activadora) se muestra en las figuras II-19 y II-20 fue detectada en la zona 19 de la corteza cerebral. Su mejor respuesta se obtiene con una rendija de $1/8^\circ$ de ancho y 2° de longitud. Evoca pequeñas respuestas ON iluminando la rendija en cualquier lugar dentro de la región activadora de $2^\circ \times 2.5^\circ$ (Fig. II-19a, b, c), siempre y cuando la orientación de la rendija no se --

aleje más de 20° a 30° de la orientación óptima, mientras que a 90° de la misma no hay respuesta en absoluto (Fig. II-19d). El ancho de la rejilla es crítico, puesto que anchos de $1/16^\circ$ o de $1/4^\circ$ evocan respuestas muy débiles y una rejilla de $1/2^\circ$ de ancho es completamente inefectiva. La neurona no responde o lo hace débilmente cuando la longitud de la rejilla se extiende de varios grados afuera de la región activadora (Fig. II-19e).

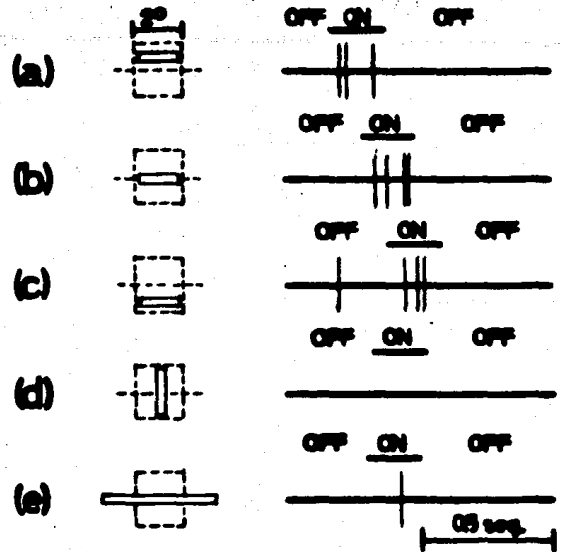


FIG. II-19

Las respuestas para estímulos en movimiento son mostradas en la Fig. II-20. El movimiento hacia arriba, no mostrado en la Fig. II-20, es tan efectivo como el movimiento hacia abajo. La velocidad óptima es del orden de $3^\circ/\text{seg}$. Estimulando con rendijas que se extienden más allá de la región activadora, en una o en ambas direcciones y para varias distancias, es posible formar alguna idea de la extensión de las regiones antagonistas laterales (Fig. II-20b, c, d, e, f), encontrándose que las áreas antagonistas están presentes a ambos lados de la región activadora y se extienden de 2° a 3° al lado de esta última.

Otra célula hipercompleja de bajo orden, detectada cerca de la descrita arriba, tiene muchas propiedades similares. Como en el caso de la célula anterior, su respuesta óptima es para una rendija de $1/8^\circ$ de ancho, sin embargo, un estímulo en movimiento es mucho más efectivo que uno estacionario, y, además, el movimiento hacia arriba -- prácticamente no evoca respuesta. Al contrario que la célula antes descrita, responde

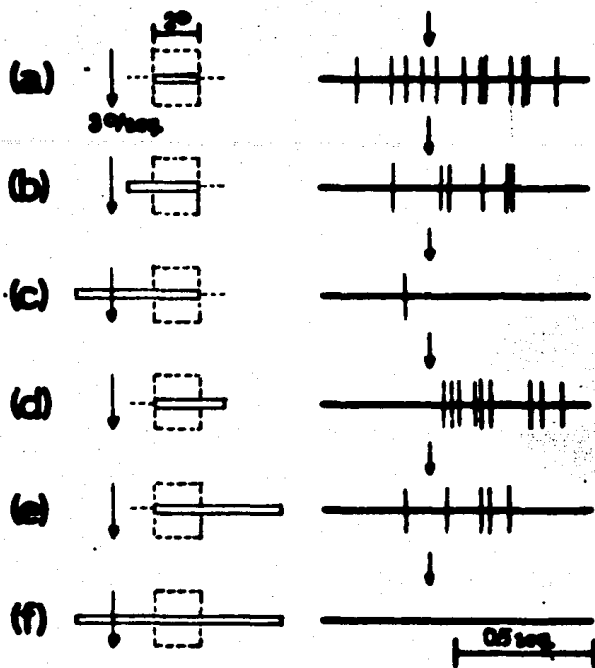


FIG. II - 20

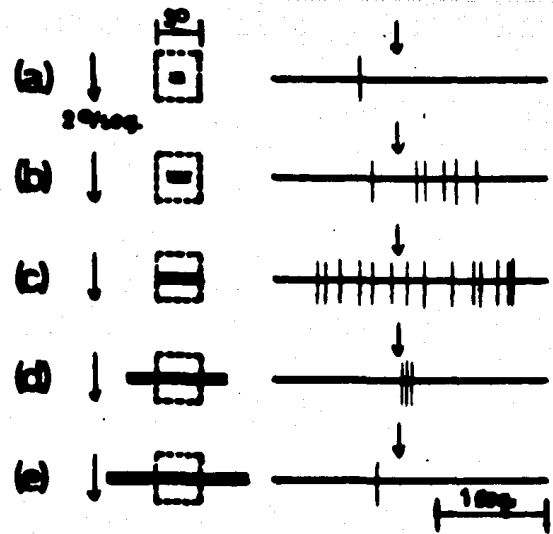


FIG. II - 21

para una barra oscura tan bien como para una rendija (Fig. II-21), con las mismas dimensiones óptimas. La Fig. II-21 muestra también la sumación dentro de los contornos de la parte activadora del campo receptivo (incisos a, b y c) y el antagonismo de las partes laterales (inciso d y e). Las regiones antagonistas tienen, como en el caso anterior, una extensión de 2° a 3° a ambos lados de la región activadora.

Células hipercomplejas de alto orden

Una de las principales características de las células hipercomplejas de alto orden es su habilidad para responder a estímulos con orientaciones separadas 90°

Las Figs. II-22 y II-23 muestran una célula hipercompleja de alto orden detectada en la zona 19 de la corteza cerebral. Esta célula responde cuando se estimula con bordes de oscuridad arriba y en movimiento. Con un borde limitado por la izquierda -- (Fig. II-22b), la célula responde para movimientos hacia abajo y hacia arriba, dentro de un área oval indicada en forma aproximada por el rectángulo izquierdo de líneas --

punteadas. Con el borde limitado por la derecha (Fig. II-22d) la célula responde sobre otra región mostrada aproximadamente por el rectángulo derecho de líneas punteadas. Las esquinas formados por un borde con oscuridad abajo y limitado por la derecha o por la izquierda son prácticamente inefectivas (Fig. II-22a, c); también lo es un borde ilimitado con oscuridad arriba (Fig. II-22e) o abajo.

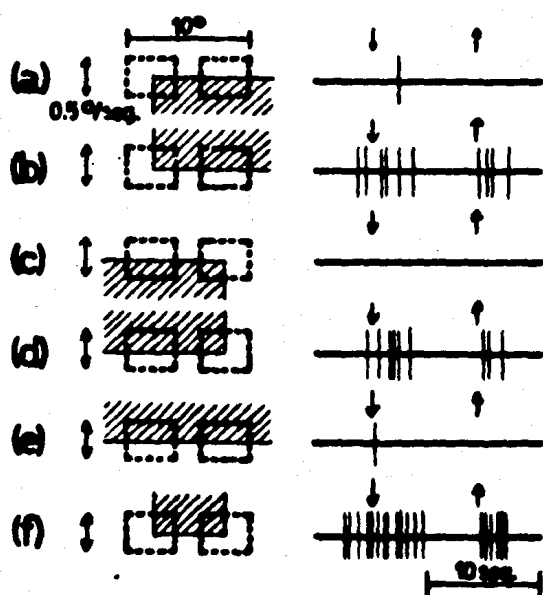


FIG. II - 22

tado con oscuridad arriba (Fig. II-22e) o abajo. Una lengüeta oscura que combina las esquinas de los incisos (b) y (d) de la Fig. II-22, evoca una respuesta muy fuerte cuando se mueve de arriba hacia abajo (Fig. II-22f). Las respuestas para movimientos de abajo hacia arriba son más débiles que las de movimientos de arriba hacia abajo (Fig. II-22b, d, f). Las respuestas mostradas en los incisos (b), (d) y (f), son altamente sensitivas respecto a la

orientación del estímulo, desapareciendo por completo al cambiar la orientación en más de 10° a 15° .

En la Fig. II-23 se justifica el considerar a esta célula de mayor orden de complejidad que las otras cuatro células hipercomplejas anteriormente descritas. La célula responde vigorosamente cuando la esquina usada en la Fig. II-22d es movida a derecha e izquierda (Fig. II-23a). La esquina de la Fig. II-22b evoca, similamente, una respuesta fuerte cuando se mueve a derecha e izquierda dentro del área rectangular izquierda (Fig. II-23b). El mencionado movimiento a derecha e izquierda evoca una respuesta únicamente cuando las esquinas-estímulo se orientan como se muestra en la

Figs. II-23a,b un cambio de 15° a 20° en la orientación es capaz de abolir por completo la respuesta. Combinando los dos estímulos usando una barra ancha se produce una respuesta muy potente (Fig. II-23d), mientras que al extender la barra abajo de las regiones activadoras, no

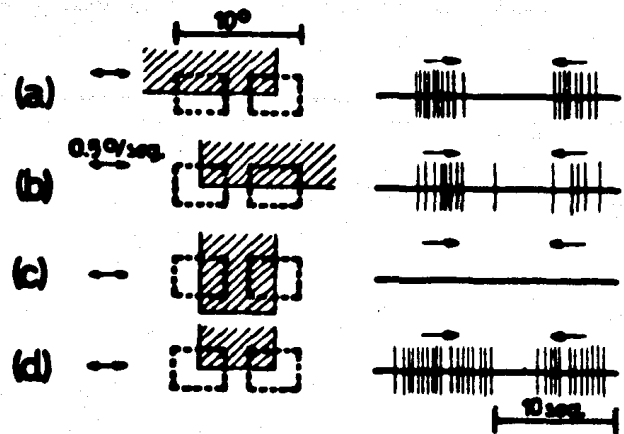


FIG II- 23

hay respuesta (Fig. II-23c). El movimiento hacia la izquierda es ligeramente menos efectivo que el movimiento hacia la derecha. La velocidad usada en las Figs. II-22 y II-23 es de $0.5^\circ/\text{seg}$ y las dimensiones de las áreas activadoras son aproximadamente de $4^\circ \times 3^\circ$.

Se puede considerar que esta neurona combina los efectos de dos conjuntos de -- neuronas hipercomplejas de bajo orden, uno de ellos con una orientación vertical del -- campo receptivo y el otro con una orientación horizontal.

Un segundo ejemplo de las células hipercomplejas de alto orden se muestra en -- las Figs. II-24 a II-26. Esta célula se halló en la zona 19 de la corteza cerebral y la -- parte activadora de su campo receptivo es aproximadamente un rectángulo de $4^\circ \times 1.5^\circ$ (Fig. II-24). Evoca una poderosa respuesta cuando una lengüeta vertical con oscuridad abajo y moviéndose de abajo hacia arriba con una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$ se introduce -- en la zona activadora de su campo receptivo. La respuesta se reduce marcadamente al cambiar la orientación de la lengüeta en 20° o 30° . Aunque la longitud de la zona activadora es de 4° el ancho óptimo de la lengüeta es de sólo 0.5° ; una lengüeta ligeramente más ancha es, notoriamente, menos efectiva y una lengüeta de 2° de ancho no -- evoca respuesta en absoluto; además, una lengüeta de menos de 0.25° de ancho causa --

también una marcada disminución en la res
puesta.

Una de las más interesantes caracte-
rísticas de esta neurona es su habilidad para
responder independientemente del lugar de
la zona activadora en que se introduce el es
tímulo (Fig. II-24).

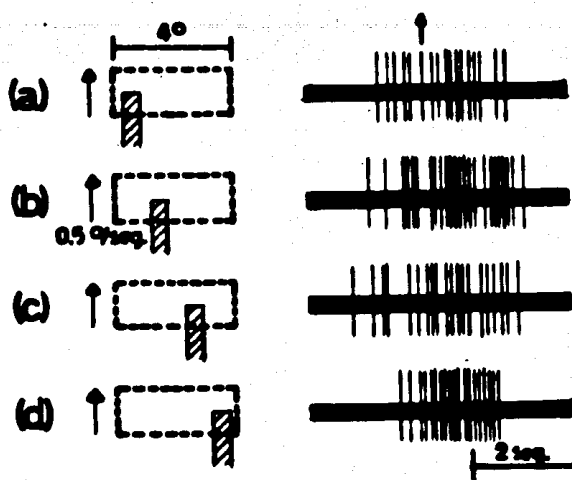


FIG II- 24

En la Fig. II-25 se muestra que esta
célula también responde para una lengüeta horizontal con oscuridad a la derecha, intro-
ducida desde la derecha en la parte activadora del campo receptivo. En este caso la ve
locidad óptima es de $1^\circ/\text{seg}$ y el ancho óptimo es de 0.25° . Una lengüeta de 1° de an-
cho no evoca respuesta (Fig. II-25d). El movimiento de izquierda a derecha da una res
puesta relativamente débil. Nuevamente, el estímulo es efectivo independientemente -
de la posición exacta en que cruza la zona activadora (Fig. II-25a,b,c).

Esta célula muestra un fenómeno que ocasionalmente ha sido visto en las células
complejas e hipercomplejas: cuando un estí-
mulo se repite varias veces en intervalos de -
2 a 3 segundos, tiende a hacerse progresiva-
mente menos efectivo, hasta que finalmente
la célula no responde. Por ejemplo, en la--
Fig. II-26 una lengüeta de 0.5° de ancho es
introducida en la zona activadora aproxima-
mente cada 3 segundos, con una velocidad--

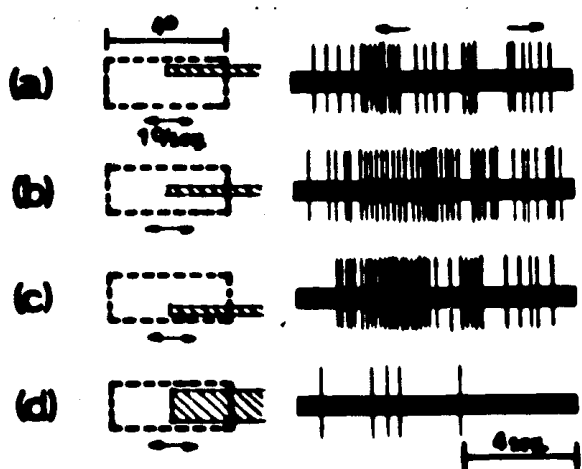


FIG II - 25

de 1°/seg. Después del cuarto estímulo, la respuesta empieza a decaer y después de -- nueve estímulos la célula virtualmente ha dejado de responder. Posteriormente la célula se mantiene sin estimulación durante aproximadamente 10 segundos; un nuevo estímulo se introduce después de este periodo de reposo y entonces resulta muy efectivo (10, - Fig. II-26). Cuando la lengüeta es introducida sucesivamente en diferentes lugares del

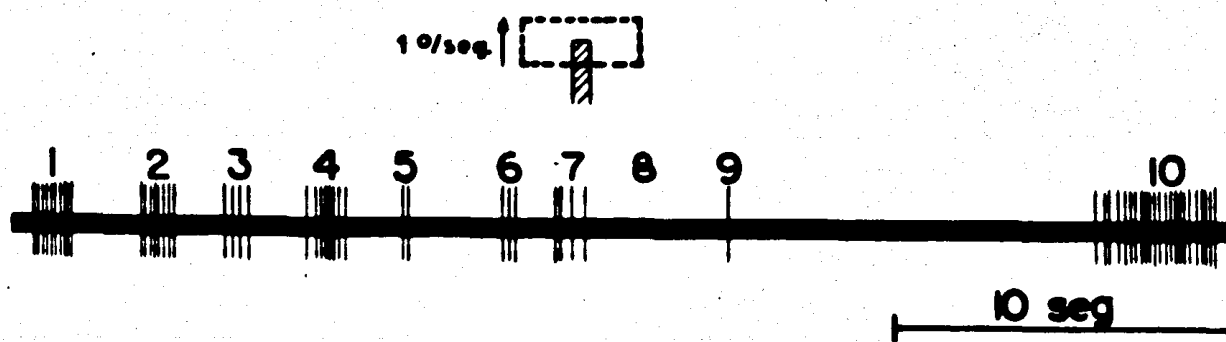


FIG. II- 26

campo receptivo, no existe una declinación progresiva en la respuesta. En caso de que el estímulo sea introducido repetidamente en el mismo lugar hasta que la respuesta desaparece, tal como en la figura II-26, ocurre una respuesta fuerte al introducir inmediatamente el estímulo en un lugar nuevo.

En las figuras II-5 a II-26 los campos receptivos se han dibujado en forma vertical u horizontal únicamente por simplicidad, pero como ya se ha mencionado, existen multitud de orientaciones para cada tipo de campo receptivo.

Las descripciones e interpretaciones de las neuronas simples, complejas e hiper-complejas mencionadas en este capítulo, han sido tomadas de los trabajos realizados -- por Hubel y Wiesel en la corteza cerebral del gato. Baumgartner y Schulz (1) también han realizado experimentos para detectar las respuestas de células corticales en el sis-

tema visual del gato, aunque no proporcionan información adicional de importancia para el presente trabajo.

Cabe aclarar que las interpretaciones dadas por Hubel y Wiesel a los resultados de sus experimentos, no necesariamente se considerarán "al pie de la letra" en el presente trabajo. En el siguiente capítulo se realizarán a manera de postulado, algunas nuevas interpretaciones.

CAPITULO III

"POSTULADOS"

Para poder realizar el modelo de cualquier fenómeno natural, es necesario hacer algunas simplificaciones que deben facilitar el modelado; sin embargo, el modelo debe captar las características esenciales del fenómeno. En el presente capítulo describiremos los puntos más importantes para la elaboración de un modelo de la red neuronal del sistema visual del gato.

El primer postulado se relaciona con las características generales del sistema visual de los mamíferos:

POSTULADO 1.- "El sistema visual de los mamíferos está formado por un conjunto neuronal organizado jerárquica y piramidalmente, cuya función es procesar los mensajes visuales detectados en la retina".

Al hablar de "organización jerarquizada" nos referimos a un sistema en el cual -- los elementos que lo forman poseen diversos niveles o jerarquías. En el caso de las neuronas del sistema visual, los diversos niveles dependen de la complejidad del estímulo para el cual responden. Por ejemplo, una neurona hipercompleja posee un nivel o jerarquía -- mayor que el de una neurona simple, debido a que la neurona hipercompleja requiere un estímulo más especializado que el requerido por una neurona simple para evocar una respuesta.

Por otra parte, con "organización piramidal" postulamos que las neuronas de mayor jerarquía dependen de las de jerarquía menor. Por ejemplo, una o varias neuronas -- ganglionares estimulan a una o varias neuronas del cuerpo geniculado lateral, y, en cambio, las neuronas del cuerpo geniculado lateral no estimulan a las neuronas ganglionares; además, las neuronas del cuerpo geniculado lateral dependen directamente de las neuronas ganglionares y sólo indirectamente de las demás neuronas de la retina.

El segundo postulado de nuestro trabajo surge en base a los datos fisiológicos - - (24, 28) que especifican el funcionamiento de los bastones cuando existen bajas intensidades de luz (visión en blanco y negro) y el de los conos cuando existen altas intensidades de luz (visión en color).

POSTULADO 2.- "Existen redes neuronales separadas para la visión en blanco y negro y para la visión en color".

El postulado anterior implica que en este trabajo consideraremos que no solamente a nivel de las neuronas receptoras existe diferencia de comportamiento entre la visión en color y la visión en blanco y negro, sino también a nivel de las otras neuronas retinales, de las del cuerpo geniculado lateral y de las de la corteza cerebral.

Nuestro tercer postulado se relaciona con el comportamiento de las células ganglionares; respecto a éstas, diversos investigadores han interpretado experimentos como los de la figura 11-4 afirmando que la respuesta de las células ganglionares depende de la diferencia de iluminación existente entre el centro y el contorno de su campo receptivo; matemáticamente la afirmación anterior se puede expresar de la siguiente forma:

$$R = f(KI_{CE} - I_{CO}) \quad \dots \text{neurona ON-OFF} \quad (1a)$$

$$R = f(I_{CO} - KI_{CE}) \quad \dots \text{neurona OFF-ON} \quad (1b)$$

en donde:

R = respuesta de la célula ganglionar;

I_{CE} = intensidad luminosa en el centro del campo receptivo;

I_{CO} = intensidad luminosa en el contorno del campo receptivo;

K = "constante de peso" que hace que la iluminación en la pequeña

área del centro del campo receptivo sea tan eficaz como la iluminación en el contorno del mismo ($K > 1$);

f = función monótonicamente creciente, siendo $f(0) = R_0$ la respuesta espontánea de la neurona.

Sin embargo, en los incisos (b) y (c) de la figura II-4 se observa que la respuesta OFF de las neuronas ganglionares ocurre a pesar de no existir diferencia de iluminación entre el centro y el contorno del campo receptivo (la respuesta OFF se presenta cuando todo el campo receptivo se halla oscurecido), tal comportamiento no puede explicarse con las ecuaciones (1).

El siguiente postulado permite explicar completamente los experimentos de la figura II-4:

POSTULADO 3.- "La respuesta de las células ganglionares depende de la variación que sufre la diferencia de iluminación entre el centro y el contorno de su campo receptivo".

Utilizando la misma nomenclatura de las ecuaciones (1), el postulado 3 puede expresarse matemáticamente como sigue:

Neurona ON-OFF:

$$R = f\left(\frac{d}{dt}(K I_{CE} - I_{CO})\right) = f\left(K \frac{d}{dt} I_{CE} - \frac{d}{dt} I_{CO}\right) \dots \quad (2a)$$

Neurona OFF-ON:

$$R = f\left(\frac{d}{dt}(I_{CO} - K I_{CE})\right) = f\left(\frac{d}{dt} I_{CO} - K \frac{d}{dt} I_{CE}\right) \dots \quad (2b)$$

Así, en el inciso (b) de la figura II-4, al cesar la iluminación en el contorno del campo receptivo se tiene $\frac{d}{dt} I_{CO} < 0$ y $\frac{d}{dt} I_{CE} = 0$, por lo que $K \frac{d}{dt} I_{CE} - \frac{d}{dt} I_{CO} > 0$

y puesto que "f" es una función monótonicamente creciente se puede concluir de la ecuación (2a) que $R > R_0$, lo cual concuerda con la respuesta OFF observada. Similarmente, la ecuación (2b) explica la respuesta OFF del inciso (c) de la figura II-4.

Por otra parte, en el inciso (a) de la misma figura, al iluminarse el centro del campo receptivo se tiene $\frac{d}{dt} I_{CE} > 0$ y $\frac{d}{dt} I_{CO} = 0$, o bien, $K \frac{d}{dt} I_{CE} - \frac{d}{dt} I_{CO} > 0$ y nuevamente de la ecuación (2a) tenemos que $R > R_0$, lo cual explica la respuesta ON obtenida. El inciso (d) de la figura II-4 se puede analizar en forma parecida con ayuda de la ecuación (2b).

En caso de que todo el campo receptivo se estimule en igual forma se tiene que $K I_{CE} - I_{CO} = 0$ y $\frac{d}{dt} (K I_{CE} - I_{CO}) = 0$, por lo que no se afecta la respuesta de la célula ganglionar.

El postulado 3 permite concluir que las neuronas ganglionares son capaces de responder a bordes en movimiento: un borde oscureciendo para el caso de las neuronas ON-OFF y un borde iluminando para el caso de las neuronas OFF-ON.

Por ejemplo, en la figura III-1 se muestra un borde que oscurece pasando sobre el campo receptivo de una neurona ganglionar ON-OFF. En el inciso (a) el borde oscurece una parte del contorno del campo receptivo (1 a 2), de manera que $\frac{d}{dt} I_{CO} < 0$ y $\frac{d}{dt} I_{CE} = 0$, por lo que de acuerdo a la ecuación (2a) debe existir una respuesta (inciso d, 1 a 2). En el inciso (b) el borde pasa simultáneamente sobre el centro y el contorno del campo receptivo ($\frac{d}{dt} I_{CE} < 0$, $\frac{d}{dt} I_{CO} < 0$), pero debido a que el centro del campo receptivo es capaz de anular la respuesta de todo el contorno, con mayor razón anula la respuesta de las dos pequeñas zonas del mismo que son estimuladas ($K \frac{d}{dt} I_{CE} - \frac{d}{dt} I_{CO} < 0$; inciso -

d, 2 a 3). Finalmente, en el inciso (c) la situación es similar a la del inciso (a), por lo que también hay respuesta (inciso d, 3 a 4). El inciso (d) de la figura III-1 muestra, por lo tanto, la respuesta de una célula ganglionar ON-OFF a un borde que oscurece el cam

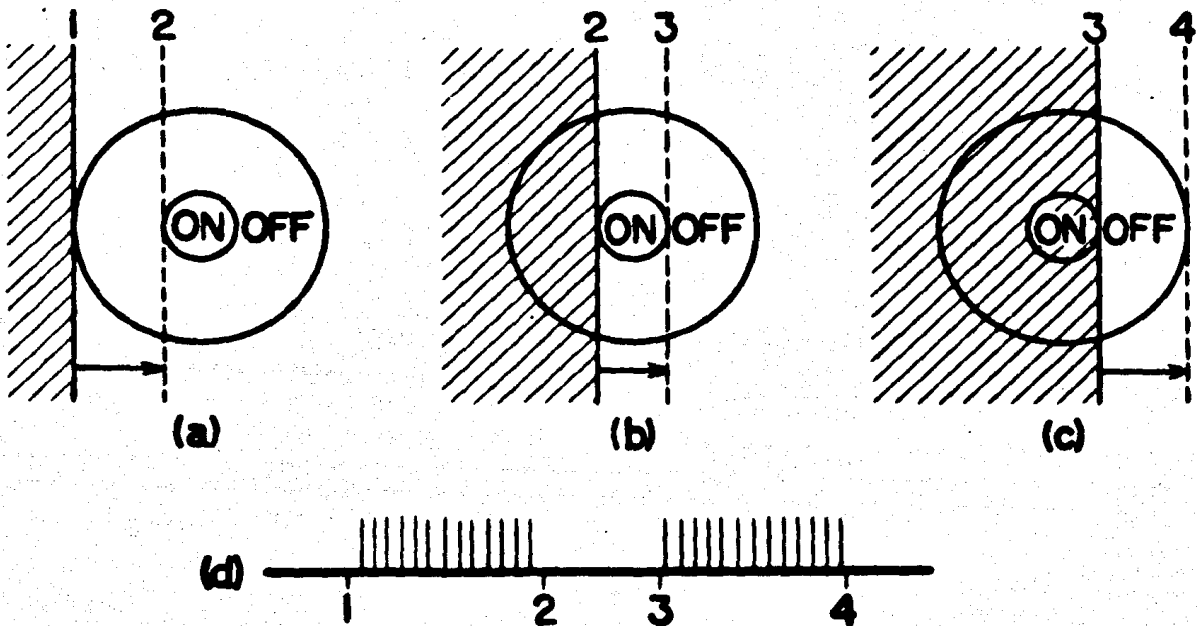


FIG. III-1

po receptivo, la cual es igual a la respuesta de una célula ganglionar OFF-ON a un borde que ilumina su campo receptivo.

En caso de que un borde que ilumina pase sobre el campo receptivo de una célula ganglionar ON-OFF, sólo se evocará respuesta cuando el borde cruce el centro (ON) de dicho campo; sin embargo esta respuesta es debilitada por efecto de las dos zonas OFF -- que también son estimuladas; además, el diámetro del centro del campo receptivo es --- aproximadamente una cuarta parte del diámetro total del mismo, por lo que el tiempo durante el cual existe esta respuesta debilitada es relativamente pequeño, en consecuencia podemos considerar inexistente la respuesta de una célula ganglionar ON-OFF a un bor-

de iluminando, y lo mismo puede decirse de la respuesta de una célula ganglionar OFF--ON a un borde oscureciendo.

En vista de que una célula ganglionar responde a un borde específico, al excitarla con una rendija en movimiento sólo detectará uno de los bordes de la misma. De acuerdo a nuestro primer postulado la respuesta de las células corticales del sistema visual depende (directa o indirectamente) de la respuesta de las células ganglionares (organización piramidal del sistema visual), de manera que la respuesta de una célula cortical a una rendija en movimiento se debe a la suma de respuestas a cada uno de los bordes que la constituyen (uno de los bordes lo detectan las neuronas ganglionares ON-OFF y el otro las neuronas ganglionares OFF-ON cuyos campos receptivos forman el campo receptivo de la célula cortical). Lo anterior también es válido para la respuesta de una célula cortical a barras en movimiento.

Nuestro cuarto postulado es una reinterpretación de los experimentos con neuronas complejas realizados por Hubel y Wiesel:

POSTULADO 4.- "Las neuronas complejas son un caso especial de las neuronas simples".

Este postulado resulta al analizar las figuras 11-12 y 11-13. La neurona cuyo campo receptivo es el de la figura 11-12 tiene el mismo comportamiento que el de una neurona simple con dos regiones, una ON y una OFF. En el inciso (a) se ilumina la región ON (parte derecha del campo receptivo), por lo cual se obtiene una respuesta ON y en el inciso (b) se ilumina la región OFF (parte izquierda del campo receptivo), por lo que la respuesta se obtiene al cesar la iluminación.

Los resultados obtenidos en los incisos (d) y (j) de la misma figura se deben a que

simultáneamente se iluminan las dos regiones, por lo que sus respuestas se anulan mutuamente tal como sucede en todas las células simples.

En los incisos (c) y (e) se iluminan simultáneamente una porción pequeña de una región y una porción grande de la otra región; la porción pequeña anula entonces parte de la respuesta de la otra región, por lo que la respuesta neta de la célula es débil.

Una situación similar se observa en los incisos (g) y (h).

Por último, en los incisos (f) e (i) la respuesta débil se debe a que solamente se excita una pequeña parte de una de las regiones.

Por otra parte, en la figura II-13 la respuesta es similar a la de la figura II-11 -- (inciso d); la mayor respuesta obtenida en la neurona de la figura II-13 es debida a la -- velocidad usada; en la figura II-11 la velocidad de la rendija es aproximadamente de -- $8^\circ/\text{seg}$, mientras que en la figura II-13 la velocidad es de $0.5^\circ/\text{seg}$, por lo tanto, en la figura II-11 la estimulación es tan rápida que la "inercia" de la neurona impide obtener una respuesta óptima, lo cual no ocurre con la neurona de la figura II-13. Es importante hacer notar que Hubel y Wiesel no buscaron en sus experimentos con neuronas simples la existencia de una velocidad óptima para los estímulos en movimiento, en cambio, sí lo hicieron cuando experimentaron con las zonas 18 y 19 de la corteza cerebral.

Los postulados aquí expuestos sirven de base para la elaboración de un modelo -- de la red neuronal del sistema visual del gato, que exponemos en el siguiente capítulo.

CAPITULO IV

"MODELADO"

1).- CARACTERISTICAS GENERALES

En este capítulo presentaremos la modelación de las redes neuronales del sistema visual del gato que permiten reproducir las características de las neuronas descritas en el capítulo II. Dichas redes incluyen algunas simplificaciones basadas en su mayor parte en los postulados del capítulo III, ésto no le quita validez al modelo ya que se ha cuidado que los resultados concuerden con los obtenidos experimentalmente por Hubel y Wiesel.

En el postulado 2 se mencionó la existencia de redes neuronales separadas para visión en color y para visión en blanco y negro; por otra parte, los experimentos mencionados en el capítulo II se realizaron con estímulos de luz y oscuridad en la retina; debido a estas razones nuestro modelo se realizó pensando únicamente en el sistema de visión en blanco y negro.

Otra característica del sistema visual de los mamíferos que hemos tomado en cuenta es la gran similitud existente entre el comportamiento de las neuronas ganglionares y el de las del cuerpo geniculado lateral. Por esta razón y para mayor simplicidad del modelo las neuronas del cuerpo geniculado lateral no se han incluido, por lo que las neuronas ganglionares realizan sinapsis directamente con las neuronas simples de la corteza cerebral. Lo anterior no significa que neguemos la existencia de las neuronas del cuerpo geniculado lateral, sino únicamente que su papel en el sistema visual no es de trascendencia en la realización de nuestro modelo.

Existen actualmente diversos modelos de la retina de los mamíferos que incluyen a las neuronas receptoras, horizontales, bipolares, amacrinas y ganglionares (8, 12, 20, 26), en dichos modelos se obtienen las respuestas de las células ganglionares para dife-

rentes estímulos en la retina, por lo que nuestro modelo se inicia a partir de las neuronas ganglionares sin llevar a cabo el modelado de la red neuronal de la retina.

Las neuronas ganglionares ocupan en consecuencia la menor jerarquía de todas -- las neuronas incluidas en nuestro modelo y son las que responden directamente a los estímulos en la retina, es decir, la respuesta de las células ganglionares la determinamos directamente del comportamiento de dichas neuronas al estimular sus campos receptivos, -- sin tomar en cuenta explícitamente la red neuronal retinal. Para realizar esto último -- consideraremos la acción de las neuronas receptoras, horizontales, bipolares y amacri-- nas como la de una "caja negra", cuya entrada es un estímulo visual (tal como un punto luminoso, un borde en movimiento, etc.) y cuya salida es la excitación que debe recibir la neurona ganglionar para responder en forma adecuada (Fig. IV-1). Este procedimiento de obtención de la excitación de una neurona ganglionar se explicará en detalle más adelante.

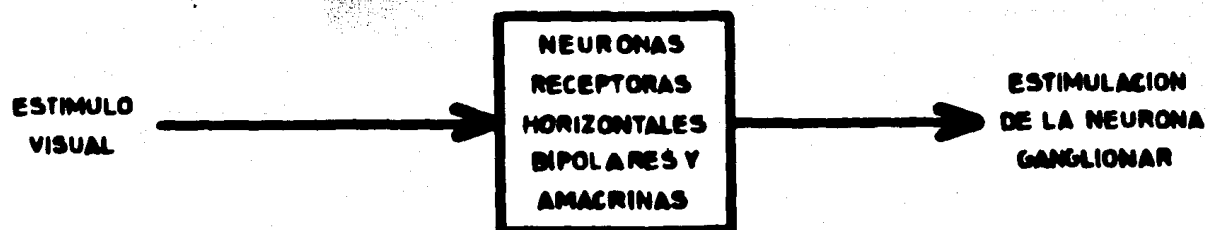


FIG. IV-1

Respecto a las neuronas complejas debemos recordar que de acuerdo al postulado 4 se comportan en realidad como neuronas simples, por lo tanto en nuestro modelo -- las neuronas hipercomplejas reciben sinapsis directamente de las neuronas simples, sin pasar por alguna etapa intermedia.

A consecuencia de las simplificaciones anteriormente mencionadas, existen en --

nuestro modelo cuatro grupos de neuronas: ganglionares, simples, hipercomplejas de bajo orden e hipercomplejas de alto orden. Las neuronas simples y ambos grupos de hipercomplejas se subdividen a su vez en diversos tipos de neuronas; con el fin de identificar la jerarquía de cada una de ellas y para su mejor manipulación las hemos numerado, de tal forma que el número 1 corresponde a la neurona hipercompleja de mayor grado de complejidad aparente, el número 2 a la neurona hipercompleja que tiene menor complejidad que la neurona 1 pero mayor complejidad que todas las otras neuronas, y así sucesivamente hasta llegar a la más sencilla de las neuronas simples.

Las neuronas que intervienen en nuestro modelo tienen en esencia las mismas propiedades de aquellas descritas en el capítulo II, aunque difieren en características tales como el tamaño del campo receptivo, la orientación del mismo y la velocidad y el tamaño de los estímulos a los cuales responden. A continuación se describen dichas características y la numeración que se ha asignado a las diferentes neuronas.

NEURONA 1.- La neurona 1 es el modelo de la neurona hipercompleja de alto orden descrita en las figuras II-24, II-25 y II-26; las medidas de la región activadora de su campo receptivo son 2.5° de base y 1.5° de altura; por simplicidad se considera que la lengüeta horizontal que produce respuesta óptima tiene el mismo ancho que la lengüeta vertical que produce respuesta óptima: 0.5° . La velocidad óptima para todos los estímulos es de $0.5^\circ/\text{seg}$.

NEURONA 2.- Corresponde a la neurona hipercompleja de alto orden mostrada en las figuras II-22 y II-23. Las dimensiones de cada una de sus áreas activadoras son de $1.5^\circ \times 2^\circ$ y la separación entre ellas es de 2.5° , la velocidad óptima de los estímulos a los que responde es de $0.5^\circ/\text{seg}$.

NEURONA 3.- Esta es el modelo de la neurona hipercompleja de bajo orden descrita en la figura 11-21. Las dimensiones de la parte activadora de su campo receptivo son de 1.5° de base y 1.875° de altura. La velocidad óptima de sus estímulos es de $0.5^\circ/\text{seg}$.

NEURONA 4.- Corresponde a la neurona hipercompleja de bajo orden de las figuras 11-19 y 11-20. Las características que se han modificado en el modelo de esta neurona son las mismas que en la neurona 3.

NEURONA 5.- Es el modelo correspondiente a la neurona cuyo campo receptivo puede verse en las figuras 11-16, 11-17 y 11-18. Las dimensiones de su campo receptivo son $4.5^\circ \times 1.5^\circ$, el ancho de la parte activadora es de 0.5° y las regiones antagonistas miden cada una 2° de ancho. El ancho y la velocidad óptimas de las lenguetas a las cuales responde son 0.5° y $0.5^\circ/\text{seg}$, respectivamente.

NEURONA 6.- La neurona 6 es el modelo de la neurona hipercompleja de bajo orden descrita en las figuras 11-14 y 11-15. Las dimensiones de su campo receptivo son 4° de base y 1.5° de altura; la velocidad óptima del estímulo al que responde es de $0.5^\circ/\text{seg}$.

NEURONA 7.- Es el modelo de la neurona simple de la figura 11-11. La velocidad óptima del estímulo al que responde es de $0.5^\circ/\text{seg}$; su campo receptivo mide $2^\circ \times 2^\circ$, la parte excitadora izquierda tiene 0.6° de ancho, la parte inhibidora central 0.7° y la parte excitadora derecha 0.7° . Sus otras características no varían respecto a la neurona de la figura 11-11.

NEURONA 8.- Esta neurona corresponde a la neurona simple de las figuras 11-9 y 11-10. La velocidad óptima es de $0.5^\circ/\text{seg}$. En este modelo al pasar una rendija

moviéndose sobre su campo receptivo, se evoca respuesta durante todo el tiempo que tarda la rendija en atravesarlo. Las dimensiones del campo receptivo son $1.5^\circ \times 1.875^\circ$ y las partes excitatorias extremas tienen cada una 0.25° de anchura.

NEURONA 9.- Es el modelo de la neurona simple mostrada en las figuras 11-6, 11-7 y 11-8. En nuestro modelo la respuesta óptima se obtiene para un estímulo moviéndose con una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$. El diámetro del campo receptivo de esta neurona es de 2° y su parte central mide 0.25° de ancho.

NEURONA 10.- Corresponde a la neurona simple de la figura 11-5 y sus características no varían respecto a las mostradas en dicha figura.

En el resto de este capítulo se explicará la obtención e implementación en computadora digital de las redes neuronales que permiten reproducir las características de las neuronas 1, 2 y 3. En dichas redes se hace uso de varias de las otras neuronas corticales así como de neuronas ganglionares, mientras que para la implementación en computadora digital se usa el programa descrito en el capítulo 1.

2).- RED NEURONAL 1

Neurona 1

El rasgo más sobresaliente de la neurona 1 es su respuesta para una lengüeta en movimiento independientemente del lugar en que ésta atraviesa la parte activadora del campo receptivo.

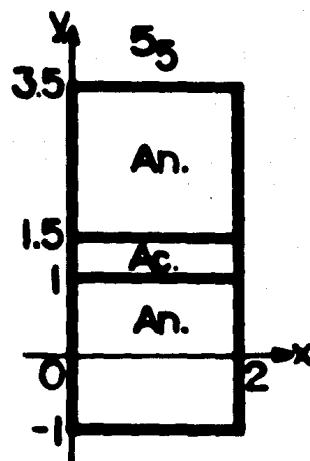
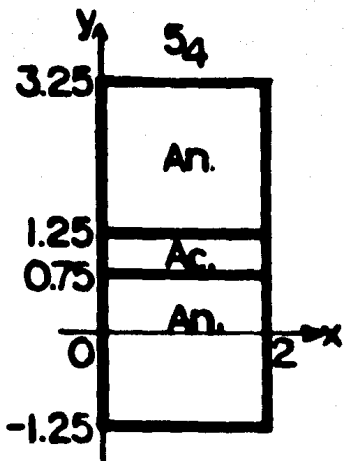
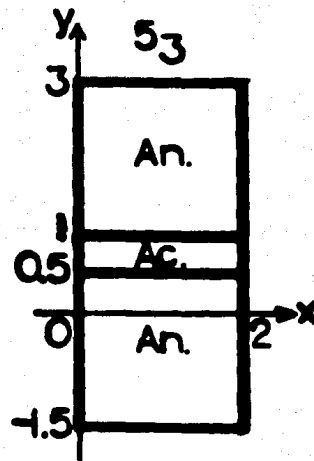
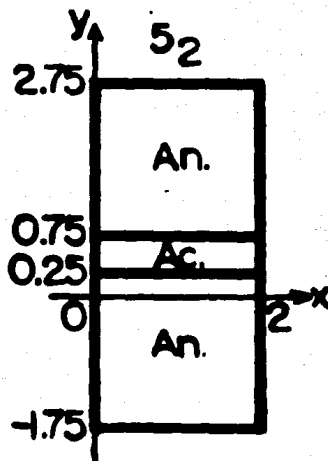
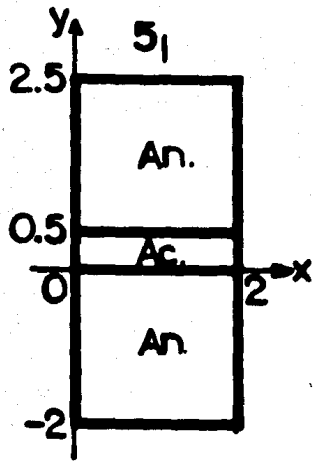
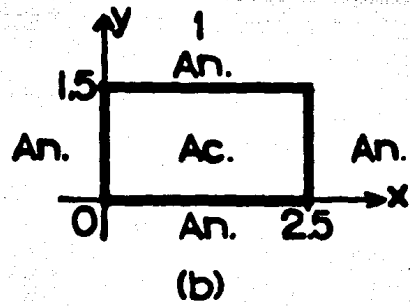
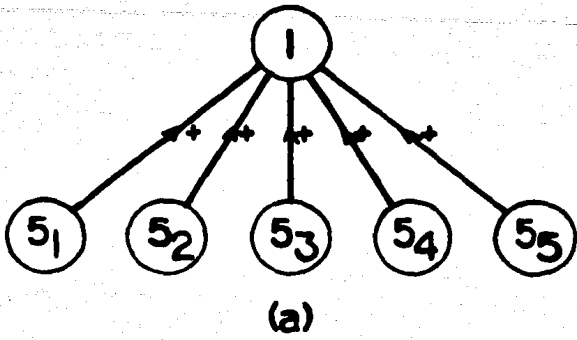
Recordando que la neurona 5 también responde a una lengüeta en movimiento, pero con la diferencia de que existe un lugar bien definido por el cual ésta debe atravesar el campo receptivo, se concluye que la neurona 1 recibe estimulación de varias -

neuronas del tipo 5 y que los campos receptivos de éstas forman el campo receptivo de aquélla.

Lo anterior se muestra en la figura IV-2 para el caso de lengüetas horizontales; en el inciso (a) se observan las sinapsis involucradas, donde el signo "+" señala la existencia de una sinapsis excitadora; en el inciso (b) se muestra el campo receptivo de la neurona 1 (parte activadora) y en el inciso (c) los campos receptivos de las neuronas 5, los cuales miden 2° de ancho en vez de 2.5° para permitir una mayor simplicidad de la red neuronal como se verá posteriormente, esto implica que las dimensiones de la parte activadora del campo receptivo de la neurona 1 son de $2^\circ \times 1.5^\circ$, para el caso de lengüetas horizontales.

Se ha asignado un sistema coordinado al campo receptivo de la neurona 1 --- (Fig. IV-2b), al cual están referidos los campos receptivos de las neuronas 5 (Fig. IV-2c), de manera que puede observarse que las partes activadoras de éstas forman la parte activadora del campo receptivo de la neurona 1. Obsérvese también que los campos receptivos de las neuronas 5 se traslapan, esto es necesario para lograr que independientemente del lugar en que se introduzca una lengüeta en el campo receptivo de la neurona 1 se estimule en forma eficaz por lo menos una de las neuronas 5, la que ocasiona la respuesta de la neurona 1.

Para la detección de una lengüeta vertical se tiene una situación similar, en la cual los campos receptivos de las neuronas 5 involucradas tienen su eje en posición horizontal. En este caso se requiere un mayor número de neuronas 5, ya que la parte activadora del campo receptivo de la neurona 1 mide 2.5° en su base y sólo 1.5° de altura. En la figura IV-3 se muestran las sinapsis involucradas en la detección de lengüe-



(c)

FIG. IV-2

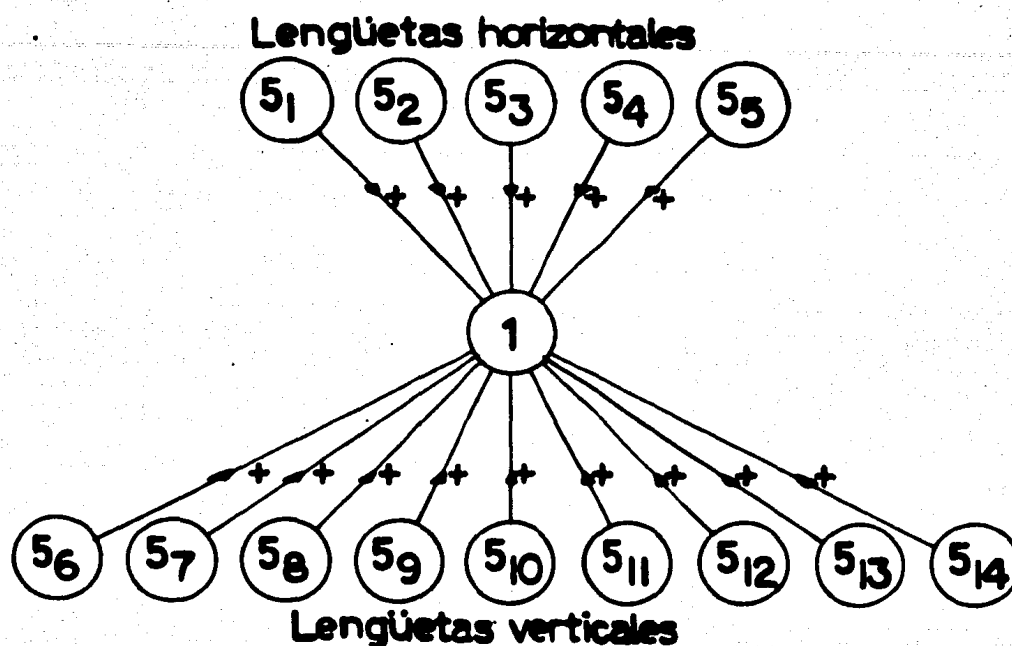


FIG. IV - 3

tas verticales, así como en la de lengüetas horizontales. La posición de los campos receptivos de las neuronas 5₆ a 5₁₄ responsables de la detección de lengüetas verticales se muestra en la figura IV-4.

Neurona 5

La modelación de la neurona 5 se facilita al observar que una lengüeta posee dos esquinas, lo que induce a pensar que cada neurona 5 recibe estimulación de dos neuronas del tipo 6, las cuales detectan precisamente esquinas en movimiento.

En la figura IV-5 se muestra la forma en que los campos receptivos de las neuronas 6 deben situarse para formar el campo receptivo de la neurona 5, las zonas sombreadas indican las partes activadoras de los campos receptivos.

La forma en que se obtiene el comportamiento característico de la neurona 5 se puede visualizar analizando el efecto de cada una de las lengüetas mostradas en la figu

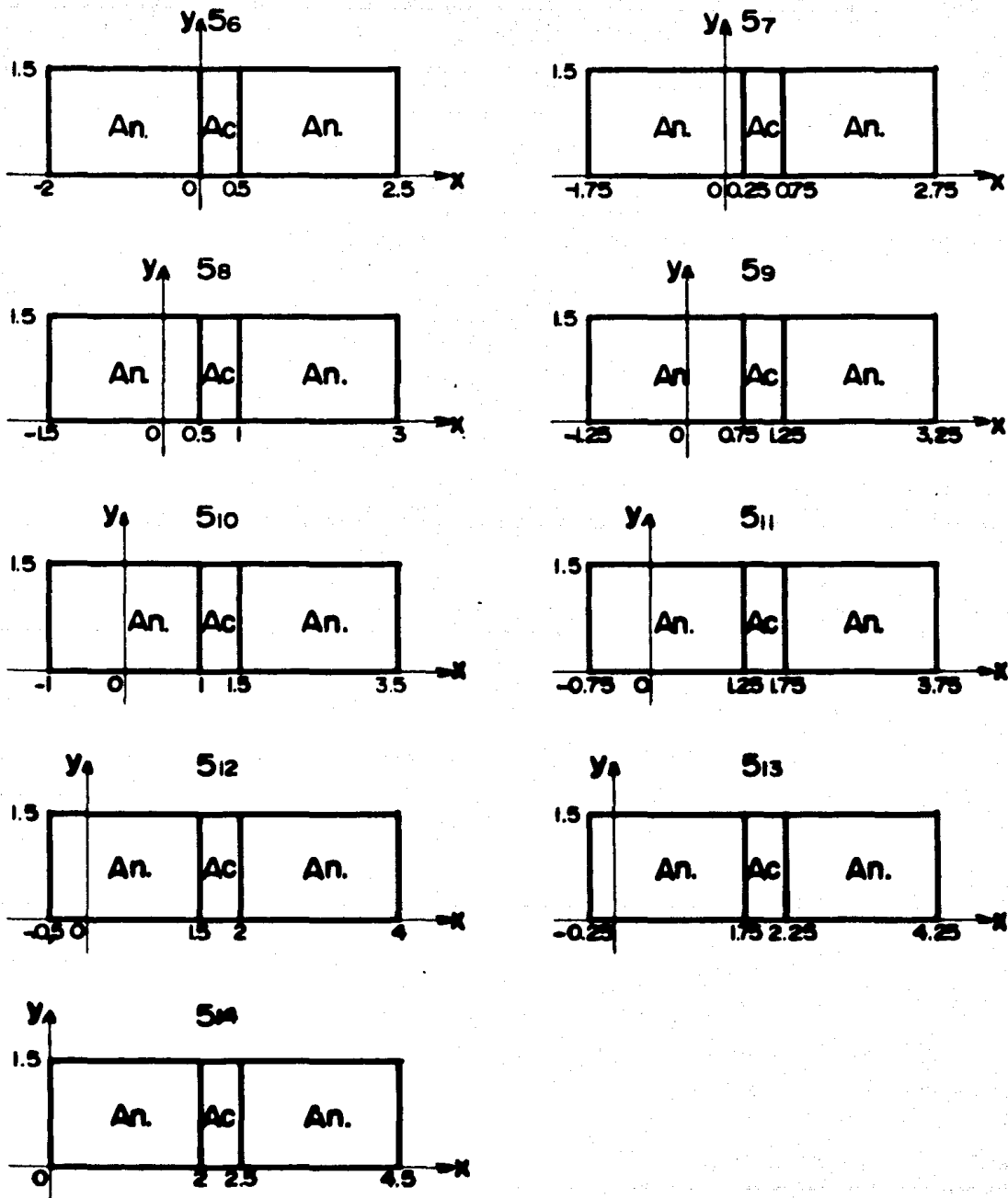


FIG. IV-4

ra IV-5; la lengüeta 1 pasa únicamente sobre la parte antagonista de la neurona 6a, de manera que ninguna de las neuronas evoca respuesta; la lengüeta 2 pasa sobre la parte antagonista de la neurona 6a y sobre la región activadora de la neurona 6b, por lo que únicamente la neurona 6b evoca una respuesta, sin embargo ésta no es suficiente para hacer responder a la neurona 5; finalmente, la lengüeta 3 pasa simultáneamente sobre las dos regiones activadoras, por lo que ambas neuronas 6 responden y excitan a la neurona 5 causando que responda fuertemente. Nótese

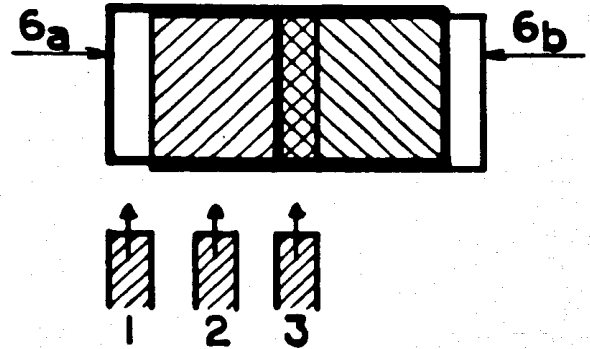


FIG IV-5

se que si la lengüeta 3 incide ligeramente a la izquierda de la posición óptima no afectará la respuesta de la neurona 6b, pero hará que disminuya fuertemente la respuesta de la neurona 6a, por lo que el efecto neto será una respuesta débil de la neurona 5; lo mismo puede decirse de una lengüeta incidiendo ligeramente a la derecha de la posición óptima. Una lengüeta demasiado delgada o demasiado ancha también evocará una respuesta débil de la neurona 5: en el primer caso debido a que se estimula una región muy pequeña de la zona activadora de cada neurona 6 y en el segundo caso debido a que se estimulan simultáneamente la región activadora y parte de la región antagonista de ambas neuronas 6.

La red necesaria desde la neurona 1 hasta las neuronas de tipo 6 se muestra en la figura IV-6. En la figura IV-7 se muestran los campos receptivos de las neuronas 6 y las posiciones de cada uno de ellos en el sistema coordinado establecido para la neurona 1;

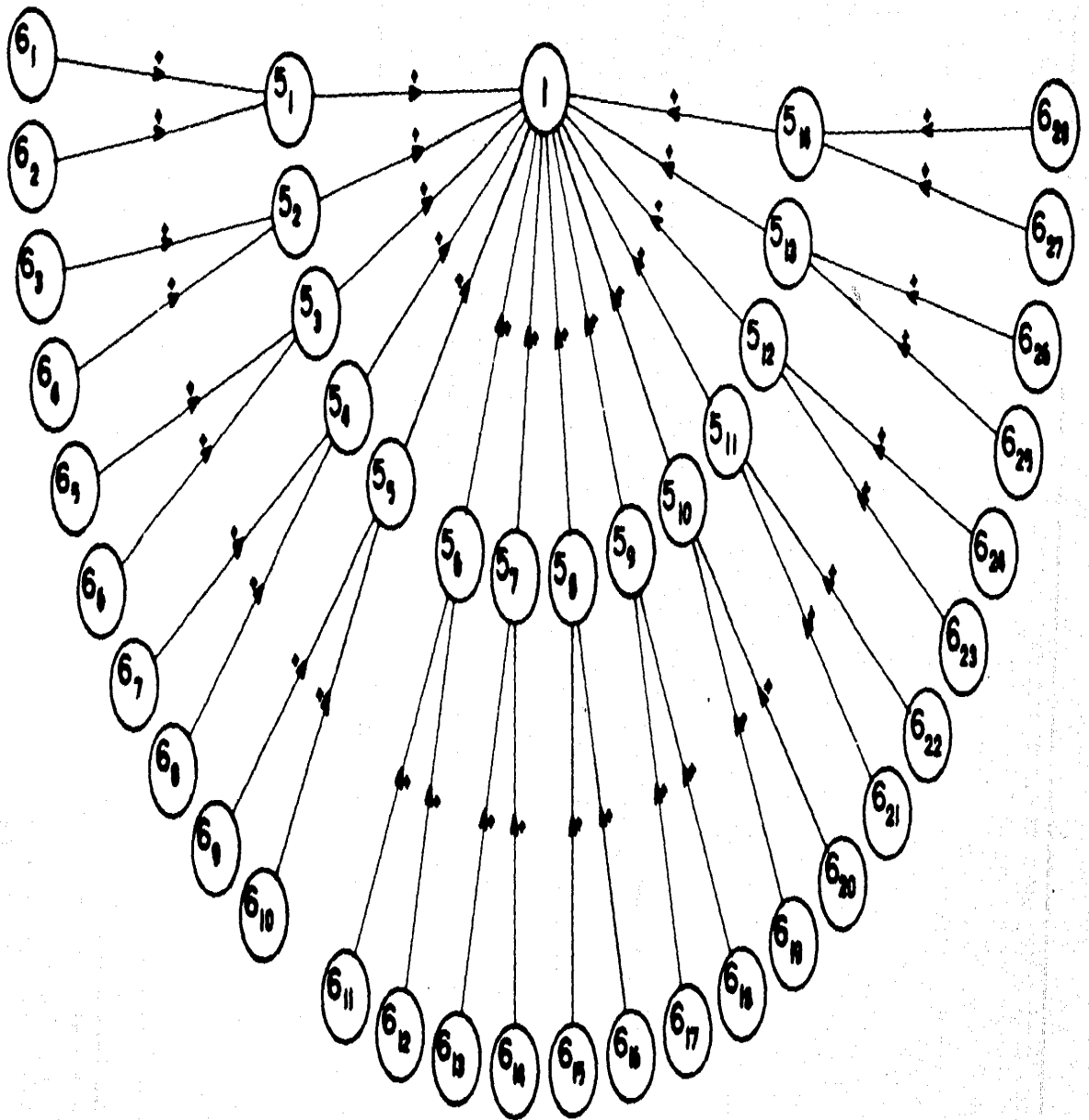


FIG. IV-6

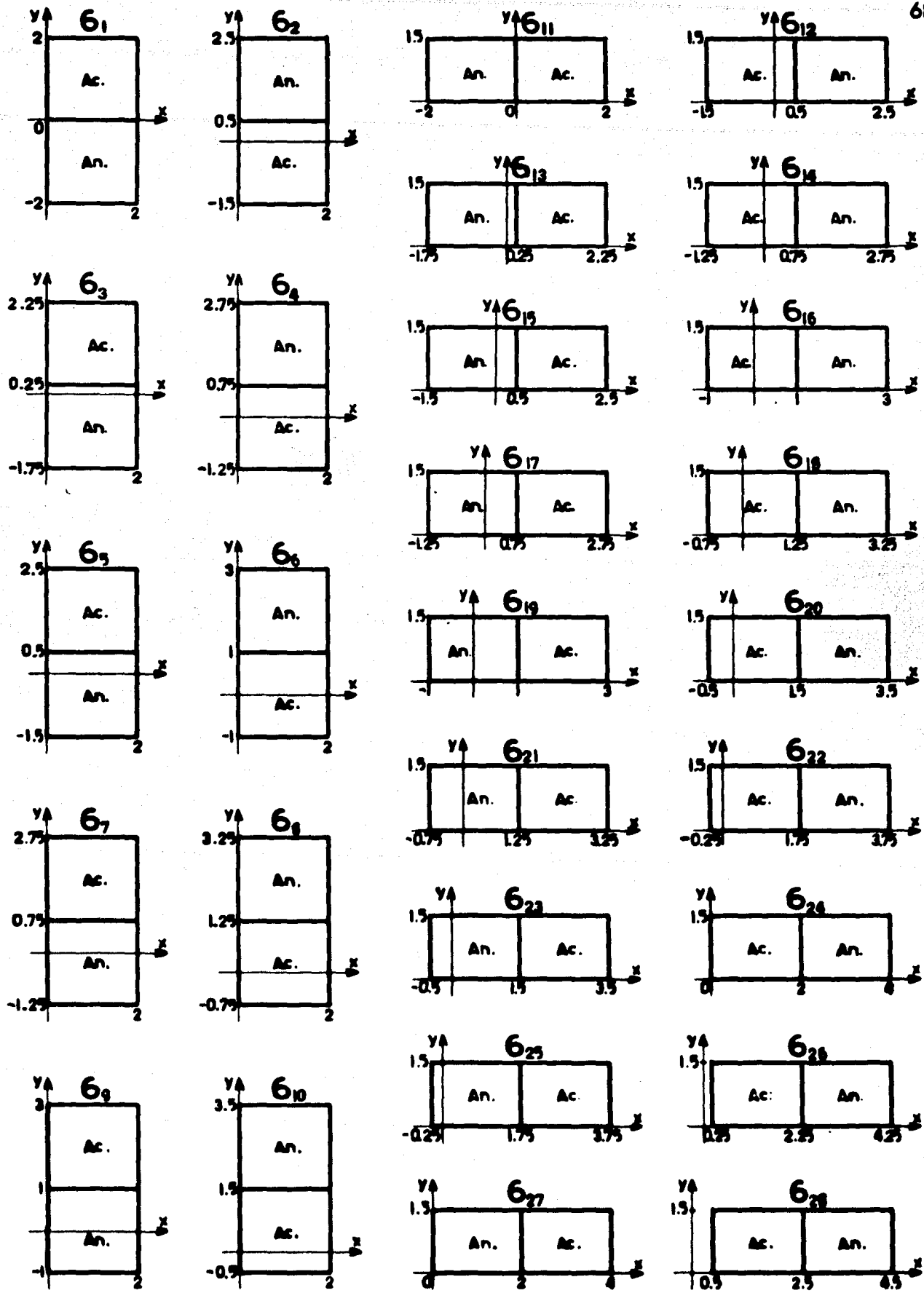


FIG. IV-7

con ayuda de estas coordenadas y de las coordenadas de las neuronas 5 (Figs. IV-2c y IV-4) se puede comprobar que mediante las sinapsis mostradas en la figura IV-6 los campos receptivos de las neuronas 6 forman los de las neuronas 5 de la manera establecida en la figura IV-5.

Neurona 6

Como sabemos la característica esencial de la neurona 6 es la de responder a una esquina en movimiento, siempre y cuando ésta pase sobre la parte activadora de su campo receptivo, por lo que de manera más general se puede decir que la neurona 6 responde a un borde en movimiento cruzando la parte activadora de su campo receptivo a condición de que no se encuentre otro borde cruzando la parte antagonista del mismo. Lo anterior permite pensar que la neurona 6 recibe sinapsis de dos neuronas simples que detectan bordes en movimiento, una de ellas excitando a la neurona 6 y la otra inhibiéndola. La parte activadora del campo receptivo de la neurona 6 es formada por la neurona simple excitadora y la parte antagonista por la neurona simple inhibidora.

Es necesario decidir cuál de los cuatro tipos de neuronas simples (7, 8, 9 y 10) es la que realiza sinapsis con la neurona 6; sabemos que la neurona 10 sólo responde a estímulos estáticos, por lo que puede excluirse, de manera que una de las neuronas 7, 8 o 9 es la buscada.

Las neuronas 7, 8 y 9 muestran zonas ON y OFF similares a las que presentan las neuronas ganglionares y además responden a rendijas en movimiento, por lo que de acuerdo con una de las consecuencias del postulado 3 del capítulo III cada una de estas neuronas detecta bordes en movimiento; por otra parte, el campo receptivo de cada una de las tres neuronas simples posee tres zonas (dos OFF y una ON o dos ON y una OFF), --

así que pueden detectar tanto bordes oscureciendo como iluminando, sin embargo, la neurona 6 detecta un sólo tipo de borde, por lo que también la neurona buscada debe detectar preferentemente un solo tipo de borde; la neurona 7 posee en sus tres zonas aproximadamente las mismas dimensiones, no mostrando en consecuencia una fuerte preferencia hacia un tipo de borde; por otra parte, mas adelante se verá que la neurona 8 participa en la modelación de la red neuronal 3 (neurona 3), por lo que no será elegida en este momento. La neurona 9 es por lo tanto la que en nuestro modelo realiza sinapsis con la neurona 6.

En la figura IV-8 se muestran las sinapsis involucradas (inciso a) y la manera en que los campos receptivos de las neuronas 9 forman el campo receptivo de la neurona 6-- (inciso b).

El modelo de la figura IV-8 tiene algunas características que deben hacerse notar: las neuronas 9_a y 9_b deben ser tales que den una respuesta nula o muy débil cuando

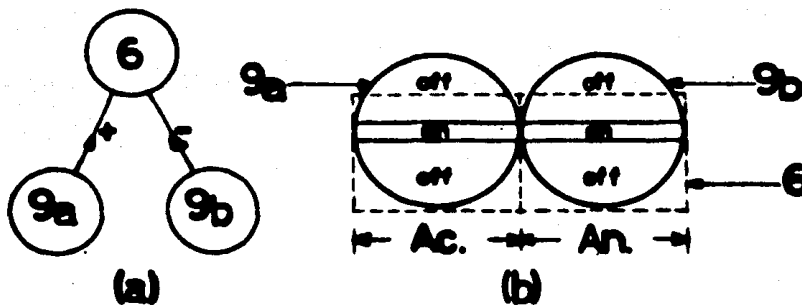


FIG IV-8

la pequeña zona ON de su campo receptivo es cruzada por un borde iluminando; la respuesta a un borde oscureciendo debe ser lo bastante fuerte como para que la neurona 6 siga respondiendo por su propia "inercia" cuando el borde cruza la pequeña región ON del campo receptivo de la neurona 9_a ; finalmente, los campos receptivos de las neuronas

9 sobrepasan en 0.5° el campo receptivo de la neurona 6 (en el caso de las neuronas 6 de eje vertical no ocurre así, ya que éstas tienen 2° de ancho), esta última característica puede ser corregida, para ello es necesario colocar una tercera neurona 9 la cual debe detectar bordes oscureciendo exactamente en el momento en que el borde abandona el campo receptivo de la neurona 6, además, debe permitir modelar un rasgo importante de la neurona 6 que hasta el momento no ha sido tomado en cuenta y que es la selectividad direccional de esta neurona, es decir, debe impedir que la neurona 6 detecte un borde oscureciendo pasando sobre su región activadora en sentido contrario a la dirección óptima. La solución a lo anterior se obtiene con la neurona 9 adicional, la cual inhibe a la neurona que forma la parte activadora del campo receptivo de la neurona 6, esta neurona adicional tiene, sin embargo, un centro de tipo OFF y regiones laterales ON, debido a que se requiere aquí una mayor exactitud que la que puede proporcionar la forma circular del campo receptivo de las neuronas 9 (la parte central tiene una configuración rectangular, por lo que su zona de influencia está mejor definida que las regiones laterales semicirculares), para que el efecto de la neurona 9 adicional sea efectivo es necesario, en consecuencia, que dé una respuesta fuerte cuando un borde oscureciendo cruza la parte central OFF de su campo receptivo.

El modelo modificado de la neurona 6 se muestra en la figura IV-9, en el inciso--

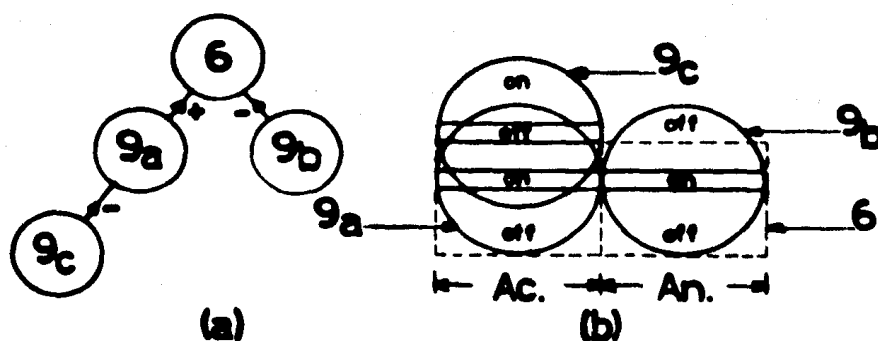


FIG. IV-9

(a) se observan las sinapsis involucradas y en el inciso (b) la configuración de los campos receptivos. En dicha figura, las neuronas 9_a y 9_b son idénticas y se distinguen por su respuesta fuerte en sus regiones laterales OFF y su respuesta débil en sus regiones centrales ON, mientras que la neurona 9_c se caracteriza por su respuesta fuerte en su región central OFF. En rigor, la respuesta de la neurona 9_c debe ser lo suficientemente fuerte como para mantener inhibida a la neurona 9_a durante todo el tiempo durante el cual un borde oscureciendo cruza de arriba hacia abajo la parte activadora de la neurona 6; en realidad, para lograr ésto usaremos una red neuronal auxiliar que permita al efecto de la neurona 9_c ser lo suficientemente duradero; la configuración y características de dicha red neural auxiliar serán explicadas cuando se describa la implementación en computadora digital de la red neuronal 1.

En la figura IV-10 se observa la red neuronal 1 incluyendo desde la neurona 1 hasta las neuronas de tipo 9, los campos receptivos de éstas y su posición respecto a la neurona 1 se muestran en la figura IV-11. Con ayuda de las figuras IV-10 y IV-11 es posible verificar que los campos receptivos de las neuronas 9 forman los campos receptivos de las neuronas 6 de la figura IV-7 en la manera mostrada en la figura IV-9. Algunas de las neuronas 9 señaladas en la figura IV-10 son iguales entre sí, ésto se ha tomado en cuenta en la figura IV-11, en donde se indican los casos en los cuales dos o mas neuronas 9 son equivalentes.

Neurona 9

De todas las neuronas corticales involucradas en la red neuronal 1, la 9 es la de menor jerarquía, por lo que recibe sinapsis directamente de las neuronas ganglionares.

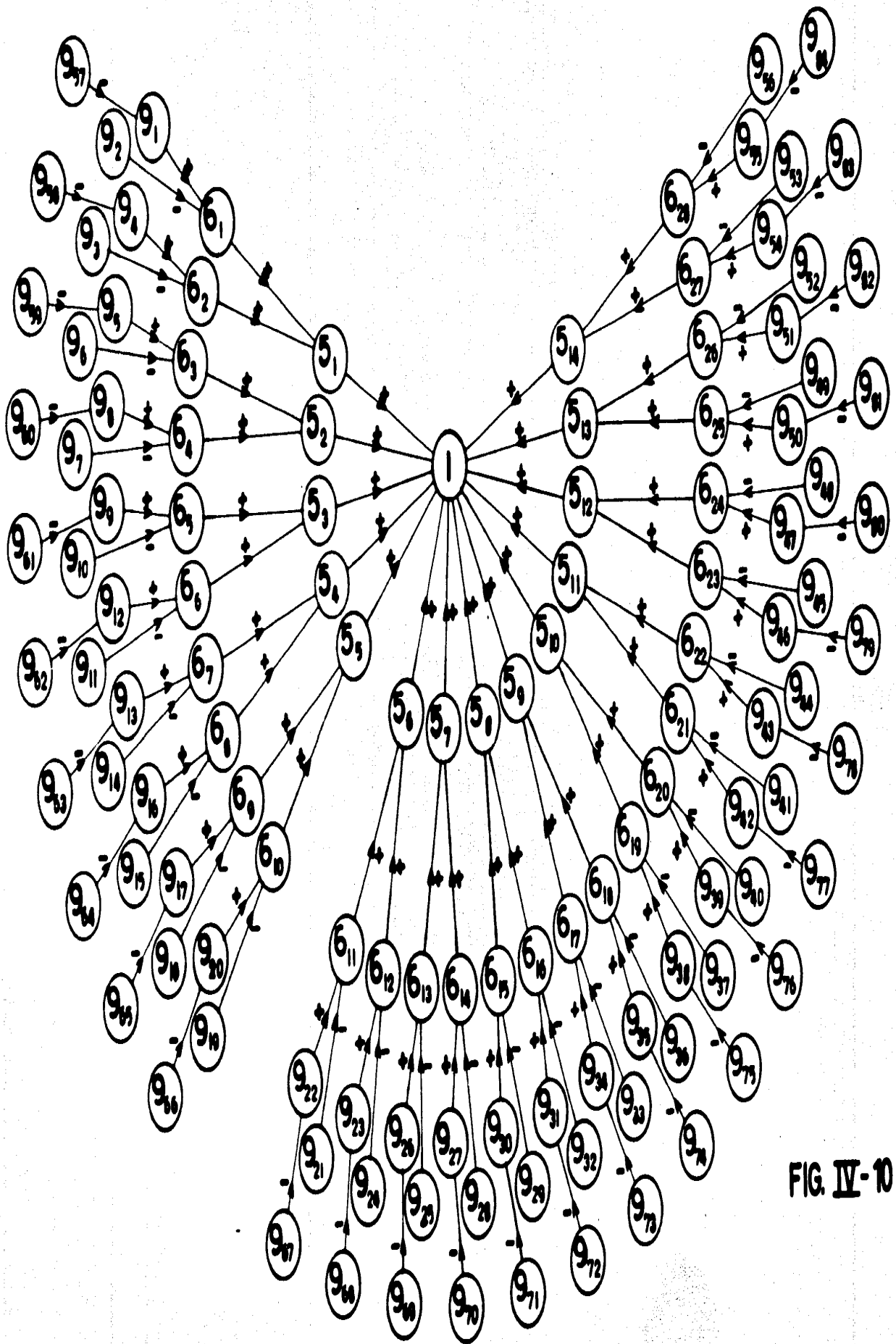
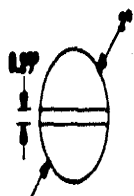
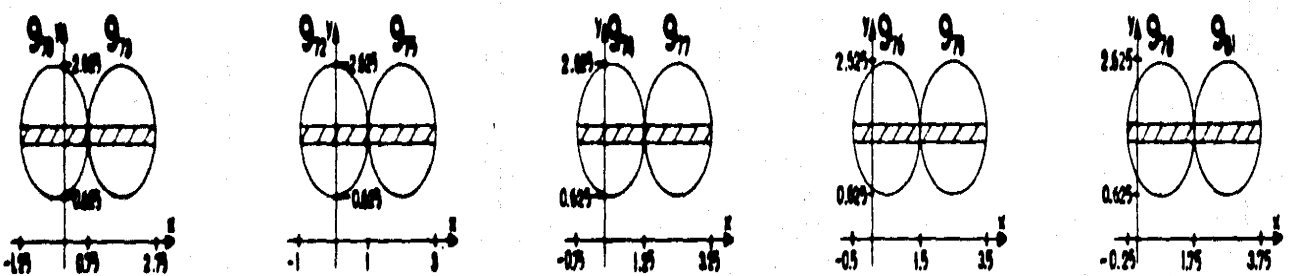
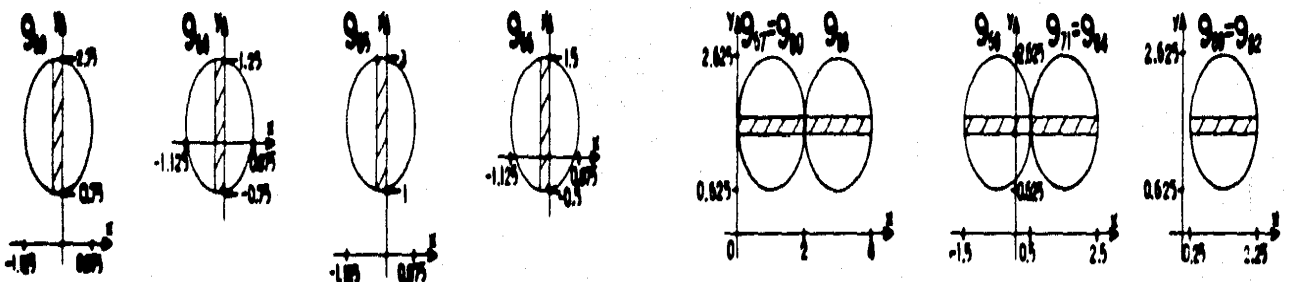
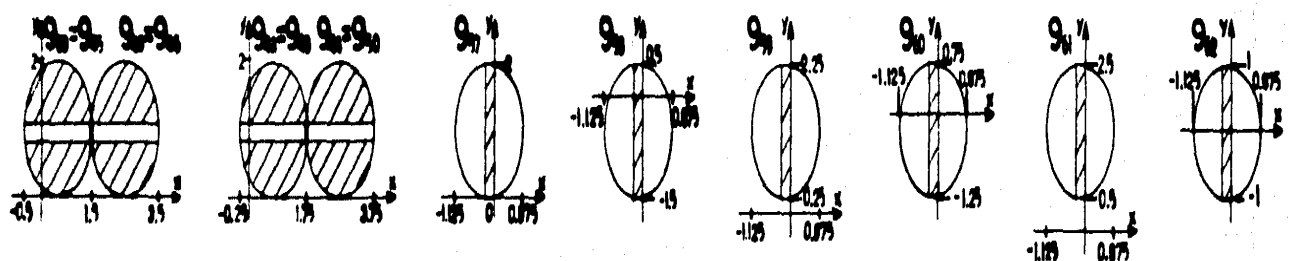
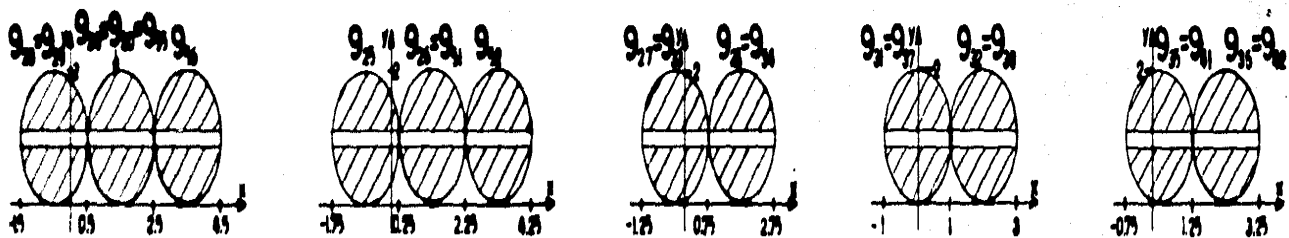
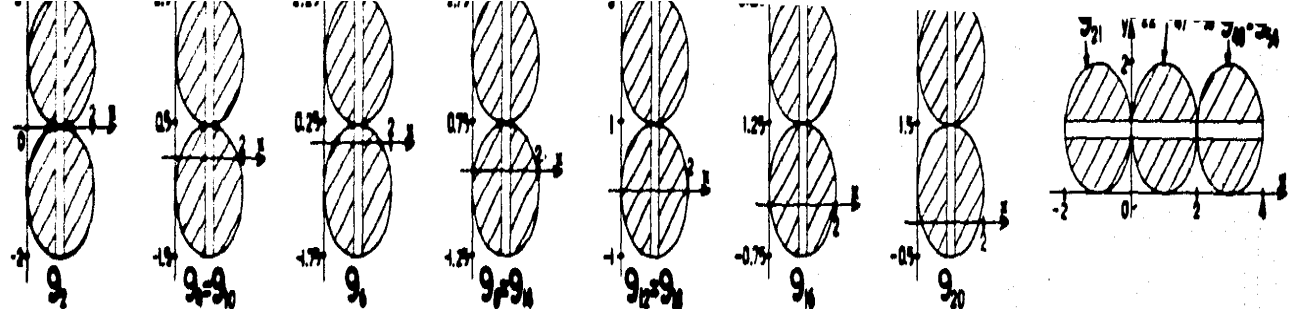


FIG. IV-10



ON



OFF

FIG IV-11

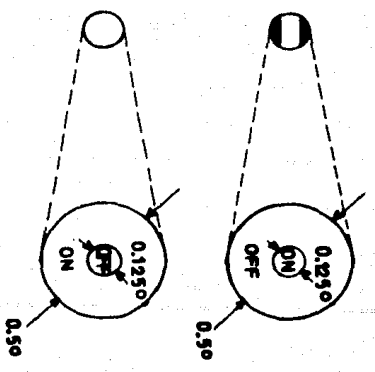
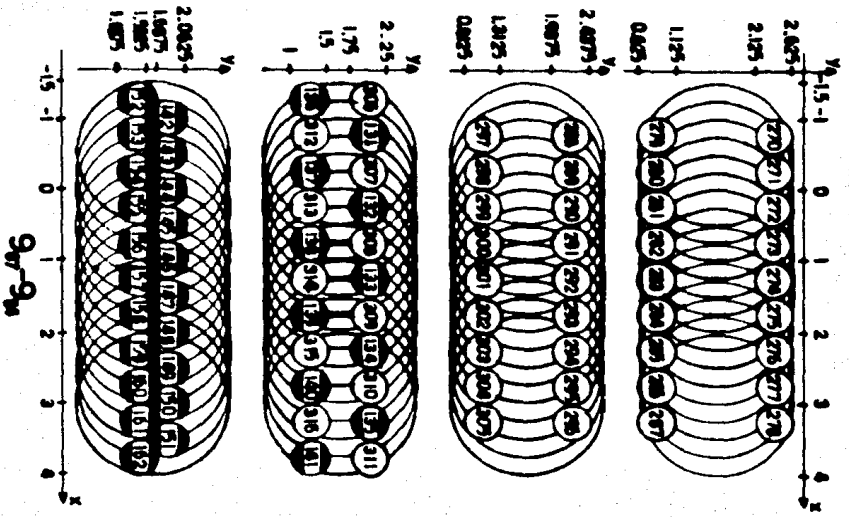
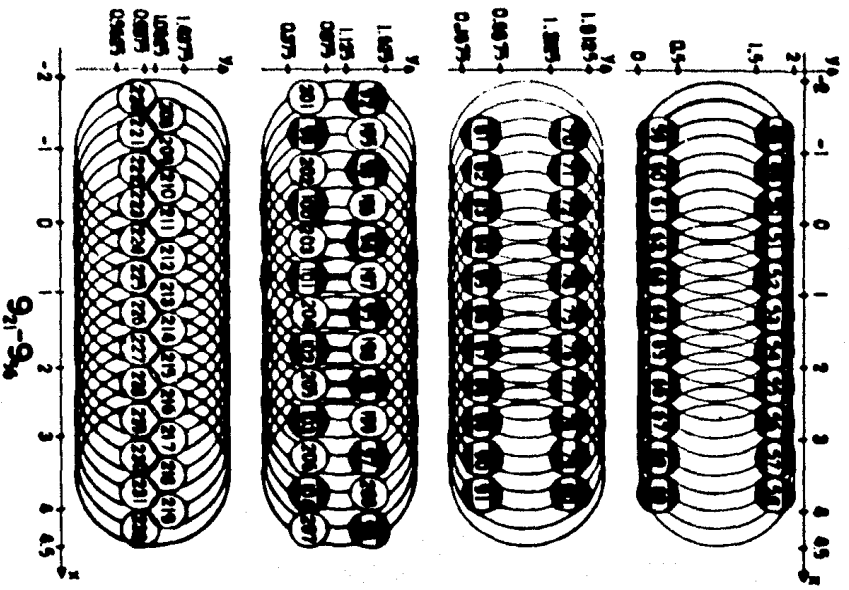
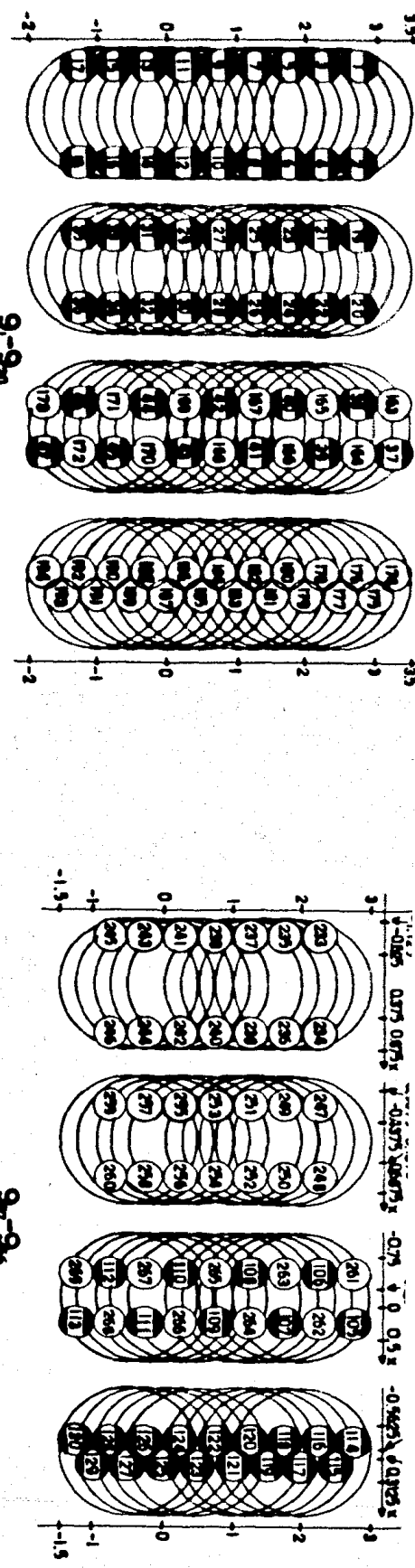
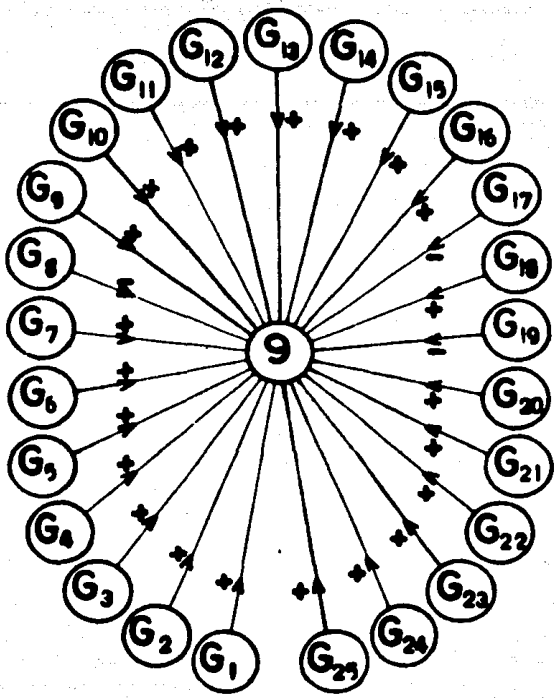


FIG. IV - 14

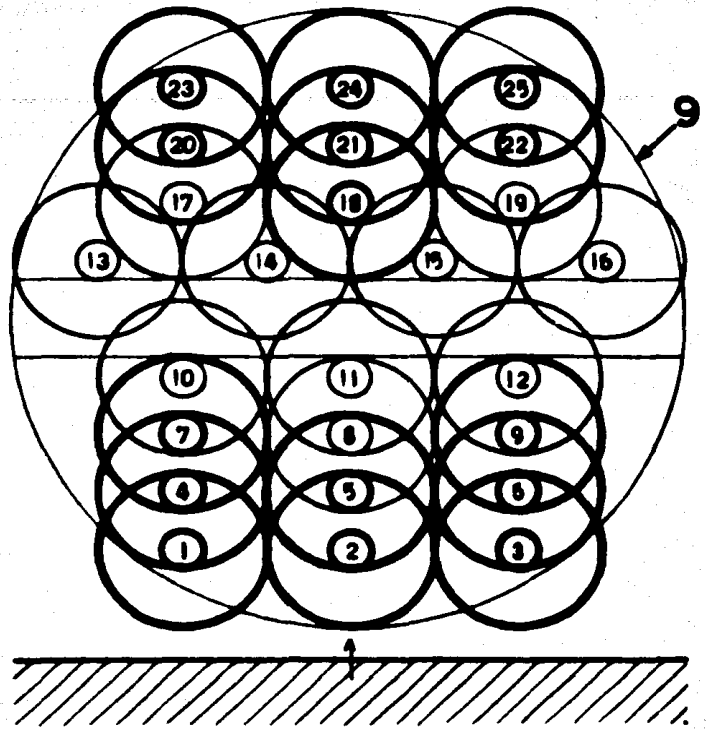
Debido a que las neuronas ganglionares responden a bordes en movimiento tal como lo hace la neurona 9, existen infinidad de arreglos de los campos receptivos de aquellas que permiten formar el campo receptivo de ésta. Se han elegido dos arreglos que permiten una manipulación relativamente fácil y que a la vez cubren todas las características fundamentales de la neurona 9. La razón por la cual se han elegido dos arreglos en lugar de uno solo es que éstos permiten una gran reducción en el número total de neuronas ganglionares necesarias para implementar la red neuronal 1. En la figura IV-12 se muestran las sinapsis y las configuraciones de los dos arreglos, para neuronas 9 de regiones laterales OFF y central ON, los campos receptivos de las neuronas ganglionares de tipo ON-OFF se han dibujado con líneas gruesas para distinguirlos de los campos receptivos de las neuronas ganglionares de tipo OFF-ON.

Si un borde oscureciendo como el mostrado en el inciso (b) de la figura IV-12 atraviesa el campo receptivo de la neurona 9, siempre habrá una o varias neuronas ganglionares de tipo ON-OFF respondiendo cuando el borde cruce las zonas inhibitoras (OFF), gracias a que los campos receptivos de las neuronas ganglionares están colocados de tal forma que el centro de una neurona es cubierto por el contorno de otra. Por ejemplo, cuando el borde oscureciendo atraviesa los centros de los campos receptivos de las neuronas ganglionares 1, 2 y 3 de la figura IV-12b éstas no responden debido a que se estimula simultáneamente el centro y el contorno de su campo receptivo, pero en cambio responden las neuronas ganglionares 4, 5 y 6 debido a que en ellas sólo se excita el contorno, son éstas entonces las que excitan a la neurona 9 y ocasionan que responda.

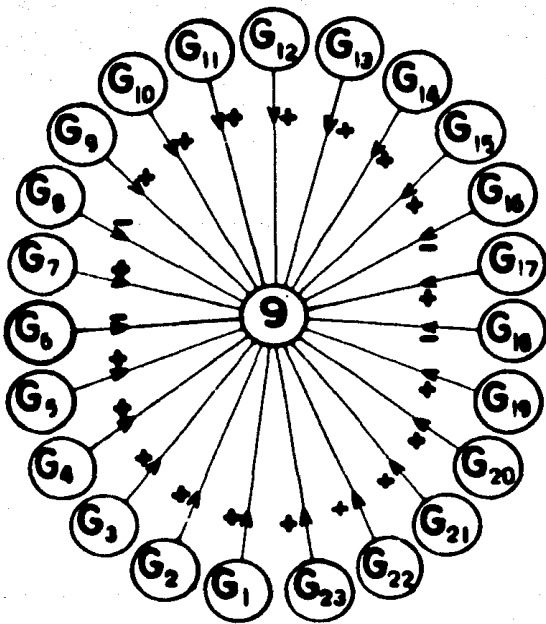
Supongamos ahora que el borde de la figura IV-12b ha atravesado todo el campo receptivo de la neurona 9 y se mueve entonces en sentido contrario, convirtiéndose así -



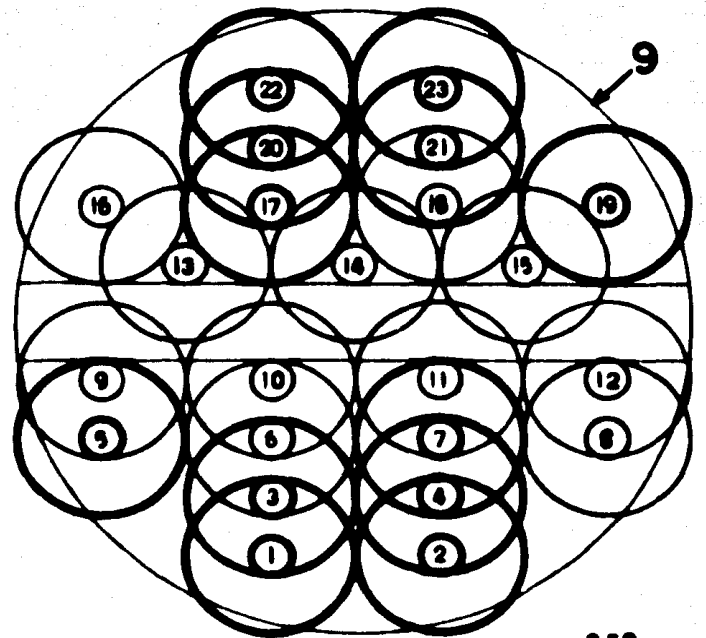
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG. IV - 12

en un borde iluminando; en consecuencia, sólo responderán las neuronas ganglionares de tipo OFF-ON; en el momento en que el borde cruza sobre los campos receptivos de las neuronas ganglionares 17 y 19, éstas responden e inhiben a la neurona 9 (Fig. IV-12a) - de manera que cuando el borde cruce los campos receptivos de las neuronas 13, 14, 15 y 16 la respuesta de éstas no tendrá efecto en la neurona 9 hasta que el borde abandone -- los campos receptivos de las neuronas 17 y 19, lo cual coincide con el momento en que el borde comienza a cruzar la franja excitadora (ON) de la neurona 9; una situación similar existe cuando el borde abandona dicha zona excitadora; por lo tanto, la función de las neuronas ganglionares 8, 17 y 19 (6, 8, 16 y 18 en el caso de la figura IV-12d) es delimitar con precisión la zona excitadora de la neurona 9.

Debe mencionarse también que la excitación causada por las neuronas ganglionares ON-OFF cuando un borde oscureciendo atraviesa el campo receptivo de la neurona 9 es tal que dicha neurona sigue respondiendo durante todo o casi todo el tiempo que tarda el borde en cruzar la zona central de su campo receptivo.

Puesto que la zona central del campo receptivo de la neurona 9 está formado únicamente por los contornos de varias neuronas ganglionares OFF-ON la neurona 9 da una respuesta ON cuando una rendija estática es iluminada en dicha zona; por otro lado, a causa de la superposición de los campos receptivos de las neuronas ganglionares ON-OFF, se obtiene una respuesta OFF al colocar una rendija estática en las regiones inhibitoras de la neurona 9.

Como se mencionó antes, el uso de dos tipos de arreglos para formar el campo receptivo de la neurona 9, permite disminuir grandemente el número total de neuronas ganglionares usadas en el modelo, esto puede verse en la figura IV-13, en donde con única

mente 28 neuronas ganglionares se pueden formar los campos receptivos de dos neuronas 9. En dicha figura los campos receptivos de las neuronas 9 tienen un corrimiento de 0.25° en su posición a lo largo del eje del campo, esta situación es muy común en las neuronas 9 de la red neuronal 1.

En la figura IV-14 se muestran los campos receptivos de las neuronas ganglionares necesarias en la red neuronal 1, por facilidad se han dibujado únicamente los contornos de los campos receptivos, también se han mostrado los contornos de los campos receptivos de las neuronas 9 de la figura IV-11, de manera que usando la figura IV-14 y tomando en cuenta los arreglos de la figura IV-12 es posible saber de qué neuronas ganglio

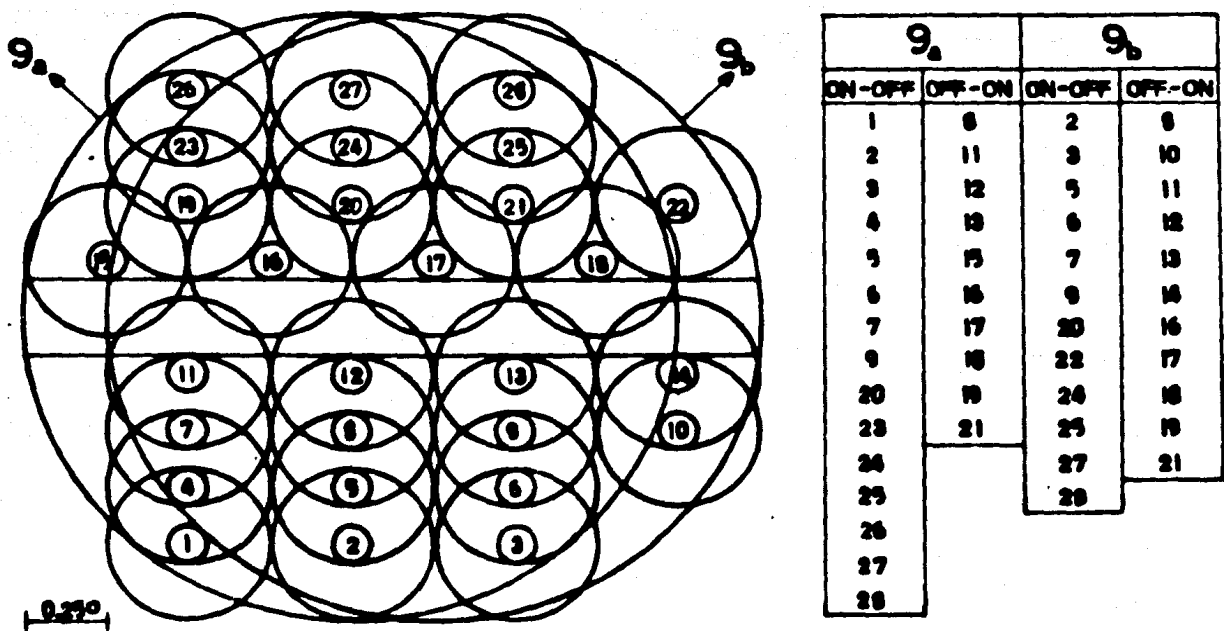


FIG. IV-13

nares recibe sinápsis cada una de las neuronas 9, así como de qué tipo son dichas sinápsis. Como en el caso de las neuronas 9, existen algunas neuronas ganglionares que son-

equivalentes entre sí, dichas equivalencias se señalan en la tabla IV-1.

$G_{105} = G_1$	$G_{139} = G_8$	$G_{65} = G_{12}$	$G_{234} = G_{165}$	$G_{246} = G_{171}$
$G_{107} = G_{51} = G_5$	$G_{109} = G_9$	$G_{111} = G_{13}$	$G_{238} = G_{167}$	$G_{313} = G_{264}$
$G_{54} = G_6$	$G_{62} = G_{11}$	$G_{113} = G_{17}$	$G_{242} = G_{169}$	

TABLA IV-1.

3).- IMPLEMENTACION EN COMPUTADORA: RED NEURONAL 1

La implementación en computadora digital de una red neuronal usando el programa de simulación explicado en el capítulo 1, requiere la especificación de las sinapsis existentes entre las neuronas que integran la red; la de cuáles neuronas son de tipo plástico y cuáles son de tipo constante; así como del valor de los parámetros de cada neurona y la entrada externa de aquellas neuronas que la posean. A continuación se expondrá la implementación en computadora digital de la red neuronal 1.

Sinapsis

Las sinapsis involucradas en la red neuronal 1 se obtienen de la figura IV-10 para las neuronas del tipo 1, 5 y 6 y de la figura IV-14 para las neuronas del tipo 9; las neuronas ganglionares no reciben sinapsis de otras neuronas, en lugar de ello reciben una excitación externa que debe determinarse en cada experimento.

En el apéndice A se muestra el listado completo de la red neuronal 1, donde puede observarse que el nombre de las neuronas tiene la siguiente forma: $N_{a_1 a_2 a_3 \dots}$, sien

do a_1 alguno de los números 1, 5, 6 y 9 o de las letras G y T que identifican respectivamente a las neuronas 1, 5, 6 y 9 y a las neuronas ganglionares y transversales (las neuronas transversales son las que componen las redes auxiliares mencionadas en la modelación de la neurona 6), por otra parte, $a_2 a_3 \dots$ corresponden al subíndice de las neuronas. - Por ejemplo, la neurona 5_4 se indica como $N5_4$ y la neurona ganglionar 148 (G_{148}) se indica como NG_{148} .

Los nombres de las neuronas son seguidos por un signo "igual" (=) y un número, - este número es la identificación de la neurona dentro del programa y es el que se usa para indicar las sinapsis que recibe cada una de ellas; por ejemplo, la neurona 5_1 recibe sinapsis excitatorias de las neuronas 6_1 y 6_2 (Fig. IV-10), a las que les corresponden los números 16 y 17 dentro del programa, por lo que la entrada de la neurona 5_1 es -----
 $E = 16, 17$. Como ya se mencionó en el capítulo I las sinapsis inhibitorias se indican precediendo con un signo "-" el número de la neurona; por ejemplo, la neurona 6_1 es excitada por la neurona 9_1 e inhibida por la neurona 9_2 , a éstas les corresponden los números 44 y 45, por lo tanto la entrada de la neurona 6_1 es $E = 44, -45$.

Tomando en cuenta la nomenclatura arriba explicada y las figuras IV-10 y IV-14, así como las equivalencias entre neuronas 9 señaladas en la figura IV-11 y de neuronas-ganglionares señaladas en la tabla IV-1, se pueden verificar las sinapsis implicadas en el listado de la red neuronal 1 del apéndice A.

Redes transversales

Como ya se ha mencionado, las neuronas 9 que excitan a las neuronas 6 son a su vez inhibidas por otras neuronas 9 (9_{57} a 9_{84}), cuya función principal es la de proporcionar selectividad direccional a las neuronas 6, para que lo anterior sea posible es ne-

cesario que la duración del efecto inhibitorio de las neuronas 957 a 984 sea el mismo que tarda una esquina en atravesar la parte activadora del campo receptivo de las neuronas 6, esto se logra por medio de dos redes neuronales auxiliares a las que hemos llamado "redes transversales".

Se ha usado una red transversal para cada una de las secciones de la red neuronal 1 (detección de lengüetas verticales o de lengüetas horizontales). En la figura IV-15 se muestra la forma en que actúa la red transversal para el caso de lengüetas horizontales. Así, si cualquiera de las neuronas 957 a 966 es activada, se activan a su vez las neuronas T_1 a T_8 , las cuales inhiben a aquéllas de las neuronas 91 a 920 que realizan sinapsis

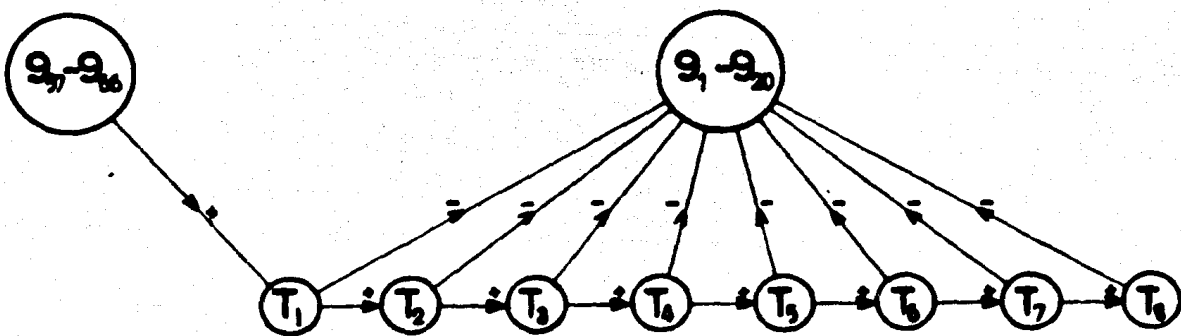


FIG. IV - 15

excitatorias con las neuronas 6 (91, 94, 95, 98, 99, 912, 913, 916, 917 y 920), el retardo en la respuesta de cada una de las neuronas transversales ocasiona que las neuronas 9 mencionadas sean inhibidas durante todo el tiempo que tarde el estímulo en atravesar la parte activadora de la neurona 6. El mismo comportamiento tiene la red transversal relacionada con las neuronas 967 a 984, T_9 a T_{16} y 921 a 956.

Parámetros

Debido a que en la red neuronal 1 se han usado solamente neuronas de tipo cons

tante, los parámetros que deben especificarse son el umbral y el transmisor liberado de cada una de ellas; para determinar éstos se llevaron a cabo varias pruebas con ayuda de pequeñas redes neuronales que reproducen a las redes implicadas por las figuras IV-3 -- (neurona 1), IV-5 (neurona 5), IV-9a (neurona 6) y IV-12a,c (neurona 9); en dichas -- pruebas se asignaron diferentes valores de umbral y transmisor liberado a cada una de -- las neuronas, eligiéndose aquellos valores con los cuales la respuesta obtenida concuerda con la que se ha especificado en la sección 2 de este capítulo.

En la tabla IV-2 se muestran los valores de umbral y transmisor liberado asignados a cada una de las neuronas participantes en la red neuronal 1. Las neuronas 9₁ a 9₅₆ tienen un valor alto de transmisor liberado debido a que éste permite excitar fuertemente a las neuronas 6₁ a 6₂₈, de tal forma que éstas responden aún cuando el estímulo cruce la franja central de las neuronas 9. Las neuronas 9₅₇ a 9₈₃ no poseen un valor alto de transmisor liberado, ya que su efecto inhibitorio se realiza principalmente a través de las neuronas transversales (T₁ - T₁₆), las cuales sí tienen un transmisor liberado alto. Respecto a las neuronas ganglionares, el valor de su transmisor liberado depende de la función que realiza cada una de ellas, así, las neuronas G₁ a G₁₀₄ participan en la formación de las áreas laterales OFF de las neuronas 9₁ a 9₅₆, en las cuales se debe obtener una respuesta fuerte, por lo que el transmisor liberado de dichas neuronas debe ser alto; las neuronas G₁₆₃ a G₁₇₃ y G₁₉₅ a G₂₀₇ tienen como misión delimitar con precisión el área central (ON) del campo receptivo de las neuronas 9₁ a 9₅₆, para esto inhiben a dichas neuronas 9 y además, deben contrarrestar el efecto excitatorio de varias otras neuronas ganglionares, de ahí que su transmisor liberado tenga un valor alto; las neuronas G₁₇₄ a G₁₉₄ y G₂₀₈ a G₂₃₂ forman el centro (ON) de las neuronas 9₁ a 9₅₆,

NEURONAS	UMBRAL U	TRANSMISOR LIBERADO (L)
1	7	10
5 ₁ - 5 ₁₄	17	10
6 ₁ - 6 ₂₈	7	10
9 ₁ - 9 ₅₆	17	60
9 ₅₇ - 9 ₈₃	17	10
G ₁ - G ₁₁₂	7	42
G ₁₁₄ - G ₁₃₀	7	7
G ₁₃₁ - G ₁₄₁	7	42
G ₁₄₂ - G ₁₆₂	7	7
G ₁₆₃ - G ₁₇₃	7	42
G ₁₇₄ - G ₁₉₄	7	7
G ₁₉₅ - G ₂₀₇	7	42
G ₂₀₈ - G ₂₃₂	7	7
G ₂₃₃ - G ₃₁₆	7	42
T ₁ - T ₁₆	1	84

TABLA IV-2.

el cual debe evocar una respuesta débil cuando es excitado, esto se obtiene con el valor bajo del transmisor liberado de las neuronas ganglionares mencionadas. Las demás neuronas ganglionares participan en la formación de las neuronas 957 a 983 y el valor de su -- transmisor liberado se explica en forma similar. Por último, el valor pequeño del umbral de las neuronas transversales permite a éstas ser muy sensibles, de manera que responden aún con la pequeña excitación proveniente de las neuronas 957 a 983 cuando un borde oscureciendo cruza la parte central (OFF) de su campo receptivo.

Excitación de las neuronas ganglionares

Como ya se ha mencionado, la excitación de las neuronas ganglionares depende del estímulo que sea usado, en general, el procedimiento a seguir para determinarla es hallar primero cuales neuronas ganglionares deben responder y después hallar la excitación de cada una de ellas; lo anterior lo explicaremos en detalle con la ayuda del siguiente ejemplo.

Supóngase que una lengüeta vertical de 0.5° de ancho se mueve con una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$ y pasa sobre el campo receptivo de la neurona 1, tal como se muestra en la figura IV-16. De acuerdo a dicha figura, las neuronas ganglionares detectarán el borde superior de la lengüeta, siendo éste un borde oscureciendo que se extiende en el rango $0.5^\circ \leq x \leq 1^\circ$, por lo que sólo responderán aquellas neuronas ganglionares de tipo ON-OFF cuyo campo receptivo se encuentre dentro de dicho rango de coordenadas en el eje x; sin embargo, existen algunas neuronas ganglionares cuyo campo receptivo se ubica solo parcialmente dentro del rango de coordenadas 'x' del borde superior de la lengüeta; para evitar ambigüedades se tomará como criterio que únicamente se usarán aquellas neuronas ganglionares en las cuales la mitad o más de su campo receptivo se -

encuentra dentro del rango $0.5^\circ \leq x \leq 1^\circ$; éste criterio se usará en cualquier otro experimento tanto de la red neuronal 1 como de las demás redes neuronales que se describirán posteriormente, donde el rango de restricción puede ser en las coordenadas 'x' o 'y', dependiendo de si el estímulo se mueve en dirección vertical u horizontal.

De lo anterior, usando la figura IV-14 se tiene que las neuronas ganglionares que responden al estímulo de la figura IV-16, son las siguientes: G_{38} , G_{40} , G_{42} , G_{44} , G_{46} , G_{52} , G_{63} , G_{74} , G_{85} , G_{101} , G_{138} , G_{145} , G_{146} y G_{156} .

Una vez que se ha establecido cuales neuronas ganglionares deben responder, el siguiente paso es obtener la entrada externa de cada una de ellas, para esto es necesario en primer lugar, establecer una escala entre las unidades del tiempo real (segundos) y las unidades de tiempo del programa (u.t.p.). La escala que hemos elegido es: $1 \text{ seg.} = 8 \text{ u.t.p.}$, ya que como se verá mas adelante, ésta permite que el tiempo total de la simulación sea mínimo a la vez que la excitación de cada neurona ganglionar contiene un número exacto de unidades de tiempo del programa (u.t.p.); esto último es de gran importancia debido a que el tiempo del programa toma valores discretos, al contrario del tiempo real que es una variable continua.

La red neuronal 1 incluye campos receptivos de neuronas ganglionares en todo el rango $-2^\circ \leq y \leq 3.5^\circ$, por lo que consideraremos que el experimento se inicia ($t=0$) cuando el borde superior de la lengüeta de la figura IV-16 alcanza la posición $y=-2^\circ$ y que termina cuando la lengüeta llega a la posición $y=3.5^\circ$; así pues, la distancia recorrida por la lengüeta es:

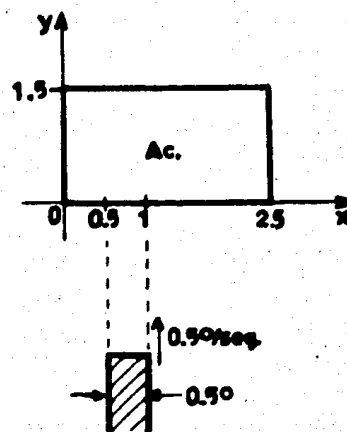


FIG. IV-16

$$d = 3.5^\circ - (-2^\circ) = 5.5^\circ;$$

de donde el tiempo total que dura el experimento es el siguiente:

$$T = \frac{d}{v} = \frac{5.5^\circ}{0.5^\circ/\text{seg}} = 11 \text{ seg} = 88 \text{ u.t.p.}$$

Una vez conocido el tiempo que dura el experimento, es posible dibujar una gráfica como la mostrada en la figura IV-17, en donde se muestran dos ejes paralelos, uno de ellos representa la posición del borde superior de la lengüeta y el otro el tiempo en el cual dicho borde se encuentra en cada posición; nótese que en el eje del tiempo se han señalado intervalos, debido a que el tiempo del programa de simulación es una variable discreta, así si decimos que $t=49$ u.t.p., nos referimos al intervalo de tiempo durante el cual la lengüeta pasa de la posición $y=1^\circ$ a la posición $y=1.0625^\circ$. En la misma figura se han dibujado esquemáticamente los campos receptivos de las neuronas ganglionares que responden en este experimento, en su posición correspondiente a lo largo del eje 'y'. Como sabemos, las neuronas ganglionares responden cuando el borde superior de la lengüeta (borde oscureciendo), pasa sobre la zona OFF de su campo receptivo, a condición de que simultáneamente no pase sobre el centro ON del mismo (Fig. III-1), por esta razón, en la figura IV-17 las zonas de los campos receptivos en las cuales cada neurona ganglionar evoca una respuesta, se han dibujado con líneas oscuras, para distinguirlas de la zona en que no se evoca respuesta, nótese que las coordenadas de esta última zona coinciden con las coordenadas de la región central ON de la neurona.

Con lo obtenido hasta este momento ya es posible determinar la excitación recibida por las neuronas ganglionares; por ejemplo, de acuerdo a la figura IV-17 la neurona G_{46} se excita en los tiempos 9, 10, 11, 14, 15 y 16, lo que de acuerdo a la

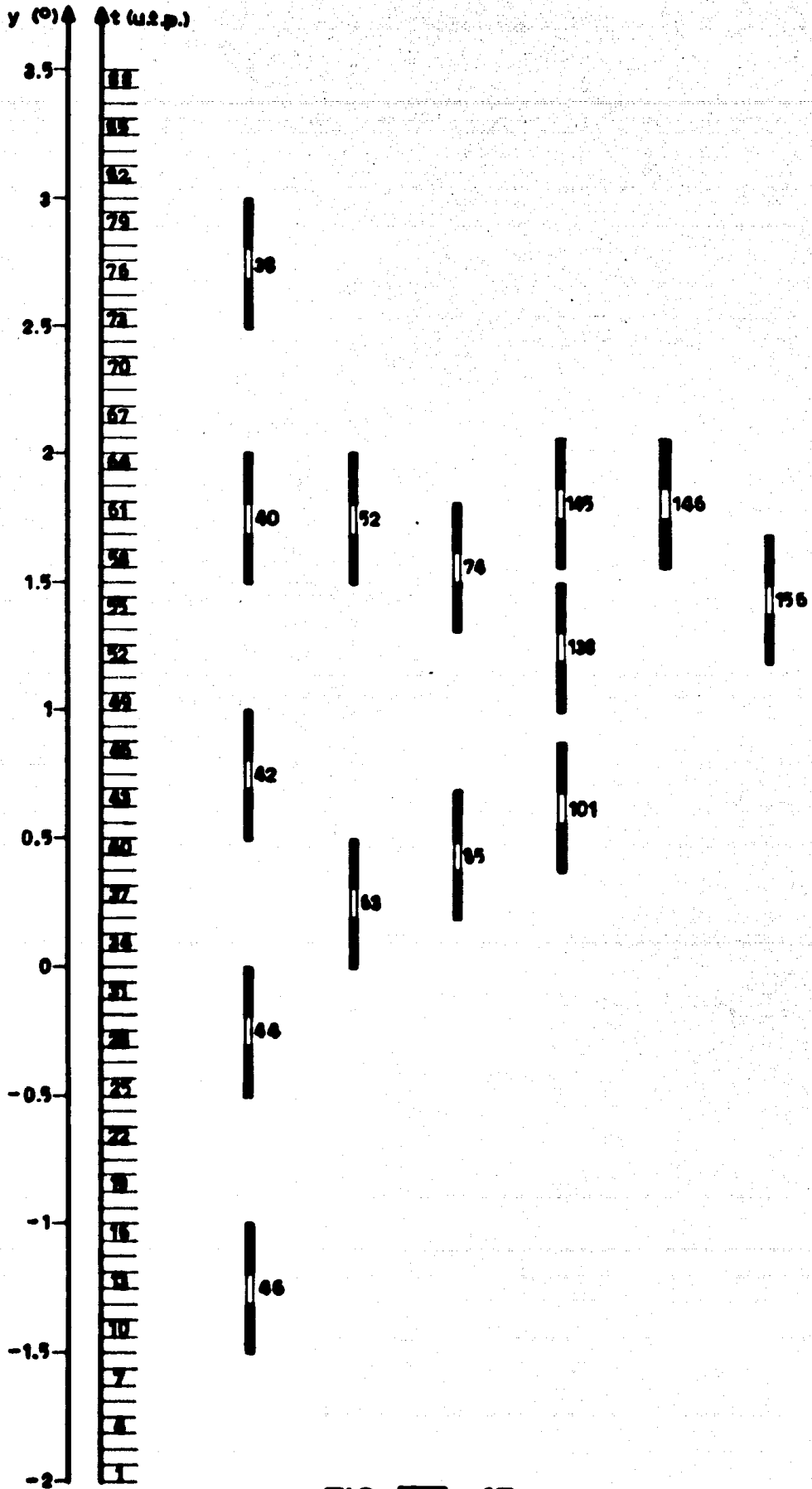


FIG. IV - 17

nomenclatura del programa explicada en el capítulo I, se puede expresar como:

$$X = 9, 11, 1, 14, 16, 1;$$

usando el mismo procedimiento se obtiene que las entradas externas de las neuronas ganglionares que responden a la lengüeta de la figura IV-16, son las siguientes:

G_{38}$	.....	X = 73, 75, 1, 78, 80, 1;$
G_{40}$	.....	X = 57, 59, 1, 62, 64, 1;$
G_{42}$	.....	X = 41, 43, 1, 46, 48, 1;$
G_{44}$	.....	X = 25, 27, 1, 30, 32, 1;$
G_{46}$	.....	X = 9, 11, 1, 14, 16, 1;$
G_{52}$	.....	X = 57, 59, 1, 62, 64, 1;$
G_{63}$	.....	X = 33, 35, 1, 38, 40, 1;$
G_{74}$	.....	X = 54, 56, 1, 59, 61, 1;$
G_{85}$	.....	X = 36, 38, 1, 41, 43, 1;$
G_{101}$	.....	X = 39, 41, 1, 44, 46, 1;$
G_{138}$	.....	X = 49, 51, 1, 54, 56, 1;$
G_{145}$	.....	X = 58, 60, 1, 63, 65, 1;$
G_{146}$	.....	X = 58, 60, 1, 63, 65, 1;$
G_{156}$	.....	X = 52, 54, 1, 57, 59, 1;$

En el listado de la red neuronal I del apéndice A pueden observarse estas entradas externas, así como las entradas externas correspondientes a algunos otros experimentos, de los que se hablará en el capítulo V; a todas aquellas neuronas ganglionares que-

no reciben entrada externa se les debe asignar alguna entrada externa de "relleno", en el apéndice A esta entrada externa es: $X = 815,815,1$; la cual no afecta a los experimentos realizados.

Nótese que si en el experimento de la figura IV-16 se hubiera utilizado una escala de tiempo menor (por ejemplo: 1 seg = 4 u.t.p.), las entradas externas hubieran implicado el uso de tiempos no-enteros, los que al aproximarse a valores enteros ocasionarían una pérdida en la exactitud y la confiabilidad del experimento; por otra parte, una escala de tiempo mayor a la usada (por ejemplo: 1 seg = 16 u.t.p.), no hubiera afectado la exactitud y la confiabilidad del experimento, pero en cambio, hubiera incrementado innecesariamente el tiempo total de la simulación.

4).- RED NEURONAL 2

Neurona 2

La neurona 2 posee dos zonas activadoras rectangulares y responde fuertemente cuando una lengüeta vertical ancha se mueve dentro de dichas áreas ya sea en dirección vertical u horizontal, tal como se observa en las figuras II-22f y II-23d, por lo tanto, puede concluirse que en última instancia la neurona 2 es capaz de detectar esquinas moviéndose en dos direcciones diferentes en cada una de las áreas activadoras de su campo receptivo; lo anterior induce a pensar que cada una de dichas áreas está formada por las partes activadoras de dos neuronas 6 con orientaciones del campo receptivo separadas -- 90°.

En la figura IV-18 se muestran los campos receptivos de las neuronas 6 usadas en la red neuronal 2; las neuronas 6₁ y 6₅ permiten la detección de lengüetas moviéndose -

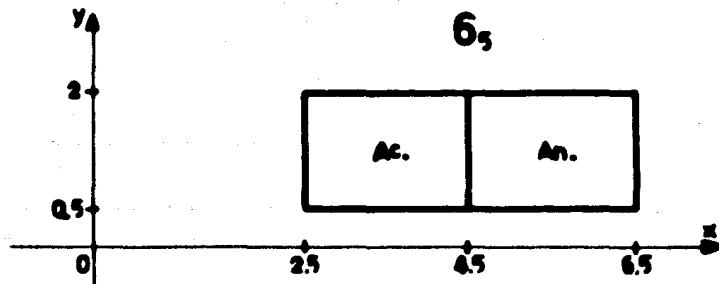
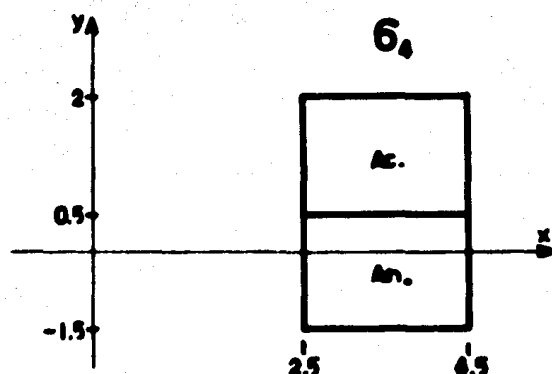
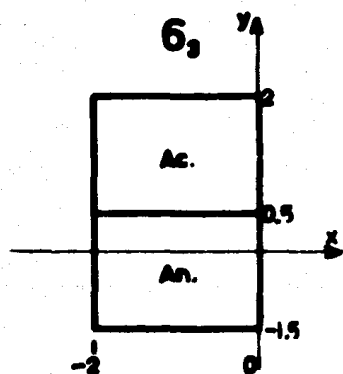
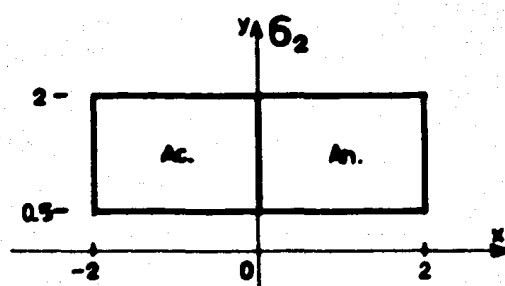
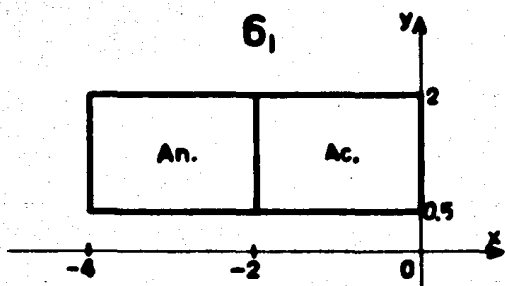
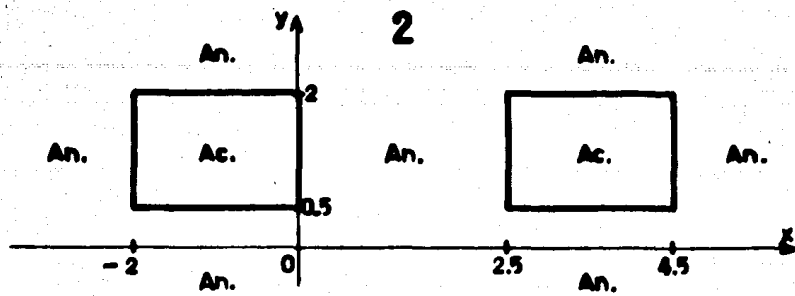


FIG. IV - 18

en dirección vertical (Fig. II-22f), las neuronas 6_3 y 6_4 la de lengüetas moviéndose en dirección horizontal (Fig. II-23d) y la neurona 6_2 ocasiona que la franja existente entre las dos zonas activadoras de la neurona 2 sea de tipo antagonista; todas las neuronas 6 realizan sinapsis excitatorias con la neurona 2. En la figura IV-18 se ha usado un sistema coordinado similar al de la red neuronal 1, el cual se ha ubicado de manera que exista la posibilidad de que en el futuro se adapten en una sola red las redes neuronales 1 y 2.

Neurona 6

Debido a que la neurona 2 puede detectar lengüetas moviéndose en ambos sentidos en cualquiera de las dos orientaciones óptimas, las neuronas del tipo 6 usadas en la red neuronal 2 deben también ser capaces de detectar estímulos, en este caso esquinas, moviéndose en dos sentidos, por lo que difieren ligeramente de aquéllas usadas en la red neuronal 1. Esa diferencia se obtiene principalmente gracias a que el campo receptivo de las neuronas 6 aquí usadas está formado por cuatro neuronas del tipo 9. En la figura IV-19 se muestra un ejemplo de la forma en que las neuronas 9 constituyen el campo receptivo de las neuronas 6; las neuronas 9_a y 9_b forman respectivamente las partes antagonista y activadora de la neurona 6 y las neuronas 9_c y 9_d realizan sinapsis inhibitorias con la neurona 6 e impiden que ésta detecte esquinas como la marcada con el número "1" en dicha figura; las neuronas 9_a y 9_b tienen un comportamiento ligeramente diferente del de las neuronas de tipo 9 usadas en la red neuronal 1, ya que detectan tanto bordes iluminando como oscureciendo, mientras que las neuronas 9_c y 9_d no varían respecto a las usadas en la red neuronal 1.

El arreglo mostrado en la figura IV-19 puede entenderse analizando el efecto --

causado por el movimiento de las esquinas "1" y "2"; el movimiento hacia arriba de la esquina 1 (b-a) excita en primer término a la neurona 9_c , la cual inhibe a la neurona 6 anulando así el efecto de la neurona 9_b cuando la esquina 1 pasa sobre su campo receptivo; el movimiento hacia abajo de la misma esquina (a-b) tampoco provoca respuesta, ya que se excita la neurona 9_d ocasionando con ello la inhibición de la neurona 6; el movimiento hacia abajo (a-b) de la esquina 2 no excita a la neurona 9_d y en cambio excita a la neurona 9_b que a su vez causa la respuesta de la neurona 6; el movimiento hacia arriba de la misma esquina (b-a) no excita a la neurona 9_c (regiones laterales OFF) y en cambio sí lo hace con la neurona 9_b , la cual debe tener un comportamiento tal que le permita responder cuando se estimula su región central (ON), además, para que el efecto de la neurona 9_a (región antagonista de la neurona 6) sea eficaz, se requiere que también ésta tenga un comportamiento como el de la neurona 9_b .

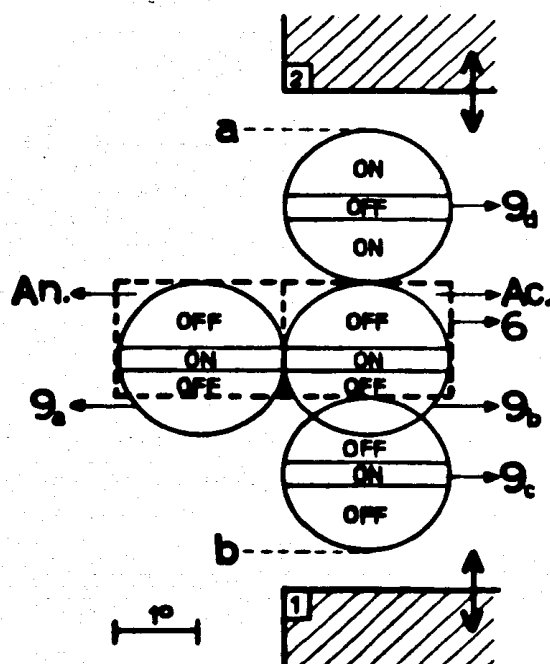


FIG. IV - 19

Existen otras diferencias de las neuronas 6 usadas en la red neuronal 2 respecto a las usadas en la red neuronal 1, éstas son que las neuronas 9_c y 9_d (Fig. IV-19) inhiben directamente a la neurona 6 en lugar de inhibir a la neurona 9_b y que la posición del campo receptivo de las mismas es tal que su contorno es adyacente al contorno del campo receptivo de la neurona 6, en lugar de ser las zonas centrales las que se colocan

en dicha posición.

En la figura IV-20 se muestran los campos receptivos de las neuronas 9 usadas en la red neuronal 2 y en la figura IV-21 se muestra dicha red neuronal incluyendo desde la neurona 2 hasta las neuronas 9; con ayuda de estas figuras se puede verificar que las neuronas 9 forman a las neuronas 6 de la figura IV-18 en la forma mostrada en la figura IV-19.

Neurona 9

Como ya se mencionó, en la red neuronal 2 existen dos clases de neuronas 9, -- una de ellas es la que se usó en la red neuronal 1 y corresponde a las neuronas 9_c y 9_d de la figura IV-19 y a las neuronas $9_2, 9_4, 9_6, 9_8, 9_{10}, 9_{12}, 9_{14}$ y 9_{16} de las figuras IV-20 y IV-21; la otra clase de neurona 9 es la que se usa para formar las partes activa_dora y antagonista de las neuronas 6 (neuronas 9_a y 9_b de la figura IV-19 y $9_1, 9_3, 9_5, 9_7, 9_9, 9_{11}, 9_{13}, 9_{15}$ y 9_{17} de las figuras IV-20 y IV-21) y se caracteriza porque responde cuando se excita cualquiera de las áreas de su campo receptivo, este tipo de neurona se logra fácilmente si se eliminan las neuronas ganglionares OFF-ON que inhiben a la neurona 9 (G_8, G_{17} y G_{19} de la figura IV-12b y G_6, G_8, G_{16} y G_{18} de la figura IV-12d) y se sustituyen por neuronas de tipo ON-OFF que exciten a la neurona 9.

En la figura IV-22 se muestran los contornos de los campos receptivos de las neuronas ganglionares y de las neuronas 9 usadas en la red neuronal 2, con ayuda de esta figura pueden obtenerse las sinapsis recibidas por cada una de las neuronas 9, tomando en cuenta que las neuronas $9_1, 9_3, 9_5, 9_7, 9_9, 9_{11}, 9_{13}, 9_{15}$ y 9_{17} reciben única -- mente sinapsis excitatorias y que las demás reciben tanto sinapsis excitatorias como in-

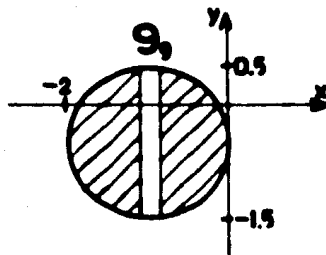
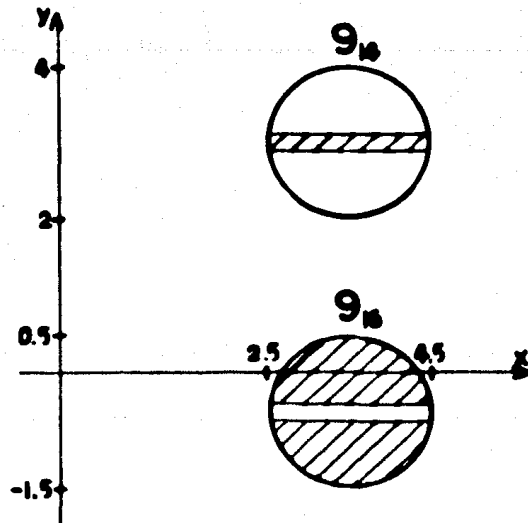
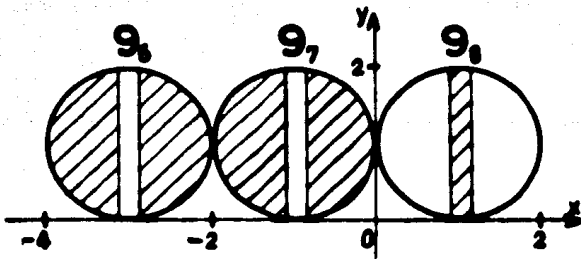
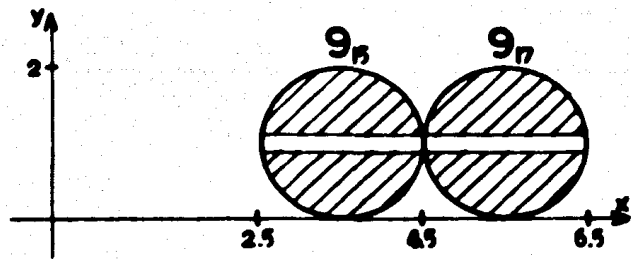
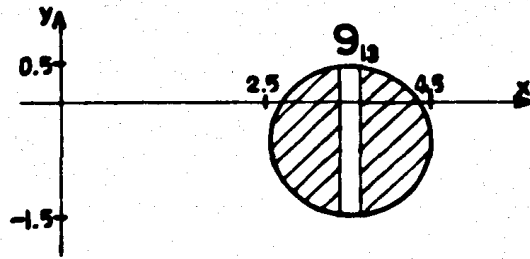
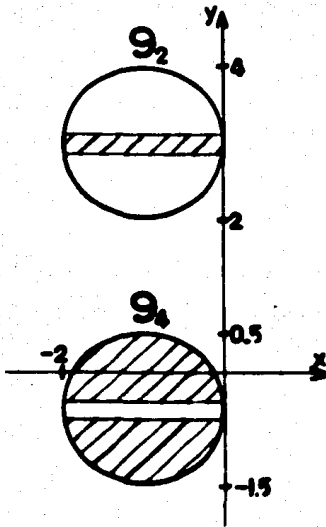
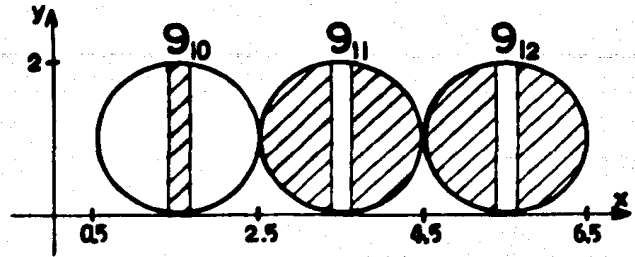
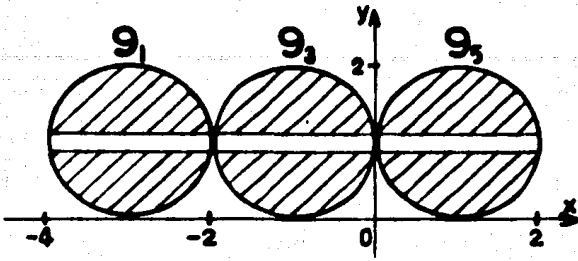


FIG. IV - 20

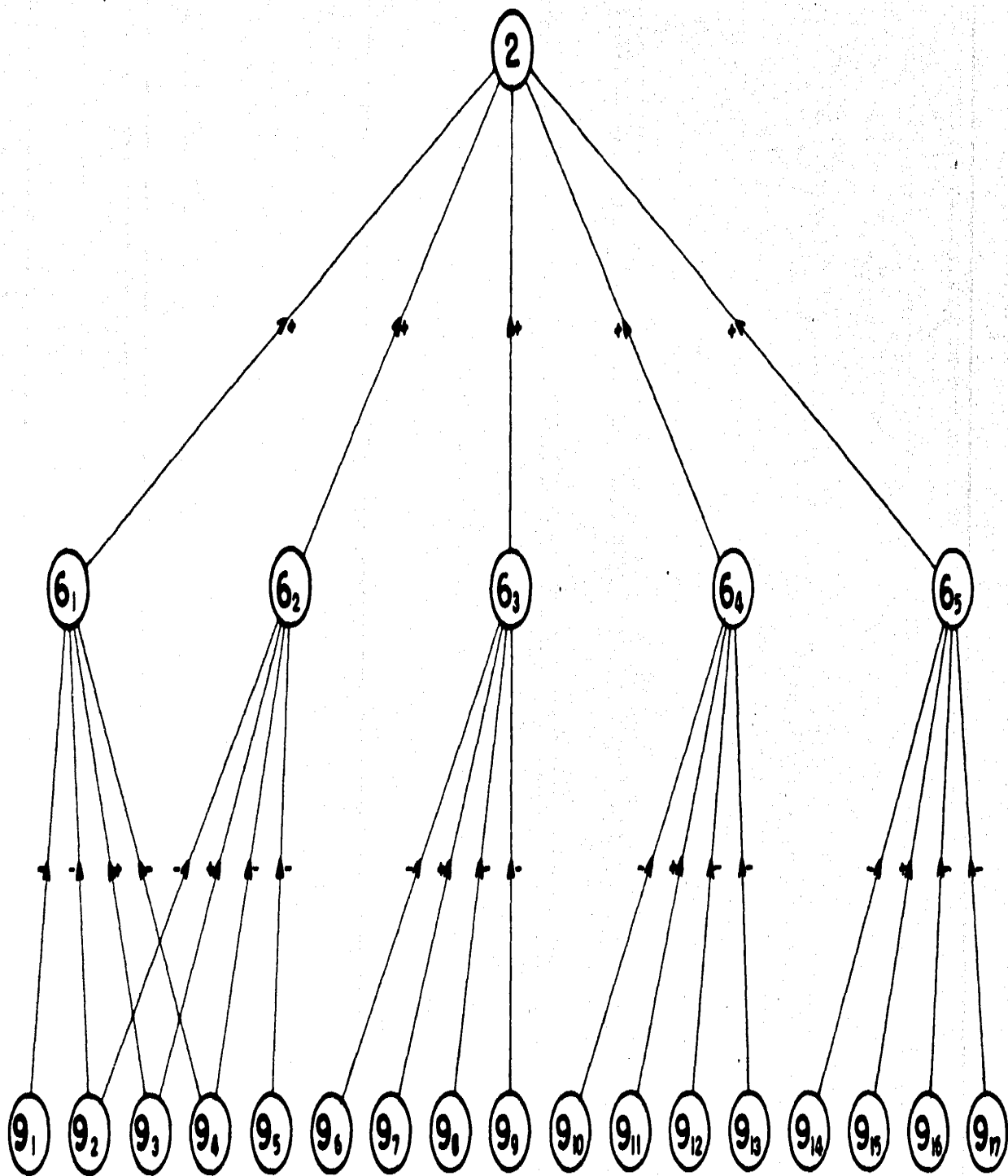


FIG. IV - 21

h inhibitorias en la forma mostrada en la figura IV-12.

5).- IMPLEMENTACION EN COMPUTADORA: RED NEURONAL 2

La implementación en computadora de la red neuronal 2 es del todo similar a la de la red neuronal 1. En el apéndice A se encuentra el listado completo de la red neuronal 2, en donde la nomenclatura usada es igual a la de la red neuronal 1; las sinapsis implicadas en dicho listado se obtienen de las figuras IV-21 y IV-22, debiendo tenerse cuidado de considerar cuáles neuronas 9 son del tipo de las neuronas 9_a y 9_b y cuáles son del tipo de las 9_c y 9_d de la figura IV-19.

En la red neuronal 2 también se han usado redes transversales, las cuales tienen como misión permitir que la inhibición causada por las neuronas 9 del tipo de las 9_c y 9_d de la figura IV-19 sea lo suficientemente efectiva y duradera. Existen dos redes transversales, una para el movimiento en dirección vertical ($T_1 - T_8$) y otra para el movimiento en dirección horizontal ($T_9 - T_{16}$) de una lengüeta ancha.

En la tabla IV-3 se resumen los valores de los parámetros (umbral y transmisor liberado) de todas las neuronas involucradas en la red neuronal 2, estos valores se han obtenido con el mismo método usado en la implementación en computadora de la red neuronal 1.

La excitación de las neuronas ganglionares depende de cada experimento en particular y se obtiene en la forma explicada en la implementación en computadora de la red neuronal 1.

NEURONA	UMBRAL (U)	TRANSMISOR LIBERADO (L)
2	17	10
61, 62, 65	7	10
63, 64	7	20
91 - 917	17	60
G1 - G188	7	42
G189 - G195	7	3
G196 - G199	7	42
G200 - G206	7	3
G207 - G210	7	42
G211 - G217	7	7
G218 - G221	7	42
G222 - G228	7	7
G229 - G232	7	42
G233 - G260	7	7
G261 - G264	7	42
G265 - G285	7	7
G286 - G289	7	42
G290 - G309	7	7
G310 - G313	7	42
G314 - G333	7	7
G334 - G381	7	42
T1 - T16	1	60

TABLA IV-3.

6).- RED NEURONAL 3

Neurona 3

La neurona 3 evoca su máxima respuesta cuando una rendija estrecha de 1.5° de longitud se mueve de arriba hacia abajo sobre la región activadora de su campo receptivo, con una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$. Cuando la rendija tiene mayor o menor longitud o cuando pasa ligeramente a la derecha o a la izquierda de la región activadora, la respuesta disminuye marcadamente.

Lo anterior hace pensar que la neurona 3 recibe sinapsis de cuatro neuronas simples, donde una de ellas excita a la neurona 3 y su campo receptivo forma la región activadora de la misma, mientras que las otras neuronas simples inhiben a la neurona 3, estando ubicados los campos receptivos de dos de ellas en las regiones antagonistas laterales y el de la otra justamente debajo de la región activadora para ocasionar que no provoquen una respuesta las rendijas que se mueven de abajo hacia arriba.

De las neuronas simples que conocemos, la 8 tiene un campo receptivo rectangular similar a la parte activadora de la neurona 3 y da una buena respuesta a rendijas en movimiento, debido a esto se ha elegido la neurona 8 como la que realiza sinapsis con la neurona 3.

En la figura IV-23 se muestran los campos receptivos de las neuronas 3 y 8, así como la red neuronal correspondiente. En la misma figura se muestra también el sistema coordinado usado en la red neuronal 3.

Neurona 8

Como en el caso de la neurona 9 existen multitud de arreglos de los campos re -

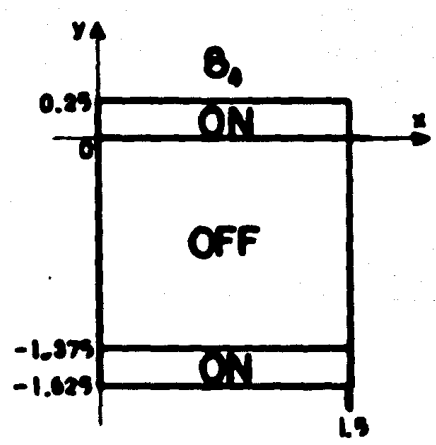
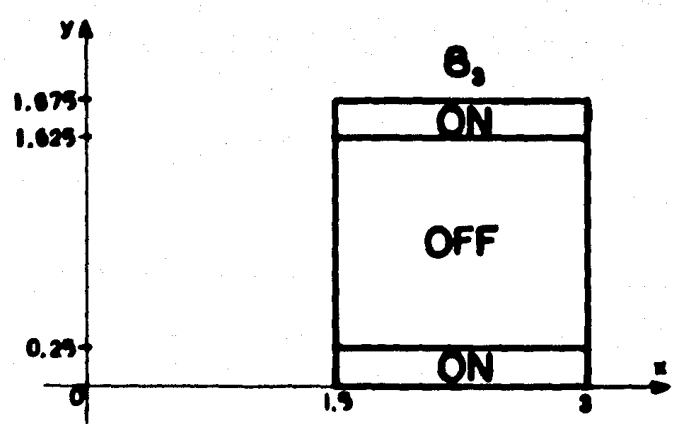
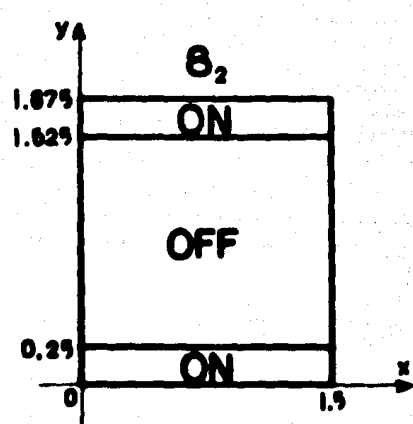
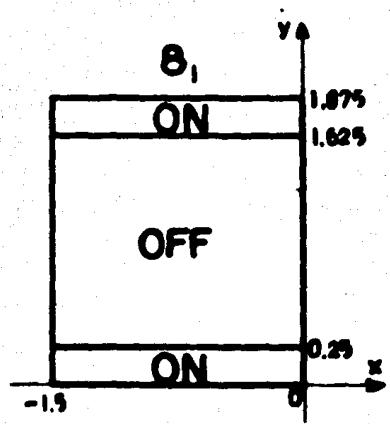
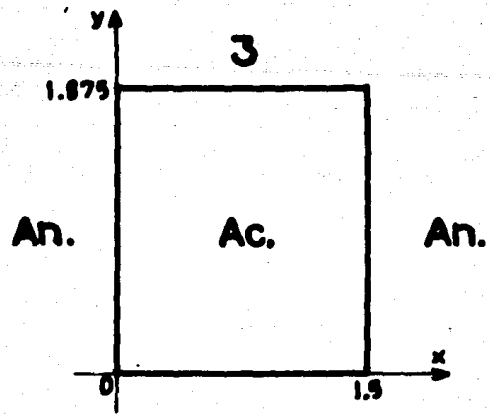
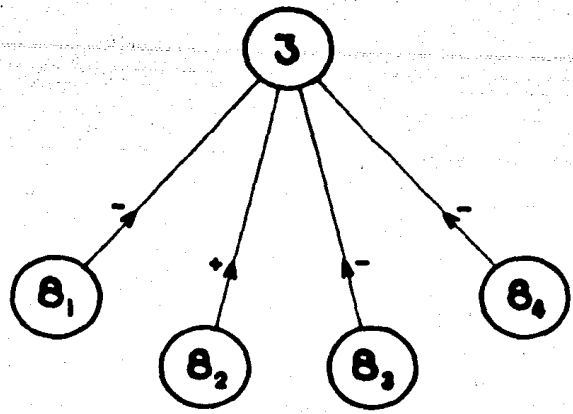


FIG. IV - 23

ceptivos de las neuronas ganglionares que permiten formar el campo receptivo de la neurona 8. Se ha elegido un arreglo que en principio es similar al de la neurona 9, ya que se usa la misma característica de superposición de los campos receptivos de las neuronas ganglionares. En la figura IV-24 se muestra el arreglo usado y las sinapsis involucradas. Nótese que las regiones laterales ON se han realizado usando los contornos de los campos receptivos de varias neuronas ganglionares OFF-ON, en forma similar a como se -- realizó la región central de las neuronas 9 usadas en las redes neuronales 1 y 2, por esta causa deben existir otras neuronas ganglionares OFF-ON (G_{13} , G_{19} , G_{20} y G_{26} , Fig. IV-24) que inhiben a la neurona 8 y sirven para delimitar con precisión sus zonas laterales ON; por otra parte, el arreglo de los campos receptivos de las neuronas ganglionares ON-OFF que forman la región central OFF de la neurona 8 es parecido al usado en las regiones laterales del campo receptivo de las neuronas 9.

En la figura IV-25 se observan los contornos de los campos receptivos de las neuronas ganglionares usadas en la red neuronal 3; los campos receptivos de las neuronas 8 se han dibujado con líneas punteadas.

Neuronas auxiliares

Para impedir que la neurona 3 responda fuertemente cuando un estímulo estático es iluminado sobre su campo receptivo, hemos usado seis neuronas auxiliares a las que llamamos "franjas"; estas neuronas inhiben a la neurona 3 y reciben sinapsis de las neuronas ganglionares que forman el campo receptivo de la neurona 8₂; su característica principal es que tardan un tiempo relativamente grande en evocar una respuesta después de que han sido excitadas.

En la figura IV-26 se muestra el diagrama de la red neuronal 3, donde se inclu-

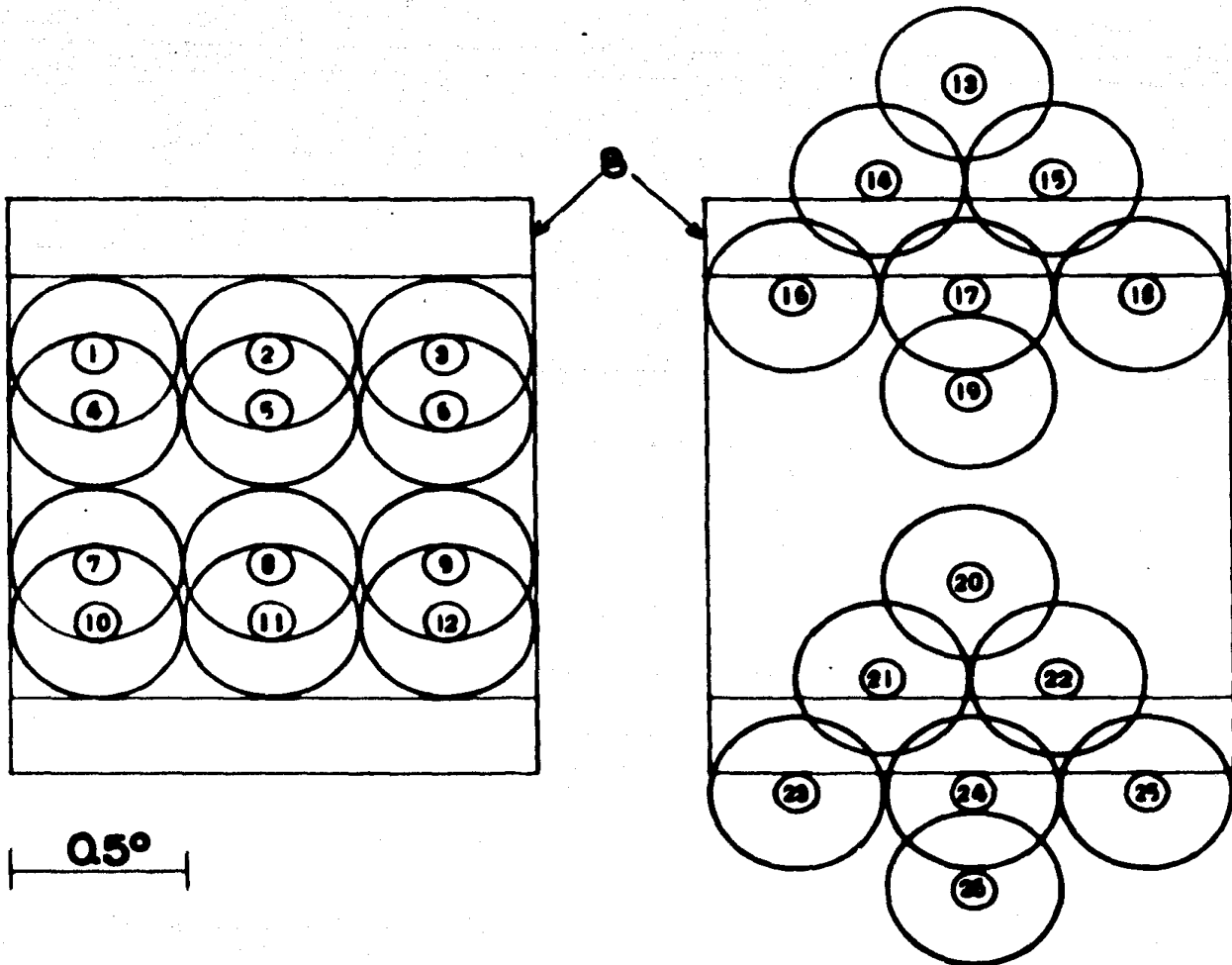
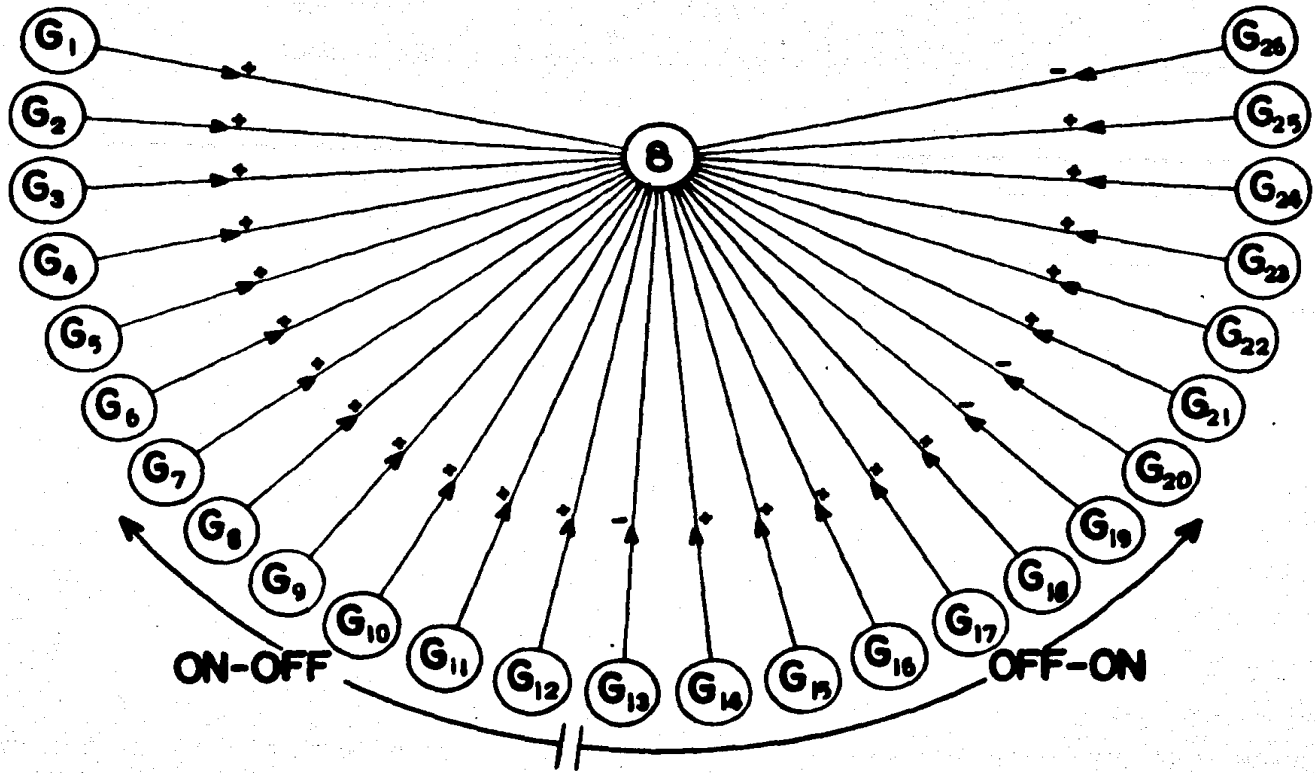


FIG. IV - 24

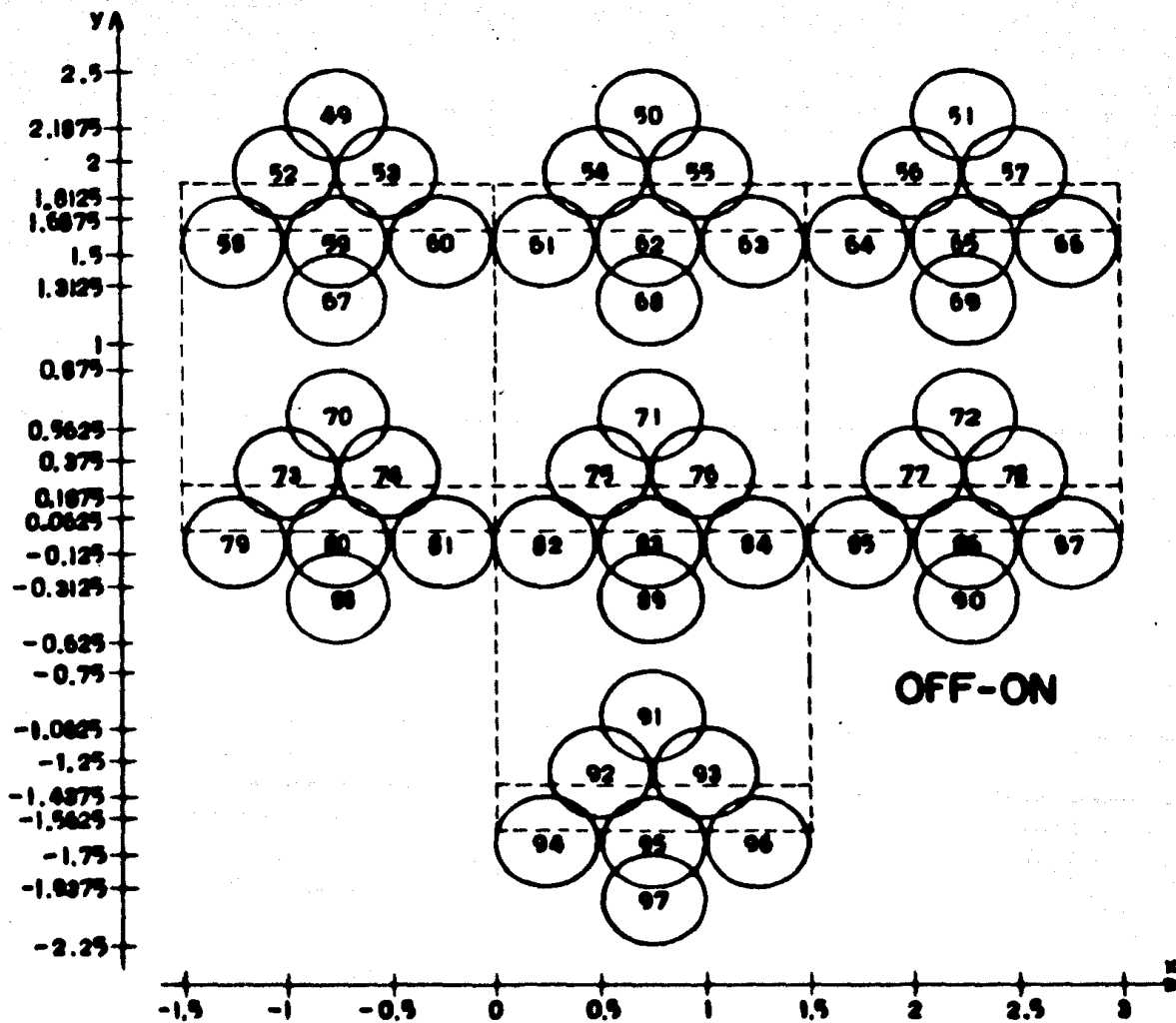
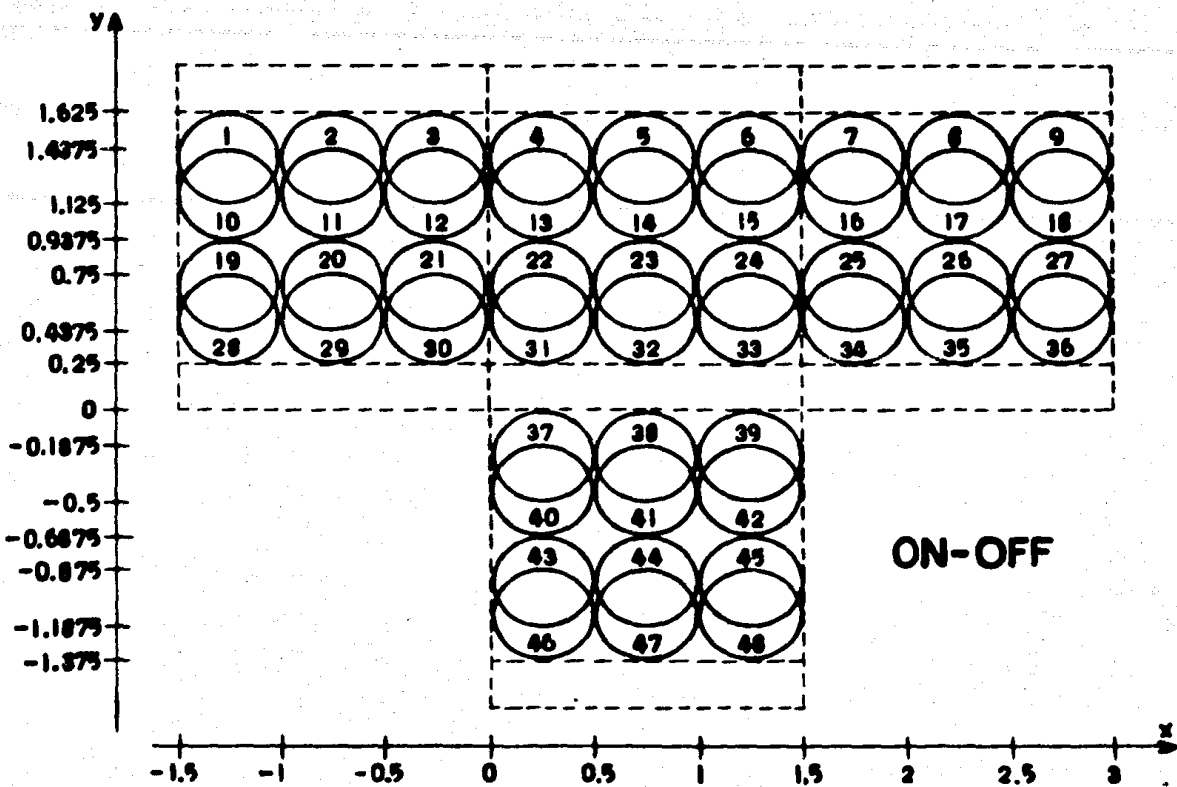


FIG. IV -25

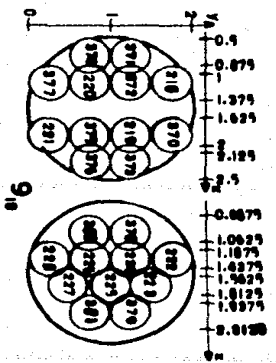
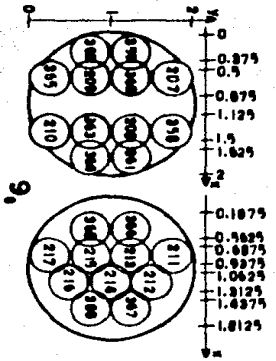
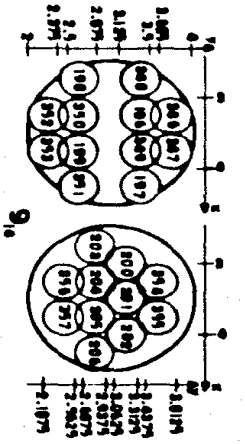
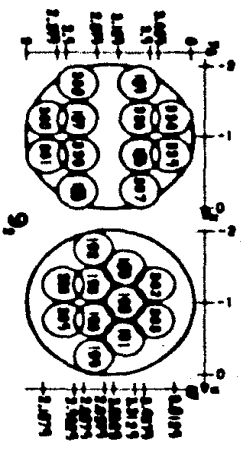
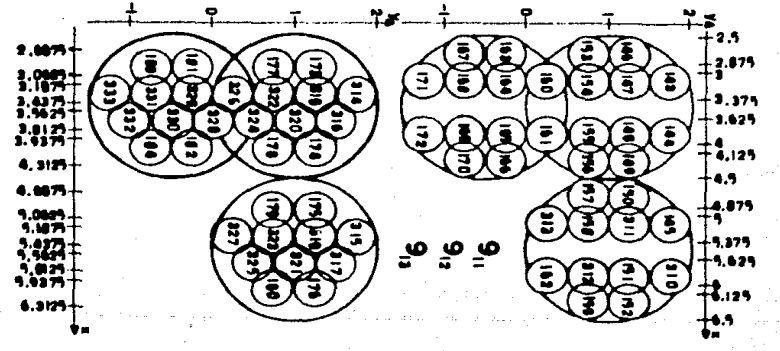
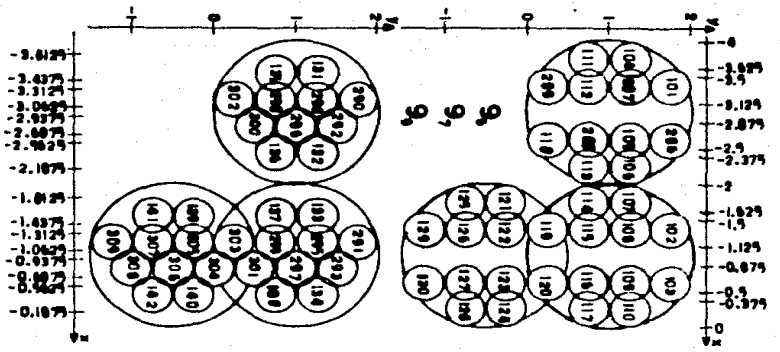
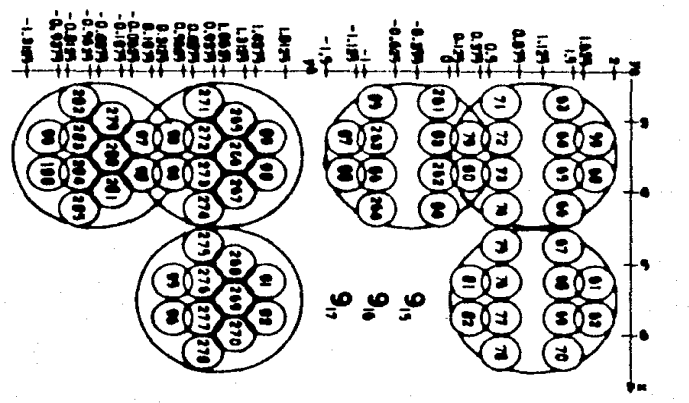
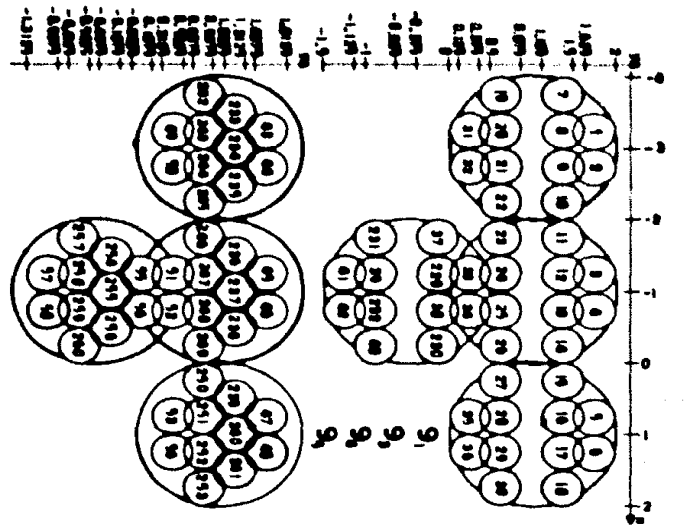


FIG. IV - 22

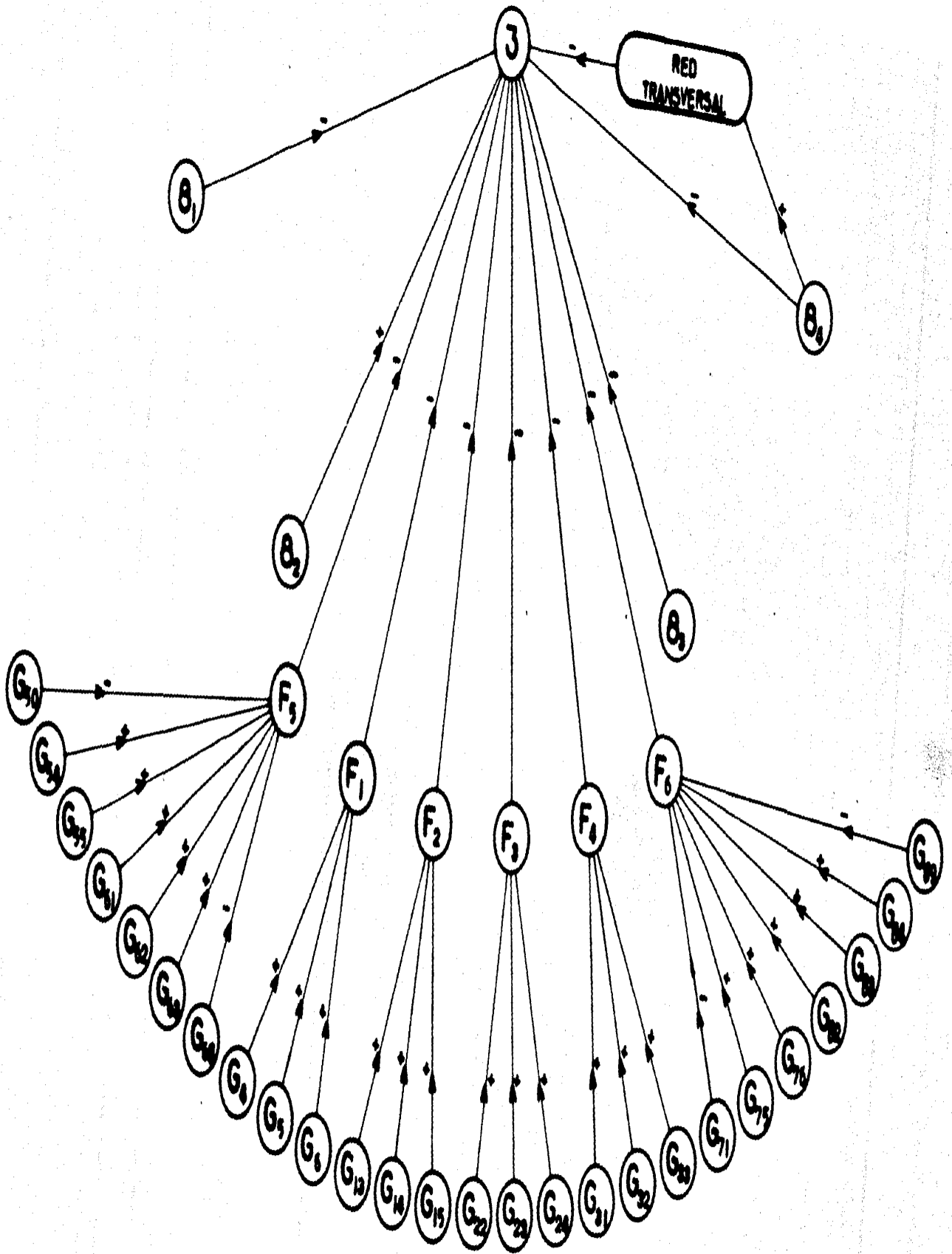


FIG. IV-26

yen las neuronas franja y las neuronas ganglionares que las forman; con ayuda de dicha figura es posible comprender mejor el efecto de las neuronas franja; por ejemplo, la neurona F_1 recibe sinapsis excitatorias de las neuronas G_4 , G_5 y G_6 , de manera que si una rendija estática se ilumina sobre el campo receptivo de estas neuronas ganglionares, responderán y excitarán a la neurona F_1 , la cual después de un tiempo también responderá e inhibirá a la neurona 3, cortando así su respuesta; en cambio, si la rendija que excita a las neuronas ganglionares G_4 , G_5 y G_6 se encuentra en movimiento, éstas responderán únicamente cuando el borde oscureciendo de la rendija pase sobre el contorno (OFF) de su campo receptivo, por lo que la excitación recibida por la neurona F_1 será de poca duración como para hacerla responder y por lo tanto no inhibirá a la neurona 3.

En la figura IV-26 también puede verse que como en el caso de las redes neuronales 1 y 2, se ha usado en la red neuronal 3 una red transversal que permite que el efecto inhibitorio de la neurona 8_4 sea lo suficientemente duradero.

7).- IMPLEMENTACION EN COMPUTADORA: RED NEURONAL 3

En el apéndice A se encuentra el listado completo de la red neuronal 3; las sinapsis involucradas se pueden verificar con ayuda de las figuras IV-25 (tomando en cuenta la figura IV-24) y IV-26. Los valores de umbral y transmisor liberado de cada una de las neuronas se han obtenido en la forma usual y se resumen en la tabla IV-4.

NEURONA	UMBRAL (U)	TRANSMISOR LIBERADO (L)
3	7	10
8 ₁ - 8 ₄	17	15
G ₁ - G ₄₈	7	20
G ₄₉ - G ₅₁	7	60
G ₅₂ - G ₆₆	7	20
G ₆₇ - G ₇₂	7	60
G ₇₃ - G ₈₇	7	20
G ₈₈ - G ₉₁	7	60
G ₉₂ - G ₉₆	7	20
G ₉₇	7	60
F ₁ - F ₄	58	15
F ₅ - F ₆	90	15
T ₁ - T ₆	1	25

TABLA IV-4

8).- NEURONAS 4, 7 Y 10

Hasta el momento se ha hecho uso de todas las neuronas corticales mencionadas al inicio de este capítulo, a excepción de las neuronas 4, 7 y 10; la modelación de éstas no la hemos llevado a cabo por ser de poca trascendencia en nuestro trabajo.

La diferencia más importante entre las neuronas 3 y 4, radica en que esta últi-

ma da una respuesta fuerte a un estímulo estático, de manera que la principal modificación que se haría a la red neuronal 3 para obtener la red neuronal 4 sería la eliminación de las neuronas franja.

La neurona 7 tiene una configuración de campo receptivo y un comportamiento - muy parecido al de las neuronas 8 y 9, por lo que salvo algunas modificaciones la modulación de dicha neurona sería una repetición de la llevada a cabo para las neuronas 8 y 9.

Finalmente, la neurona 10 aparentemente no participa en alguna red neuronal - que permita la identificación de formas, además, como únicamente evoca respuesta a es tículos estáticos puede esperarse que esté relacionada con alguna otra zona del cerebro (tal como la que gobierna la posición de los ojos), cuyo estudio cae fuera de la finali - dad de este trabajo.

CAPITULO V

"RESULTADOS"

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos al simular con ayuda de las redes neuronales desarrolladas en el capítulo anterior, algunos de los experimentos explicados en el capítulo II. En todos los experimentos la escala de tiempo usada es $1 \text{ seg} = 8 \text{ u.t.p.}$ y la excitación de las neuronas ganglionares se obtuvo con el método - ejemplificado en el capítulo IV.

RED NEURONAL 1

Los experimentos simulados con ayuda de la red neuronal 1 se muestran en las figuras V-1 y V-2. En la figura V-1 una lengüeta vertical oscura de 0.5° de ancho se - mueve de abajo hacia arriba a una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$, sobre el campo receptivo de la neurona 1; el experimento se inicia cuando la lengüeta alcanza la posición $\gamma = -2^\circ$, por lo que ésta cruza la región activadora del campo receptivo de la neurona 1 en el - intervalo $4 \text{ seg} < T < 7 \text{ seg}$, o bien, $33 \text{ u.t.p.} \leq T \leq 56 \text{ u.t.p.}$, por lo que se puede - esperar que la neurona 1 evoque una respuesta en ese intervalo; la respuesta obtenida - mediante simulación se muestra en la figura V-1 y aunque es de menor duración a la -- respuesta esperada ($10 \text{ u.t.p.} = 1.25 \text{ seg}$), es comparable a la mostrada en la figura -- II-24, en donde la duración de la respuesta es de aproximadamente 2 segundos. Tam - bién se realizó el experimento de la figura V-1 cuando la lengüeta se mueve de arriba hacia abajo, en este caso no se obtuvo respuesta, tal como era de esperarse de acuerdo a los resultados obtenidos por Hubel y Wiesel (ver capítulo II).

En la figura V-2 una lengüeta horizontal oscura de 0.5° de ancho se mueve de derecha a izquierda a una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$ sobre el campo receptivo de la neurona 1; considerando el inicio del experimento cuando la lengüeta alcanza la posición -

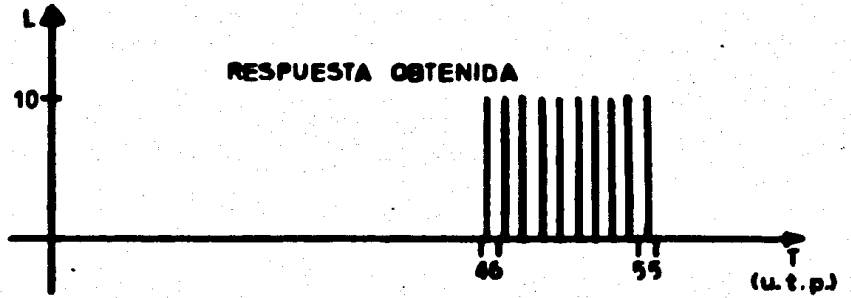
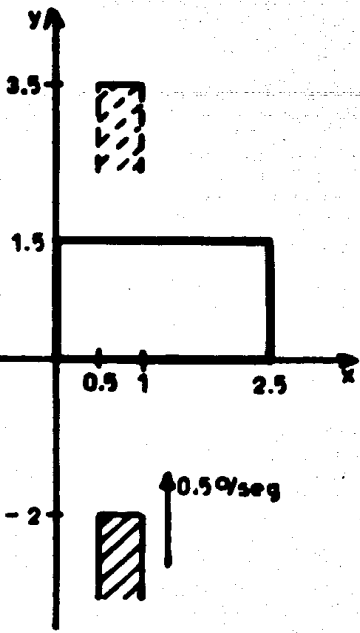


FIG. V-1

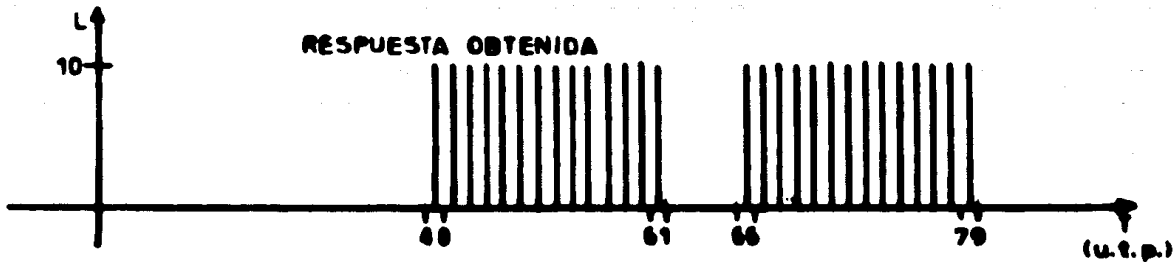
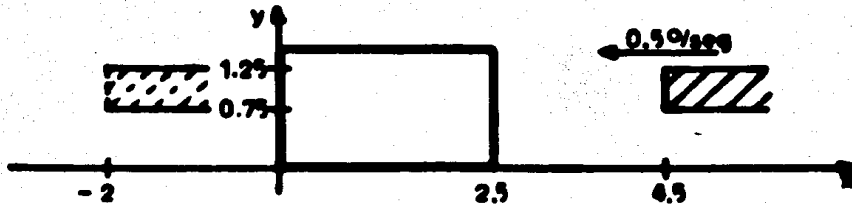


FIG. V-2

$x = 4.5^\circ$ y tomando en cuenta que en el caso de detección de lengüetas horizontales la región activadora del campo receptivo de la neurona 1 mide sólo 2° de base (ver capítulo IV), la respuesta esperada se extiende en el rango $41 \text{ u.t.p.} \leq T \leq 72 \text{ u.t.p.}$ (5 seg $< T < 9$ seg); como puede observarse en la figura V-2 la respuesta obtenida mediante simulación se extiende prácticamente en todo el rango $48 \text{ u.t.p.} \leq T \leq 79 \text{ u.t.p.}$ y tiene por lo tanto la misma duración de la respuesta esperada ($32 \text{ u.t.p.} = 4 \text{ seg}$). Este es el primer experimento en el que se observa claramente un desfazamiento entre la estimulación del campo receptivo y la respuesta evocada; este desfazamiento es debido al que existe entre el estímulo y la respuesta de cada una de las neuronas que constituyen la red neuronal 1. El experimento de la figura V-2 corresponde al de la figura II-25 a, b, c, aunque en este último la velocidad usada, el largo de la región activadora del campo receptivo y el ancho de la lengüeta son diferentes a los de la figura V-2. Una lengüeta igual a la de la figura V-2 moviéndose de izquierda a derecha no evocó respuesta, lo cual era de esperarse ya que la red neuronal 1 se diseñó sujeta a la restricción de que la neurona 1 no evoca respuesta para un estímulo de ese tipo, en el caso de la figura II-25 la respuesta existe, aunque es más débil que la obtenida con una lengüeta moviéndose de derecha a izquierda.

RED NEURONAL 2

Los experimentos simulados con ayuda de la red neuronal 2 se muestran en las figuras V-3 a V-6. En la figura V-3 una lengüeta de 4.5° de ancho con oscuridad arriba, se mueve de arriba hacia abajo sobre el campo receptivo de la neurona 2 a una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$; en la misma figura se muestra la respuesta esperada si el experi--

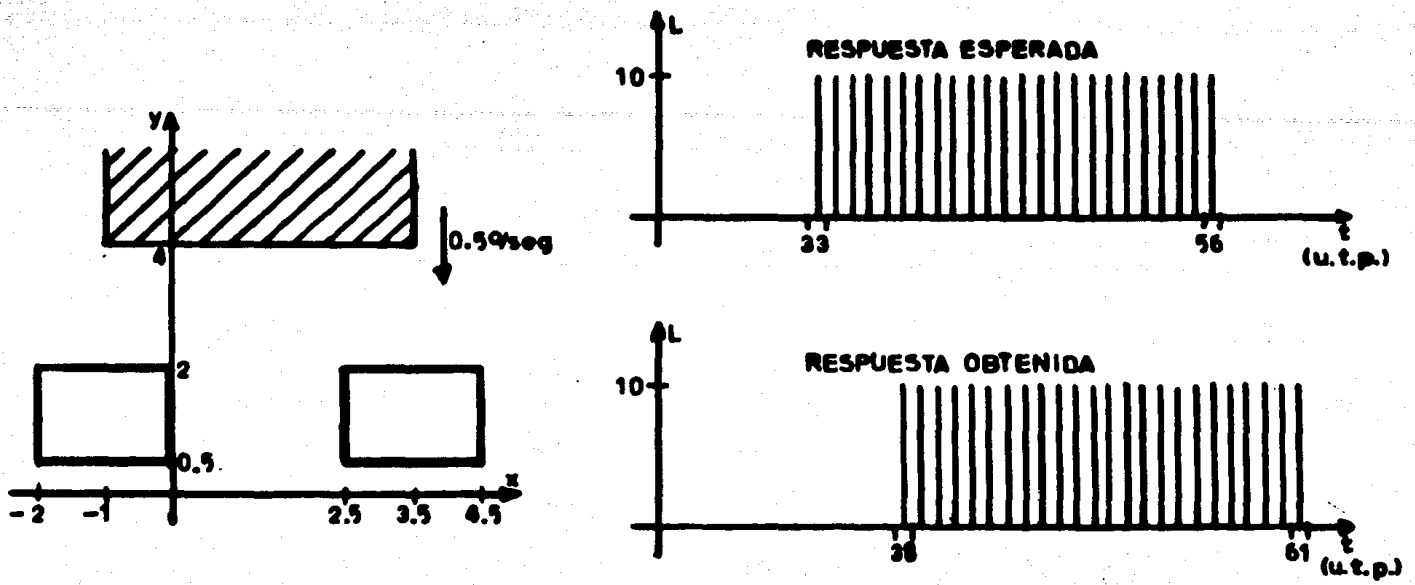


FIG. V-3

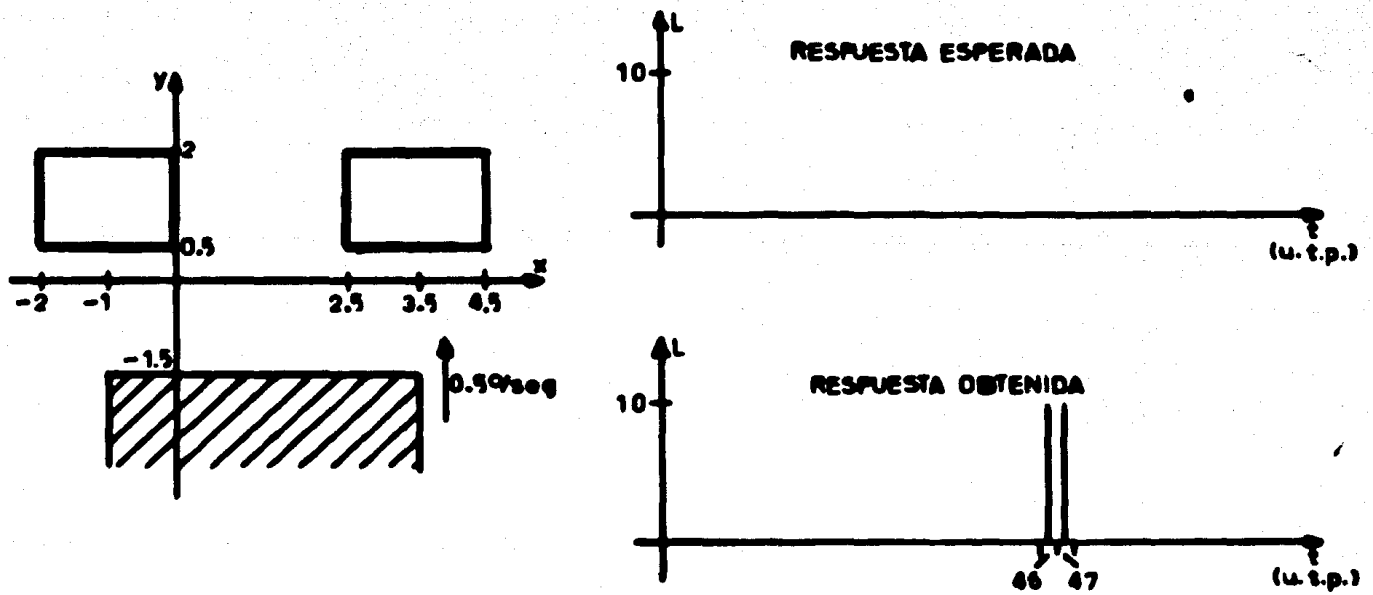


FIG. V-4

mento se inicia cuando la lengüeta alcanza la posición $\gamma = 4^\circ$; la respuesta obtenida se muestra también en la figura V-3 y tiene la misma duración que la respuesta esperada (24 u.t.p. = 3 seg); en este caso se observa nuevamente un desfazamiento entre la estimulación de la parte activadora del campo receptivo de la neurona 2 y la respuesta de ésta, que en este caso es menor al desfazamiento observado en la neurona 1, debido a la menor complejidad de la red neuronal 2. Compárese la respuesta de la neurona 2 mostrada en la figura V-3 con la mostrada en la figura II-22f.

En la figura V-4 una lengüeta de 4.5° de ancho con oscuridad abajo se mueve de abajo hacia arriba sobre el campo receptivo de la neurona 2 a una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$; en este caso la respuesta esperada es nula y la respuesta obtenida es de muy corta duración, por lo que también puede considerarse nula (compárese la duración de esta respuesta con la obtenida en el experimento de la figura V-3); el resultado obtenido en este experimento concuerda con lo obtenido por Hubel y Wiesel (ver capítulo II); la misma lengüeta de la figura V-4 moviéndose de arriba hacia abajo no evocó respuesta en absoluto.

En la figura V-5 una lengüeta de 4.5° de ancho con oscuridad arriba se mueve horizontalmente dentro del campo receptivo de la neurona 2 a una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$, estando colocado el borde inferior de la lengüeta dentro de las regiones activadoras del campo receptivo de la neurona 2. En la misma figura puede observarse que la respuesta obtenida es muy similar a la respuesta esperada; la respuesta obtenida se asemeja también a la mostrada en la figura II-23d. Cuando el borde inferior de la lengüeta de la figura V-5 no se encuentra dentro de las regiones activadoras del campo receptivo de la neurona 2 (Fig. V-6), no se obtiene respuesta en absoluto, lo cual concuerda

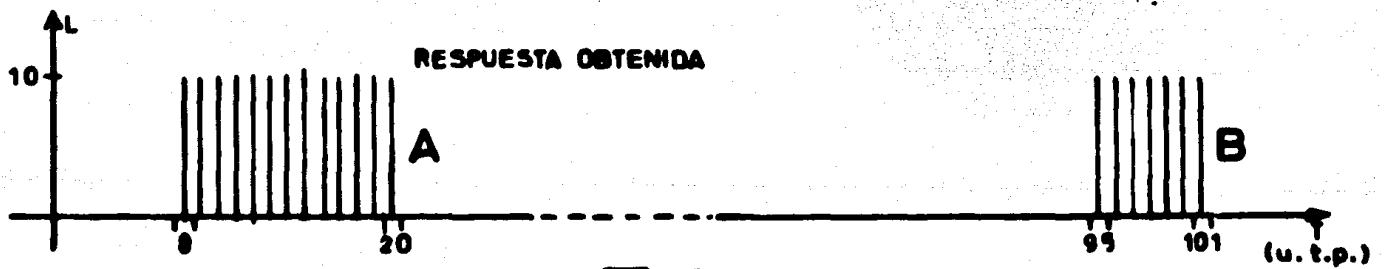
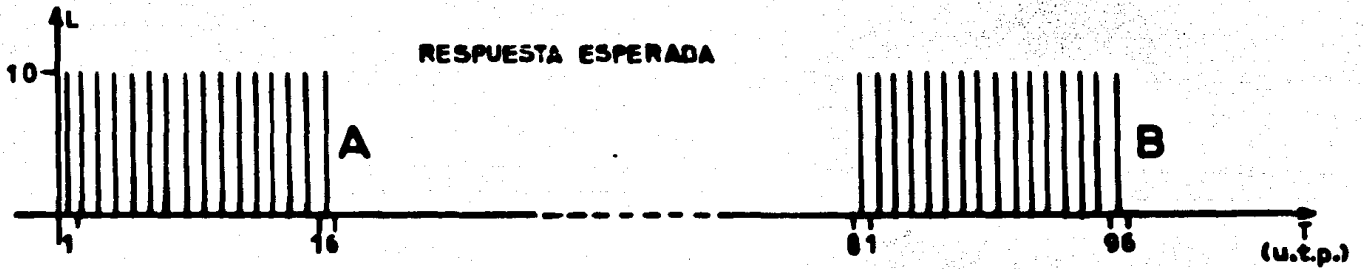
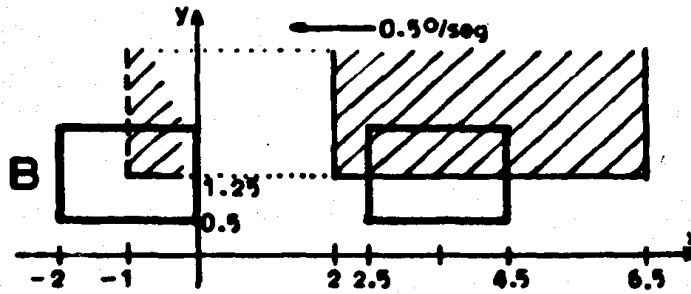
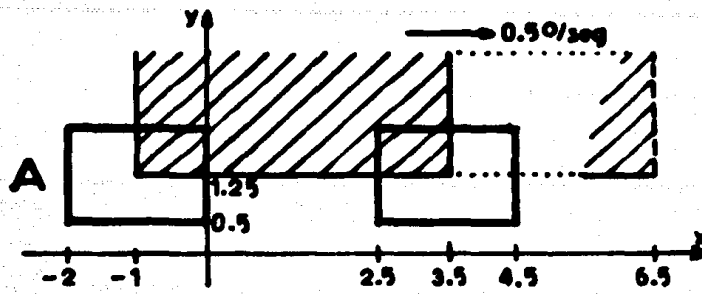


FIG. V - 5

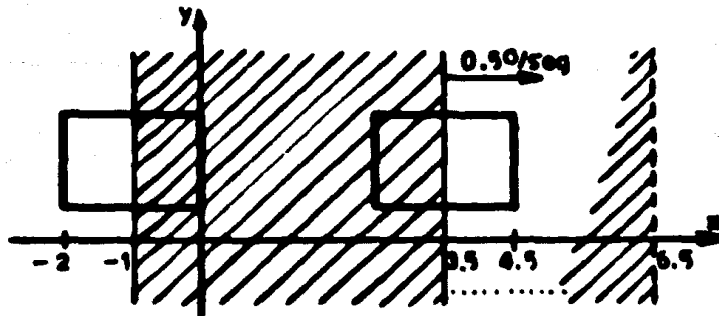


FIG. V - 6

con lo obtenido por Hubel y Wiesel (Fig. II-23c).

RED NEURONAL 3

Los experimentos simulados con ayuda de la red neuronal 3 se muestran en las figuras V-7 a V-11. En la figura V-7 una rejilla horizontal se mueve de arriba hacia abajo sobre el campo receptivo de la neurona 3, a una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$. La rejilla mide 1.5° de base y 0.0625° de altura; el experimento se inicia cuando la rejilla alcanza la posición $y = 2.5^\circ$ y cuando llega a la posición $y = -2.25^\circ$ comienza a moverse de abajo hacia arriba. La respuesta esperada se muestra en la misma figura y corresponde al lapso de tiempo durante el cual la rejilla cruza de arriba hacia abajo la parte activadora del campo receptivo de la neurona 3. En la figura V-7 también se observa la respuesta obtenida mediante simulación nótese que aunque existe una respuesta cuando la rejilla se mueve de abajo hacia arriba, ésta es de muy poca duración ($2 \text{ u.t.p.} = 0.25 \text{ seg}$) y puede considerarse nula. La respuesta obtenida cuando la rejilla se mueve de arriba hacia abajo se extiende prácticamente en todo el rango $14 \text{ u.t.p.} \leq T \leq 39 \text{ u.t.p.}$ ($1.625 \text{ seg} < T < 4.875 \text{ seg}$) y tiene un desfazamiento de $3 \text{ u.t.p.} = 0.375 \text{ seg}$, que es menor al obtenido en las redes neuronales 1 y 2, debido a que la red neuronal 3 es de menor complejidad; la respuesta obtenida se suspende antes del tiempo esperado, debido a que las zonas ON de los campos receptivos de las neuronas 8_2 y 8_3 (que forman parte del campo receptivo de la neurona 3) se superponen, por lo que la excitación causada por la neurona 8_2 , es contrarrestada por la inhibición causada por la neurona 8_4 (ver figura IV-23).

En la figura V-8 se muestra el mismo experimento de la figura V-7 usando una

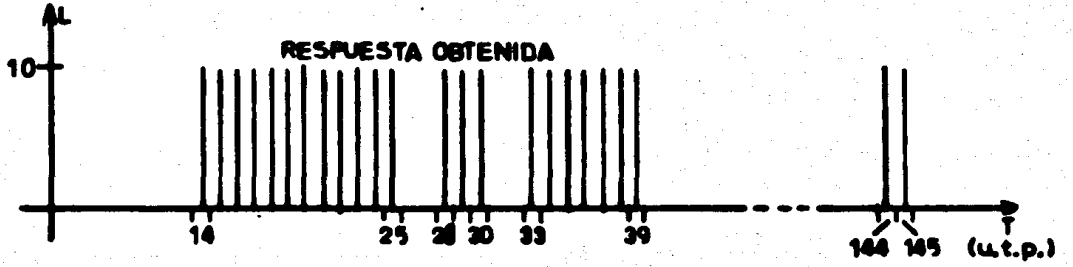
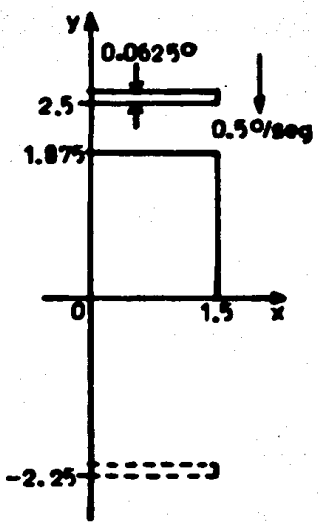


FIG. V - 7

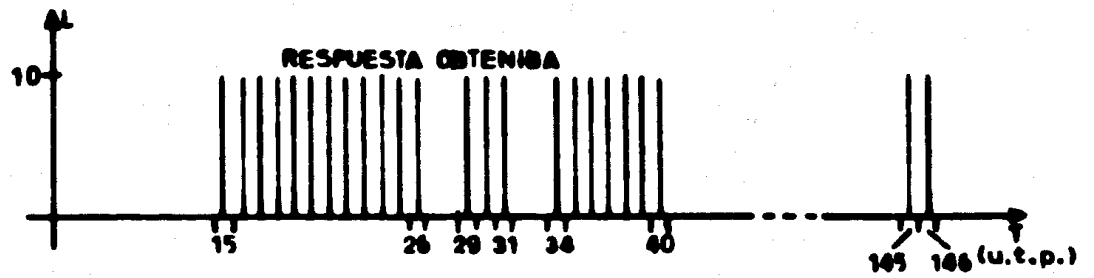
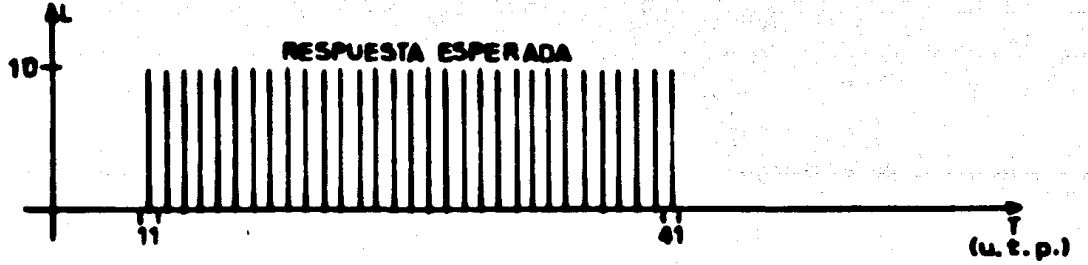
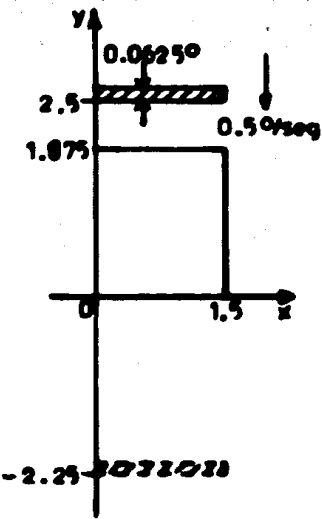


FIG. V - 8

barra en lugar de una rendija; como puede observarse la respuesta obtenida es la misma -- que se obtuvo en el experimento de la figura V-7, aunque el desfazamiento es ligera -- mente mayor (4 u.t.p. = 0.5 seg). Los experimentos de las figuras V-7 y V-8 son simi -- lares respectivamente a los de las figuras II-20a y II-21c.

En la figura V-9 una rejilla horizontal de 4.5° de base y 0.0625° de altura se -- mueve de arriba hacia abajo sobre el campo receptivo de la neurona 3, a una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$. En este caso no se obtuvo respuesta alguna, lo cual era de esperarse ya -- que el estímulo abarca tanto la parte activadora como las partes antagonistas laterales -- del campo receptivo de la neurona 3; compárese con el experimento de la figura II-20f.

En el experimento de la figura V-10 una rejilla vertical de 0.0625° de base y -- 1.875° de altura se mueve de izquierda a derecha sobre el campo receptivo de la neuro -- na 3, a una velocidad de $0.5^\circ/\text{seg}$. La respuesta esperada en este experimento es nula y la respuesta obtenida que también se muestra en la figura V-10 es de muy corta dura -- ción (3 u.t.p. = 0.375 seg), por lo que puede considerarse nula; este resultado era de -- esperarse de acuerdo a lo obtenido por Hubel y Wiesel (ver capítulo II).

Finalmente, en la figura V-11 una rejilla estática de 1.5° de base y 0.0625° -- de altura es iluminada durante un segundo en la parte activadora del campo receptivo -- de la neurona 3. La respuesta esperada es nula y la respuesta obtenida es de muy cor -- ta duración, por lo que también puede considerarse nula. Para llevar a cabo el experi -- mento de la figura V-11 se consideró que la respuesta transitoria de una neurona gan -- glionar a un estímulo estático tiene una duración de 1 seg = 8 u.t.p.; sin embargo, -- aún cuando dicha respuesta transitoria tuviera mayor duración la respuesta evocada -- por la neurona 3 sería la misma ya que la respuesta débil es debida al efecto de las neu --

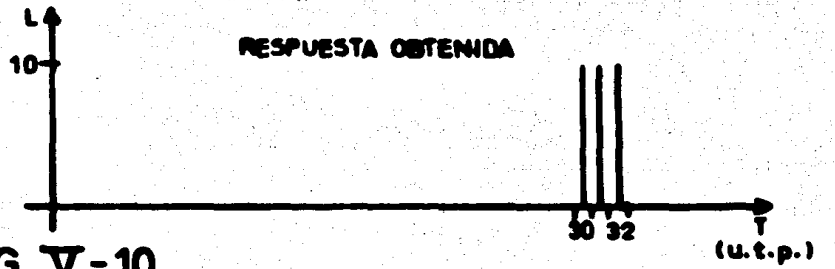
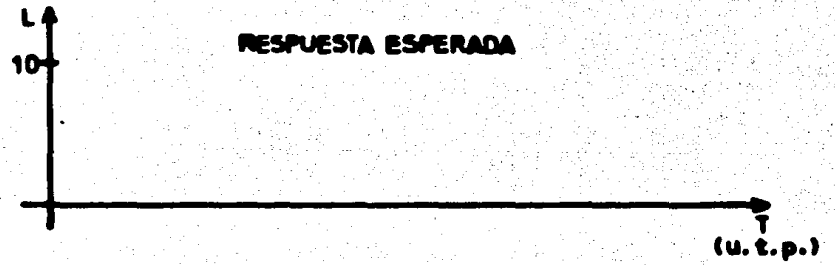
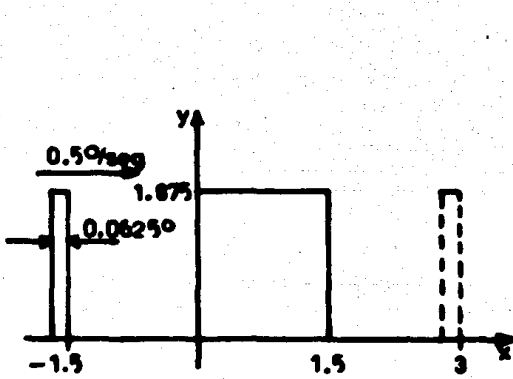
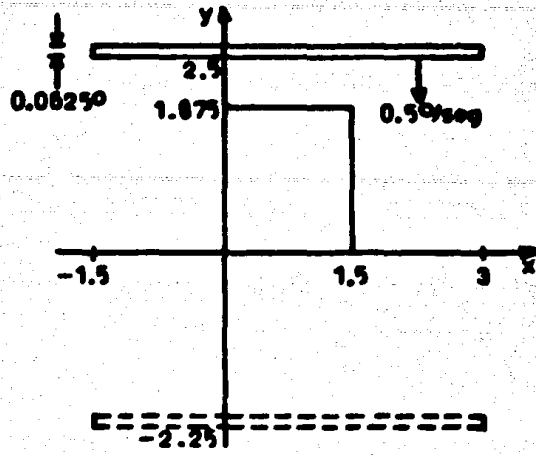


FIG. V-10

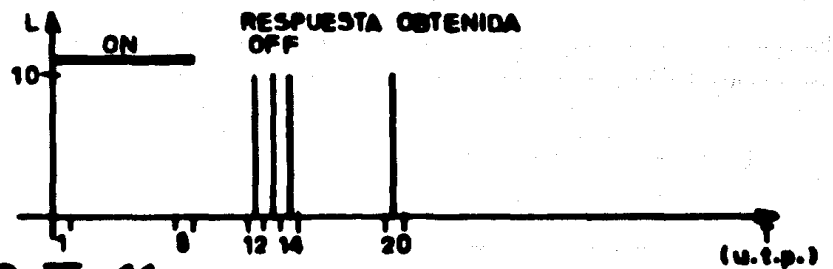
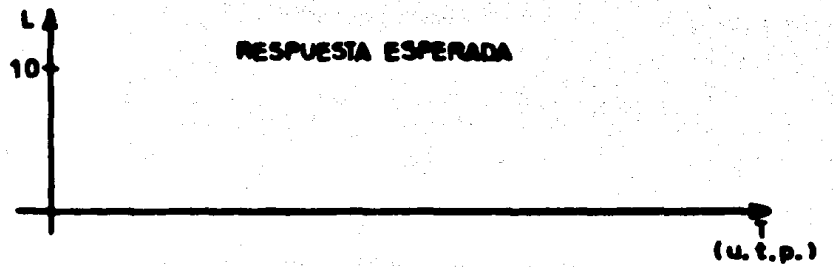
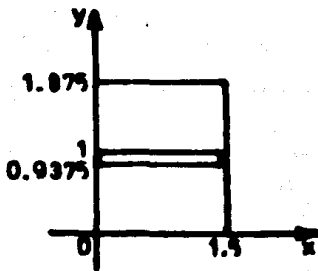


FIG. V-11

ronas franja, las cuales tardan alrededor de 3 u.t.p. (0.375 seg), en evocar una respuesta e inhibir a la neurona 3.

COMENTARIOS

Con los resultados aquí presentados es posible concluir en primera instancia, que los modelos de redes neuronales desarrollados en el capítulo IV cubren satisfactoriamente las características fisiológicas descritas en el capítulo II. Lo anterior no significa que las redes neuronales del sistema visual de los mamíferos tengan necesariamente una configuración igual a la aquí desarrollada, sin embargo creemos que en sus características generales el modelo desarrollado en este trabajo es igual a las redes neuronales reales -- del sistema visual de los mamíferos.

Nuestro modelo tiene en sí algunas características que permiten predecir las características de las redes neuronales reales, tal como la sumación del efecto de los dos bordes que forman una rejilla o una barra, como sucede en los experimentos de la red -- neuronal 3; otra característica muy importante que puede esperarse se encuentre en las -- redes neuronales reales es la forma en que la superposición de los campos receptivos de las neuronas ganglionares permite formar zonas ON u OFF de un tamaño relativamente -- grande, en los campos receptivos de las neuronas corticales simples, tal como los de las neuronas 8 y 9; una característica más de las redes del sistema visual de los mamíferos, -- predecible a partir de nuestro modelo es el arreglo de los campos receptivos de las neuronas simples, que permite formar las partes activadoras y antagonistas de neuronas corticales hipercomplejas (por ejemplo, el campo receptivo de la neurona 6, formado a partir de los campos receptivos de varias neuronas 9), así como el arreglo de los campos re

ceptivos de neuronas simples para ocasionar la selectividad direccional en neuronas corticales hipercomplejas (por ejemplo, la neurona 8₄ que ocasiona la selectividad direccional de la neurona 3). Por último, debemos señalar la posibilidad de que en los sistemas visuales de los mamíferos existan neuronas auxiliares que permitan la "no-detección" de estímulos estáticos (tal como las neuronas franja usadas en la red neuronal 3) o que permitan que el efecto inhibitorio de algunas neuronas sea lo suficientemente efectivo, tal como lo hacen las neuronas transversales.

CAPITULO VI

"PROGRAMA PERIFERICO"

1).- INTRODUCCION

Para la simulación de las redes neuronales descritas en el capítulo IV fué necesario contar con el programa que simula redes o circuitos neuronales (2) desarrollado en una tesis previa a la nuestra. En dicho programa una de las características indispensables en la descripción de una neurona que tiene asociado un agente externo capaz de estimularla, es la entrada externa.

La entrada externa en dicho programa se especifica de la siguiente forma: $X = \text{LINF}, \text{LSUP}, F$; donde "X" es un identificador y LINF, LSUP y F son números enteros que corresponden respectivamente a los límites inferior y superior en el tiempo en que se presenta el agente externo y la frecuencia con que se repite.

En el capítulo IV se ejemplificó un método para obtener la excitación de las neuronas ganglionares de la red neuronal 1, a partir de una lengüeta oscura moviéndose de abajo hacia arriba. Tal excitación es la entrada externa y la lengüeta es el agente externo; el método tiene como finalidad encontrar los límites de excitación en el tiempo, inferior (LINF) y superior (LSUP); la frecuencia se consideró unitaria, debido a que el estímulo se presentaba en forma continua.

El método aunque lógico, se torna tedioso cuando se requiere calcular las entradas externas para todas las neuronas ganglionares de la red, ya que para cada neurona hay que determinar si es excitada por tal estímulo, y en caso de serlo, calcular los tiempos. El proceso de obtención de las entradas externas debe realizarse para cada estímulo en particular, lo cual hace lento y complicado llevar a cabo cada nuevo experimento. Por los inconvenientes anteriores se pensó en la necesidad de crear un progra-

ma en computadora digital que cubriera los siguientes aspectos:

- a).- Fácil de usar.
- b).- Capaz de determinar las entradas externas de las neuronas ganglionares para un cierto estímulo.
- c).- Que use el método empleado en el capítulo IV.
- d).- Que sea versátil en el tipo de estímulos.
- e).- Que interactúe en forma automática con el programa de simulación de redes neuronales.
- f).- Hecho en algún lenguaje de programación que permita usar la técnica de la programación estructurada.

Los incisos (a), (b), (d) y (e) se justifican pensando en que las personas que lo utilicen pueden no tener conocimientos en programación de computadoras. El inciso (c) se justifica porque el modelo que simulamos en esta tesis usa el método ejemplificado en el capítulo IV, el cual se basa en los postulados del capítulo III. Por último, el inciso (f) es necesario para facilitar el análisis, desarrollo, claridad y entendimiento del programa.

Los lenguajes que pueden ser escritos con la técnica de la programación estructurada (16) son principalmente el ALGOL, PASCAL, PL/1 y en menor grado el FORTRAN.

El programa se escribió en ALGOL pues presenta características propias muy poderosas, tales como el manejo de archivos, caracteres, apuntadores, gran cantidad de funciones, etc., lo cual facilita la programación (3) (10). Este lenguaje es además ampliamente conocido por la comunidad universitaria de la U.N.A.M. Los lenguajes PASCAL y PL/1 también se ajustan a los requerimientos, pero tienen la desventaja de -

no ser muy conocidos. EL FORTRAN aunque también es muy conocido, es el que presenta más limitaciones. Por último, el ALGOL ofrece también la ventaja de la compatibilidad (aunque esto no es estrictamente necesario), pues como se verá más adelante, el programa por nosotros desarrollado se puede considerar como un periférico del programa de simulación de redes neuronales llamado FATSYDUCK, el cual también está escrito en ALGOL.

La computadora usada fue la Burroughs 6700 instalada en el Centro de Servicios de Cómputo de la U.N.A.M.

2).- ORGANIZACION Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El programa para la obtención de las entradas externas de las neuronas ganglionares llamado ESTIMULA, necesita, para poder simular los modelos del capítulo IV, de ciertos archivos de datos, así como del programa FATSYDUCK. El conjunto se muestra en la forma de un sistema en la figura VI-1, en ella se puede observar que el programa FATSYDUCK requiere de tres archivos de datos llamados DATOSSIMULACION, DATOSNEURONAS y DATOSIMPRESION, los cuales ya fueron mencionados y explicados en el capítulo I.

El archivo DATOSNEURONAS contiene la red neuronal completa a simular, -- siendo las neuronas ganglionares un subconjunto de esta red; para que este archivo esté completamente descrito se necesita que en las neuronas ganglionares aparezca la entrada externa "X" con sus valores LINF, LSUP y F; el programa ESTIMULA se encarga de determinar estos valores. El programa ESTIMULA crea el archivo completo de DATOSNEURONAS así como el de DATOSSIMULACION, esto último debido a que dicho pro-

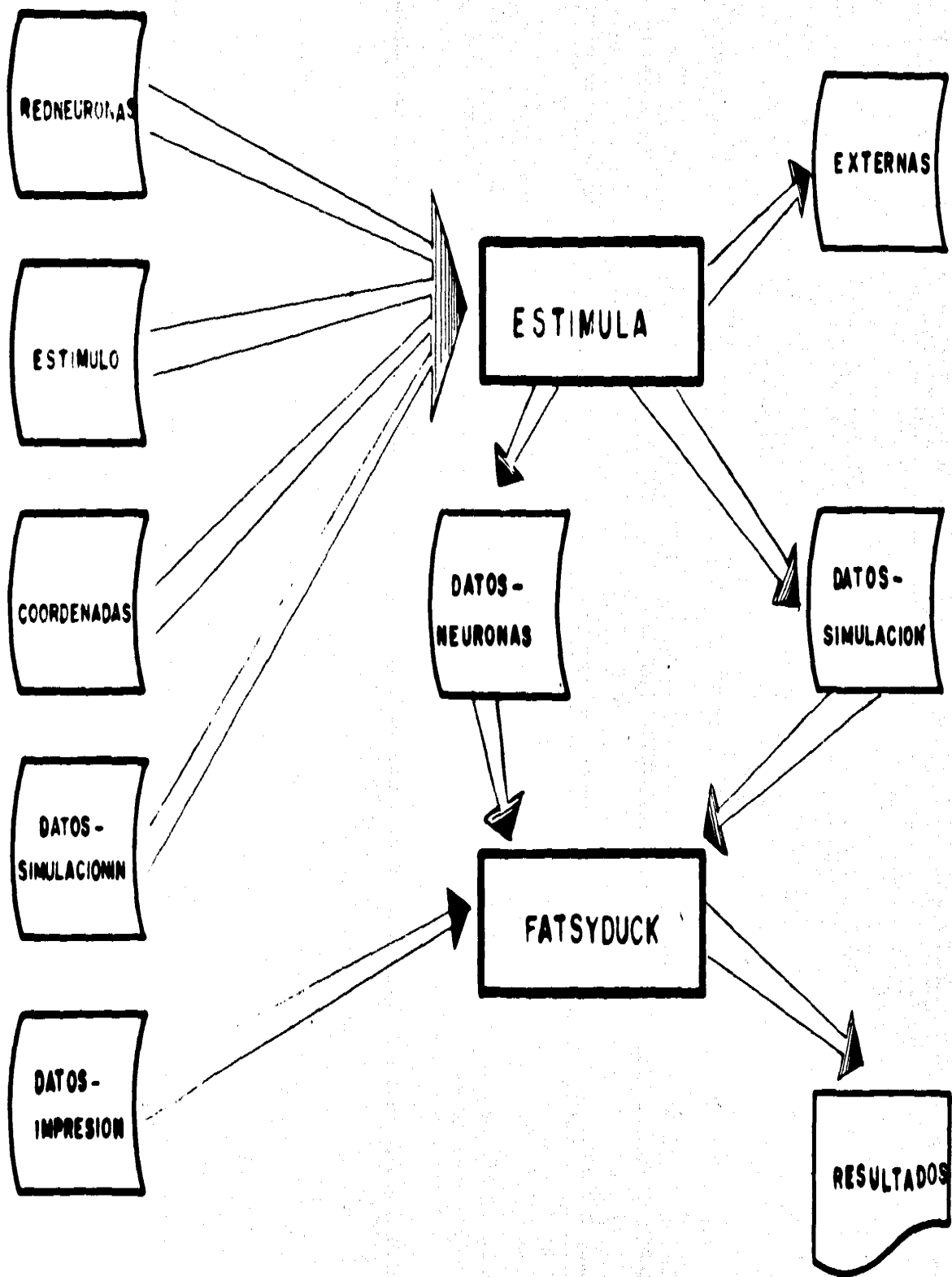


FIG. VI-1

grama determina el tiempo máximo de la simulación; este programa necesita de cuatro archivos de datos: RED NEURONAS, ESTIMULO, COORDENADAS Y DATOSSIMULACIONIN.

Los archivos RED NEURONAS Y DATOSSIMULACIONIN son archivos incompletos, el primero es en sí la red neuronal necesaria para la simulación, en el cual se describen todas las neuronas involucradas con todas las características necesarias, tales como umbral, tipo, entradas, transmisor liberado, etc., a excepción de la entrada externa de las neuronas ganglionares. Como se mencionó anteriormente, el programa ESTIMULA determina el tiempo de simulación, por lo que el archivo DATOSSIMULACION tendrá únicamente dos datos: el número máximo de neuronas y el tipo de simulación.

Para que el programa ESTIMULA determine el tiempo máximo de simulación y las entradas externas de las neuronas ganglionares, requiere de los archivos ESTIMULO y COORDENADAS, en los que se especifican respectivamente los datos del estímulo y las coordenadas del centro de los campos receptivos de las neuronas ganglionares.

La razón por la que el programa ESTIMULA se ha considerado como un programa periférico del programa FATSYPDUCK es porque parcialmente crea dos archivos de datos necesarios a este último. El archivo DATOSIMPRESION lo determina completamente el usuario de acuerdo a sus necesidades. Por último, el programa ESTIMULA crea también un archivo temporal llamado EXTERNAS, el cual será explicado posteriormente.

Debe hacerse notar que el programa ESTIMULA automáticamente ordena la ejecución del programa FATSYPDUCK, una vez que se han creado completamente los archi-

vos DATOSSIMULACION y DATOSNEURONAS (el archivo DATOSIMPRESION ya debe estar presente).

En el apéndice B se proporciona un instructivo de usuario para utilizar el sistema de la figura VI-1.

3).- ESTIMULOS Y SUS CARACTERISTICAS

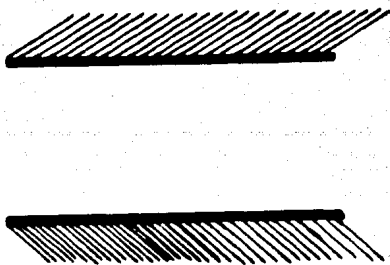
Para poder crear el programa ESTIMULA fue necesario definir primero qué tipo de estímulos se deberían considerar. Los agentes externos o estímulos que se eligieron son los siguientes:

- 1.- Bordes
- 2.- Lengüetas
- 3.- Barras y rejillas de largo infinito
- 4.- Esquinas
- 5.- Barras y rejillas de longitud finita.

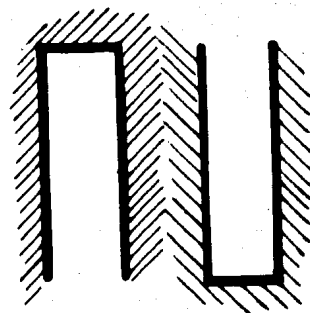
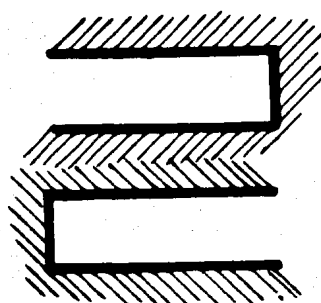
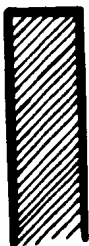
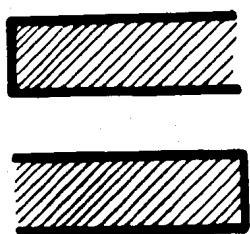
Los primeros cuatro estímulos presentan una o más aristas de largo infinito. -- Los estímulos anteriores se eligieron por su generalidad, ya que cubren los estímulos -- usados por Hubel y Wiesel en sus experimentos más importantes.

Los estímulos elegidos están representados en la figura VI-2 en todas sus posiciones posibles. Estos cinco tipos de estímulos pueden ser oscuros o iluminados, los que a su vez se clasifican en dinámicos y estáticos.

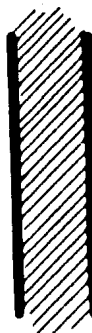
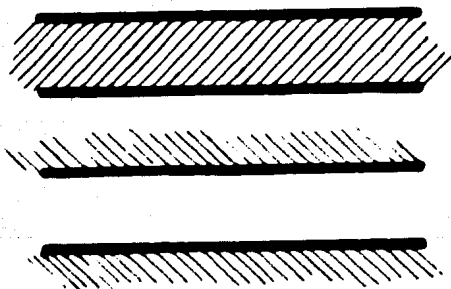
Los estímulos dinámicos son aquellos que presentan movimiento, ya sea "unidireccional" o "bidireccional" con respecto a un eje del plano cartesiano. Los estímulos estáticos no presentan movimiento alguno, pero consideran: a).- el estado inicial del



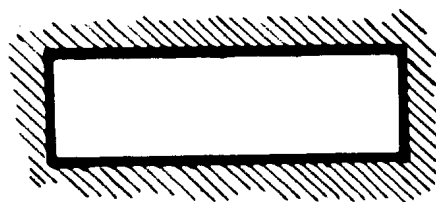
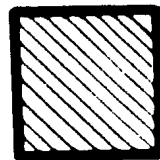
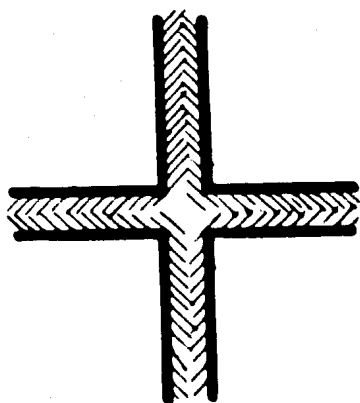
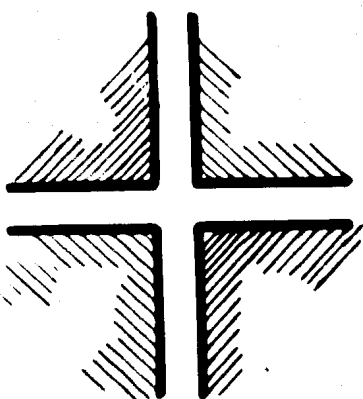
B O R D E S



L E N G Ü E T A S



B A R R A S O R E J I L L A D E L A R G O I N F I N I T O



E S Q U I N A S

B A R R A S O R E J I L L A S

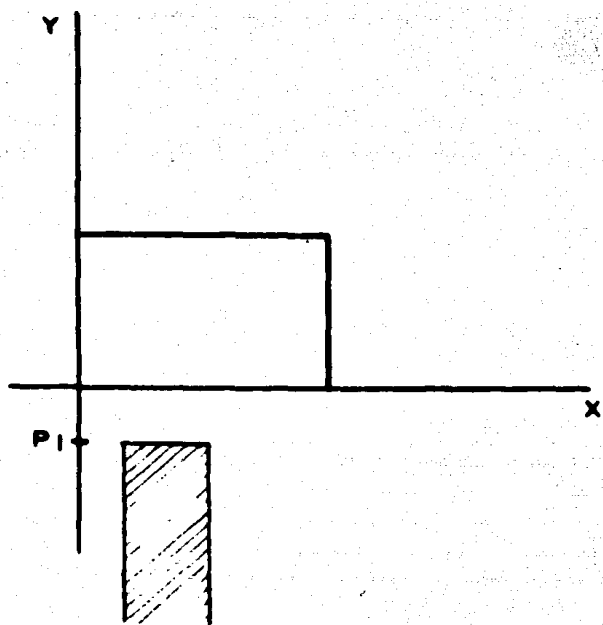
FIG. VI-2

campo receptivo de la neurona sobre la cual actúan; b).- el tiempo total de permanencia del estímulo, el cual puede ser finito o "infinito"; c).- el estado final del campo receptivo (que puede ser igual o diferente del estado inicial), en caso de que la permanencia del estímulo sea finita.

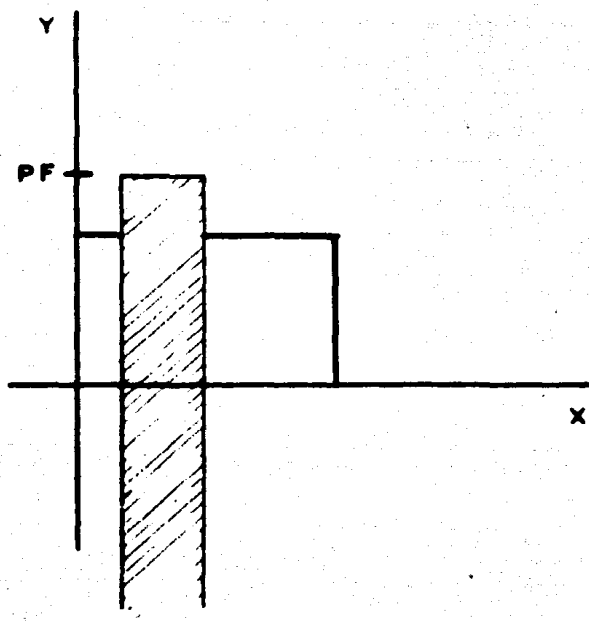
En la figura VI-3 se muestran dos estímulos dinámicos oscuros; actuando sobre un campo receptivo cualquiera. Los incisos (a) y (b) muestran a una lengüeta moviéndose unidireccionalmente en la dirección del eje "y", el movimiento se inicia en el punto P_i . Los incisos (c), (d) y (e) muestran a una barra moviéndose bidireccionalmente en la dirección del eje "x", iniciándose el movimiento en P_i , alcanzando una posición extrema P_e y finalizando en P_f .

Un estímulo estático iluminado actuando sobre un campo receptivo cualquiera, se muestra en la figura VI-4. En el inciso (a) está representado el campo receptivo con un cierto estado inicial, en este caso oscuro; después de un cierto tiempo t_1 aparece el estímulo (b), el cual continúa hasta un cierto tiempo t , muy grande o infinito (c), siendo $t - t_1$ el tiempo de permanencia del estímulo. En los incisos (d), (e), (f), (g) y (h) se considera el mismo campo receptivo inicialmente oscuro (d); en t_1 aparece el estímulo (e) y permanece hasta un cierto tiempo t_2 (f), en el cual desaparece, quedando el campo receptivo en un estado final (g) y (h), en este caso iluminado; el tiempo total de permanencia del estímulo es $t_2 - t_1$ y el tiempo de permanencia del estado final es $t_3 - t_2$.

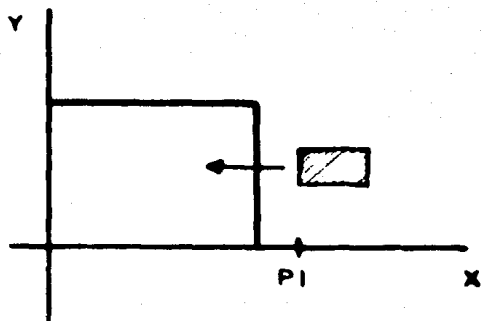
Para cada tipo de estímulo estático existen seis casos, dependiendo de la duración del estímulo y de los estados inicial y final del campo receptivo; los dos primeros son aquellos en que el estímulo permanece "indefinidamente", siendo éstos:



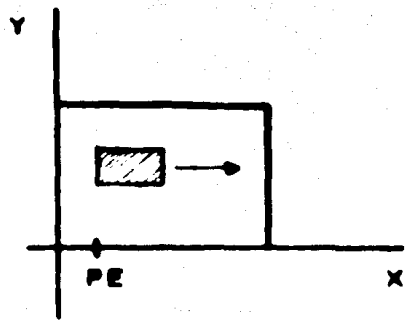
(a)



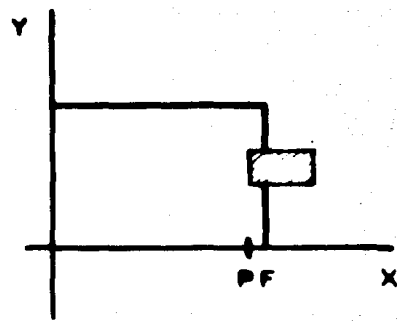
(b)



(c)



(d)



(e)

FIG. VI-3

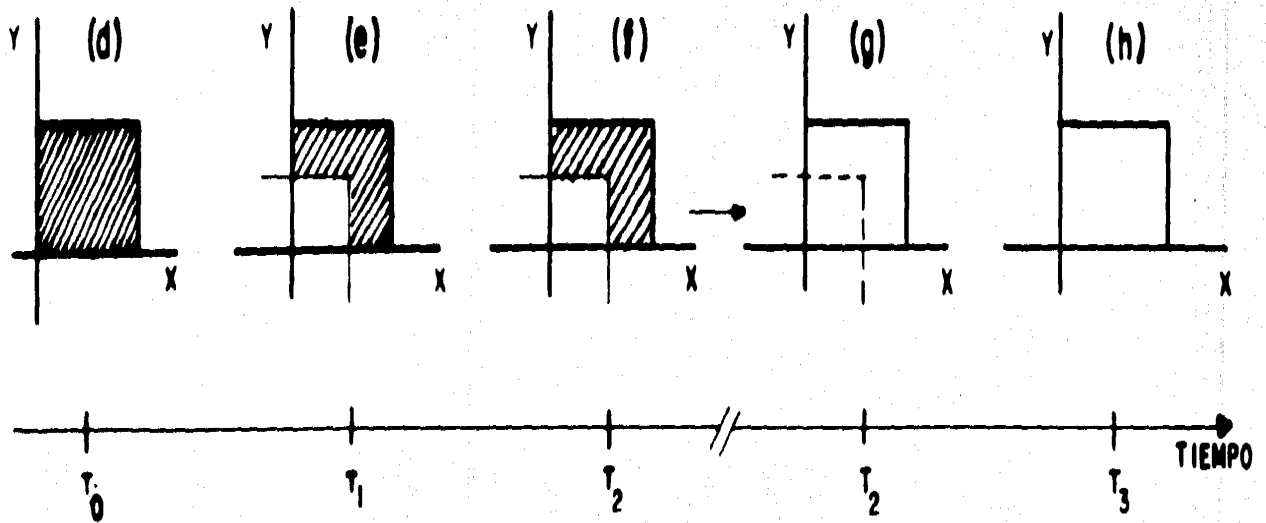
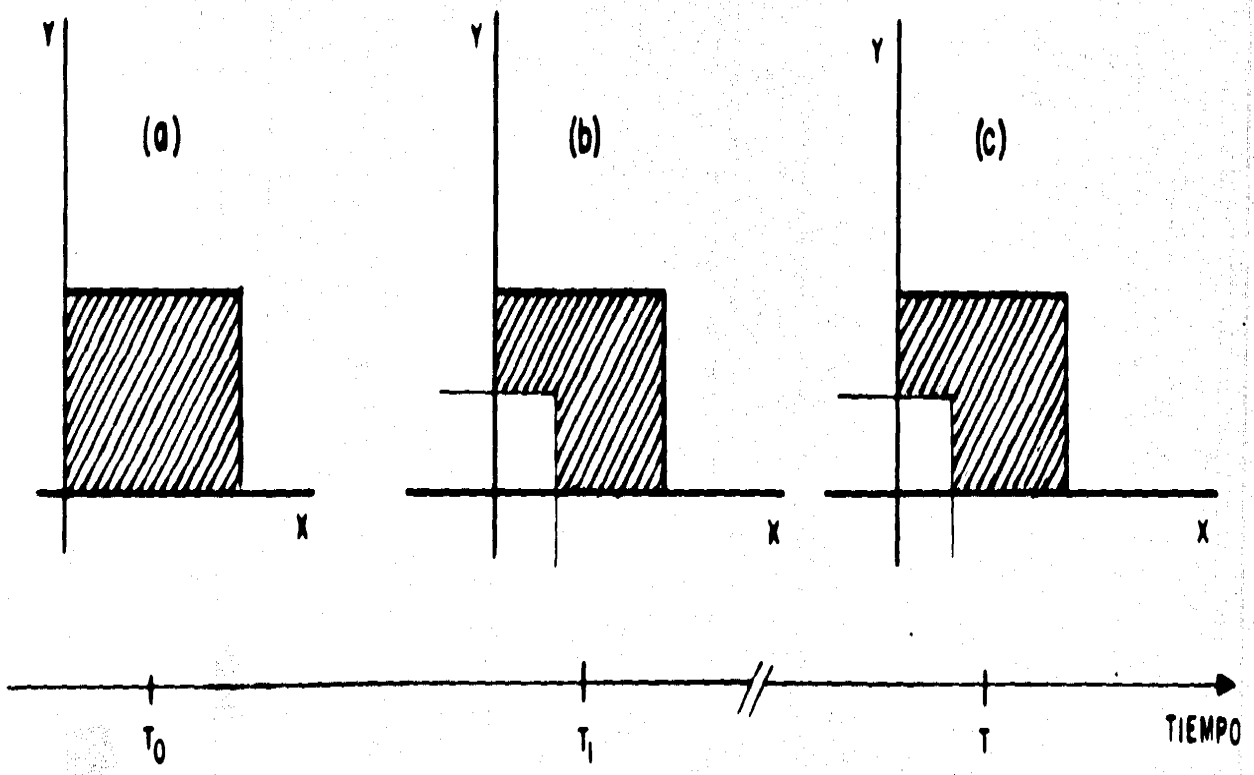


FIG. VI-4

- estado inicial oscuro, estímulo iluminado;
- estado inicial iluminado, estímulo oscuro;

los cuatro restantes son aquellos en los que el estímulo tiene duración finita:

- estado inicial oscuro, estímulo iluminado, estado final iluminado;
- estado inicial oscuro, estímulo iluminado, estado final oscuro;
- estado inicial iluminado, estímulo oscuro, estado final iluminado;
- estado inicial iluminado, estímulo oscuro, estado final oscuro.

Tanto en los estímulos estáticos como en los dinámicos se debe tomar en cuenta el postulado 3 del capítulo III, el cual dice que debe existir una variación en la diferencia de iluminación entre el centro y el contorno del campo receptivo de la neurona ganglionar, para que ésta responda.

4).- CONDICIONES ESPACIALES

Como ya se ha mencionado existen dos tipos de neuronas ganglionares: las ON-OFF y las OFF-ON; la respuesta de ellas depende directamente de la iluminación u oscuridad del estímulo y del campo receptivo considerado. Por ejemplo, en la figura VI-3 (incisos c, d y e) se muestra el caso de un estímulo (barra) que por sus características dinámicas y espaciales hace que respondan tanto las neuronas ganglionares ON-OFF como las OFF-ON. Las neuronas ganglionares ON-OFF responderán al borde izquierdo y las OFF-ON al borde derecho de la barra, cuando el movimiento sea de derecha a izquierda; desde el momento en que se inicie el movimiento de izquierda a derecha las neuronas ON-OFF responderán al borde derecho y las OFF-ON al borde izquierdo de la barra. La barra y la rejilla son los estímulos más generales, pues presen

tan todas las características de los otros estímulos; por ejemplo, una esquina de una barra es por sí misma el estímulo esquina. Por esta razón, en las siguientes descripciones de las condiciones espaciales que debe cumplir el campo receptivo de una neurona ganglionar para que ésta sea excitada, se considerará que el estímulo actuante es una barra.

Estímulos dinámicos

En forma general, las neuronas ganglionares que responden al borde izquierdo o al borde inferior de una barra en movimiento, deben cumplir con las siguientes condiciones:

Condición 1.- Cuando la coordenada "x" o "y" de la posición extrema o final del estímulo es menor que la inicial (movimiento de derecha a izquierda o de arriba hacia abajo):

$$\text{CORDXY} - \text{DIAMCONT}/2 < \text{PI}$$

$$\text{CORDXY} + \text{DIAMCONT}/2 < \text{PFE}$$

Condición 2.- Cuando la coordenada "x" o "y" de la posición extrema o final del estímulo es mayor que la inicial (movimiento de izquierda a derecha o de abajo hacia arriba):

$$\text{CORDXY} + \text{DIAMCONT}/2 > \text{PI}$$

$$\text{CORDXY} - \text{DIAMCONT}/2 < \text{PFE}$$

Condición 3.- Respecto a la forma del estímulo:

$$\text{POSINXY} \leq \text{CORDREST} \leq \text{POSINXY} + \text{ANCHO}$$

En donde:

CORDXY es la coordenada en "x" (CORDX) del centro del campo receptivo de la neurona ganglionar cuando el movimiento es en la dirección del eje "x", o bien, es

la coordenada en "y" (CORDY) cuando el movimiento es en la dirección del eje "y".

DIAMCONT es el diámetro del contorno del campo receptivo de la neurona ganglionar.

CORDREST es la coordenada en "x" (CORDX) o en "y" (CORDY) del centro del campo receptivo de la neurona ganglionar, dependiendo de si el movimiento es en la dirección del eje "y" o en la del eje "x", respectivamente.

PI es la posición inicial del estímulo.

PFE es la posición final (PF) o extrema (PE), del estímulo.

POSINXY es la posición inicial en "x" (POSINX) o en "y" (POSINY) del estímulo, dependiendo de si el movimiento es en la dirección del eje "y" o en la del eje "x" respectivamente.

ANCHO es la dimensión vertical (DIMVER) u horizontal (DIMHOR) del estímulo, dependiendo de si el movimiento es en la dirección del eje "x" o en la del eje "y" respectivamente.

Las condiciones anteriores aseguran que los campos receptivos de las neuronas ganglionares se encuentren (por lo menos parcialmente), dentro del área barrida por el borde izquierdo o por el borde inferior, de la barra, dependiendo respectivamente de si el movimiento es en la dirección del eje "x" o del eje "y". La condición 1 se aplica a las neuronas ganglionares ON-OFF y la condición 2 a las neuronas ganglionares OFF-ON, mientras que la condición 3 se aplica a cualquiera de ellas. El programa ESTIMULA se encarga de aplicar las condiciones anteriores habiendo determinado previamente cuál tipo de neurona ganglionar es la que es excitada.

Para el caso de los bordes derecho y superior de una barra en movimiento las -

condiciones son similares a las anteriores, aunque debe sustituirse PI por PI + DIMVER y PFE por PFE + DIMVER si el movimiento es en la dirección del eje "x", o bien, PI por PI + DIMHOR y PFE por PFE + DIMHOR si el movimiento es en la dirección del eje "y"; las sustituciones anteriores se deben a que las posiciones inicial, final y extrema del estímulo se especifican mediante las coordenadas del vértice inferior izquierdo del mismo, en cada una de dichas posiciones. Debe mencionarse además que para el caso de los bordes derecho y superior de una barra en movimiento la condición 1 se aplica a las neuronas ganglionares OFF-ON y la condición 2 a las neuronas ganglionares ON-OFF.

Bajo pequeñas adaptaciones las condiciones anteriores se aplican también a los otros tipos de estímulos.

Volviendo a la barra de la figura VI-3, las neuronas ganglionares excitadas por el borde izquierdo deben cumplir con las siguientes condiciones:

De PI a PE (neuronas ON-OFF):

$$\text{CORDX} - \text{DIAMCONT}/2 < \text{PI}$$

$$\text{CORDX} + \text{DIAMCONT}/2 > \text{PE}$$

De PE a PF (neuronas OFF-ON):

$$\text{CORDX} + \text{DIAMCONT}/2 > \text{PE}$$

$$\text{CORDX} - \text{DIAMCONT}/2 < \text{PF}$$

Mientras que las neuronas ganglionares excitadas por el borde derecho deben cumplir con:

De PI a PE (neuronas OFF-ON):

$$\text{CORDX} - \text{DIAMCONT}/2 < \text{PI} + \text{DIMHOR}$$

$$\text{CORDX} + \text{DIAMCONT}/2 > \text{PE} + \text{DIMHOR}$$

De PE a PF (neuronas ON-OFF):

$$\text{CORDX} + \text{DIAMCONT}/2 > \text{PE} + \text{DIMHOR}$$

$$\text{CORDX} - \text{DIAMCONT}/2 < \text{PF} + \text{DIMHOR}$$

Además, en todos los casos se debe cumplir con la siguiente condición:

$$\text{POSINY} \leq \text{CORDY} \leq \text{POSINY} + \text{DIMVER}$$

Como último ejemplo consideremos la esquina que se muestra en la figura VI-5;

para tal estímulo las condiciones son:

$$\text{CORDX} - \text{DIAMCONT}/2 < \text{PI}$$

$$\text{CORDX} + \text{DIAMCONT}/2 > \text{PF}$$

$$\text{CORDY} \leq \text{POSINY}$$

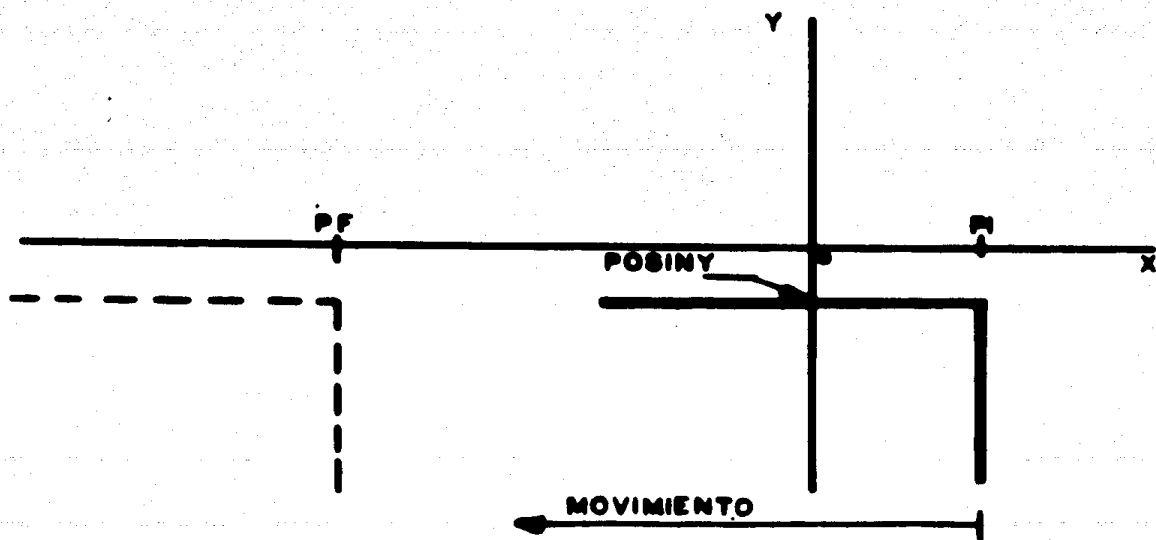


FIG. VI-5

Estímulos estáticos

En el caso de un estímulo estático que permanece indefinidamente, las condiciones deben considerar el diámetro del centro del campo receptivo así como el del contorno. Para una barra estática las condiciones que deben cumplir las neuronas ganglionares para ser excitadas, dependerán de los cuatro bordes de la barra, tales condiciones son:

Condición A:

$$\text{CORDY} - \text{DIAMCENT}/2 \geq \text{POSINY} + \text{DIMVER}$$

$$\text{POSINY} + \text{DIMVER} > \text{CORDY} - \text{DIAMCONT}/2$$

Condición B:

$$\text{CORDX} - \text{DIAMCENT}/2 \geq \text{POSINX} + \text{DIMHOR}$$

$$\text{POSINX} + \text{DIMHOR} > \text{CORDX} - \text{DIAMCONT}/2$$

Condición C:

$$\text{CORDY} + \text{DIAMCENT}/2 \leq \text{POSINY}$$

$$\text{POSINY} < \text{CORDY} + \text{DIAMCONT}/2$$

Condición D:

$$\text{CORDX} + \text{DIAMCENT}/2 \leq \text{POSINX}$$

$$\text{POSINX} < \text{CORDX} + \text{DIAMCONT}/2$$

En donde:

POSINX y POSINY son las coordenadas del vértice inferior izquierdo de la barra.

CORDX y CORDY son las coordenadas del centro del campo receptivo de la neurona ganglionar.

DIAMCENT y DIAMCONT son los diámetros del centro y del contorno del cam

po receptivo de la neurona ganglionar.

DIMHOR y DIMVER son las dimensiones horizontal y vertical de la barra.

Las condiciones A, B, C y D son las producidas respectivamente por los bordes superior, derecho, inferior e izquierdo de la barra; dichas condiciones aseguran que únicamente una parte del contorno del campo receptivo de la neurona ganglionar se encuentra dentro del área cubierta por la barra, de manera que una neurona ganglionar no es excitada cuando tanto el centro como el contorno de su campo receptivo se encuentran dentro del área cubierta por la barra. Las condiciones anteriores se aplican a las neuronas ganglionares ON-OFF cuando el estímulo es una barra y a las neuronas ganglionares OFF-ON cuando el estímulo es una rejilla.

En el caso de los estímulos estáticos de duración finita, como los que se muestran en la figura VI-6, las neuronas ganglionares que serán excitadas dependerán también del estado final del campo receptivo. En el inciso (a) de dicha figura se muestra un campo receptivo iluminado donde aparece una barra oscura (b), haciendo responder a las neuronas ganglionares ON-OFF que cumplan con las condiciones A, B, C y D; posteriormente el estímulo desaparece, cambiando el estado del campo receptivo a completamente iluminado (c), excitándose entonces las neuronas ganglionares OFF-ON que estén localizadas alrededor de los bordes del estímulo (condiciones A, B, C y D), es decir, aquellas en las que únicamente es activado su contorno (ON). En forma similar responden las neuronas ganglionares de los incisos (j), (k) y (l) de la figura VI-6, pero en este caso responden primero las OFF-ON (k) y posteriormente las ON-OFF (l).

En el caso de los incisos (d), (e), (f), (g), (h) e (i) de la figura VI-6 las condiciones A, B, C y D se aplicarán cuando aparece el estímulo, pero no será así cuando --

EDO. INICIAL

ESTIMULO

EDO. FINAL

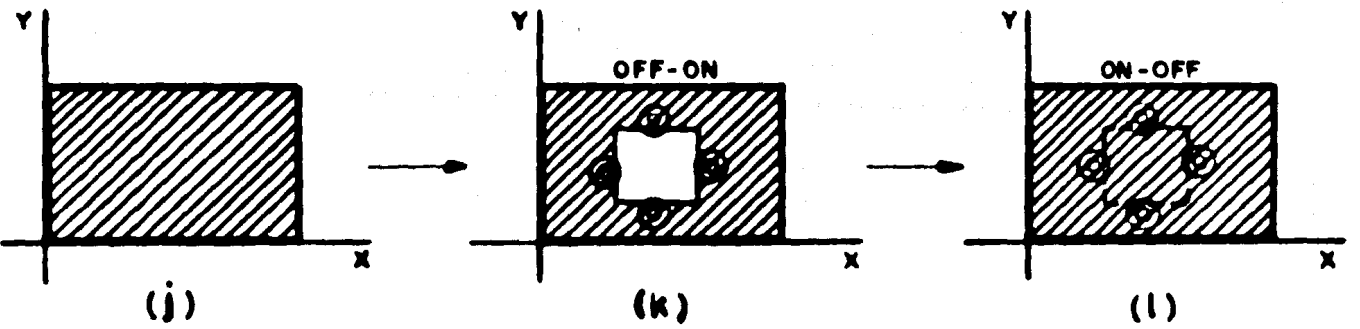
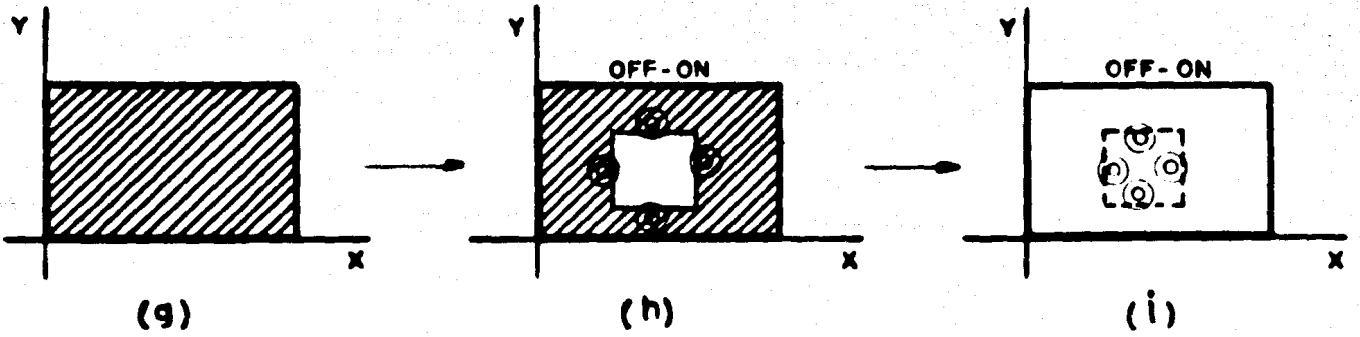
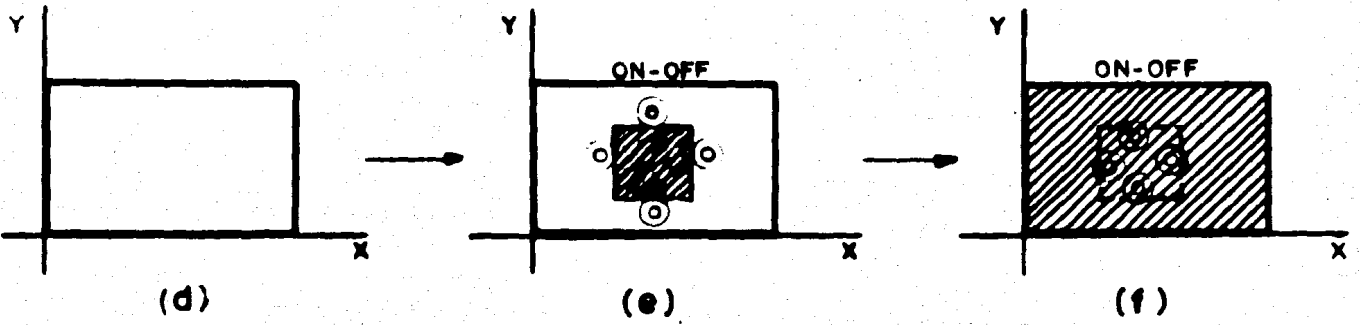
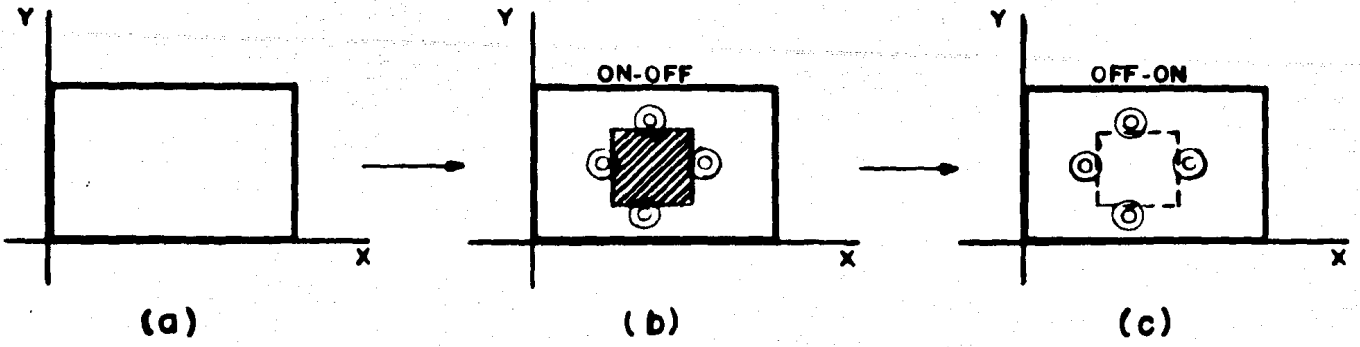


FIG.-VI-6

éste desaparece. Esto es debido a que cuando el estímulo desaparece cambia el estado de la zona que se encuentra alrededor de la barra, en lugar de ser ésta la que cambia de estado, de manera que las neuronas ganglionares que responderán serán aquéllas cuyo centro del campo receptivo esté dentro del área cubierta por el estímulo original y si -- simultáneamente una porción de su contorno esté fuera de dicha área, por lo que para tales casos las condiciones A, B, C y D se cambiarán por las siguientes:

Condición A' :

$$\text{CORDY} + \text{DIAMCENT}/2 \leq \text{POSINY} + \text{DIMVER}$$

$$\text{POSINY} + \text{DIMVER} < \text{CORDY} + \text{DIAMCONT}/2$$

Condición B' :

$$\text{CORDX} + \text{DIAMCENT}/2 \leq \text{POSINX} + \text{DIMHOR}$$

$$\text{POSINX} + \text{DIMHOR} < \text{CORDY} + \text{DIAMCONT}/2$$

Condición C' :

$$\text{CORDY} - \text{DIAMCENT}/2 \geq \text{POSINY}$$

$$\text{POSINY} > \text{CORDY} - \text{DIAMCONT}/2$$

Condición D' :

$$\text{CORDX} - \text{DIAMCENT}/2 \geq \text{POSINX}$$

$$\text{POSINX} > \text{CORDX} - \text{DIAMCONT}/2$$

Las condiciones A a D y A' a D' son aplicables a estímulos diferentes a las barras y rejillas, después de ser adaptadas convenientemente.

Resumiendo, el programa ESTIMULA se encarga de aplicar las condiciones 1 a 3, A a D y A' a D' (o sus equivalentes para estímulos diferentes a barras y rejillas), para hallar que neuronas ganglionares deben ser excitadas, para lo cual el programa previamente

te ha definido (dependiendo de las características del estímulo) si tales condiciones se aplicarán a las neuronas ganglionares ON-OFF o a las OFF-ON. El siguiente paso es hallar la entrada externa (tiempos), que debe asignársele a cada neurona ganglionar -- excitada.

5).- CONDICIONES TEMPORALES

En la figura VI-7 está representado el campo receptivo de una neurona ganglionar ON-OFF. Si suponemos un borde oscureciendo moviéndose de abajo hacia arriba -- sobre dicho campo, la neurona ganglionar será excitada cuando el borde pase de "a" a -- "b" y de "c" a "d", por lo que es im-

portante saber en qué momentos el bor de alcanza las posiciones "a", "b", -- "c" y "d"; si llamamos t_1 , t_2 , t_3 y t_4 a los tiempos que tarda el borde en al canzar cada una de dichas posiciones a partir de una posición inicial (POSICIONIC) fuera del campo receptivo de la

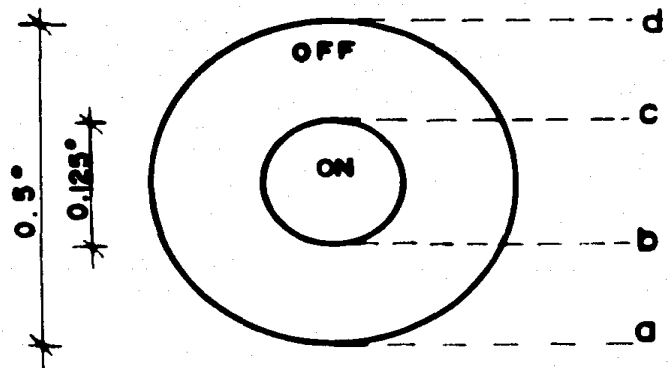


FIG. VI-7

neurona ganglionar, se tendrá que:

$$t_1 = \frac{\text{CORDY} - \text{DIAMCONT}/2 - \text{POSINIC}}{V}$$

$$t_2 = t_1 + \frac{\text{DIAMCONT}/2 - \text{DIAMCENT}/2}{V}$$

$$t_3 = t_1 + \frac{\text{DIAMCONT}/2 + \text{DIAMCENT}/2}{V}$$

$$t_4 = t_1 + \frac{\text{DIAMCONT}}{V}$$

Siendo $V = \frac{V_{e.r.}}{ESC}$, en donde $V_{e.r.}$ es la velocidad real del estímulo (°/seg) y ESC es una escala de tiempo (= 8 u.t.p./seg).

El tiempo total (T_T) en el que el estímulo recorre la trayectoria desde un punto inicial (POSINIC) hasta un punto final (POSFIN) es:

$$T_T = \frac{\text{POSFIN} - \text{POSINIC}}{V}$$

Existen problemas en los tiempos t_1 , t_2 , t_3 y t_4 al iniciarse y al finalizar el movimiento del estímulo, ya que pueden existir neuronas ganglionares que cumplan con las condiciones 1 a 3 de la sección anterior, y que a la vez alguno o algunos de sus tiempos de excitación sean menores o iguales a cero, o bien, que sean mayores que el tiempo total (T_T); existen seis casos típicos en los que se presenta alguna de estas situaciones, los cuales están representados en la figura VI-8; en el inciso (a) se observa el campo receptivo de una neurona ganglionar cuyo centro coincide con la posición inicial del estímulo, en (b) el centro del campo receptivo está por encima de la posición inicial del estímulo y en (c) el centro está por debajo de la posición inicial; en los incisos (d), (e) y (f) se presentan situaciones similares a las anteriores, sólo que ahora es sobre la posición final o extrema alcanzada por el estímulo. Los puntos "a", "b" y "c" (Fig. VI-7) de los incisos (a), (b) y (c) de la figura VI-8 que estén por debajo de la posición inicial tendrán asociados los tiempos t_1 , t_2 y t_3 menores o iguales a cero, por lo que éstos tiempos no se deben tomar en cuenta, de tal forma que la respuesta en el tiempo de la neurona del inciso (a) es de t_3 a t_4 , la respuesta de la neurona del inciso (b) es -

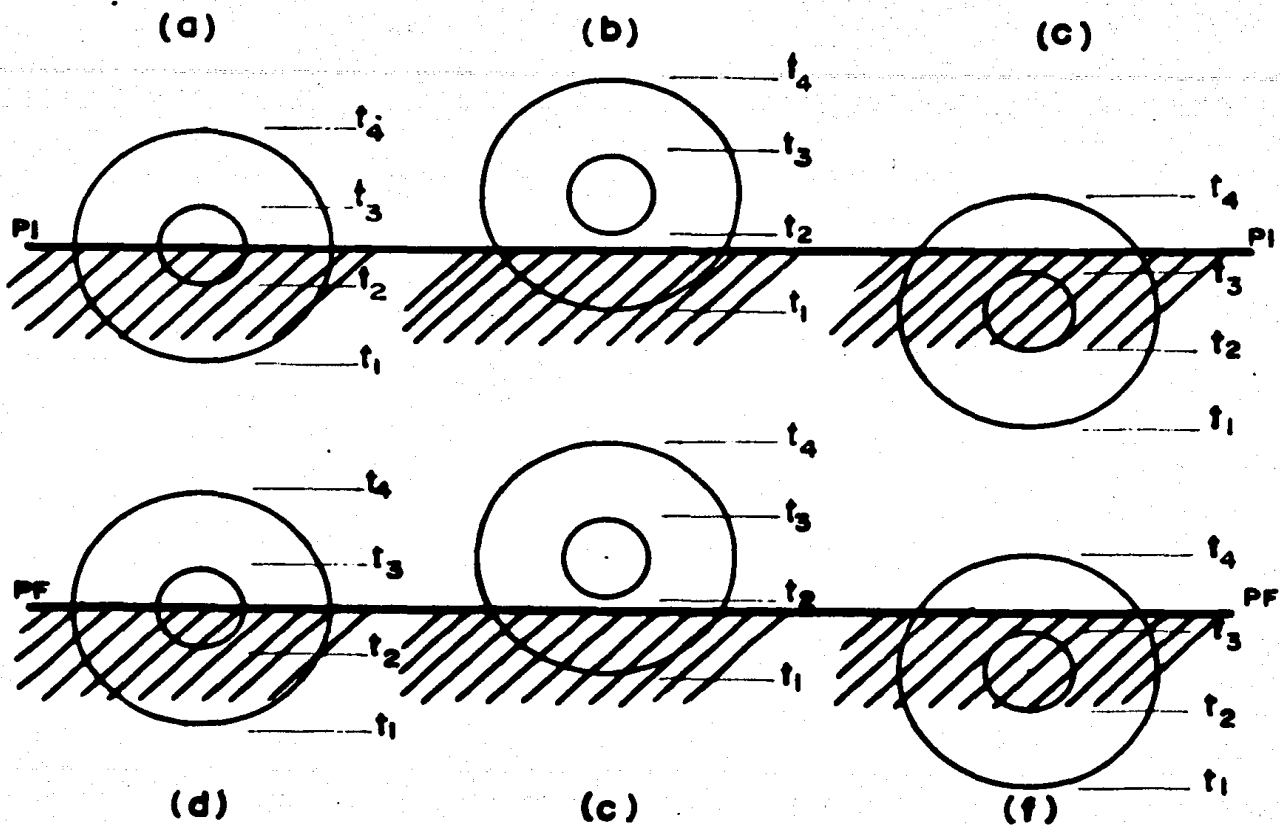


FIG. VI-8

de 0 a t_2 y de t_3 a t_4 , y en la neurona del inciso (c) la respuesta es de 0 a t_4 . Cuando se trata de neuronas ganglionares como las de los incisos (d), (e) y (f) de la figura VI-8 que tienen asociados tiempos t_2 , t_3 y t_4 que son mayores que el tiempo total T_T sus respuestas serán: para la neurona del inciso (d), de t_1 a t_2 ; para la del inciso (e) de t_1 a T_T ; y para la del inciso (f) la respuesta será de t_1 a t_2 y de t_3 a T_T .

Para el caso de los estímulos estáticos la respuesta en el tiempo de las neuronas ganglionares es función del área estimulada en el contorno de su campo receptivo (a mayor área del contorno estimulada se tiene mayor respuesta). En la figura VI-9 se muestra un borde estático oscuro actuando sobre el campo receptivo de una neurona ganglio-

nar; en dicha figura se puede observar que el área estimulada del contorno es un segmento de círculo del campo receptivo de la neurona ganglionar.

Para una neurona como la de la figura VI-9 el tiempo de respuesta es:

$$T_G = CTAT \times \frac{AREA EST.}{AREA TOT.}$$

En donde:

T_G es el tiempo de respuesta de la neurona ganglionar.

$CTAT$ es una constante igual al tiempo de respuesta de la neurona ganglionar -- cuando es excitada toda el área del contorno de su campo receptivo, en nuestro caso hemos tomado: $CTAT = 1 \text{ seg} = 8 \text{ u.t.p.}$

$AREA EST.$ es el área del contorno estimulada del campo receptivo de la neurona ganglionar.

$AREA TOT.$ es el área total del contorno del campo receptivo de la neurona ganglionar.

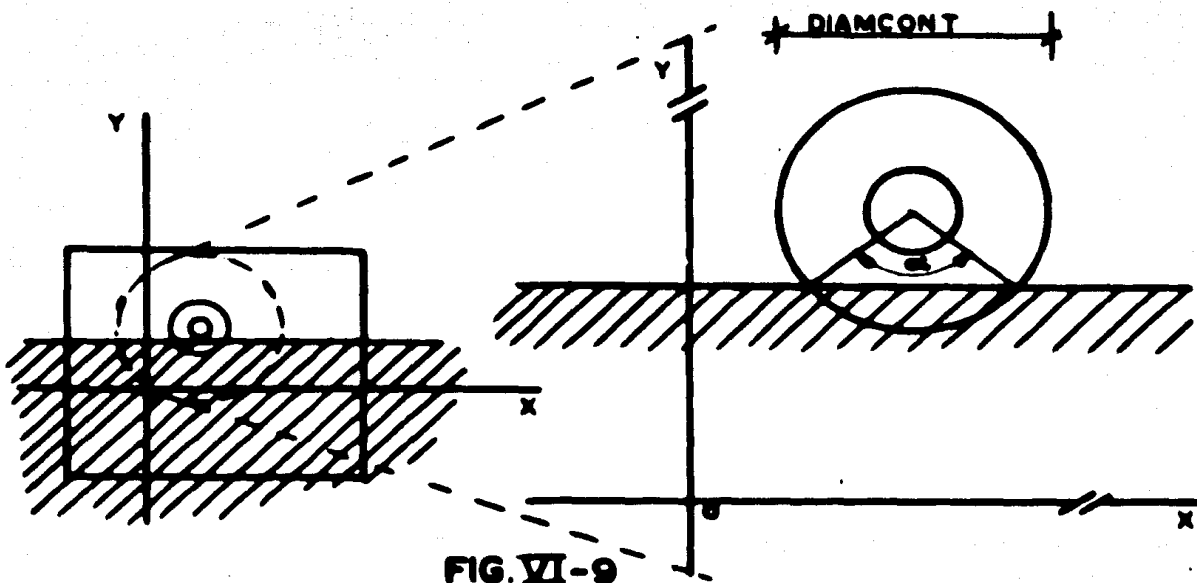


FIG. VI-9

Además:

$$\text{AREA TOT.} = ((\text{DIAMCONT}/2)^2 - (\text{DIAMCENT}/2)^2)\pi$$

$$\text{AREA EST.} = \frac{1}{2} (\text{DIAMCONT}/2)^2 (\alpha - \text{sen } \alpha)$$

en donde " α " es el ángulo subtendido por el segmento de círculo del campo receptivo de la neurona ganglionar, que es estimulado (Fig. VI-9).

El tiempo T_G debe ser menor o igual al tiempo máximo de simulación o tiempo total (T_T), que en caso de un estímulo estático que permanece indefinidamente es: $T_T = \infty$, y en caso de un estímulo que desaparece después de un cierto tiempo es: $T_T = \text{TESTIMULO} + \text{TIEDO}$, donde TESTIMULO es el tiempo de permanencia del estímulo y TIEDO es el tiempo que permanece el estado final una vez que desapareció el estímulo.

El programa ESTIMULA calcula los tiempos de excitación de las neuronas ganglionares haciendo uso de las expresiones de t_1 , t_2 , t_3 , t_4 y T_G aquí expuestas; dichos tiempos los aplica a las neuronas ganglionares que previamente han cumplido con las condiciones mencionadas en la sección anterior.

6).- ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

La estructura básica del programa ESTIMULA se muestra en la figura VI-10, este programa está formado por un conjunto de rutinas, cada una con una cierta función a realizar, las que a su vez pueden estar compuestas de otras rutinas auxiliares. El funcionamiento general del programa ESTIMULA se puede resumir en la siguiente forma:

Del archivo ESTIMULO se leen los datos del estímulo, que son la descripción

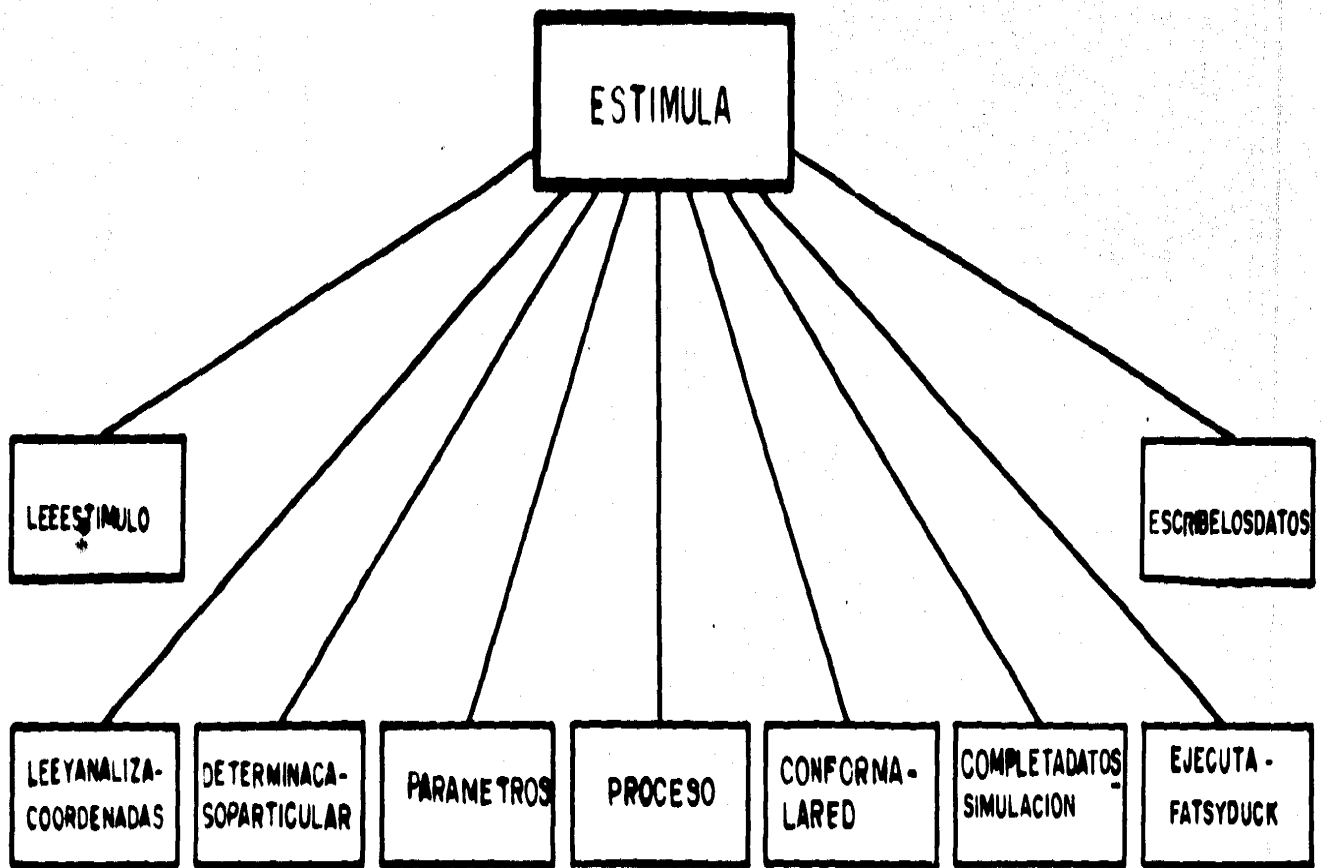


FIG. VI-10

del estímulo, sus dimensiones, su ubicación, si es estático o dinámico, iluminado u oscuro, el estado inicial, el estado final y los tiempos de permanencia del estímulo y del estado final. Del archivo COORDENADAS se leerá y se interpretará una descripción de las coordenadas del centro de los campos receptivos de las neuronas ganglionares. En caso de existir algún error en el archivo ESTIMULO o en la descripción de las coordenadas se dará por terminado el programa, de otra forma se interpretará el estímulo y se determinará cual es el tipo de neuronas que se van a excitar, se reconocerán ciertos parámetros necesarios y posteriormente se aplicarán las condiciones 1 a 3, A a B o A' a B'; a las neuronas ganglionares que cumplan con las condiciones se les calcularán sus tiempos de excitación, y a las otras neuronas se les asignará una entrada externa de "relleno" o "nula".

Una vez conocidas las entradas externas se conformará la red del modelo a simular, asignándole a cada neurona ganglionar descrita en el archivo REDNEURONAS su entrada externa, la cual se encuentra previamente guardada en un archivo llamado EXTERNAS; en caso de que en la red del modelo (REDNEURONAS) falte alguna neurona ganglionar se mandará un mensaje de error, finalizando el programa; de otra forma se completará el archivo DATOSSIMULACIONIN, grabando el tiempo de simulación y creando así el archivo DATOSSIMULACION; al asignarle a cada neurona ganglionar de REDNEURONAS su entrada externa, se dará origen al archivo DATOSNEURONAS.

Una vez creados los archivos DATOSSIMULACION y DATOSNEURONAS se ejecutará el programa FATSYDUCK, tomando en cuenta el archivo DATOSIMPRESION, el cual ya debe existir. Por último, se escriben en papel los datos del estímulo.

A continuación se hará una descripción breve del funcionamiento de las rutinas - utilizadas; una descripción detallada escapa de la finalidad de esta tesis, de cualquier - forma, si es necesario se puede recurrir al apéndice C, en donde se encuentra el listado - completo del programa ESTIMULA.

LEEESTIMULO

Esta rutina lee del archivo de datos ESTIMULO una identificación, así como to - dos los datos referentes al estímulo. En caso de existir algún error en estos datos, la ruti - na se auxilia de otra (ESCRIBEERROR) que se encarga de escribir en papel el tipo de error. La interpretación de la descripción del estímulo está destinada a la rutina INFINITIVIDA - DES, siempre y cuando el estímulo no sea una barra o rejilla. La rutina LEEESTIMULO y sus rutinas auxiliares están representadas en la figura VI-11.

INFINITIVIDADES. Esta rutina se encarga de interpretar la descripción del estí - mulo (ver apéndice C), y por lo tanto, de identificar de que estímulo se trata. Tales es - tículos son bordes, lengüetas, barras o rejillas de largo infinito y esquinas, los cuales - presentan en alguno o algunos de sus bordes un largo infinito. La identificación del estí - mulo se hace asignándole un número del 1 al 4 (el número 5 está reservado para los bor - des o rejillas de largo finito y su identificación se hace en LEEESTIMULO).

ESCRIBEERROR. Esta rutina es común a las rutinas LEEESTIMULO, LEEYANALI - ZACOORDENADAS Y CONFORMALARED. Tiene como función escribir un mensaje de - pendiendo del error de que se trate, el error está asociado a un número y éste a una ta - bla que contiene el mensaje.

responder (ON-OFF, OFF-ON o ambas), dependiendo de si el estímulo es unidireccional, bidireccional o estático. La rutina es auxiliada de quince rutinas más, en las que realmente se determina el tipo de neuronas a responder; tales rutinas son las PARACASO1UNI a la PARACASO5UNI, PARACASO1BIDI a la PARACASO5BIDI y PARACASO1ESTA a la PARACASO5ESTA. En

la figura VI-13 se muestran la rutina DETERMINACASOPARTICULAR así como sus rutinas auxiliares.

En las rutinas PARACASO1UNI a la PARACASO5UNI y PARACASO1BIDI a la PARACASO5BIDI se identifican para el caso de estímulos dinámicos unidireccionales y bidireccionales, las neuronas ganglionares a responder, dependiendo del subcaso de cada estímulo, de la posición inicial y final del mismo (estímulos unidireccionales) y de la posición extrema (estímulos bidireccionales). La representación de los estímulos que excitan a las neuronas ON-OFF se hace por medio de un 1 (uno) y la de los que excitan a las neuronas OFF-ON se hace por medio de un 2 (dos); los estímulos que excitan tanto a las neuronas ON-OFF como a las OFF-ON se representarán por el número 12 o por el número 21. Estos números se asignan a una matriz cúbica en cuyos renglones se indica si el estímulo es unidireccional por medio de un 1 (uno) o si es bidireccional por medio de un 2 (dos); en sus columnas se indica el caso o tipo de estímulo: el número 1 corresponde a bordes, el 2 a lengüetas, el 3 a barras o rejillas de largo infinito, el 4 a esqui

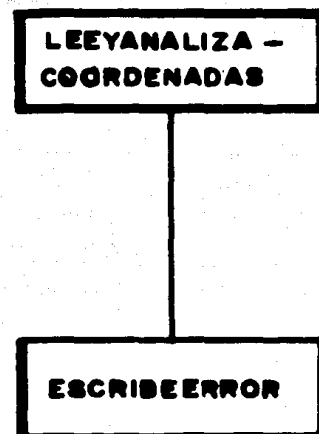


FIG. VI-12

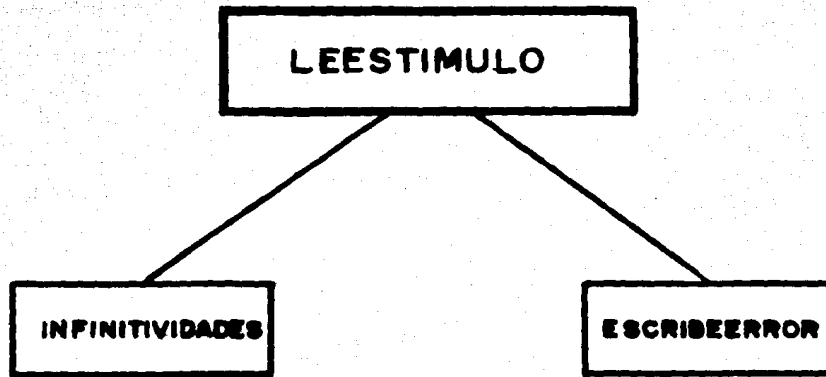


FIG.VI-11

LEEYANALIZACOORDENADAS

Esta rutina lee del archivo COORDENADAS una descripción de las coordenadas de las neuronas ganglionares, donde se especifica el número de la red neuronal a simular, así como la identificación de las neuronas ON-OFF y OFF-ON (ver apéndice B), en caso de existir algún error se mandará el mensaje pertinente por medio de la rutina ESCRIBEERROR. En este mismo archivo se encuentran las coordenadas del centro del campo receptivo de las neuronas ganglionares, cada una de ellas con un número que corresponde al de la neurona ganglionar dentro de la red. La representación de esta rutina se muestra en la figura VI-12. En caso de no haber error se leerán las coordenadas y el número de la neurona ganglionar, grabándose en una matriz (MATCOORD).

DETERMINACASOPARTICULAR

Esta rutina se encarga de determinar cuál es el tipo de neuronas ganglionares a

responder (ON-OFF, OFF-ON o ambas), dependiendo de si el estímulo es unidireccional, bidireccional o estático. La rutina es auxiliada de quince rutinas más, en las que realmente se determina el tipo de neuronas a responder; tales rutinas son las PARACASO1UNI a la PARACASO5UNI, PARACASO1BIDI a la PARACASO5BIDI y PARACASO1ESTA a la PARACASO5ESTA. En

la figura VI-13 se muestran la rutina DETERMINACASOPARTICULAR así como sus rutinas auxiliares.

En las rutinas PARACASO1UNI a la PARACASO5UNI y PARACASO1BIDI a la PARACASO5BIDI se identifican para el caso de estímulos dinámicos unidireccionales y bidireccionales, las neuronas ganglionares a responder, dependiendo del subcaso de cada estímulo, de la posición inicial y final del mismo (estímulos unidireccionales) y de la posición extrema (estímulos bidireccionales). La representación de los estímulos que excitan a las neuronas ON-OFF se hace por medio de un 1 (uno) y la de los que excitan a las neuronas OFF-ON se hace por medio de un 2 (dos); los estímulos que excitan tanto a las neuronas ON-OFF como a las OFF-ON se representarán por el número 12 o por el número 21. Estos números se asignan a una matriz cúbica en cuyos renglones se indica si el estímulo es unidireccional por medio de un 1 (uno) o si es bidireccional por medio de un 2 (dos); en sus columnas se indica el caso o tipo de estímulo: el número 1 corresponde a bordes, el 2 a lengüetas, el 3 a barras o rejillas de largo infinito, el 4 a esqui

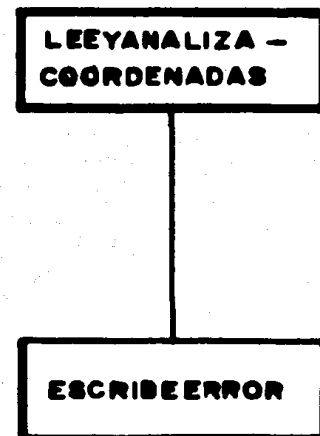


FIG. VI-12

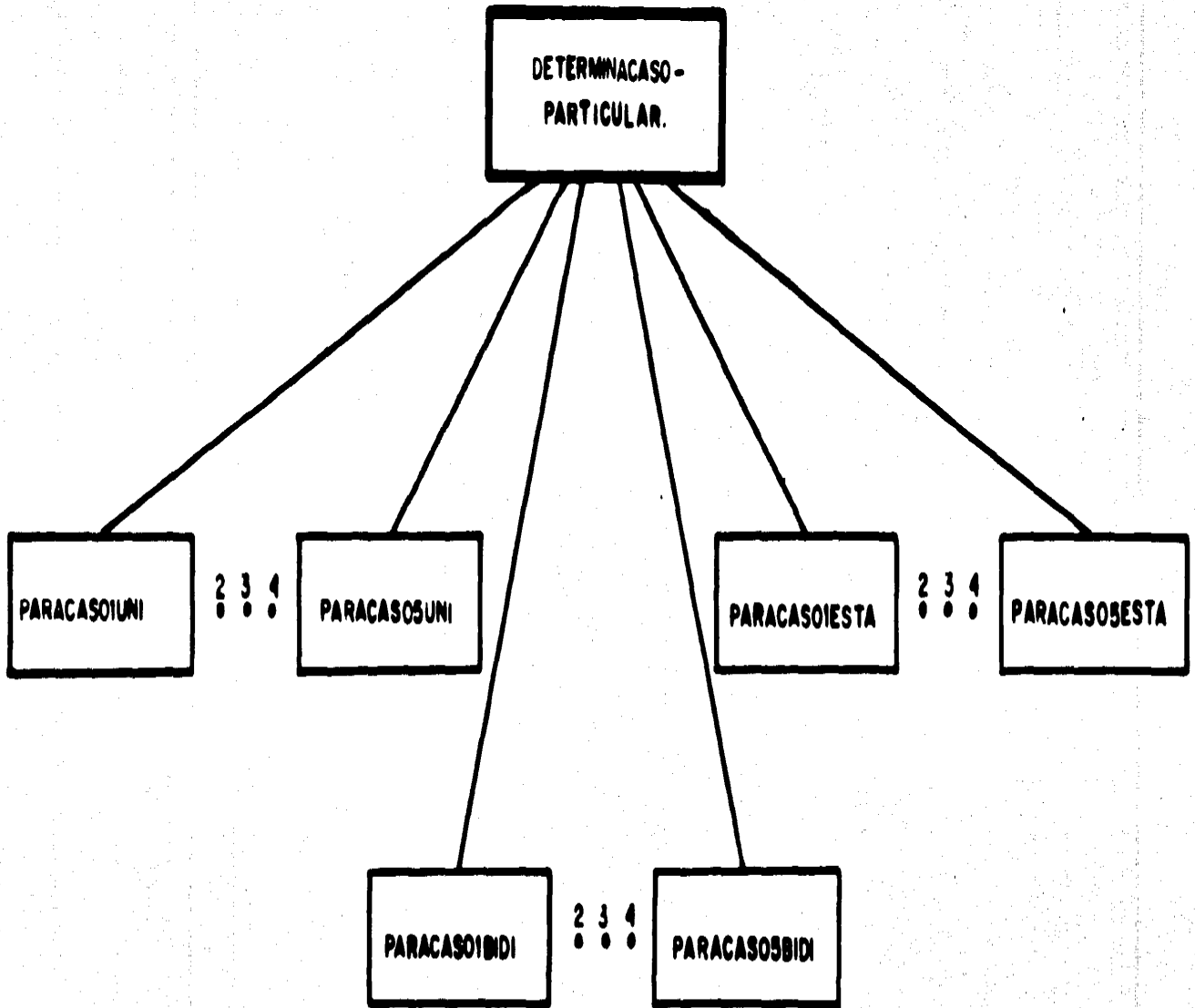


FIG. VI-13

nas y el 5 a barras o rejillas de largo finito; finalmente, en la profundidad o altura de la matriz se especifica el número del subcaso (del 1 al 16). Los subcasos dependen del tipo de estímulo, de su iluminación u oscuridad y de sus posiciones inicial, final o extrema. Por ejemplo, la lengüeta oscura unidireccional de la figura VI-3, cuya posición final es mayor que la inicial, estará representada de la siguiente forma:

$$\text{CUBICA}(1,2,1) = 1$$

donde los números dentro del paréntesis corresponden respectivamente a los valores de -- unidireccional, caso o tipo de estímulo y subcaso del estímulo; mientras que el número a la derecha del signo igual, indica que responden las neuronas ganglionares ON-OFF (ver en el apéndice C el PROCEDURE PARACASO2UNI).

Las rutinas PARCASO1ESTA a la PARCASO5ESTA tienen básicamente la misma función que las anteriores, aplicándose en este caso a los estímulos estáticos. Para los estímulos estáticos el índice de los renglones de la matriz cúbica es igual a 3 (tres). Los subcasos dependerán aquí del tipo de estímulo y de los estados inicial y final del campo-receptivo en donde actúan.

PARAMETROS

La rutina PARAMETROS no tiene rutinas auxiliares, únicamente contiene los parámetros necesarios en la determinación de la entrada externa de las neuronas ganglionares. Dichos parámetros son los siguientes:

- Diámetro del centro del campo receptivo de la neurona ganglionar: DIAM-CENT = 0.125 (°).
- Diámetro del contorno del campo receptivo de la neurona ganglionar: DIAM-CONT = 0.5 (°).

- Frecuencia de la entrada externa: FRECUENCIA = 1 (u.t.p.).
- Escala de tiempo: UNIDETIEMPO = 8 (u.t.p./seg).
- Tiempo máximo de simulación (se usa únicamente para estímulos estáticos de duración "infinita"): TIEMPOMAX = 500 (u.t.p.).
- Tiempo de estabilización (se agrega al tiempo máximo de simulación para permitir la estabilización en las respuestas de todas las neuronas que integran la red): -- TIEMPOESTAB = 30 (u.t.p.).
- Tiempo de respuesta de la neurona ganglionar cuando es excitado todo el contorno de su campo receptivo (estímulos estáticos): CTAT = 8 (u.t.p.).

PROCESO

La rutina PROCESO está representada en la figura VI-14. La función de esta rutina es la de determinar y calcular las entradas externas de las neuronas ganglionares -- que cumplen con las condiciones 1 a 3, A a D o A' a D' y la de asignar una entrada externa de "relleno" o "nula" a las neuronas ganglionares que no son excitadas.

La rutina inicializa un archivo llamado EXTERNAS, en el cual se graban las entradas externas "X", en la forma en que deben describirse en el archivo DATOSNEURONAS; el archivo EXTERNAS se inicializa con ceros y está compuesto de tres campos: en el primero se indica el número de la neurona ganglionar, en el segundo se graba la entrada externa para el caso de los estímulos unidireccionales y estáticos de duración "infinita", y en el tercer campo se graba la entrada externa adicional para el caso de estímulos dinámicos bidireccionales y estáticos de duración finita. Para poder calcular y determinar las entradas externas la rutina PROCESO se auxilia de otras rutinas tales como DETERMINARESTRICCIONES, BUSCALIMITES, BUSCALIMITESPOSTERIORES, EXCITA-

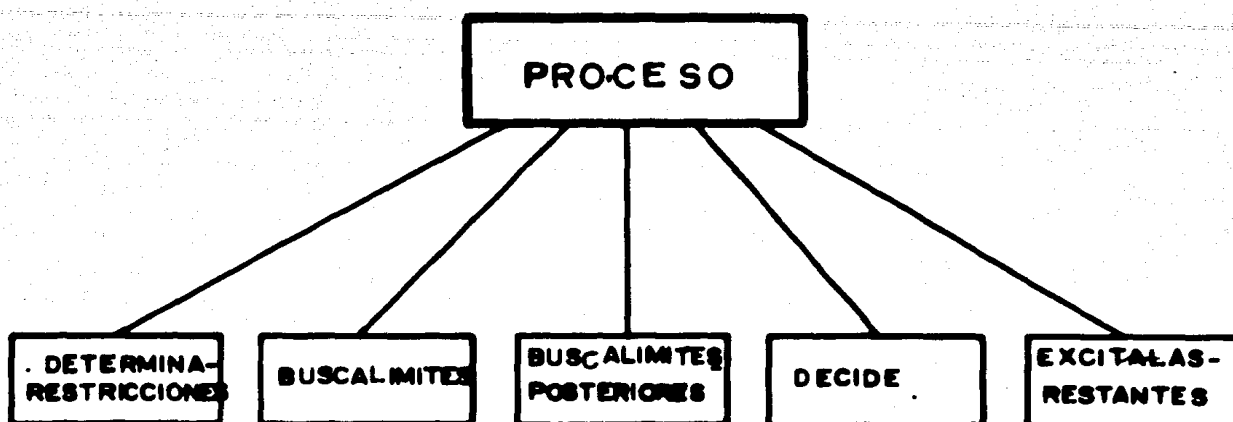


FIG. VI-14

LASREstantes y DECIDE.

DETERMINARESTRICCIONES. Esta rutina evalúa cuáles restricciones se van a aplicar (1 a 3, A a D o A' a D'), dependiendo del tipo de estímulo y del subcaso del mismo.

BUSCALIMITES. En esta rutina se determina cuál es el rango de las neuronas ganglionares a excitar, dependiendo del valor que tenga la matriz CUBICA (1, 2 y 12 o 21). Esta rutina además "prende" ciertas "banderas" necesarias en la rutina BUSCALIMITESPOSTERIORES, dichas "banderas" indican cuáles son los rangos de las neuronas ganglionares que se van a excitar.

BUSCALIMITESPOSTERIORES. Determina cuál es el otro tipo de neuronas ganglionares a excitar; si en BUSCALIMITES fueron las ON-OFF en ésta se determinan las OFF-ON y viceversa, de acuerdo a las banderas prendidas en BUSCALIMITES.

Las rutinas BUSCALIMITES y BUSCALIMITESPOSTERIORES se valen de cuatro variables llamadas LINONOFF, LSUONOFF, LINOFFON y LSUOFFON, con las que se indica el rango de neuronas ON-OFF y OFF-ON. Por ejemplo, para la red neuronal 1 las neuronas ganglionares ON-OFF van de la neurona ganglionar 1 a la 162 (LINO - - - NOFF = 1, LSUONOFF = 162) y las neuronas ganglionares OFF-ON son de la 163 a la 316 (LINOFFON = 163, LSUOFFON = 316).

EXCITALASRESTANTES. La función de esta rutina es la de excitar con una entrada externa "nula" o de "relleno" al tipo de neuronas ganglionares que no son excitadas (en caso de que se exciten los dos tipos de neuronas esta rutina no es utilizada). Por ejemplo, una lengüeta dinámica unidireccional oscura en que la posición final es mayor que la inicial, excitará a las neuronas ON-OFF, pero no a las OFF-ON, esta rutina les asigna entonces a todas las neuronas OFF-ON una entrada externa nula o de relleno. La forma en que hace esto último es leyendo de la matriz MATCOORD si existen tales neuronas OFF-ON, y en caso de ser así, calcula la entrada externa nula y guarda en el archivo EXTERNAS en los registros correspondientes a las neuronas OFF-ON dicha entrada externa nula. Esta rutina se auxilia además de otras rutinas, las cuales son BUSCALIMITESPOSTERIORES, CALCULAEXTERNANULA y GUARDAEXTERNA (Fig. VI-15).

CALCULAEXTERNANULA. Su función es la de formar la entrada externa "X" de la siguiente forma:

$$X = \text{TIEMPOMAX} + \text{TIEMPOESTAB}, \text{TIEMPOMAX} + \text{TIEMPOESTAB}, F;$$

Por ejemplo, para un estímulo estático de duración "infinita", se tiene:

$$X = 530, 530, 1;$$

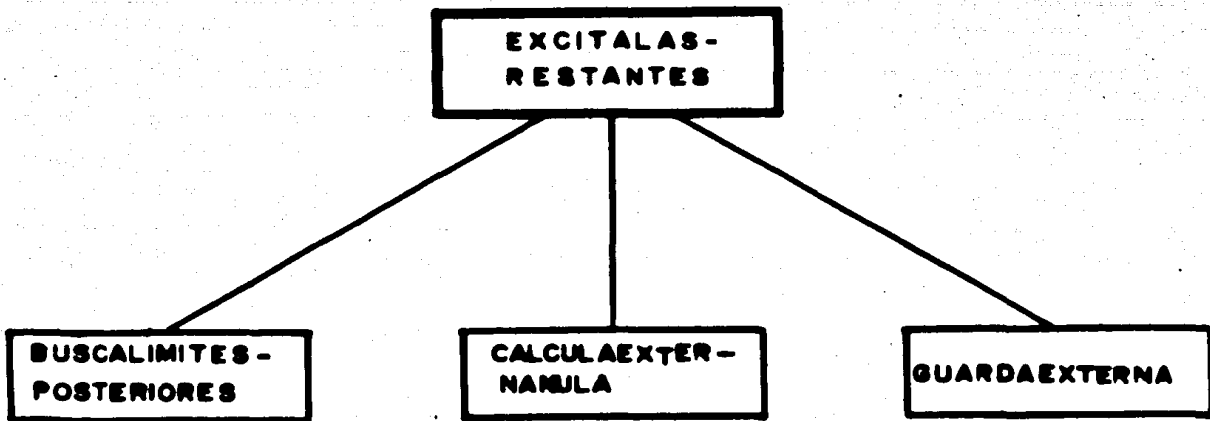


FIG. VI-15

GUARDAEXTERNA. Esta rutina graba en el archivo EXTERNAS de la siguiente manera: lee del archivo EXTERNAS el registro indicado por el número de la neurona ganglionar a grabar (INDI), en caso de que el primer campo del registro sea cero, se grabará el número de la ganglionar (NGANG) y la entrada externa (UNAEXTERNA), si no es así se entiende que ya fue grabado el número de la ganglionar y una entrada externa, - entonces se grabará la entrada externa que se pretende guardar, en el tercer campo del registro.

DECIDE. Esta es una de las rutinas más importantes del programa ESTIMULA, ya que es la que decide cuáles son las neuronas ganglionares que cumplen con las condiciones 1 a 3, A a B y A' a B'. La forma en que funciona es la siguiente: para cada una de las neuronas ON-OFF u OFF-ON se pregunta si ésta existe en la matriz MATCOORD, en caso de no existir sigue leyendo la matriz hasta encontrar el número de la neurona ganglionar y sus coordenadas. Cuando encuentra el número de la neurona ganglionar se

pregunta por medio de la rutina **CONDICION** si las coordenadas de esta neurona cumplen con las condiciones que se van a aplicar, si es así se calcula la entrada externa (**CALCULAEXTERNA**) y se guarda en el archivo **EXTERNAS** usando la rutina **GUARDA - EXTERNAS**; después se busca otro número de neurona ganglionar y se repite el proceso hasta que se hallan cubierto todas las neuronas ganglionares **ON-OFF** u **OFF-ON**. En caso de que las coordenadas no cumplan con todas las condiciones se le asigna una entrada externa nula a la neurona ganglionar. La rutina **DECIDE** se muestra en la figura VI-16 con sus rutinas auxiliares.

CONDICION. Esta rutina determina si las condiciones 1 a 3, A a B o A' a B' son verdaderas o falsas para las coordenadas de cada neurona ganglionar. Esta rutina responde con un valor verdadero si las condiciones se cumplieron o falso en caso contrario.

CALCULAEXTERNA. En esta rutina se calculan los tiempos t_1 , t_2 , t_3 y t_4 (estímulos dinámicos) o T_G (estímulos estáticos) y forma con ellos la entrada externa.

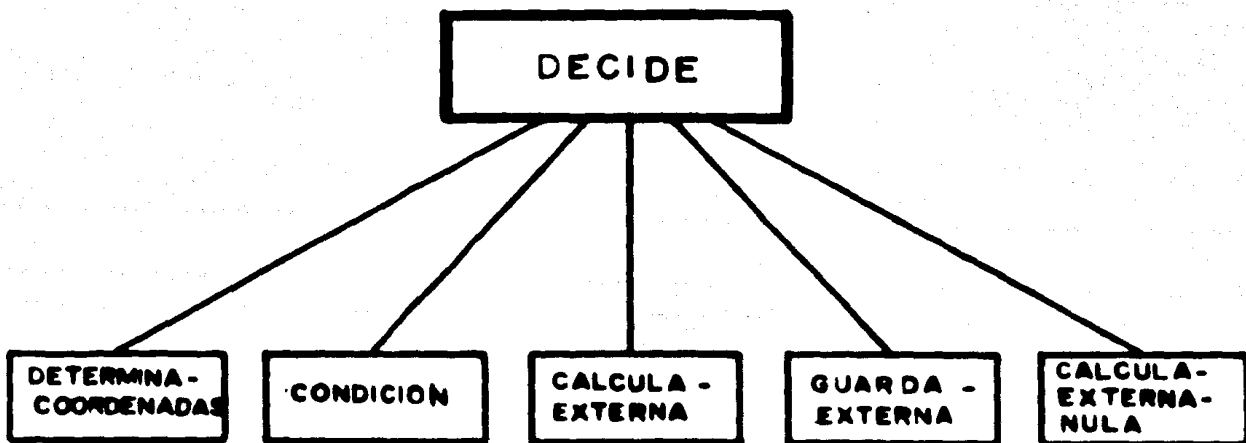


FIG. VI-16

CONFORMALARED

La rutina **CONFORMALARED** está representada en la figura VI-17, tiene la finalidad de insertar en el archivo **REDNEURONAS** la entrada externa determinada previamente para cada neurona ganglionar. La rutina funciona de la siguiente manera: se lee del archivo **REDNEURONAS** (**LEERED**) una descripción de la red neuronal a simular, en caso de que la línea leída sea la descripción de una neurona ganglionar se buscará el número de dicha neurona en el archivo **EXTERNAS**, si el número de la neurona ganglionar descrita en la red es igual al del archivo **EXTERNAS** se escribe la línea de la red en el archivo **DATOSNEURONAS**, así como la entrada externa correspondiente, si no es así se seguirá buscando en el archivo **EXTERNAS** hasta encontrar el número de la neurona ganglionar, si éste no es encontrado habrá un error y se mandará un mensaje dándose por terminado el programa. En caso de no haber error el proceso se repite hasta agotar toda la red. Cuando la línea leída del archivo **REDNEURONAS** no sea la de una neurona --

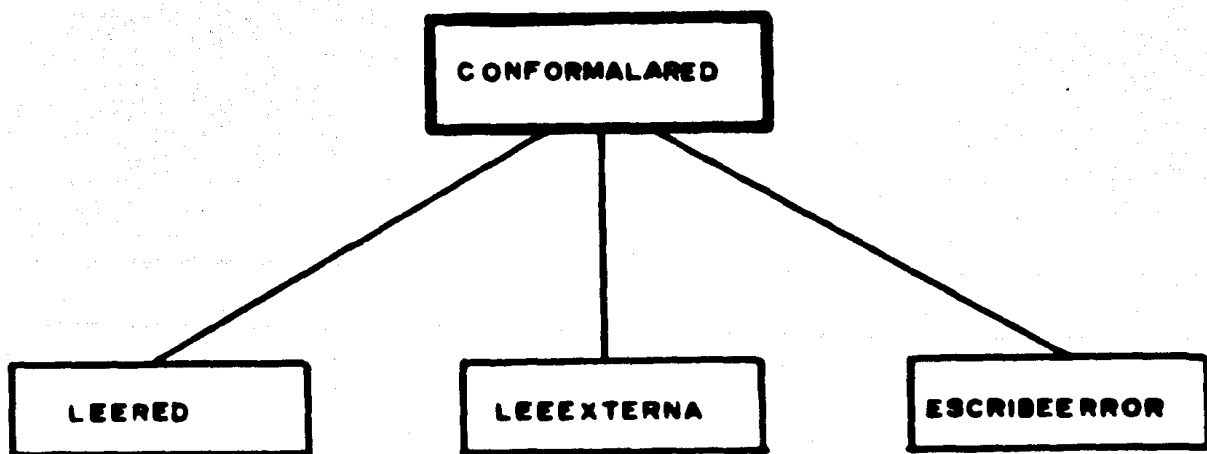


FIG. VI-17

ganglionar se grabará idéntica en el archivo DATOSNEURONAS. Una vez que se han asignado las entradas externas a las neuronas ganglionares se habrá creado el archivo DATOSNEURONAS necesario para la simulación.

LEEEXTERNA. Únicamente lee del archivo EXTERNAS el número de la neurona-ganglionar y la entrada externa, si el archivo se agota y se trata de leer más registros se mandará una "bandera" de que se acabó (SEACABO).

LEERED. Lee del archivo REDNEURONAS uno de los registros, si se agota y se trata de leer más registros se indicará por medio de una "bandera" de que se acabó (SEACABO).

COMPLETADATOSSIMULACION

Esta rutina únicamente escribe los datos que se encuentran en DATOSSIMULACIONIN así como el tiempo máximo de simulación, dando origen al archivo DATOSSIMULACION.

EJECUTAFATSYDUCK

Esta rutina ordena la ejecución del programa FATSYDUCK, indicándole que los archivos DATOSSIMULACION, DATOSNEURONAS y DATOSIMPRESION se encuentran cargados en disco.

ESCRIBELOSDATOS

Esta rutina escribe los datos del estímulo en papel.

Con la ayuda del listado del apéndice C y la descripción de las rutinas anteriores, es posible analizar en detalle el funcionamiento del programa ESTIMULA.

CONCLUSIONES

El presente trabajo es una culminación de los trabajos anteriores "Simulación de Procesos Plásticos en la Sinapsis" (4) y "Simulación en Computadora Digital de Procesos del Sistema Nervioso" (2), pues aquí se realiza una aplicación práctica de ellos. Todos estos trabajos se han realizado bajo la dirección del M. en C. Rolando Lara y Zavala y su objetivo ha sido el de mostrar la importancia del desarrollo interdisciplinario de las ciencias. Nuestro trabajo cumple ampliamente con dicho objetivo, pues aunque tiene un carácter ingenieril su desarrollo se ha basado en los resultados experimentales obtenidos por investigación en el campo de la neurofisiología (específicamente en la investigación del sistema visual de los mamíferos), y a su vez puede ser de gran ayuda a los investigadores en dicho campo, debido a las siguientes características:

- 1).- El modelo desarrollado reproduce satisfactoriamente los más importantes experimentos realizados con el sistema visual de los mamíferos.
- 2).- Nuestro modelo es confiable en cuanto a que no es afectado por circunstancias externas, lo cual sí sucede en los sistemas vivos. Por ejemplo: un gato enfermo puede no responder en igual forma a como lo haría un gato sano.
- 3).- Nuestro modelo permite predecir algunos de los aspectos estructurales generales de los sistemas visuales reales; en el capítulo V se hacen algunos comentarios acerca de esto.
- 4).- Debido al programa desarrollado en el capítulo VI que proporciona gran versatilidad en la simulación, es posible que se realicen nuevos experimentos que permitan predecir nuevos aspectos acerca del funcionamiento de los sistemas visuales reales.

Creemos que nuestro trabajo puede continuarse en las siguientes direcciones:

1).- En la búsqueda de nuevas redes neuronales o bien modificando las desarrolladas en este trabajo, para poder simular otros aspectos del sistema visual de los mamíferos, tales como la visión en color, la visión monocular, el papel del cuerpo geniculado lateral y el papel de las neuronas de comportamiento plástico.

2).- En la unificación de las redes neuronales aquí expuestas en una sola red; esto es posible debido a que hemos procurado seguir el mismo esquema básico en el desarrollo de cada red neuronal.

3).- En la modificación o ampliación del programa del capítulo VI para hacerlo aún más versátil; este programa se realizó en tal forma que permita dichas modificaciones o ampliaciones.

4).- En la utilización del esquema básico de las redes neuronales aquí desarrolladas y del programa del capítulo VI, en el modelado de la red o redes neuronales de otras partes del sistema nervioso de los mamíferos. Por ejemplo: el sistema auditivo, el sistema olfativo, etc.

Debemos señalar por último que las principales limitaciones de nuestro trabajo son el que a menos de que se hagan las modificaciones pertinentes su uso requiere el tener acceso a una computadora Burroughs 6700, y que las simulaciones requieren de grandes tiempos de procesador.

APENDICE A

"LISTADOS DE LAS REDES NEURONALES"

93	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

FIG 2 6, 25A, 1, 261, 263, 1, 506, 508, 1, 511, 513, 1;
 FIG 2 74, 276, 1, 279, 281, 1, 524, 526, 1, 529, 531, 1;
 FIG 2 6, 25A, 1, 261, 263, 1, 506, 508, 1, 511, 513, 1;
 6, 1, 721, 723, 1, 726, 728, 1;
 64, 1, 737, 739, 1, 742, 744, 1;
 6, 266, 1, 509, 511, 1, 514, 516, 1;
 FIG 4 48, 1, 271, 273, 1, 276, 278, 1;
 651, 653, 1, 753, 755, 1, 758, 760, 1;
 32, 1, 769, 771, 1, 774, 776, 1;
 10, 1, 785, 787, 1, 790, 792, 1;
 64, 1, 737, 739, 1, 742, 744, 1;
 40, 1, 761, 763, 1, 766, 768, 1;
 61, 1, 740, 742, 1, 745, 747, 1;

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 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

150	161,1;
151	162,1;
152	163,1;
153	164,1;
154	165,1;
155	166,1;
156	167,1;
157	168,1;
158	169,1;
159	170,1;
160	171,1;
161	172,1;
162	173,1;
163	174,1;
164	175,1;
165	176,1;
166	177,1;
167	178,1;
168	179,1;
169	180,1;
170	181,1;
171	182,1;
172	183,1;
173	184,1;
174	185,1;
175	186,1;
176	187,1;
177	188,1;
178	189,1;
179	190,1;
180	191,1;
181	192,1;
182	193,1;
183	194,1;
184	195,1;
185	196,1;
186	197,1;
187	198,1;
188	199,1;
189	200,1;
190	201,1;
191	202,1;
192	203,1;
193	204,1;
194	205,1;
195	206,1;
196	207,1;
197	208,1;
198	209,1;
199	210,1;
200	211,1;
201	212,1;
202	213,1;
203	214,1;
204	215,1;
205	216,1;
206	217,1;
207	218,1;
208	219,1;
209	220,1;
210	221,1;
211	222,1;
212	223,1;
213	224,1;
214	225,1;
215	226,1;
216	227,1;
217	228,1;
218	229,1;
219	230,1;
220	231,1;
221	232,1;
222	233,1;
223	234,1;
224	235,1;
225	236,1;
226	237,1;
227	238,1;
228	239,1;
229	240,1;
230	241,1;
231	242,1;
232	243,1;
233	244,1;
234	245,1;
235	246,1;
236	247,1;
237	248,1;
238	249,1;
239	250,1;
240	251,1;
241	252,1;
242	253,1;
243	254,1;
244	255,1;
245	256,1;
246	257,1;
247	258,1;
248	259,1;
249	260,1;
250	261,1;
251	262,1;
252	263,1;
253	264,1;
254	265,1;
255	266,1;
256	267,1;
257	268,1;
258	269,1;
259	270,1;
260	271,1;
261	272,1;
262	273,1;
263	274,1;
264	275,1;
265	276,1;
266	277,1;
267	278,1;
268	279,1;
269	280,1;
270	281,1;
271	282,1;
272	283,1;
273	284,1;
274	285,1;
275	286,1;
276	287,1;
277	288,1;
278	289,1;
279	290,1;
280	291,1;
281	292,1;
282	293,1;
283	294,1;
284	295,1;
285	296,1;
286	297,1;
287	298,1;
288	299,1;
289	300,1;
290	301,1;
291	302,1;
292	303,1;
293	304,1;
294	305,1;
295	306,1;
296	307,1;
297	308,1;
298	309,1;
299	310,1;
300	311,1;
301	312,1;
302	313,1;
303	314,1;
304	315,1;
305	316,1;
306	317,1;
307	318,1;
308	319,1;
309	320,1;
310	321,1;
311	322,1;
312	323,1;
313	324,1;
314	325,1;
315	326,1;
316	327,1;
317	328,1;
318	329,1;
319	330,1;
320	331,1;
321	332,1;
322	333,1;
323	334,1;
324	335,1;
325	336,1;
326	337,1;
327	338,1;
328	339,1;
329	340,1;
330	341,1;
331	342,1;
332	343,1;
333	344,1;
334	345,1;
335	346,1;
336	347,1;
337	348,1;
338	349,1;
339	350,1;
340	351,1;
341	352,1;
342	353,1;
343	354,1;
344	355,1;
345	356,1;
346	357,1;
347	358,1;
348	359,1;
349	360,1;
350	361,1;
351	362,1;
352	363,1;
353	364,1;
354	365,1;
355	366,1;
356	367,1;
357	368,1;
358	369,1;
359	370,1;
360	371,1;
361	372,1;
362	373,1;
363	374,1;
364	375,1;
365	376,1;
366	377,1;
367	378,1;
368	379,1;
369	380,1;
370	381,1;
371	382,1;
372	383,1;
373	384,1;
374	385,1;
375	386,1;
376	387,1;
377	388,1;
378	389,1;
379	390,1;
380	391,1;
381	392,1;
382	393,1;
383	394,1;
384	395,1;
385	396,1;
386	397,1;
387	398,1;
388	399,1;
389	400,1;
390	401,1;
391	402,1;
392	403,1;
393	404,1;
394	405,1;
395	406,1;
396	407,1;
397	408,1;
398	409,1;
399	410,1;
400	411,1;
401	412,1;
402	413,1;
403	414,1;
404	415,1;
405	416,1;
406	417,1;
407	418,1;
408	419,1;
409	420,1;
410	421,1;
411	422,1;
412	423,1;
413	424,1;
414	425,1;
415	426,1;
416	427,1;
417	428,1;
418	429,1;
419	430,1;
420	431,1;
421	432,1;
422	433,1;
423	434,1;
424	435,1;
425	436,1;
426	437,1;
427	438,1;
428	439,1;
429	440,1;
430	441,1;
431	442,1;
432	443,1;
433	444,1;
434	445,1;
435	446,1;
436	447,1;
437	448,1;
438	449,1;
439	450,1;
440	451,1;
441	452,1;
442	453,1;
443	454,1;
444	455,1;
445	456,1;
446	457,1;
447	458,1;
448	459,1;
449	460,1;
450	461,1;
451	462,1;
452	463,1;
453	464,1;
454	465,1;
455	466,1;
456	467,1;
457	468,1;
458	469,1;
459	470,1;
460	471,1;
461	472,1;
462	473,1;
463	474,1;
464	475,1;
465	476,1;
466	477,1;
467	478,1;
468	479,1;
469	480,1;
470	481,1;
471	482,1;
472	483,1;
473	484,1;
474	485,1;
475	486,1;
476	487,1;
477	488,1;
478	489,1;
479	490,1;
480	491,1;
481	492,1;
482	493,1;
483	494,1;
484	495,1;
485	496,1;
486	497,1;
487	498,1;
488	499,1;
489	500,1;
490	501,1;
491	502,1;
492	503,1;
493	504,1;
494	505,1;
495	506,1;
496	507,1;
497	508,1;
498	509,1;
499	510,1;
500	511,1;

134,136,1;
142,144,1;
150,152,1;
158,160,1;
166,168,1;
174,176,1;
182,184,1;
190,192,1;
198,200,1;
206,208,1;
214,216,1;
222,224,1;
230,232,1;
238,240,1;
246,248,1;
254,256,1;
262,264,1;
270,272,1;
278,280,1;
286,288,1;
294,296,1;
302,304,1;
310,312,1;
318,320,1;
326,328,1;
334,336,1;
342,344,1;
350,352,1;
358,360,1;
366,368,1;
374,376,1;
382,384,1;
390,392,1;
398,400,1;
406,408,1;
414,416,1;
422,424,1;
430,432,1;
438,440,1;
446,448,1;
454,456,1;
462,464,1;
470,472,1;
478,480,1;
486,488,1;
494,496,1;
502,504,1;
510,512,1;
518,520,1;
526,528,1;
534,536,1;
542,544,1;
550,552,1;
558,560,1;
566,568,1;
574,576,1;
582,584,1;
590,592,1;
598,600,1;
606,608,1;
614,616,1;
622,624,1;
630,632,1;
638,640,1;
646,648,1;
654,656,1;
662,664,1;
670,672,1;
678,680,1;
686,688,1;
694,696,1;
702,704,1;
710,712,1;
718,720,1;
726,728,1;
734,736,1;
742,744,1;
750,752,1;
758,760,1;
766,768,1;
774,776,1;
782,784,1;
790,792,1;
798,800,1;
806,808,1;
814,816,1;
822,824,1;
830,832,1;
838,840,1;
846,848,1;
854,856,1;
862,864,1;
870,872,1;
878,880,1;
886,888,1;
894,896,1;
902,904,1;
910,912,1;
918,920,1;
926,928,1;
934,936,1;
942,944,1;
950,952,1;
958,960,1;
966,968,1;
974,976,1;
982,984,1;
990,992,1;
998,1000,1;

RED NEURONAL 3.

NG1=1;U=7;T=C;L=10;E=-7,-7,-4,-7,-103,-104,-105,-106,-107,-109,-109,-110,-111,-112,-113,-114;

NG2=2;U=17;T=C;L=15;E=6,7,8,15,16,17,24,25,26,33,34,35,
-54,57,58,63,64,65,-72,-75,78,79,84,85,86,-93;

NG3=3;U=17;T=C;L=15;E=9,10,11,10,19,20,27,28,29,36,37,39,
-55,59,60,66,67,68,-73,-76,80,81,87,88,89,-94;

NG4=4;U=17;T=C;L=15;E=12,13,14,21,22,23,30,31,32,39,40,41,
-56,61,62,69,70,71,-74,-77,82,83,90,91,92,-95;

NG5=5;U=17;T=C;L=15;E=42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,
-76,80,81,87,88,89,-94,-96,97,98,99,100,101,-102;

NG6=6;U=7;T=C;L=20;X=380,382,1,385,387,1;
X=462,464,1,467,469,1;

NG7=7;U=7;T=C;L=20;X=380,382,1,385,387,1;
X=470,472,1,475,477,1;

NG8=8;U=7;T=C;L=20;X=380,382,1,385,387,1;
X=478,480,1,483,485,1;

NG9=9;U=7;T=C;L=20;X=16,18,1,21,23,1,131,133,1,170,172,1;
X=197,199,1,202,204,1,312,314,1,317,319,1;

X=380,382,1,385,387,1;
X=486,488,1,491,493,1;

NG5=10;U=7;T=C;L=20;X=16,18,1,21,23,1,131,133,1,136,138,1;

X=197,199,1,202,204,1,312,314,1,317,319,1;

X=380,382,1,385,387,1;

X=494,496,1,499,501,1;

NG6=11;U=7;T=C;L=20;X=16,18,1,21,23,1,131,133,1,136,138,1;

X=197,199,1,202,204,1,312,314,1,317,319,1;

X=380,382,1,385,387,1;

X=502,504,1,507,509,1;

NG7=12;U=7;T=C;L=20;X=380,382,1,385,387,1;

X=510,512,1,515,517,1;

NG8=13;U=7;T=C;L=20;X=380,382,1,385,387,1;

X=518,520,1,523,525,1;

NG9=14;U=7;T=C;L=20;X=380,382,1,385,387,1;

X=526,528,1,531,532,1;

NG10=15;U=7;T=C;L=20;Y=387,389,1,388,390,1;

X=467,469,1,472,475,1;

NG11=16;U=7;T=C;L=20;Y=387,389,1,388,390,1;

X=470,472,1,475,477,1;

NG12=17;U=7;T=C;L=20;Y=387,389,1,388,390,1;

X=478,480,1,483,485,1;

NG13=18;U=7;T=C;L=20;X=19,21,1,24,26,1,128,130,1,133,135,1;

X=200,202,1,205,207,1,300,311,1,314,316,1;

X=383,385,1,388,390,1;

X=486,488,1,491,493,1;

X=547,550,1;

NG14=19;U=7;T=C;L=20;X=19,21,1,24,26,1,128,130,1,133,135,1;

X=200,202,1,205,207,1,309,311,1,314,316,1;

X=383,385,1,388,390,1;

X=494,496,1,499,501,1;

X=543,550,1;

NG15=20;U=7;T=C;L=20;Y=19,21,1,24,26,1,128,130,1,133,135,1;

X=200,202,1,205,207,1,309,311,1,314,316,1;

X=383,385,1,388,390,1;

X=502,504,1,507,509,1;

X=543,550,1;

NG16=21;U=7;T=C;L=20;X=387,389,1,388,390,1;

X=510,512,1,515,517,1;

NG17=22;U=7;T=C;L=20;Y=387,389,1,388,390,1;

X=518,520,1,523,525,1;

NG18=23;U=7;T=C;L=20;Y=387,389,1,388,390,1;

X=526,528,1,531,532,1;

NG19=24;U=7;T=C;L=20;X=391,393,1,396,398,1;

X=467,469,1,467,469,1;

NG20=25;U=7;T=C;L=20;X=391,393,1,396,398,1;

X=470,472,1,475,477,1;

NG21=26;U=7;T=C;L=20;Y=391,393,1,396,398,1;

X=470,480,1,483,485,1;

NG22=27;U=7;T=C;L=20;Y=27,29,1,32,34,1,120,122,1,125,127,1;

X=208,210,1,213,215,1,301,303,1,306,308,1;

X=391,393,1,396,398,1;

X=486,488,1,491,493,1;

NG23=28;U=7;T=C;L=20;Y=27,29,1,32,34,1,120,122,1,125,127,1;

X=208,210,1,213,215,1,301,303,1,306,308,1;

X=301,303,1,306,308,1;

X=494,496,1,499,501,1;

NG24=29;U=7;T=C;L=20;Y=27,29,1,32,34,1,120,122,1,125,127,1;

X=208,210,1,213,215,1,301,303,1,306,308,1;

X=301,303,1,306,308,1;

X=502,504,1,507,509,1;

NG25=30;U=7;T=C;L=20;Y=391,393,1,396,398,1;

X=510,512,1,515,517,1;

NG26=31;U=7;T=C;L=20;Y=391,393,1,396,398,1;

X=518,520,1,523,525,1;

NG27=32;U=7;T=C;L=20;Y=391,393,1,396,398,1;

X=526,528,1,531,532,1;

NG28=33;U=7;T=C;L=20;Y=394,396,1,399,401,1;

X=462,464,1,467,469,1;

NG29=34;U=7;T=C;L=20;Y=394,396,1,399,401,1;

X=470,472,1,475,477,1;

NG30=35;U=7;T=C;L=20;Y=394,396,1,399,401,1;

X=478,480,1,483,485,1;

NG31=36;U=7;T=C;L=20;Y=30,32,1,35,37,1,117,119,1,122,124,1;

X=211,213,1,216,218,1,298,300,1,303,305,1;

X=301,306,1,309,401,1;

X=486,488,1,491,493,1;

HG32=37;U=7;T=C;L=20;X=30,32,1,35,37,1,117,119,1,122,124,1;
X=211,213,1,216,218,1,298,300,1,303,305,1;

X=394,396,1,399,401,1;

X=494,496,1,499,501,1;

HG33=38;U=7;T=C;L=20;Y=30,32,1,35,37,1,117,119,1,122,124,1;

X=211,213,1,216,218,1,298,300,1,303,305,1;

X=394,396,1,399,401,1;

X=502,504,1,507,509,1;

HG34=39;U=7;T=C;L=20;X=394,396,1,399,401,1;

X=510,512,1,515,517,1;

HG35=40;U=7;T=C;L=20;Y=394,396,1,399,401,1;

X=518,520,1,523,525,1;

HG36=41;U=7;T=C;L=20;Y=394,396,1,399,401,1;

X=526,528,1,531,532,1;

HG37=42;U=7;T=C;L=20;Y=42,44,1,47,49,1,105,107,1,110,112,1;

X=223,225,1,228,231,1,286,288,1,291,293,1;

X=406,408,1,411,413,1;

HG38=43;U=7;T=C;L=20;Y=42,44,1,47,49,1,105,107,1,110,112,1;

X=223,225,1,228,231,1,286,288,1,291,293,1;

X=406,408,1,411,413,1;

HG39=44;U=7;T=C;L=20;Y=42,44,1,47,49,1,105,107,1,110,112,1;

X=223,225,1,228,231,1,286,288,1,291,293,1;

X=406,408,1,411,413,1;

HG40=45;U=7;T=C;L=20;Y=47,49,1,50,52,1,107,109,1,107,109,1;

X=226,228,1,231,233,1,297,299,1,299,299,1;

X=109,411,1,414,416,1;

NG41=46;U=7;T=C;L=20;Y=45,47,1,50,52,1,102,104,1,107,109,1;

X=226,228,1,231,233,1,283,285,1,288,290,1;

X=409,411,1,414,416,1;

NG42=47;U=7;T=C;L=20;Y=45,47,1,50,52,1,102,104,1,107,109,1;

X=226,228,1,231,233,1,283,285,1,288,290,1;

X=409,411,1,414,416,1;

NG43=48;U=7;T=C;L=20;X=53,55,1,58,60,1,94,96,1,99,101,1;

X=234,236,1,239,241,1,275,277,1,280,282,1;

X=417,419,1,422,424,1;

NG44=49;U=7;T=C;L=20;X=53,55,1,58,60,1,94,96,1,99,101,1;

X=234,236,1,239,241,1,275,277,1,280,282,1;

X=417,419,1,422,424,1;

NG45=50;U=7;T=C;L=20;X=53,55,1,58,60,1,94,96,1,99,101,1;

X=234,236,1,239,241,1,275,277,1,280,282,1;

X=417,419,1,422,424,1;

NG46=51;U=7;T=C;L=20;Y=56,58,1,61,63,1,91,93,1,96,98,1;

X=237,239,1,242,244,1,272,274,1,277,279,1;

X=420,422,1,425,427,1;

NG47=52;U=7;T=C;L=20;Y=56,58,1,61,63,1,91,93,1,96,98,1;

X=237,239,1,242,244,1,272,274,1,277,279,1;

X=420,422,1,425,427,1;

NG48=53;U=7;T=C;L=20;Y=56,58,1,61,63,1,91,93,1,96,98,1;

X=237,239,1,242,244,1,272,274,1,277,279,1;

X=420,422,1,425,427,1;

HG49=54;U=7;T=C;L=60;X=365,367,1,370,372,1;

HG50=55;U=7;T=C;L=60;Y=1,3,1,6,8,1,144,146,1,149,151,1;

X=180,186,1,189,191,1,327,329,1,332,334,1;

X=365,367,1,370,372,1;

HG51=56;U=7;T=C;L=60;X=365,367,1,370,372,1;

HG52=57;U=7;T=C;L=20;Y=370,372,1,375,377,1;

HG53=58;U=7;T=C;L=20;X=370,372,1,375,377,1;

HG54=59;U=7;T=C;L=20;Y=6,8,1,11,13,1,139,141,1,144,146,1;

X=189,191,1,194,196,1,322,324,1,327,329,1;

X=370,372,1,375,377,1;

HG55=60;U=7;T=C;L=20;Y=6,8,1,11,13,1,139,141,1,144,146,1;

X=189,191,1,194,196,1,322,324,1,327,329,1;

X=370,372,1,375,377,1;

HG56=61;U=7;T=C;L=20;Y=370,372,1,375,377,1;

HG57=62;U=7;T=C;L=20;Y=370,372,1,375,377,1;

HG58=63;U=7;T=C;L=20;X=376,378,1,381,383,1;

X=461,463,1,466,468,1;

HG59=64;U=7;T=C;L=20;X=376,378,1,381,383,1;

X=467,471,1,474,476,1;

HG60=65;U=7;T=C;L=20;Y=376,378,1,381,383,1;

X=477,479,1,482,484,1;

HG61=66;U=7;T=C;L=20;Y=12,14,1,17,19,1,133,135,1,138,140,1;

X=195,197,1,200,202,1,316,319,1,321,323,1;

X=376,378,1,381,383,1;

X=487,487,1,490,492,1;

HG62=67;U=7;T=C;L=20;Y=17,19,1,17,19,1,133,135,1,138,140,1;

X=175,177,1,200,202,1,316,318,1,321,323,1;

X=376,378,1,381,383,1;

X=493,495,1,498,500,1;

HG63=68;U=7;T=C;L=20;Y=17,19,1,17,19,1,133,135,1,138,140,1;

X=175,177,1,200,202,1,316,318,1,321,323,1;

X=376,378,1,381,383,1;

X=501,503,1,506,508,1;

HG64=69;U=7;T=C;L=20;Y=376,378,1,381,383,1;

X=509,511,1,514,516,1;

HG65=70;U=7;T=C;L=20;Y=376,378,1,381,383,1;

X=517,519,1,522,524,1;

HG66=71;U=7;T=C;L=20;Y=376,378,1,381,383,1;

X=525,527,1,530,532,1;

HG67=72;U=7;T=C;L=60;Y=381,383,1,386,388,1;

X=469,471,1,474,476,1;

HG68=73;U=7;T=C;L=60;Y=17,19,1,22,24,1,128,130,1,133,135,1;

X=200,202,1,205,207,1,311,313,1,316,318,1;

X=381,383,1,386,388,1;

X=493,495,1,498,500,1;

HG69=74;U=7;T=C;L=60;Y=381,383,1,386,388,1;

X=517,519,1,522,524,1;

HG70=75;U=7;T=C;L=60;Y=391,393,1,396,398,1;

X=469,471,1,474,476,1;

HG71=76;U=7;T=C;L=60;Y=27,29,1,32,34,1,118,120,1,123,125,1;

X=210,212,1,215,217,1,301,303,1,306,308,1;

X=371,373,1,376,378,1;

X=473,475,1,478,500,1;

NG72=77;U=7;T=C;L=60;V=391,393,1,396,398,1;

X=517,519,1,522,524,1;

NG73=78;U=7;T=C;L=20;X=396,398,1,401,403,1;

X=465,467,1,470,472,1;

NG74=79;U=7;T=C;L=20;V=396,398,1,401,403,1;

X=473,475,1,478,480,1;

NG75=80;U=7;T=C;L=20;V=32,34,1,37,39,1,113,115,1,119,121,1;

X=215,217,1,220,222,1,276,278,1,301,303,1;

X=376,378,1,401,403,1;

X=400,401,1,404,406,1;

NG76=81;U=7;T=C;L=20;X=32,34,1,37,39,1,113,115,1,119,121,1;

X=215,217,1,220,222,1,276,278,1,301,303,1;

X=396,398,1,401,403,1;

X=407,409,1,502,504,1;

NG77=82;U=7;T=C;L=20;V=396,398,1,401,403,1;

X=513,515,1,518,520,1;

NG78=83;U=7;T=C;L=20;X=396,398,1,401,403,1;

X=521,523,1,526,528,1;

NG79=84;U=7;T=C;L=20;X=402,404,1,407,409,1;

NG80=85;U=7;T=C;L=20;V=402,404,1,407,409,1;

NG81=86;U=7;T=C;L=20;V=402,404,1,407,409,1;

NG82=87;U=7;T=C;L=20;X=39,40,1,43,45,1,107,109,1,112,114,1;

X=221,273,1,276,228,1,290,272,1,295,277,1;

X=402,404,1,407,409,1;

NG83=88;U=7;T=C;L=20;Y=38,40,1,43,45,1,107,109,1,112,114,1;

X=271,273,1,226,228,1,290,292,1,295,297,1;

X=402,404,1,407,409,1;

NG84=89;U=7;T=C;L=20;Y=38,40,1,43,45,1,107,109,1,112,114,1;

X=221,273,1,276,228,1,290,272,1,295,277,1;

X=407,409,1,412,414,1;

NG85=90;U=7;T=C;L=20;Y=402,404,1,407,409,1;

NG86=91;U=7;T=C;L=20;Y=402,404,1,407,409,1;

NG87=92;U=7;T=C;L=20;Y=402,404,1,407,409,1;

NG88=93;U=7;T=C;L=60;Y=407,409,1,412,414,1;

NG89=94;U=7;T=C;L=60;Y=43,45,1,48,50,1,102,104,1,107,109,1;

X=226,228,1,231,233,1,285,287,1,290,292,1;

X=407,409,1,412,414,1;

NG90=95;U=7;T=C;L=60;Y=407,409,1,412,414,1;

NG91=96;U=7;T=C;L=60;Y=53,55,1,58,60,1,92,94,1,97,99,1;

X=236,238,1,241,243,1,275,277,1,280,282,1;

X=417,419,1,422,424,1;

NG92=97;U=7;T=C;L=20;Y=58,60,1,63,65,1,87,89,1,92,94,1;

X=241,243,1,246,248,1,270,272,1,275,277,1;

X=422,424,1,427,429,1;

NG93=98;U=7;T=C;L=20;Y=58,60,1,63,65,1,87,89,1,92,94,1;

X=241,243,1,246,248,1,270,272,1,275,277,1;

X=422,424,1,427,429,1;

NG7A=99;U=7;T=C;L=29;V=64,66,1,67,71,1,81,83,1,86,88,1;

X=247,249,1,252,254,1,264,266,1,269,271,1;

X=428,430,1,433,435,1;

NG75=107;U=7;T=C;I=70;X=64,66,1,67,71,1,81,83,1,86,88,1;

X=247,249,1,252,254,1,264,266,1,269,271,1;

X=428,430,1,433,435,1;

NG76=101;U=7;T=C;L=70;X=64,66,1,67,71,1,81,83,1,86,88,1;

X=247,249,1,252,254,1,264,266,1,269,271,1;

X=428,430,1,433,435,1;

NG97=102;U=7;T=C;L=60;X=69,71,1,74,76,1,77,78,1,81,83,1;

X=252,254,1,257,258,1,259,261,1,264,266,1;

X=433,435,1,438,440,1;

NF1=103;L=15;T=C;U=58;E=9,10,11;

NF2=104;L=15;T=C;U=58;E=18,19,20;

NF3=105;L=15;T=C;U=58;E=27,28,29;

NF4=106;L=15;T=C;U=58;E=36,37,38;

NF5=107;L=15;T=C;U=70;E=-55,56,60,66,67,68,-73;

NF6=108;L=15;T=C;U=70;E=-76,80,81,87,88,89,-94;

NT1=109;U=1;L=25;T=C;F=5;

NT2=110;U=1;L=25;T=C;F=10;

NT3=111;U=1;L=25;T=C;F=11;

NT4=112;U=1;L=25;T=C;F=11;

NT5=113;U=1;L=25;T=C;F=11;

NT6=114;U=1;L=25;T=C;F=11;

APENDICE B

**"INSTRUCTIVO DE USUARIO DEL
PROGRAMA ESTIMULA"**

1).- INSTRUCTIVO DE USUARIO

Antes de ejecutar el programa ESTIMULA, es necesario, cargar o tener previamente en disco (4) (5) los siguientes archivos de datos:

DATOSSIMULACIONIN

REDNEURONAS

DATOSIMPRESION y

COORDENADAS

La forma de cargarlos se realiza por medio de las siguientes tarjetas de control (5).

Para DATOSSIMULACIONIN:

? JOB nombre

? USER = xx##/yy

? CLASS = #

? BEGIN

? RUN SYSTEM/DUMPALL ("CRDDPK DS DATOSSIMULACIONIN E 14 420")

? DATA DS

archivo DATOSSIMULACIONIN

? END JOB

Para REDNEURONAS:

? JOB nombre

? USER = xx##/yy

? CLASS = #

? BEGIN

? RUN SYSTEM/DUMPALL ("CRDDPK RN REDNEURONAS E 14 420")

? DATA RN

archivo REDNEURONAS

? END JOB

Para DATOSIMPRESION:

? JOB nombre

? USER = xx##/yy

? CLASS = #

? BEGIN

? RUN SYSTEM/DUMPALL ("CRDDPK DI DATOSIMPRESION E 14 420")

? DATA DI

archivo DATOSIMPRESION

? END JOB

Y para COORDENADAS:

? JOB nombre

? USER = xx##/yy

? CLASS = #

? BEGIN

? RUN SYSTEM/DUMPALL ("CRDDPK CO COORDENADAS E 14 420")

? DATA CO

archivo COORDENADAS

? END JOB

Los datos necesarios para el programa ESTIMULA son aquellos que se requieren para la especificación del estímulo en la simulación de la red neuronal, los cuales se proporcionan dentro del conjunto de tarjetas de control (5) para ejecutar el programa. Que se detallan a continuación:

? JOB nombre

? USER= xx##/yy

? CLASS= #

? RUN ESTIMULA/O

? DATA ESTIMULO

archivo ESTIMULO

? END JOB

La ejecución del programa ESTIMULA solo es posible en la computadora BURROUGHS B-6700. Los programas fuentes y objeto de ESTIMULA llamados respectivamente ESTIMULA/F y ESTIMULA/O están catalogados en la clave RL89 del Instituto de Biología de la UNAM.

A continuación se describen los datos que formarán los diferentes archivos mencionados.

DATOSSIMULACIONIN

Está compuesto de dos tarjetas de datos que contienen la siguiente información:

1a. Tarjeta

El número de neuronas de la red, empezando en cualquier columna de la tarjeta.

2a. Tarjetas

El tipo de simulación, perforándose una letra E en la primera columna de la tar

jeta.

REDNEURONAS

En este archivo se proporcionan las tarjetas de datos que describen la red neuronal a simular con todas sus características y parámetros necesarios, a excepción de las neuronas ganglionares, las cuales carecerán de entrada externa y deberán tener la siguiente identificación de neurona:

$$NG\ ni = ne$$

donde:

NG indica que se trata de una neurona ganglionar.

ni es un número de identificación de la neurona ganglionar en el modelo de la red neuronal. Este número deberá tener una correspondencia biunívoca con el archivo COORDENADAS.

ne es un número de especificación de la neurona ganglionar dentro de la descripción general de la red neuronal en el archivo - REDNEURONAS.

DATOSIMPRESION

Contienen las tarjetas que proporcionan la información referente a los resultados a obtener, ya sean gráficas y/o tabulaciones. Este archivo es el mismo que utiliza el programa FATSYPDUCK (2).

Los archivos DATOSSIMULACIONIN y REDNEURONAS, corresponden respectivamente a los archivos DATOSSIMULACION y DATOSNEURONAS del programa FATSYPDUCK, tomando en consideración las variaciones en aquéllos antes mencionados.

Para una explicación más detallada de la forma de construirse estos tres archivos, deberá verse la referencia (2) la cual contiene un instructivo completo para tal fin.

COORDENADAS

Este archivo deberá contener las tarjetas en las que se proporcionarán los datos necesarios para la especificación de las coordenadas de las neuronas ganglionares de la red neuronal a simular.

El archivo está dividido en dos partes. En la primera (primera tarjeta) se especifica el modelo de la red neuronal a estimular y los rangos de las coordenadas correspondientes a las neuronas ganglionares ON-OFF y OFF-ON.

La especificación del modelo de la red neuronal deberá iniciarse con una letra N seguido de cualquier combinación de letras, signos y blancos; y por último el número de identificación del modelo, el cual deberá ser entero y positivo.

Ejemplos de especificación de modelo de la red neuronal:

N RED-NEURONAL 1

NEURONA 3

NEURONA = 1

NEURON. 7

NEURONITA 5

NEURONAL, 1

Los rangos de las neuronas ganglionares ON-OFF y OFF-ON se describen de la siguiente forma: se identifica el tipo de neurona ganglionar con las palabras ONOFF y OFFON, según el caso, el rango se indica dentro de paréntesis con dos números separados por una coma.

dos por una coma ", ".

El primer número corresponde al número de la primera neurona y el segundo a la última neurona ganglionar ON-OFF o bien OFF-ON con que fueron designadas en el -- modelo. Estos números deberán ser números enteros positivos.

Se deben especificar ambos rangos de tipos de neuronas ganglionares. La forma general para describir los rangos se muestra a continuación.

ONOFF ($N1_{ONOFF}$, $N2_{ONOFF}$)

OFFON ($N1_{OFFON}$, $N2_{OFFON}$)

donde:

$N1_{ONOFF}$ es el número de la primera neurona ganglionar ON-OFF.

$N2_{ONOFF}$ es el número de la última neurona ganglionar ON-OFF.

$N1_{OFFON}$ es el número de la primera neurona ganglionar OFF-ON.

$N2_{OFFON}$ es el número de la última neurona ganglionar OFF-ON.

Los números $N1_{ONOFF}$, $N2_{ONOFF}$, $N1_{OFFON}$, $N2_{OFFON}$ deben cumplir

las siguientes condiciones.

a) $N2_{ONOFF} > N1_{ONOFF} > 0$

b) $N2_{OFFON} > N1_{OFFON} > 0$

c) $N1_{ONOFF} \neq N1_{OFFON}$

d) $N2_{ONOFF} \neq N2_{OFFON}$

e) $N2_{ONOFF} \neq N1_{OFFON}$

$$f) N2_{OFFON} \neq N1_{ONOFF}$$

$$g) N2_{ONOFF} + 1 = N1_{OFFON} \circ N2_{OFFON} + 1 = N1_{ONOFF}$$

A continuación se muestran algunos ejemplos que indican los rangos de neuronas - ganglionares.

ONOFF (1, 50) OFFON (51, 101)

ONOFF (1, 50) OFFON (51, 73)

OFFON (7, 35) ONOFF (36, 48)

El orden de la información en la primera tarjeta deberá estar en la siguiente forma:

- I) La especificación del modelo de la red neuronal
- II) La especificación de los rangos ON-OFF y OFF-ON o bien OFF-ON y ON-OFF de las neuronas ganglionares.

Estas especificaciones deberán estar separados por comas "," y al final de toda la información deberá ponerse un punto y coma ";", el cual indicará el fin de la descripción en la primera parte (primera tarjeta) del archivo COORDENADAS.

Ejemplos de la descripción de información en la primera tarjeta:

NEURONAS = 3, ONOFF (1, 48), OFFON (49, 97);

N RED NEURONAL, 5, OFFON (2, 7), OFFON (8, 1000);

N 1, ONOFF (1, 162), OFFON (163, 316);

En la segunda parte del archivo COORDENADAS (siguientes tarjetas) deberá ha-

ber una tema de datos por tarjeta y por neurona ganglionar.

La tema consiste de el número de identificación de la neurona ganglionar en el modelo a simular, seguido de la abscisa y de la ordenada del centro del campo receptivo de la misma.

El número de identificación de la neurona ganglionar (n_i) deberá ser único, entero y mayor a uno. Este número está biunivocamente relacionado con alguna de las neuronas ganglionares descritas en el archivo REDNEURONAS a excepción de alguno de los casos particulares que se describen posteriormente.

Las coordenadas (abscisa y ordenada) son cualquier número real.

Los tres datos deberán estar separados por comas "," (formato libre) y opcionalmente al final de la tema un coma-asterisco ",*".

Ejemplos de ternas de datos:

1, 0.25, 0.75

2, 3.75, 0.005, *

3, 0.0, 0.1, *

4, -1.5, 0.2

CASOS PARTICULARES

Pueden existir casos en que los rangos de las neuronas ganglionares no cumplan con alguna de las condiciones del inciso (9), debido al diseño del modelo de la red neuronal.

Estos casos pueden ser:

$$h) N2_{ONOFF} + 1 > N1_{OFFON} \quad \circ \quad N2_{OFFON} + 1 > N1_{ONOFF}$$

El inciso (h) se interpreta de la siguiente forma: la separación entre las identificaciones - de los rangos de las neuronas ganglionares no es continua. Estos casos serían, por ejem - plo, que la identificación de las neuronas ganglionares ON-OFF fuera de la 1 a la 25 y - las neuronas ganglionares OFF-ON de la 30 a la 75. El problema se resuelve sustituyen - do el valor de $N1_{OFFON}$ (original) = 30 por el de $N2_{ONOFF} + 1$ (o sea 26), teniéndo - se una descripción de rangos:

ONOFF (1, 25) OFFON (26, 75)

las cuales cumplen con la condición (g).

Además, esta descripción involucra un aumento de:

$N1_{OFFON}$ (original) - $N2_{ONOFF} = 30 - 25 = 5$ tarjetas en blanco entre las - - coordenadas de la neurona 26 y 30 de la segunda parte de este archivo.

Nótese que existen para este ejemplo 75 tarjetas en la segunda parte del archivo.

Otro caso particular sería el de que una neurona ganglionar fuera equivalente a - otra o a otras neuronas ganglionares dentro de un mismo rango (ON-OFF y OFF-ON).

Por ejemplo supóngase que se tiene un rango de neuronas ganglionares ON-OFF de la 16 a la 37 en la descripción de un modelo y además que las neuronas ganglionares OFF-ON número 18, 36 y 37 (NG18, NG36 y NG37) son equivalente a la neurona - - ganglionar OFF-ON número 16 (NG16).

La descripción de los rangos en la primera tarjeta sería la especificada, o sea:

ONOFF (1, 15) OFFON (16, 37)

en la segunda parte del archivo se describirán las coordenadas para cada neurona, excep - to la (las) que es (son) "equivalente(s) a", las que estarán representadas por una tarjeta -

en blanco por cada una de ellas (NG18, NG36 y NG37). La tarjeta correspondiente a la neurona ganglionar 18 tendrá su terna de datos.

Nótese que deben existir para el ejemplo 37 tarjetas en la segunda parte de datos del archivo.

ESTIMULO

En este archivo se describen las características del estímulo, tales como la descripción del tipo de estímulo, posiciones, dimensiones, tipo de movimiento, dirección del movimiento y velocidad.

En el diagrama B.1 se muestra el flujo de datos para describir el estímulo dependiendo de sus características.

Los símbolos representados por una tarjeta de computadora representan la tarjeta a perforar con los datos indicados en ella. Los datos pueden empezar en cualquier columna de la tarjeta y deben ocupar solamente una tarjeta.

Los símbolos representados por rombos son etapas de bifurcación del flujo de datos, dependiendo de la condición indicada dentro del símbolo y solo podrá elegirse una de sus ramas o trayectorias.

Los pequeños círculos son símbolos que sirven para identificar un punto común en el flujo de la descripción de las características del estímulo.

A continuación se hará una descripción de los diferentes tipos de tarjetas de datos del diagrama.

TARJETA A

En esta tarjeta se perforará una identificación de 10 caracteres como máximo.

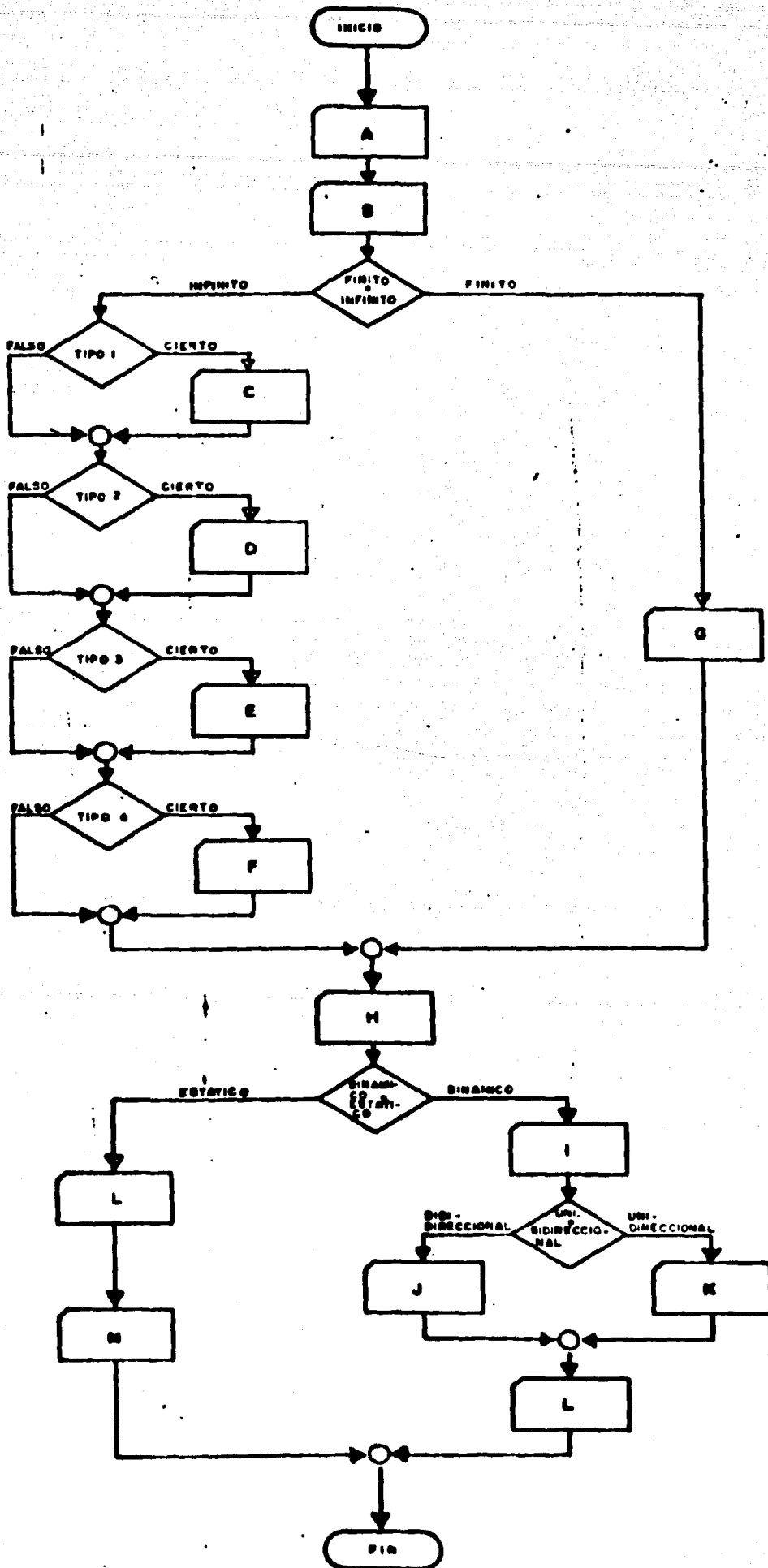


DIAGRAMA 8-1

Podrá ser una combinación de letras, números y símbolos especiales. Ejemplos:

PRUEBAS

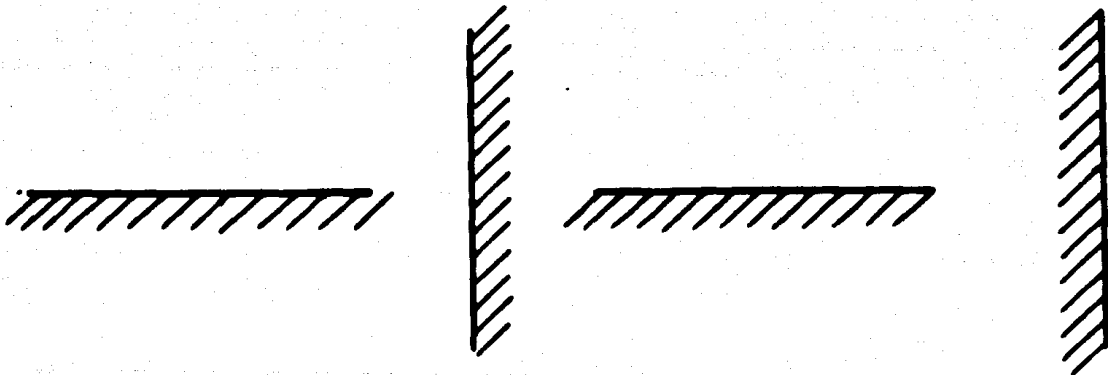
"NEU 1"

NEUR - 3

TARJETA B

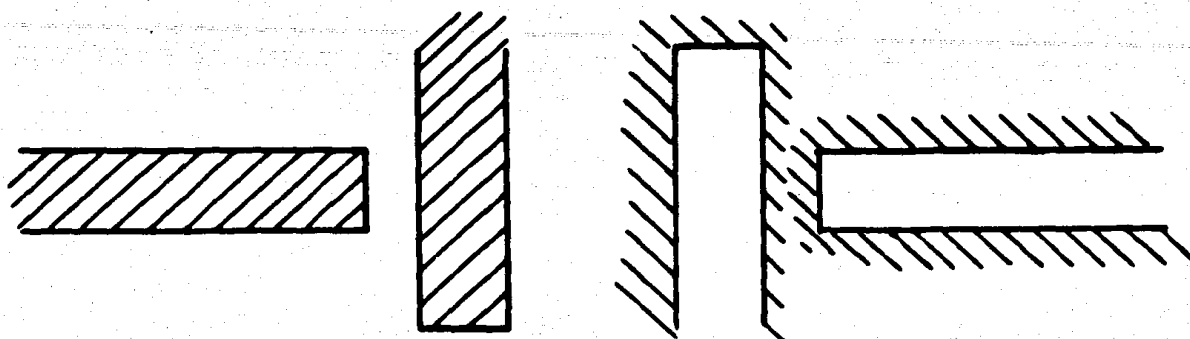
Se describe uno de los cinco tipos de estímulos que se mencionan a continuación.

- TIPO 1 BORDES. Son estímulos que presentan solo una arista o borde infinito, ya sea horizontal o vertical. Por ejemplo:

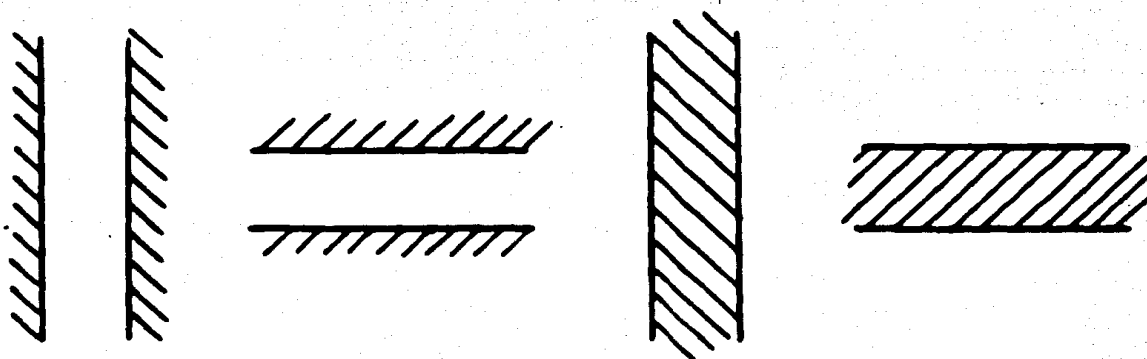


- TIPO 2 LENGÜETAS. Estímulos que presentan 3 aristas o bordes, dos de ellos paralelos verticales u horizontales, de largo infinito y el otro transversal a ellos.

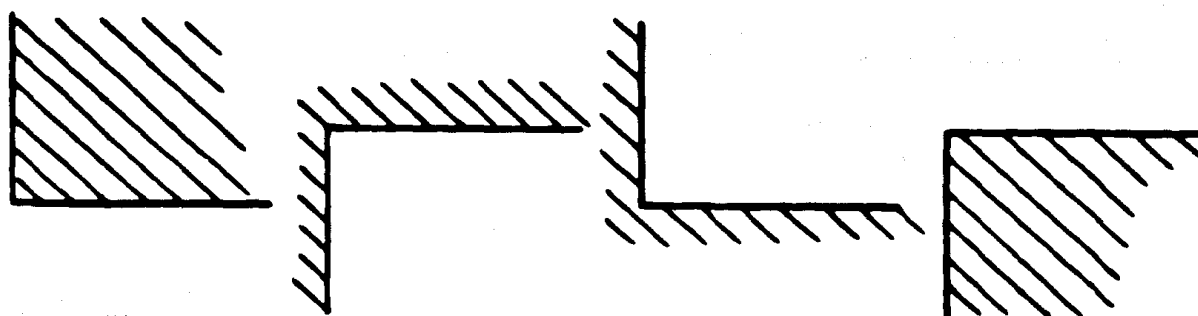
Por ejemplo:



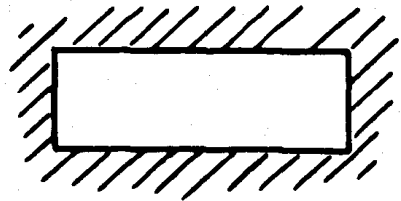
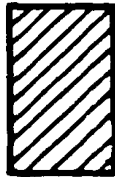
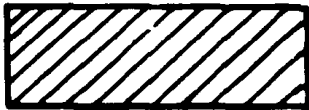
- TIPO 3 BARRAS. Presentan 2 bordes paralelos infinitos, horizontales o verticales. Por ejemplo:



- TIPO 4 ESQUINAS. Estos estímulos presentan 2 bordes perpendiculares, -- uno horizontal y el otro vertical. Los bordes son de largo infinito. Ejemplos:



- TIPO 5 FINITOS. Estímulos que presentan cuatro bordes. Pueden ser únicamente cuadros o rectángulos. Por ejemplo:



Los primeros cuatro tipos de estímulos presentan a uno o dos bordes de largo infinito, no siendo así los del tipo 5. Nótese que estos estímulos no deben tener inclinación alguna.

Los estímulos infinitos (tipos 1, 2, 3 y 4) deben describirse indicando hacia donde es infinita la oscuridad o iluminación con la que se definió. La oscuridad o iluminación puede ser arriba, abajo, a la izquierda o derecha. Puede ser una combinación, o sea, hacia la izquierda y derecha o viceversa, arriba y abajo o viceversa, a la izquierda y arriba o viceversa, a la derecha y abajo o viceversa, etc.

Así que cada uno de los estímulos infinitos quedará descrito con una combinación de letras (máximo 3, mínimo 2), a excepción del estímulo tipo 2 que es una combinación de dos letras y un asterisco "*".

La forma general de la descripción de uno de estos estímulos es por medio de una letra I, que indicará que se trata de un estímulo infinito, seguido de letras (y en su caso un asterisco adicional). Pudiendo existir espacios en blanco.

Las letras son L, R, D y U, las cuales significan respectivamente izquierda (Left), derecha (Right), abajo (Down) y arriba (Up).

A continuación se detallan cada uno de los estímulos infinitos de acuerdo a la forma de descripción adoptada.

Tipo 1.- Se debe describir con dos letras únicamente. Ya que el borde sólo puede ser infinito hacia arriba (IU), infinito hacia abajo (ID), infinito a la izquierda (IL) e infinito a la derecha (IR).

Tipo 2.- Las lengüetas se describen igual que los estímulos tipo 1 (bordes), añadiéndole al final un asterisco "*". Por ejemplo: IL*.

Tipo 3.- Las barras son infinitas en dos sentidos y quedan descritos por tres letras. Estarán definidos ya sea hacia la izquierda y derecha (ILR) o viceversa (IRL) o bien hacia arriba y abajo (IUD) o viceversa (IDU).

Tipo 4.- Al igual que los estímulos tipo 3 (barras) quedan descritos por tres letras. Únicamente estarán definidos de las siguientes formas: infinito a la izquierda y arriba (ILU) o viceversa (IUL), a la izquierda y abajo (ILD) o viceversa (IDL); hacia la derecha y arriba (IRU) o viceversa (IUR) o bien hacia la derecha y abajo (IRD) o viceversa (IDR).

Los estímulos finitos o tipo 5 simplemente se describen con una letra F.

Ejemplos de descripción de tipos de estímulos.

ILD

IRL

ID*

I R

F

I U D

TARJETA C

En esta tarjeta se debe perforar la posición del borde en el punto que cruza a algun eje X o Y. En caso de existir movimiento este dato será la posición inicial.

TARJETA D

Se perforará en formato libre los datos correspondientes a las lengüetas en el siguiente orden: ancho o tamaño del borde transversal y la abscisa y ordenada izquierda o inferior de la lengüeta. La abscisa y ordenada serán la posición inicial del estímulo si es que existe movimiento. El ancho deberá ser un número mayor que cero. Ejemplos:

1.0 , 0.33 , -1.1

1.0, -0.5, -1.0 , *

TARJETA E

En esta tarjeta deberán estar perforados en formato libre los datos correspondientes a la dimensión y posición (inicial si existe movimiento), de una barra. Los datos -- deberán estar en el siguiente orden: ancho de la barra (número mayor que cero) y posición (abscisa u ordenada) en el punto que cruza algún eje (XoY). Ejemplos:

2.5 , -3.0 , *

1. , 0.3

TARJETA F

Esta tarjeta contendrá los datos correspondientes a la posición (inicial si existe

movimiento) del vértice izquierdo de una esquina, los datos serán perforados en formato libre y en el siguiente orden: abscisa y ordenada. Ejemplos:

0.3 , - 1.5

- 1.2 , - 1.13 , *

TARJETA G

En esta tarjeta se perforan la dimensión horizontal, dimensión vertical y posición (inicial si existe movimiento) de un estímulo finito o tipo 5. Las dimensiones deberán ser números mayores que cero.

Los datos deberán perforarse en formato libre y en el siguiente orden: dimensión horizontal, dimensión vertical, abscisa y ordenada. Ejemplos:

1.0 , 2.0 , -1.3 , 2.0

0.5, 0.5, 0.0, - 3.0 , *

TARJETA H

En esta tarjeta se indican los datos referentes al movimiento del estímulo.

En caso de existir movimientos deberá indicarse con una letra D, la cual significa que se trata de un estímulo dinámico. Después de la D forzosamente deberá indicarse cómo es el movimiento: "unidireccional" o "bidireccional" con respecto a un eje. - La forma de indicar si es unidireccional es con una letra U y para bidireccional con una letra B.

Si no existe tal movimiento se tratará de un estímulo estático y aparecerá indicándolo en la tarjeta con la letra E.

Ejemplos de descripción del tipo de movimiento:

D U

D B

D U

E

TARJETA I

Se indicará el sentido del movimiento cuando existal tal. Sólo podrá ser en un sentido, ya sea en el eje x, o en el eje y. La forma de indicarlo es perforando una X o una Y según sea el caso.

TARJETA J

Se perfora en esta tarjeta, en formato libre y con el siguiente orden la velocidad, la posición extrema y la posición final de un estímulo dinámico bidireccional -- (DB). Se debe tomar en cuenta la siguiente precaución:

Velocidad > 0

Las posiciones (extrema y final) deben ser la abscisa u ordenada dependiendo -- del sentido del movimiento (en x o en y), con respecto al punto inicial del estímulo.

Ejemplos:

0.5 , 2.5 , 3.0 , *

1.0 , - 1.0 , 2.0

TARJETA K

Se perforará en esta tarjeta en formato libre y con el siguiente orden: velocidad y posición final de un estímulo dinámico unidireccional (DU). Tomándose en cuenta --

las siguientes precauciones:

Posición final \neq Posición inicial

y Velocidad > 0

La posición final debe ser la abscisa u ordenada, dependiendo del sentido del -- movimiento, ya sea en X o en Y con respecto al punto inicial del estímulo.

Ejemplos:

0.5, 5.5 , *

0.5 , - 1.0

TARJETA L

En esta tarjeta deberá estar perforado si es oscuro o iluminado el estímulo, la -- forma de indicarlo es con una letra O o bien con una letra I respectivamente.

TARJETA M

En esta tarjeta se indica cómo es el estado inicial del estímulo ya sea iluminado (con una letra I) u oscuro (con una letra O) y el tiempo (t_1) de permanencia del estímulo cuando se trate de estímulos estáticos que no varíen su iluminación u oscuridad con respecto al tiempo.

En caso de tratarse de un estímulo estático que varíe su iluminación u oscuridad en el tiempo, se deberá indicar el estado inicial, ya sea con una letra O o bien con una letra I según sea el caso; el tiempo de permanencia del estímulo (t_2); el estado final ya sea iluminado con una letra I u oscuro con una letra O; y el tiempo de permanencia del estado final.

Nótese que al definir el estado inicial, por ejemplo, iluminado (I), no podrá --

ser igual al del estado final y viceversa. Los tiempos deberán ser mayores que cero.

Los datos en ambos casos de descripción deberán estar separados por comas "," y finalizados forzosamente por un coma-asterisco ",*". Ejemplos:

1, 13, *

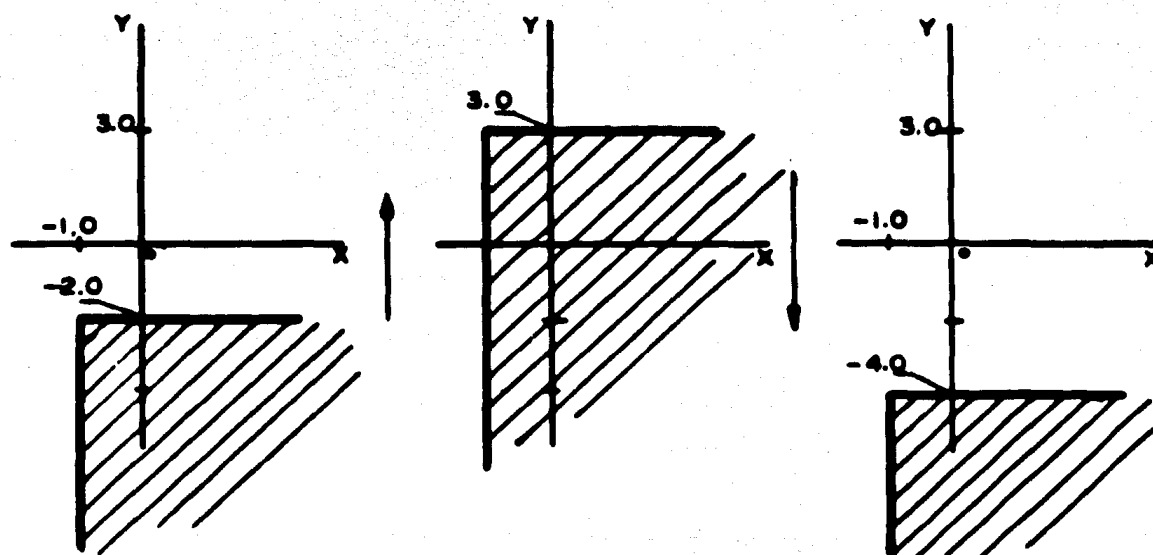
0, 5, *

1, 2., 0, 8, *

0, 3, 1, 5.5, *

2).- EJEMPLO COMPLETO DE LA DESCRIPCION DE LAS CARACTERISTICAS DE UN ESTIMULO

Supóngase que se quiere describir una esquina oscura, moviéndose con una velocidad de 0.5°/seg. en el sentido del eje y, iniciándose el movimiento en -2, alcanzando una posición extrema 3 y finalizando posición -4 (menor que la inicial). Este estímulo con tales características se muestra en las siguientes figuras.



Las características del estímulo serán perforadas en tarjetas siguiendo el diagrama B.1.

- La primera tarjeta será de identificación (A) y puede ser:

ESQUINA

- La siguiente tarjeta (B) contendrá la descripción del tipo de estímulo, la cual puede estar en la siguiente forma:

IRD

- La tercera tarjeta será del tipo F, en ella se perforarán las posiciones iniciales (abscisa y ordenada) ya que se trata de un estímulo tipo 4 (esquina).

- 1 . 0 , - 2 . 0

- La cuarta tarjeta (H) tendrá perforada el tipo de movimiento, en este caso será dinámico y bidireccional, o sea:

DB

- La quinta tarjeta (I) será la que indica el sentido del movimiento, en este ejemplo es en el sentido del eje de las ordenadas, la perforación será:

Y

- En la sexta tarjeta (J) quedarán perforados los datos correspondientes a la velocidad, posición extrema y final, los cuales son:

0.5 , 3.0 , - 4.0 , *

- Y por último en la séptima tarjeta (L) quedará perforada la letra que indica que el estímulo es oscuro, o sea, una letra:

O

Con estas siete tarjetas queda completamente descrito el estímulo del ejemplo y con ello, conformándose el archivo ESTIMULO necesario para la ejecución del programa ESTIMULA.

APENDICE C

"LISTADO DEL PROGRAMA ESTIMULA"

100 REGIA
 200 ARRAY
 300 ACURJ(012),
 400 EXTERNA(011),
 500 MATLORD(111000,1131)
 600 ALPHA
 700 MOV,
 800 DEFMI,
 900 EDUFINAL,
 1000 EDUNICIAL,
 1100 GRAUDELTE)
 1200 ALPHA ARRAY
 1300 AP1,APANA(1010),
 1400 IDENTIFICAC(011),
 1500 DATE(0111),
 1600 CARACTERISTICAC(0111)

1700 RCLEAN
 1800 DIRX,
 1900 ERROU,
 2000 UCURA,
 2100 YMEDU1,
 2200 YMEDU2,
 2300 SLACABC,
 2400 YABORDE1,
 2500 YABORDE2,
 2600 YABORDE3,
 2700 YABORDE4,
 2800 YABORDE5,
 2900 YEXTREMA1,
 3000 YEXTREMA2,
 3100 YEXTREMA3,
 3200 YEXTREMA4,
 3300 HAYEDUFINAL,
 3400 YPRIMEORDPRD,
 3500 TAMPOTAFINI 0,
 3600 EXISTENCVINILNTU)

3700 OFFINE
 3800 ENDD= 0,
 3900 ENUTF= 0,
 4000 NULLSE= 0,
 4100 ENUPR= 0,
 4200 ENUCASE= 0,
 4300 P=PDINTE= 0,
 4400 R=REPLACE= 0,
 4500 S=CALL= 0,
 4600 DEL=DELTA= 0,
 4700 INTE=INTEGR= 0,
 4800 RE=ACCORD(010),
 4900 CUNDX=ACCORD(11),
 5000 CUNDY=ACCORD(2)

5100 FILE
 5200 CCONLENDAS (K&NC= DSI,
 5300 FILETYPE=7,
 5400 TITLE="C. JURCLAUAS.")
 5500 (K&NC= REALER,
 5600 MAXRECSIZE=14),
 5700
 5800

6200
6300
6400
6500
6600
6700
6800
6900
7000
7100
7200
7300
7400
7500
7600
7700
7800
7900
8000
8100
8200
8300
8400
8500
8600
8700
8800
8900
9000
9100
9200
9300
9400
9500
9600
9700
9800
9900
10000
10100
10200
10300
10400
10500
10600
10700
10800
10900
11000
11100
11200
11300
11400
11500
11600
11700
11800
11900

INTEGER

T1,
T2,
T3,
T4,
T5,
T6,
TIDW1,
TIDA2,
USE,
SUB,
LINC,
LJUC,
CASU,
INDI,
HWAU,
CUNT,
LINDOFF,
LSUDOFF,
LINDIFC,
LSUDIFC,
HJUCASC,
TIEMPOCTA3,
TIEMPOMAX,
FRECUENCIA,
NEURONA

INTEGER ARRAY

CLICAL(113,115,116)

POINTER

PA,
PINAL,
PLARAC

REAL

PI,
PF,
CTAT,
DCEH,
DCGH,
ANCHU,
TIEU,
DIHE,
COUKE,
RESTRI

RECORDS(113)
FLEXIBLE=TRUE,
TITLE="LXTEH.AS.",
KIND=
PARTIAL,
MAXRECSIZE(22),
KIND=
DIS,
FILETYPE=7,
TITLE="HLDNEURON.AS.",
KIND=
DIS,
MAXRECSIZE=14,
BLOCKSIZE=42,
FLEXIBLE=TRUE,
SAVEFACT=30)

PAPER

RED

DATUNEURONAS

12200
12300
12400
12500
12600
12700
12800
12900
13000
13100
13200
13300
13400
13500
13600
13700
13800
13900
14000
14100
14200
14300
14400
14500
14600
14700
14800
14900
15000
15100
15200
15300
15400
15500
15600
15700
15800
15900
16000
16100
16200
16300
16400
16500
16600
16700
16800
16900
17000
17100
17200
17300
17400
17500
17600
17700
17800
17900
18000

```
POSIX,  
POSIXY,  
VELLOC,  
POSIXN,  
POSIXT,  
POSIXC,  
POSICION,  
DIAMCONT,  
DIAMCENT,  
UNULTIEMPC,  
CORUNESTRI,  
TIESTIMULO  
TRUTHSET  
ALUROS("TJ"  
NUMEROS("0123456789"),  
DESCRIPCION("LURC"),  
TIPODENGO("BUDE"),  
DIRECCION("NAY"),  
DIMENSION("TIN"))  
$ SET PAGE  
PROCEDURE ESCRIBEMOR(1))  
INTEGER  
BEGIN  
VALOR ARRAY  
ERRINES(  
" >>>> INCORRECTA LA DIMENSION DEL ESTIMULO O FALTA IDENT. " " " 1  
" >>>> DESCRIPCION INCORRECTA DEL ESTIMULO " " " 2  
" >>>> EL TIPO DE MOVIMIENTO ES INCORRECTO " " " 3  
" >>>> ES INCORRECTA LA SEGURIDAD O ILUMINACION " " " 4  
" >>>> LAS DIMENSIONES DEL ESTIMULO NO SON CORRECTAS " " " 5  
" >>>> INCORRECTA LA VELOC. O LAS PES. INIC, EXTR, O FINAL " " " 6  
" >>>> ESTADO INICIAL INCORRECTO " " " 7  
" >>>> EL TIEMPO DEL ESTIMULO O DEL LUG. FINAL NO CORRECTOS " " " 8  
" >>>> ESTADO FINAL INCORRECTO " " " 9  
" >>>> ERROR EN DESCRIPCION DE COORDENADAS " " " 10  
" >>>> ERROR DE GRAMATICA " " " 11  
" >>>> ERROR EN LA RED " " " 12  
" >>>> FALTA IDENTIFICACION " " " 13  
"***** E J E C U C I O N A D E R T A C A *****" " " 14  
))  
FORMAT  
LETRER(1,150,32(" ")),1,150," ",181," ",  
1,150," ",X1,"ERROR(ES) EN LOS DATOS DEL " "T81," ",  
1,150," ",X1,"ESTIMULO O DE LAS COORDENADAS " "T81," ",  
1,150," ",X1," " DE LA ALD. " "T81," ",  
1,150," ",1,10," "  
1,150,32(" ")//11,  
"NOTAS SE LISTA LA TARJETA TAL COMO SE PERFORMA"  
1,117,"Y ABAJO EL ERROR GENERADO."//1))  
  
IF EINHUR THEN  
BEGIN  
WRITE(PAPEL<S/>))  
IF A NEG 14 THEN  
BEGIN  
WRITE(PAPEL<1>,"CARACTERISTICA")  
WRITE(PAPEL<5>,"ALD")F(ERRORES((I-1)*10)))  
END  
LLSL
```

18400
18500
18600
18700
18800
18900
19000
19100
19200
19300
19400
19500
19600
19700
19800
19900
20000
20100
20200
20300
20400
20500
20600
20700
20800
20900
21000
21100
21200
21300
21400
21500
21600
21700
21800
21900
22000
22100
22200
22300
22400
22500
22600
22700
22800
22900
23000
23100
23200
23300
23400
23500
23600
23700
23800
23900
24000
24100

```

ELSE
  LND
  BEGIN
    WRITE(FAPEL,LETRERO)
    WRITE(FAPEL,14,CARACTERISTICA)
    WRITE(FAPEL,15,ASO),P(ERRORES((I-1)*10))
    LRMURI=TRJES
  END
ENDIF
END
ENFRO) * ESCRIBEROR
$ SET PAGE
PROCEDURE LEEYANOLIZACUERDIALAS;
BEGIN
  INTEGER C;
  POINTER PCCRD,PN,PNUM;
  LABEL ERR;
  DEFINE
    ALIERTCO: A= $ PCRD:PCRD FOR C=C UNTIL EQL "C";
    $ PCRD:PCRD+1 FOR C=C-1 UNTIL IN NUMEROS;
    PNUM=PCRD;
    $ PCRD:PCRD+1 FOR C=C-1 UNTIL EQL "C";
    CERRAD=PNUM+PCRD+1;
    $ PCRD:PCRD+1 FOR C=C-1 UNTIL EQL "C";
    PCRD=PCRD+1;
  READ(CUERDENA) 14,CARACTERISTICA);
  PCRD=PNT+PCA(CTERISTICA);
  C=0;
  $ PCRD:PCRD FOR C=C UNTIL EQL "C";
  IF C GEQ 1 THEN
    IF PCCRD EQL "C" THEN
      BEGIN
        $ PCRD:PCRD+1 FOR C=C-1 UNTIL IN NUMEROS;
        PNUM=PCRD;
        $ PNUM FOR C=C WHILE IN NUMEROS;
        NULHENA=INTEGER(PCRD,DELTA(CERD,PN));
        IF C GEQ 1 THEN
          WRITE PCCRD IN "C" LG
          BEGIN
            $ PCRD:PCRD FOR C=C UNTIL EQL "C";
            IF C GEQ 1 THEN
              BEGIN
                $ PCRD:PCRD+1 FOR C=C-1 UNTIL EQL "C";
                IF PCRD EQL "CERRAD" THEN
                  BEGIN
                    ALIERTCO: A;
                    LINDOFF=INTEGER(PNUM,DEL(FNUM,PCRD));
                    CERRAD;
                    LINDOFF=INTEGER(PNUM,DEL(FNUM,PCRD-1));
                    END
                  ELSE
                    IF PCRD EQL "CERRAD" THEN
                      BEGIN
                        ALIERTCO: A;
                        LINDOFF=INTE(PNUM,DEL(FNUM,PCRD));
                        CERRAD;
                        LINDOFF=INTE(PNUM,DEL(FNUM,PCRD-1));
                      END
                    END
                END
              END
            END
          END
        END
      END
    END
  END

```


24700
24800
24900
25000
25100
25200
25300
25400
25500
25600
25700
25800
25900
26000
26100
26200
26300
26400
26500
26600
26700
26800
26900
27000
27100
27200
27300
27400
27500
27600
27700
27800
27900
28000
28100
28200
28300
28400
28500
28600
28700
28800
28900
29000
29100
29200
29300
29400
29500
29600
29700
29800
29900
30000
30100
30200

```
ENDIF;  
ELSE  
GC TL ERR X FALTA COMA  
ENDIF;  
END  
ENDIF  
ELSE  
F3CNILLERRR(10)  
ENDIF;  
ENDIF;  
ENDIF  
L3SL  
ESCRIBERRR(10)  
ENDIF  
ELSE  
ESCRIBERRR(10)  
ENDIF;  
ENDIF;  
IF FALS THEN  
FRR: LSCRIBERRR(10)  
NOLEJE  
ENDIF;  
IF L3UNOFF FAL O JR L3UNOFF FAL O JR  
L3UNOFF FAL O JR L3UNOFF FAL O JR  
L3UNOFF FAL L3UNOFF LR L3UNOFF L3L L3UNOFF OR  
L3UNOFF FAL L3UNOFF LR L3UNOFF L3L L3UNOFF OR  
L3UNOFF FAL L3UNOFF LR L3UNOFF L3L L3UNOFF OR THEN  
LSCRIBERRR(10)  
NOLEJE  
ENDIF;  
EN CASO DE NO HABER ERROR SE LLENAN LAS COORDENADAS ...  
Y SE GUARDA EN LA MATRIZ EN FORMA HORIZONTAL.  
EN ESTA MATRIZ QUEDARAN EL NUMERO DE LA GANGLIONA (REG),  
LAS COORDENADAS EN X Y (CURX Y CURY RESPECTIVAMENTE).  
IF NOT LRRER THEN  
WHILE NOT RIAL (COORDENADAS) ACCURR(1) CC  
WRITE (MATRIZ CURR(1) ACCURR(1))  
ENDWHILE  
NOLEJE  
ENDIF;  
END  
ENDPROC LLEYNALICACION LAS  
SET PAGE  
PROCEDURE INFINITIVIDADES (TITULO);  
INTEGER TITULO;  
BEGIN  
INDI=CONT+1  
PIB=P(PIB);  
PANAL=P(PANAL);  
PANAL=P(PANAL);  
S PANAL=PCARAC+1 IF INDI:CONT=1 UNTIL IN DESCRIPCION;  
PIB=PANAL;  
IF INDI LSS 1 THEN
```

30500
30600
30700
30800
30900
31000
31100
31200
31300
31400
31500
31600
31700
31800
31900
32000
32100
32200
32300
32400
32500
32600
32700
32800
32900
33000
33100
33200
33300
33400
33500
33600
33700
33800
33900
34000
34100
34200
34300
34400
34500
34600
34700
34800
34900
35000
35100
35200
35300
35400
35500
35600
35700
35800
35900
36000
36100
36200
36300

```
S PARAL P1 PARAL 1 FOR INDICIND 1 WHILE EQL " " ;  
IF INDI LS 1 THEN  
  TIPODL=1  
ELSE  
  IF PARAL EQL " " THEN  
    TIPODL=2  
  ELSE  
    IF PARAL EQL P1 THEN  
      ESCRILEENROR(2)  
    ELSE  
      IF (P1 EQL "R" AND PARAL EQL "L") OR  
         (P1 EQL "L" AND PARAL EQL "R") OR  
         (P1 EQL "D" AND PARAL EQL "U") OR  
         (P1 EQL "U" AND PARAL EQL "D") THEN  
        TIPODL=3  
      ELSE  
        IF (P1 EQL "L" AND PARAL EQL "U") OR  
           (P1 EQL "U" AND PARAL EQL "L") OR  
           (P1 EQL "R" AND PARAL EQL "D") OR  
           (P1 EQL "D" AND PARAL EQL "R") OR  
           (P1 EQL "L" AND PARAL EQL "R") OR  
           (P1 EQL "R" AND PARAL EQL "L") THEN  
          TIPODL=4  
        ELSE  
          ESCRILEENROR(2)  
        ENDIF  
      ENDIF  
    ENDIF  
  ENDIF  
ENDIF
```

```
ENDIF  
R P(CAPITAL) BY PARAL FOR 1 ;  
R P(CAP1) BY P1 FOR 1 ;  
P1=P(CAP1)  
PARAL=P(CAPAL)  
END  
PROCEDURE INFINITIVIDADES  
  SET PAGE  
  PROCEDURE LLEESTIMULO;  
  BEGIN  
  *  
  ARRAY  
  BUFFER(C013);  
  INTEGER  
  C;  
  POINTER  
  PNL;  
  PBLF;  
  DEFINE  
  BUSCARCARAC(PUNT)= S APLICAR PARAL FOR CONTARCONTA  
  UNTIL EQL " " ;  
  DEFINE  
  BUSCOLETRAS PARACARAC FOR CONTARCONTA UNTIL II ILUMPS  
  ULTIMO=PARACARAC(CARACTER,SYLA)  
  CONTAR=0
```

36200
36700
36800
36900
37100
37100
37200
37300
37400
37500
37600
37700
37800
37900
38000
38100
38200
38300
38400
38500
38600
38700
38800
38900
39000
39100
39200
39300
39400
39500
39600
39700
39800
39900
40000
40100
40200
40300
40400
40500
40600
40700
40800
40900
41000
41100
41200
41300
41400
41500
41600
41700
41800
41900
42000
42100
42200
42300
42400

```
IF PCARAC EQL "M" THEN
  OSCRAI=FALSE
ELSE
  IF PCARAC EQL "M" THEN
    OSCRAI=TRUE
  ELSE
    ESCRIBELER(LR(4))
  ENDIF
ENDIF
ELSE
  ESCRIBELER(LR(4))
ENDIF
DEFINE
  ULTECTOY'S PCARAC:CARAC FOR UNTA:CONTA UNTIL IN DIMENSION
  IF CONTA EQ 1 THEN
    IF PCARAC EQL "X" THEN
      BEGIN
        LIRX=TRUE
        IF CASC NEG 1 OR CASC NEG 3 THEN
          BEGIN
            MOV="X";
            POSI="C"=PCSIAX;
          END
        ELSE
          LIRX=FALSE;
          IF CASC NEG 1 OR CASC NEG 3 THEN
            BEGIN
              MOV="Y";
              POSI="C"=PCSIY;
            END
          ELSE
            LIRX=FALSE;
          ENDIF
        ENDIF
      ENDIF
    ELSE
      ESCRIBELER(LR(3))
    ENDIF
  ENDIF
ENDIF
ESCRIBELER(LR(3))
ENDIF
PBU:=P(2LFFR);
READ(ESTIMULO,14,CARACTERISTICA); X SE LEE LA IDENTIFICACION
PCARAC:=P(CARACTERISTICA);
CONTA=80;
S PCARAC:PCARAC FOR CONTA:CONTA WHILE EQL " ";
IF CONTA EQ 10 THEN
  BEGIN
    I. P(IDENTIFICACION) BY PCARAC FOR 10;
    READ(ESTIMULO,14,CARACTERISTICA); X SE LEE LA DIMENSION
    PCARAC:=P(CARACTERISTICA);
    CONTA=80;
    S PCARAC:PCARAC FOR CONTA:CONTA UNTIL IN DIMENSION;
  END
END
```


48500
48600
49000
49100
49200
49300
49400
49500
49600
49700
49800
49900
50000
50100
50200
50300
50400
50500
50600
50700
50800
50900
51000
51100
51200
51300
51400
51500
51600
51700
51800
51900
52000
52100
52200
52300
52400
52500
52600
52700
52800
52900
53000
53100
53200
53300
53400
53500
53600
53700
53800
53900
54000
54100
54200
54300
54400
54500
54600

```
NULLSE  
ENDIF  
READ(ESTIMULO,14,CARACTERISTICA); %CSCLRIDA  
DETESTIO;  
END  
ELSE  
IF PCARAC EQL "H" THEN  
BEGIN  
GRAVELELIG="";  
READ(ESTIMULO,14,CARACTERISTICA); % DIRECCION  
PCARAC=P(CARACTERISTICA);  
CONTA:=80;  
DETECTAXY;  
READ(ESTIMULO,7,LEE,POSIXT,POSFIN);  
IF VLEE LEQ CON POSIXT EQL POSIXT OI  
POSFIN EQL POSIXT THEN  
BEGIN  
SPACE(ESTIMULO,"1");  
READ(ESTIMULO,14,CARACTERISTICA);  
DESCRIBER(6);  
END  
ROLLS;  
ENDIF  
READ(ESTIMULO,14,CARACTERISTICA); %CSCLRIDA  
DETESTIO;  
END  
ELSE  
ESCRIBER(6);  
ENDIF  
ELSE  
ESCRIBER(6);  
ENDIF  
END  
ELSE  
IF PCARAC EQL "E" THEN  
BEGIN  
FXI YHEVHILITD:=FALSE;  
READ(ESTIMULO,14,CARACTERISTICA); % CSCLRIDA  
DETESTIO;  
READ(ESTIMULO,14,CARACTERISTICA); % LEE EDO INIC  
PCARAC=P(CARACTERISTICA);  
CONTA:=80;  
POSIXT;  
IF CONTA GEQ 1 THEN  
BEGIN  
IF PCARAC EQL "I" THEN  
EOLINICIAL="I"  
ELSE  
IF PCARAC EQL "L" THEN  
EOLINICIAL="L"  
ELSE  
DESCRIBER(7)  
ENDIF  
ENDIF  
IF EOLINICIAL EQL "I" AND CSCLRIDA OR  
EOLINICIAL EQL "L" AND NOT CSCLRIDA THEN  
ESCRIBER(7)
```

5500
5510
5520
5530
5540
5550
5560
5570
5580
5590
5600
5610
5620
5630
5640
5650
5660
5670
5680
5690
5700
5710
5720
5730
5740
5750
5760
5770
5780
5790
5800
5810
5820
5830
5840
5850
5860
5870
5880
5890
5900
5910
5920
5930
5940
5950
5960
5970
5980
5990
6000
6010
6020
6030
6040
6050
6060
6070

```
IF CNTA GE 1 THEN * GRAMATICA OK.  
BEGIN  
PCARAC = * + 1;  
CNTA = * - 1;  
PNUM = PCARAC  
BUSCAOMA(PNUM); * BUSCA TIEDC  
IF CNTA GE 1 THEN * LACOTRE TIEDC  
END;  
R PBUFIBUF BY PCARAC FOR DEL(PCARAC,PNUM)  
R PBUFIBUF BY * FOR 1; * GRAE * TIEDC *  
BUSCAOMA(PCARAC); * BUSCA GRAMATICA  
CI = CNTA  
LSCATC * BUSCA EDGFINAL  
IF CNTA GE 1 THEN * LACOTRE EDGFINAL  
BEGIN  
IF PCARAC EQL "I" THEN  
LSCFINAL = "I"  
ELSE  
IF PCARAC EQL "C" THEN  
LSCFINAL = "C"  
ELSE  
LSCRIBERRC(3)  
END;  
ENDIF;  
BUSCAOMA(PCARAC); * BUSCA GRAMATICA  
IF CNTA GE 1 THEN * GRAMATICA OK.  
BEGIN  
PCARAC = * + 1;  
CNTA = * - 1;  
PNUM = PCARAC  
BUSCAOMA(PNUM); * BUSCA GRAMATICA  
IF CNTA GE 1 THEN * GRAMATICA OK  
BEGIN  
R PBUFIBUF BY PCARAC FOR  
DEL(PCARAC,PNUM)  
R PBUFIBUF BY * FOR 2;  
REAL(BUFFER,/,TISTIMULC,TIEND)  
IF TISTIMULC LEC 0 OR  
TIEND LEC 0 THEN  
LSCRIBERRC(8)  
ELSE  
LSCRIBERRC(11)  
END;  
ENDIF;  
END  
ELSE  
LSCRIBERRC(11)  
ENDIF;  
END  
ELSE  
BEGIN  
S PNUM PUM C;C UNTIL EQL "*" *  
IF C GE 1 THEN  
BEGIN  
R PBUFIBUF BY * FOR 1;  
REAL(BUFFER,/,TISTIMULC)
```



```

67200      END
67300      NOELSE
67400      ENDIF
67500  ENDIF)
67600  IF P1 EQL "R" AND POSFIN GTR POSINIC THEN
67700      BEGIN
67800          SUB1=5)
67900          CUBICAL(1,1,2)1=2)
68000      END
68100  ELSE
68200      IF P1 EQL "M" AND POSFIN LSS POSINIC THEN
68300          BEGIN
68400              SLE1=5)
68500              CUBICAL(1,1,2)1=1)
68600          END
68700      NOELSE
68800      ENDIF
68900  ENDIF)
69000  IF P1 EQL "L" AND POSFIN GTR POSINIC THEN
69100      BEGIN
69200          SUB1=7)
69300          CUBICAL(1,1,1)1=1)
69400      END
69500  ELSE
69600      IF P1 EQL "M" AND POSFIN LSS POSINIC THEN
69700          BEGIN
69800              SLE1=5)
69900              CUBICAL(1,1,2)1=2)
70000          END
70100      NOELSE
70200      ENDIF
70300  ENDIF)
70400  END
70500  PARPROC) PARACASUS)
70600  & SET PAGE
70700  PROCEDURE PARACASUS)
70800  BEGIN
70900      SUB1=1) NSLBCASUS:=2)
71000  IF P1 EQL "D" AND POSFIN GTR POSINIC THEN
71100      BEGIN
71200          SUB1=1)
71300          CUBICAL(1,2,1)1=1)
71400      END
71500  ELSE
71600      IF P1 EQL "U" AND POSFIN LSS POSINIC THEN
71700          BEGIN
71800              SLE1=2)
71900              CUBICAL(1,2,2)1=2)
72000          END
72100      NOELSE
72200      ENDIF
72300  ENDIF)
72400  IF P1 EQL "U" AND POSFIN GTR POSINIC THEN
72500      BEGIN
72600          SUB1=3)
72700          CUBICAL(1,2,1)1=2)
72800      END
72900  ELSE

```


73100
73200
73300
73400
73500
73600
73700
73800
73900
74000
74100
74200
74300
74400
74500
74600
74700
74800
74900
75000
75100
75200
75300
75400
75500
75600
75700
75800
75900
76000
76100
76200
76300
76400
76500
76600
76700
76800
76900
77000
77100
77200
77300
77400
77500
77600
77700
77800
77900
78000
78100
78200
78300
78400
78500
78600
78700
78800
78900
79000

```
      BEGIN  
      SELECT 1=4)  
      CLEICAL(1,2,4)1=1)  
      END  
    NOELSE  
  ENDIF  
  ENDIF)  
  IF P1 EGL "R" A D PCSI IN LTR POSINIC THEN  
    BEGIN  
    SUB1=5)  
    CUBICAL(1,2,5)1=2)  
    END  
  ELSE  
    IF P1 EGL "K" AND POSI IN LSS PCSI INIC THEN  
      BEGIN  
      SELECT 1=5)  
      CLEICAL(1,2,6)1=1)  
      END  
    NOELSE  
  ENDIF  
  ENDIF)  
  IF P1 EGL "L" A D PCSI IN GTR POSINIC THEN  
    BEGIN  
    SUB1=7)  
    CUBICAL(1,2, 7)1=1)  
    END  
  ELSE  
    IF P1 EGL "L" AND POSI IN LSS PCSI INIC THEN  
      BEGIN  
      SELECT 1=3)  
      CLEICAL(1,2,8)1=2)  
      END  
    NOELSE  
  ENDIF  
  ENDIF)  
  END  
  ENDPROC) % PARACASJ21NI  
  % SET PAGE  
  PROCEEDURE PARACASJ30NI)  
  BEGIN  
  URE=1)  
  NSUBCASGS1=4)  
  %  
  IF (P1 LQL "R" OR P1 EGL "L") AND (P1 PCSI IN GTR POSINIC) THEN  
    BEGIN  
    SUB1=1)  
    CUBICAL(1,3,1)1=1)  
    END  
  ELSE  
    IF (P1 EGL "R" OR P1 LQL "L") AND (P1 PCSI IN LSS POSINIC) THEN  
      BEGIN  
      SELECT 1=2)  
      CLEICAL(1,3,2)1=2)  
      END  
    NOELSE  
  ENDIF  
  ENDIF)  
  IF (P1 LQL "C" OR P1 EGL "J") AND (P1 PCSI IN GTR PCSI INIC) THEN  
    BEGIN  
    SUB1=3)  
    END
```


85500
85600
85700
85800
85900
86000
86100
86200
86300
86400
86500
86600
86700
86800
86900
87000
87100
87200
87300
87400
87500
87600
87700
87800
87900
88000
88100
88200
88300
88400
88500
88600
88700
88800
88900
89000
89100
89200
89300
89400
89500
89600
89700
89800
89900
90000
90100
90200
90300
90400
90500
90600
90700
90800
90900
91000
91100
91200

```
ELSE  
IF DESCRIMOVY2 AND (PLSFIR LSS PUSINIC) THEN  
  BEGIN  
    SUBJ=4;  
    CUBICAL(1,4,4)=1;  
  END  
ELSE  
  BEGIN  
    SUBJ=5;  
    CUBICAL(1,4,5)=1;  
  END  
ELSE  
  IF DESCRIMOVY2 AND (PLSFIR GTR PUSINIC) THEN  
    BEGIN  
      SUBJ=6;  
      CUBICAL(1,4,6)=2;  
    END  
  ELSE  
    IF DESCRIMOVY2 AND (PLSFIR LSS PUSINIC) THEN  
      BEGIN  
        SUBJ=7;  
        CUBICAL(1,4,7)=1;  
      END  
    ELSE  
      IF DESCRIMOVY2 AND (PLSFIR LSS PUSINIC) THEN  
        BEGIN  
          SUBJ=8;  
          CUBICAL(1,4,8)=1;  
        END  
      ELSE  
        BEGIN  
          SUBJ=9;  
          CUBICAL(1,4,9)=1;  
        END  
    ELSE  
      IF DESCRIMOVY3 AND (PLSFIR LSS PUSINIC) THEN  
        BEGIN  
          SUBJ=10;  
          CUBICAL(1,4,10)=1;  
        END  
      ELSE  
        IF DESCRIMOVY3 AND (PLSFIR LSS PUSINIC) THEN  
          BEGIN  
            SUBJ=11;  
            CUBICAL(1,4,11)=2;  
          END  
        ELSE  
          IF DESCRIMOVY3 AND (PLSFIR LSS PUSINIC) THEN  
            BEGIN
```

91500
91600
91700
91800
91900
92000
92100
92200
92300
92400
92500
92600
92700
92800
92900
93000
93100
93200
93300
93400
93500
93600
93700
93800
93900
94000
94100
94200
94300
94400
94500
94600
94700
94800
94900
95000
95100
95200
95300
95400
95500
95600
95700
95800
95900
96000
96100
96200
96300
96400
96500
96600
96700
96800
96900
97000
97100
97200
97300

```
END  
NOELSE  
ENDIF  
ENDIF  
ENDIF  
IF DESCRIMOVV4 AND (PCSFIN GTR POSINIC) THEN  
BEGIN  
SUBI=13  
CURICAL(1,4,13)=2  
END  
ELSE  
IF DESCRIMOVV4 AND (PCSFIN GTR POSINIC) THEN  
BEGIN  
SUBI=14  
CURICAL(1,4,14)=1  
END  
ELSE  
IF DESCRIMOVV4 AND (PCSFIN LSS POSINIC) THEN  
BEGIN  
SUBI=15  
CURICAL(1,4,15)=1  
END  
ELSE  
IF DESCRIMOVV4 AND (PCSFIN LSS POSINIC) THEN  
BEGIN  
SUBI=16  
CURICAL(1,4,16)=2  
END  
NOELSE  
ENDIF  
ENDIF  
END  
PARFR03 PARACASJUNI  
8 SET PAGE  
PROCEEDUNG PARACASJUNI  
BEGIN  
LBEI=1  
NSUBCASUSI=4  
IF (NOV ECL "Y" AND (POSIN GTR POSINIC) THEN  
BEGIN  
SUBI=1  
CURICAL(1,5,1)=1  
END  
ELSE  
IF (NOV ECL "Y") AND (POSIN LSS POSINIC) THEN  
BEGIN  
SUBI=2  
CURICAL(1,5,2)=2  
END  
NOELSE  
ENDIF  
ENDIF  
IF (NOV ECL "X") AND (POSIN GTR POSINIC) THEN  
BEGIN  
SUBI=3
```

```

97700 ELSE
97800 IF (MCH EQL "A") AND (POSIN LSS POSINIC) THEN
97900 BEGIN
98000 SLE(1,4)
98100 CUBICAL(1,5,4)=1;
98200 END
98300 NOELSE
98400 ENDIF
98500 ENDIF
98600 ENDPROG PARACASJIBI
98700 SET PAGE
98800 PROCEDURE PARACASJIBI
98900 BEGIN
99000 URE:=2; NSUBCASUS:=8;
99100 IF P EQL "D" AND POSIEXT GT POSINIC THEN
99200 BEGIN
99300 SUBI:=1;
99400 CUBICAL(2,1,1)=12;
99500 END
99600 ELSE
99700 IF P1 EQL "D" AND POSIEXT LSS POSINIC THEN
99800 BEGIN
99900 SLE(1,2)
100000 CUBICAL(2,1,2)=21;
100100 END
100200 NOELSE
100300 ENDIF
100400 ENDIF
100500 IF P1 EQL "U" AND POSIEXT GT POSINIC THEN
100600 BEGIN
100700 SUBI:=3;
100800 CUBICAL(2,1,3)=21;
100900 END
101000 ELSE
101100 IF P1 EQL "U" AND POSIEXT LSS POSINIC THEN
101200 BEGIN
101300 SLE(1,4)
101400 CUBICAL(2,1,4)=12;
101500 END
101600 NOELSE
101700 ENDIF
101800 ENDIF
101900 IF P1 EQL "R" AND POSIEXT GT POSINIC THEN
102000 BEGIN
102100 SUBI:=5;
102200 CUBICAL(2,1,5)=21;
102300 END
102400 ELSE
102500 IF P1 EQL "M" AND POSIEXT LSS POSINIC THEN
102600 BEGIN
102700 SLE(1,5)
102800 CUBICAL(2,1,6)=12;
102900 END
103000 NOELSE
103100 ENDIF
103200 ENDIF
103300 IF P1 EQL "L" AND POSIEXT GT POSINIC THEN
103400 BEGIN

```

```

103700 END
103800 ELSE
103900   IF P1 EQL "L" AND POSIEXT LSS POSJNIC THEN
104000     BEGIN
104100       SLEI=3;
104200       CUBICAL(2,1,0,1)=21;
104300     END
104400   NOELSE
104500   ENDIF
104600 ENDIF
104700 END
104800 ENDPRO3 = PARACASJNIC
104900 8 SET PAGE
105000 PROCEDURE PARACASJNIC
105100   BEGIN
105200     UBEI=2; NSLUCASUSI=2;
105300     IF P1 EQL "D" AND POSIEXT GTR POSJNIC THEN
105400       BEGIN
105500         JUBI=1;
105600         CUBICAL(2,2,1,1)=12;
105700       END
105800     ELSE
105900       IF P1 EQL "U" AND POSIEXT LSS POSJNIC THEN
106000         BEGIN
106100           SLEI=2;
106200           CUBICAL(2,2,2,1)=21;
106300         END
106400       NOELSE
106500       ENDIF
106600     ENDIF
106700     IF P1 EQL "U" AND POSIEXT GTR POSJNIC THEN
106800       BEGIN
106900         JUBI=3;
107000         CUBICAL(2,2,3,1)=21;
107100       END
107200     ELSE
107300       IF P1 EQL "U" AND POSIEXT LSS POSJNIC THEN
107400         BEGIN
107500           SLEI=4;
107600           CUBICAL(2,2,4,1)=12;
107700         END
107800       NOELSE
107900       ENDIF
108000     ENDIF
108100     IF P1 EQL "R" AND POSIEXT GTR POSJNIC THEN
108200       BEGIN
108300         JUBI=5;
108400         CUBICAL(2,2,5,1)=21;
108500       END
108600     ELSE
108700       IF P1 EQL "R" AND POSIEXT LSS POSJNIC THEN
108800         BEGIN
108900           SLEI=6;
109000           CUBICAL(2,2,6,1)=12;
109100         END
109200       NOELSE
109300       ENDIF
109400     ENDIF
109500     IF P1 EQL "L" AND POSIEXT GTR POSJNIC THEN

```

109400
109400
110600
110100
110200
110300
110400
110500
110600
110700
110800
110900
111000
111100
111200
111300
111400
111500
111600
111700
111800
111900
112000
112100
112200
112300
112400
112500
112600
112700
112800
112900
113000
113100
113200
113300
113400
113500
113600
113700
113800
113900
114000
114100
114200
114300
114400
114500
114600
114700
114800
114900
115000
115100
115200
115300
115400
115500
115600

```
CUBICAL(2,2) I:=12)
END
ELSE
  IF (P1 EQL "L" AND POSIEXT LSS PCSINIC) THEN
    BEGIN
      SUB:=3)
      CUBICAL(2,2) I:=21;
    END
  ||ELSE
  LNDIF
ENDIF)
END
ENDPROC PARACASJ2HID)
$ SET PAGE
PROCEDURE PARACASJ3bID)
  BEGIN
    UBEI:=2)
    SUBCASUSI:=4)
  ?
  IF (P1 EQL "R" OR P1 EQL "L") AND (POSIEXT GTR PCSINIC) THEN
    BEGIN
      SUB:=1)
      CUBICAL(2,3) I:=12)
    END
  ELSE
    IF (P1 EQL "R" OR P1 EQL "L") AND (POSIEXT LSS PCSINIC) THEN
      BEGIN
        SUB:=2)
        CUBICAL(2,3) I:=21;
      END
    ||ELSE
    LNDIF
  ENDIF)
  IF (P1 EQL "M" OR P1 EQL "U") AND (POSIEXT GTR PCSINIC) THEN
    BEGIN
      SUB:=3)
      CUBICAL(2,3) I:=21)
    END
  ELSE
    IF (P1 EQL "U" OR P1 EQL "L") AND (POSIEXT LSS PCSINIC) THEN
      BEGIN
        SUB:=4)
        CUBICAL(2,3) I:=12;
      END
    ||ELSE
    LNDIF
  ENDIF)
  END
  ENDPROC PARACASJ3bID)
  $ SET PAGE
  PROCEDURE PARACASJ4HID)
    BEGIN
      DEFINIF
      DESCRIMCVYI=(P1 EQL "M" OR P1 EQL "L") AND
        (PANAL EQL "L" OR PANAL EQL "L") AND
        (NEV EQL "X"))
      DESCRIMCVXI=(P1 EQL "M" OR P1 EQL "L") AND
        (PANAL EQL "L" OR PANAL EQL "L") AND
        (NEV EQL "X"))
```

115400
116000
116100
116200
116300
116400
116500
116600
116700
116800
116900
117000
117100
117200
117300
117400
117500
117600
117700
117800
117900
118000
118100
118200
118300
118400
118500
118600
118700
118800
118900
119000
119100
119200
119300
119400
119500
119600
119700
119800
119900
120000
120100
120200
120300
120400
120500
120600
120700
120800
120900
121000
121100
121200
121300
121400
121500
121600
121700

DESCRIMVX2=(PI EQL "D" CR PI EQL "R") AND
(PARAL LLL "L" OR PARAL EQL "C") AND
(HEV EQL "X")
DESCRIMVY3=(PI EQL "D" CR PI EQL "L") AND
(PARAL LLL "L" OR PARAL EQL "C") AND
(HEV EQL "X")
DESCRIMVX3=(PI EQL "D" CR PI EQL "L") AND
(PARAL LLL "L" OR PARAL EQL "C") AND
(HEV EQL "X")
DESCRIMVY4=(PI EQL "D" CR PI EQL "R") AND
(PARAL LLL "L" OR PARAL EQL "C") AND
(HEV EQL "X")
DESCRIMVX4=(PI EQL "D" CR PI EQL "R") AND
(PARAL LLL "L" OR PARAL EQL "C") AND
(HEV EQL "X")

X
Y
X

UBE1=2)
NSUBCASUS1=1A)

IF DESCRIMVX1 AND (POSIXT GTR POSINIC) THEN
BEGIN
SUB1=1
CUBICAL(2,4,1)=12)
END

ELSE
IF DESCRIMVY1 AND (POSIXT GTR POSINIC) THEN
BEGIN
SUB1=2)
CUBICAL(2,4,2)=21)
END

ELSE
IF DESCRIMVX1 AND (POSIXT LSS POSINIC) THEN
BEGIN
SUB1=3)
CUBICAL(2,4,3)=21)
END

ELSE
IF DESCRIMVY2 AND (POSIXT LSS POSINIC) THEN
BEGIN
SUB1=4)
CUBICAL(2,4,4)=12)
END

ENDIF
ENDIF

ENDIF)
IF DESCRIMVX2 AND (POSIXT GTR POSINIC) THEN
BEGIN
SUB1=5)
CUBICAL(2,4,5)=21)
END

ELSE
IF DESCRIMVY2 AND (POSIXT GTR POSINIC) THEN
BEGIN
SUB1=6)
CUBICAL(2,4,6)=21)

122000
122100
122200
122300
122400
122500
122600
122700
122800
122900
123000
123100
123200
123300
123400
123500
123600
123700
123800
123900
124000
124100
124200
124300
124400
124500
124600
124700
124800
124900
125000
125100
125200
125300
125400
125500
125600
125700
125800
125900
126000
126100
126200
126300
126400
126500
126600
126700
126800
126900
127000
127100
127200
127300
127400
127500
127600
127700
127800

```
ELSE  
IF DESCRIMOVX2 AND (POSIXT LSS POSINIC) THEN  
  BEGIN  
    SUBI=7;  
    CUBICAL(2,4,7)=12;  
  END  
ELSE  
IF DESCRIMOVY2 AND (POSIXT LSS POSINIC) THEN  
  BEGIN  
    SUBI=8;  
    CUBICAL(2,4,8)=12;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=9;  
    CUBICAL(2,4,9)=12;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=10;  
    CUBICAL(2,4,10)=12;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=11;  
    CUBICAL(2,4,11)=21;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=12;  
    CUBICAL(2,4,12)=21;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=13;  
    CUBICAL(2,4,13)=21;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=14;  
    CUBICAL(2,4,14)=12;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=15;  
  END  
ENDIF  
IF DESCRIMOVX3 AND (POSIXT GTR POSINIC) THEN  
  BEGIN  
    SUBI=9;  
    CUBICAL(2,4,9)=12;  
  END  
ELSE  
IF DESCRIMOVY3 AND (POSIXT GTR POSINIC) THEN  
  BEGIN  
    SUBI=10;  
    CUBICAL(2,4,10)=12;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=11;  
    CUBICAL(2,4,11)=21;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=12;  
    CUBICAL(2,4,12)=21;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=13;  
    CUBICAL(2,4,13)=21;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=14;  
    CUBICAL(2,4,14)=12;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=15;  
  END  
ENDIF  
IF DESCRIMOVX4 AND (POSIXT GTR POSINIC) THEN  
  BEGIN  
    SUBI=9;  
    CUBICAL(2,4,9)=12;  
  END  
ELSE  
IF DESCRIMOVY4 AND (POSIXT GTR POSINIC) THEN  
  BEGIN  
    SUBI=10;  
    CUBICAL(2,4,10)=12;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=11;  
    CUBICAL(2,4,11)=21;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=12;  
    CUBICAL(2,4,12)=21;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=13;  
    CUBICAL(2,4,13)=21;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=14;  
    CUBICAL(2,4,14)=12;  
  END  
  BEGIN  
    SUBI=15;  
  END  
ENDIF
```

128100
128200
128300
128400
128500
128600
128700
128800
128900
129000
129100
129200
129300
129400
129500
129600
129700
129800
129900
130000
130100
130200
130300
130400
130500
130600
130700
130800
130900
131000
131100
131200
131300
131400
131500
131600
131700
131800
131900
132000
132100
132200
132300
132400
132500
132600
132700
132800
132900
133000
133100
133200
133300
133400
133500
133600
133700
133800
133900

```
ELSE IF (LSCURIMUVY4 AND (POSIXT LSS PCSINIC) THEN  
  BEGIN  
    SUBJ=161  
    CUBICAL(2,4,16)=211  
  END  
  NOELSE  
  ENDIF  
ENDIF  
END  
ENUPROJ * PARACASJABIDJ  
8 SET PAGE  
PROCEDURE PARACASJ56IDJ  
  BEGIN  
    UBEI=21  
    NSUBCASUSI=41  
  *  
  IF (NOV EQL "Y") AND (POSIXT GTR PCSINIC) THEN  
    BEGIN  
      SUBJ=11  
      CUBICAL(2,5,1)=121  
    END  
  ELSE  
    IF (NOV FUL "Y") AND (POSIXT LSS PCSINIC) THEN  
      BEGIN  
        SUBJ=21  
        CUBICAL(2,5,2)=211  
      END  
    NOELSE  
      ENDIF  
    ENDIF  
  IF (NOV EQL "X") AND (POSIXT GTR PCSINIC) THEN  
    BEGIN  
      SUBJ=31  
      CUBICAL(2,5,3)=211  
    END  
  ELSE  
    IF (NOV FUL "X") AND (POSIXT LSS PCSINIC) THEN  
      BEGIN  
        SUBJ=41  
        CUBICAL(2,4,4)=121  
      END  
    NOELSE  
      ENDIF  
    ENDIF  
  ENUPROJ * PARACASJ56IDJ  
  8 SET PAGE  
  PROCEDURE PARACASJ STAJ  
    BEGIN  
      UBEI=31 NSUBCASUSI=21  
      IF (NOV EQL "D") AND (LCCINICIAL EQL "1") THEN  
        BEGIN  
          SUBJ=11  
          CUBICAL(3,1,1)=111  
        END  
      NOELSE
```

```

134300      SUB:=21
134400      CUB:CA(3,1,2):=1)
134500      END
134600      NOELSE
134700      ENDIF)
134800      IF P: EQL "L" A D ECCINICIAL EGL "1" THEN
134900      BEGIN
135000      SUB:=31
135100      CUB:CA(3,1,3):=1)
135200      END
135300      NOELSE
135400      ENDIF)
135500      IF P: EQL "R" A D ECCINICIAL EGL "1" THEN
135600      BEGIN
135700      SUB:=41
135800      CUB:CA(3,1,4):=1)
135900      END
136000      NOELSE
136100      ENDIF)
136200      *
136300      IF P: EQL "D" A D ECCINICIAL EGL "C" THEN
136400      BEGIN
136500      SUB:=51
136600      CUB:CA(3,1,5):=2)
136700      END
136800      NOELSE
136900      ENDIF)
137000      IF P: EQL "U" A D ECCINICIAL EGL "C" THEN
137100      BEGIN
137200      SUB:=61
137300      CUB:CA(3,1,6):=2)
137400      END
137500      NOELSE
137600      ENDIF)
137700      IF P: EQL "L" A D ECCINICIAL EGL "C" THEN
137800      BEGIN
137900      SUB:=71
138000      CUB:CA(3,1,7):=2)
138100      END
138200      NOELSE
138300      ENDIF)
138400      IF P: EQL "R" A D ECCINICIAL EGL "C" THEN
138500      BEGIN
138600      SUB:=81
138700      CUB:CA(3,1,8):=2)
138800      END
138900      NOELSE
139000      ENDIF)
139100      END
139200      ENDPROJ & PARACAS2 STA
139300      & SET PAGE
139400      PROCEDURENL PARACAS2 SIA)
139500      BEGIN
139600      UBC:=3) NSLBCASUS:=2)
139700      IF P: EQL "D" A D ECCINICIAL EGL "1" THEN
139800      BEGIN
139900      SUB:=11
140000      CUB:CA(3,2,1):=1)

```

```

140300 IF P1 EGL "U" A D ECCINICIAL EGL "IN" THEN
140500 BEGIN
140600 SUBI=2)
140700 CUBICAL(3,2,2)1=1)
140800 END
140900 NOELSE
141000 ENDIF)
141100 IF P1 EGL "L" A D ECCINICIAL EGL "IN" THEN
141200 BEGIN
141300 SUBI=3)
141400 CUBICAL(3,2,2)1=1)
141500 END
141600 NOELSE
141700 ENDIF)
141800 IF P1 EGL "R" A D ECCINICIAL EGL "IN" THEN
141900 BEGIN
142000 SUBI=4)
142100 CUBICAL(3,2,4)1=1)
142200 END
142300 NOELSE
142400 ENDIF)
142500
142600 IF P1 EGL "D" A D ECCINICIAL EGL "C" THEN
142700 BEGIN
142800 SUBI=5)
142900 CUBICAL(3,2,2)1=2)
143000 END
143100 NOELSE
143200 ENDIF)
143300 IF P1 EGL "U" A D ECCINICIAL EGL "C" THEN
143400 BEGIN
143500 SUBI=6)
143600 CUBICAL(3,2, 1)1=2)
143700 END
143800 NOELSE
143900 ENDIF)
144000 IF P1 EGL "L" A D ECCINICIAL EGL "C" THEN
144100 BEGIN
144200 SUBI=7)
144300 CUBICAL(3,2, 1)1=2)
144400 END
144500 NOELSE
144600 ENDIF)
144700 IF P1 EGL "R" A D ECCINICIAL EGL "C" THEN
144800 BEGIN
144900 SUBI=8)
145000 CUBICAL(3,2, 1)1=2)
145100 END
145200 NOELSE
145300 ENDIF)
145400 END
145500 ENDPROC) & PARCAS02 STA
145600 & SET PAUF
145700 PROCEDURE PARCAS03LSTA)
145800 BEGIN
145900
146000
146100

```

```

146400      BEGIN
146500      SUBI=11
146600      CUBICA(3,3,1)=1)
146700      END
146800  NOELSE
146900  ENDIF)
147000  IF (PI EQL "C" OR PI EQL "J") AND (EUCINICIAL EQL "I") THEN
147100      BEGIN
147200      SUBI=21
147300      CUBICA(3,3,2)=1)
147400      END
147500  NOELSE
147600  ENDIF)
147700  IF (PI EQL "R" OR PI EQL "L") AND (EUCINICIAL EQL "C") THEN
147800      BEGIN
147900      SUBI=31
148000      CUBICA(3,3,3)=2)
148100      END
148200  NOELSE
148300  ENDIF)
148400  IF (PI EQL "U" OR PI EQL "M") AND (EUCINICIAL EQL "C") THEN
148500      BEGIN
148600      SUBI=41
148700      CUBICA(3,3,4)=2)
148800      END
148900  NOELSE
149000  ENDIF)
149100  END
149200  ENDFUN) PARACAS3 STA
149300  3 SET PAGE
149400  PROCEDURE PARACAS3LSTA)
149500  BEGIN
149600  DEFINE
149700      DESCRIP1=(PI EQL "U" OR PI EQL "L") AND
149800      (PARAL EQL "LW" OR PARAL EQL "UR")
149900      DESCRIP2=(PI EQL "U" OR PI EQL "R") AND
150000      (PARAL EQL "RW" OR PARAL EQL "UR")
150100      DESCRIP3=(PI EQL "U" OR PI EQL "LW") AND
150200      (PARAL EQL "LW" OR PARAL EQL "UR")
150300      DESCRIP4=(PI EQL "L" OR PI EQL "R") AND
150400      (PARAL EQL "RW" OR PARAL EQL "UR")
150500  ;
150600  UBE=3)
150700  ASUBCASUSI=3)
150800  *---ESQUINAS ESTATICAS CON ESTADO INICIAL ILUMINADO---*
150900  IF DESCRIP1 AND (EUCINICIAL EQL "1") THEN
151000      BEGIN
151100      SUBI=11
151200      CUBICA(3,4,1)=1)
151300      END
151400  NOELSE
151500  ENDIF)
151600  IF DESCRIP2 AND (EUCINICIAL EQL "1") THEN
151700      BEGIN
151800      SUBI=21
151900      CUBICA(3,4,2)=1)
152000      END
152100  NOELSE
152200  ENDIF)

```

152500
152600
152700
152800
152900
153000
153100
153200
153300
153400
153500
153600
153700
153800
153900
154000
154100
154200
154300
154400
154500
154600
154700
154800
154900
155000
155100
155200
155300
155400
155500
155600
155700
155800
155900
156000
156100
156200
156300
156400
156500
156600
156700
156800
156900
157000
157100
157200
157300
157400
157500
157600
157700
157800
157900
158000
158100
158200
158300

```
      SUBJ=1  
      CUBICA(3,4,1)=1  
      END  
NOELSE  
ENDIF)  
IF DESCRIPA AND (EDUCINICIAL EGL "I") THEN  
  BEGIN  
  SUBJ=1  
  CUBICA(3,4,1)=1  
  END  
NOELSE  
ENDIF)  
X  
X----- ESQUINAS ESTATICAS CON ESTADO INICIAL OSCURO -----X  
X  
IF DESCRIP1 AND (EDUCINICIAL EGL "L") THEN  
  BEGIN  
  SUBJ=51  
  CUBICA(3,4,5)=2  
  END  
NOELSE  
ENDIF)  
IF DESCRIP2 AND (EDUCINICIAL EGL "L") THEN  
  BEGIN  
  SUBJ=61  
  CUBICA(3,4, 1)=2  
  END  
NOELSE  
ENDIF)  
IF DESCRIP3 AND (EDUCINICIAL EGL "L") THEN  
  BEGIN  
  SUBJ=71  
  CUBICA(3,4, 1)=2  
  END  
NOELSE  
ENDIF)  
IF DESCRIP4 AND (EDUCINICIAL EGL "L") THEN  
  BEGIN  
  SUBJ=81  
  CUBICA(3,4, 1)=2  
  END  
NOELSE  
ENDIF)  
END  
ENUPRO) PARACARDA STA  
SET PAGE  
PROCEDURE PARACARDAJFSTA)  
BEGIN  
X  
  UBE=3)  
  NSUBCASUSI=21  
X  
X----- ESTIMULO FINITO ESTADICO (CUADRO O RECTANGULO) -----X  
X----- CON ESTADO INICIAL ILUMINADO. -----X  
X  
IF EDUCINICIAL EGL "I" THEN  
  BEGIN  
  SUBJ=11  
  CUBICA(3,5,1)=1
```

158700
158800
158900
159000
159100
159200
159300
159400
159500
159600
159700
159800
159900
160000
160100
160200
160300
160400
160500
160600
160700
160800
160900
161000
161100
161200
161300
161400
161500
161600
161700
161800
161900
162000
162100
162200
162300
162400
162500
162600
162700
162800
162900
163000
163100
163200
163300
163400
163500
163600
163700
163800
163900
164000
164100
164200
164300
164400

***** LUTIMULO FINITO ESTADICO (CUADRO RECTANGULO) *****
***** CON ESTADISTICA LOCAL USUARIOS *****

```
IF LOGNICIAL ENL "C" THEN
  BEGIN
    JUDICI=21
    JUDICIAL(3,5,21)=21
  END
NOEL=1
ENDIF
END
ENLPROB & PARACASOBLSTA
8 SET PAGE
PROCEDURAL DETERMINARASUFARTICULAR
BEGIN
  IF EXISTENCIAVINTENTA THEN
    IF GRADOCENITRO LSL "U" THEN
      CASE CASE OF
        BEGIN
          11 PARACASO1U(1)
          21 PARACASO2U(1)
          31 PARACASO3U(1)
          41 PARACASO4U(1)
          51 PARACASO5U(1)
        END
      ENDCASE
    ELSE
      CASE CASE OF
        BEGIN
          11 PARACASO1B(1)
          21 PARACASO2B(1)
          31 PARACASO3B(1)
          41 PARACASO4B(1)
          51 PARACASO5B(1)
        END
      ENDCASE
    ENDIF
  ELSE
    CASE CASE OF
      BEGIN
        11 PARACASO1ESTAS
        21 PARACASO2ESTAS
        31 PARACASO3ESTAS
        41 PARACASO4ESTAS
        51 PARACASO5ESTAS
      END
    ENDCASE
  ENDIF
END
ENLPROB & DETERMINARASUFARTICULAR
8 SET PAGE
PROCEDURAL PARAMETROS
BEGIN
  DIAMCENTRO=C(125)  & DIAMETRO DEL CENTRO DE LA GANGLIONAR (GRAJNS)
  DIAMCENTRO=C(9)   & DIAMETRO DEL CENTRO DE LA GANGLIONAR(GRAJNS)
  FRECUENCIA=1      & FRECUENCIA DE LA EXTERNA
  UNIDULTIMPC=3     & UNIDAD DE TIEMPO PARA LA SIMULACION (ALT=1JFG)
```

164700
164800
164900
165000
165100
165200
165300
165400
165500
165600
165700
165800
165900
166000
166100
166200
166300
166400
166500
166600
166700
166800
166900
167000
167100
167200
167300
167400
167500
167600
167700
167800
167900
168000
168100
168200
168300
168400
168500
168600
168700
168800
168900
169000
169100
169200
169300
169400
169500
169600
169700
169800
169900
170000
170100
170200
170300
170400
170500

```
END  
FNDFRO) & PARAMEYUC  
I SET PAGE  
PROCEDURAL BUSCOLINI ES)  
BEGIN  
INTEGER SLEJ  
I  
FOR JUB=1 STEP 1 UNTIL N.SUBCASOS DC  
I  
I..... PARA UNIDIRECCIONALES ( UBL#1 ) .....  
I  
BEGIN  
IF CUBICAL(1,CASE,SUB) EQL 1 THEN  
IF OSCURA TFEN  
BEGIN  
LINA1=LINONOFF)  
LSU 1=LSLONOFF)  
VARURDL1=TRUE)  
END  
ELSE  
BEGIN  
LINA1=LINOFFFL)  
LSU 1=LSLOFFFL)  
VARURDL2=TRUE)  
END  
ENDIF  
NOELSE  
ENDIF)  
IF CUBICAL(1,CASE,SUB) EQL 2 THEN  
IF OSCURA TFEN  
BEGIN  
LINA1=LINOFFFL)  
LSU 1=LSLOFFFL)  
VARURDL3=TRUE)  
END  
ELSE  
BEGIN  
LINA1=LINONOFF)  
LSU 1=LSLONOFF)  
VARURDL4=TRUE)  
END  
ENDIF  
NOELSE  
ENDIF)  
I  
I..... PARA BIDIRECCIONALES ( UBL#2 ) .....  
I  
IF CUBICAL(2,CASE,SUB) EQL 12 THEN  
IF OSCURA TFEN  
BEGIN  
LINA1=LINONOFF)  
LSU 1=LSLONOFF)  
VARURDL1=TRUE)  
VARURDL2=TRUE)  
END  
ELSE  
BEGIN  
LINA1=LINOFFFL)  
VARURDL1=TRUE)  
END
```


170600
171000
171100
171200
171300
171400
171500
171600
171700
171800
171900
172000
172100
172200
172300
172400
172500
172600
172700
172800
172900
173000
173100
173200
173300
173400
173500
173600
173700
173800
173900
174000
174100
174200
174300
174400
174500
174600
174700
174800
174900
175000
175100
175200
175300
175400
175500
175600
175700
175800
175900
176000
176100
176200
176300
176400
176500
176600

```
      END
    ENCLIF
  NOELSE
  LNDIF)
IF CURICAL(2,CASC,SUB) EQL 21 THEN
  IF OSCUMA THEN
    BEGIN
      LINC1=LINCFF(1)
      LSU 1=LSCOFF(1)
      YAEXTREPA31=TRUE)
      VARURD31=TRUE)
    END
  ELSE
    BEGIN
      LINC1=LINCNOFF)
      LSU 1=LSCNOFF)
      YAEXTREPA41=TRUE)
      VARURD41=TRUE)
    END
  ENCLIF
NOELSE
LNDIF)
* ..... PARA ESTATICAS ( UBL03 ) ..... *
IF CURICAL(3,CASC,SUB) EQL 1 THEN * EDGINICIAL ILUMINADO.
  IF OSCUMA THEN * ESTIMULO ILLUMINACC.
    BEGIN
      LINC1=LINCNOFF)
      LSU 1=LSCNOFF)
      YAE 01=TRUE)
    END
  NCLIF * NO PUEDE SER ESTIMULO ILLUMINACC.
ELSE * EDU0 INICIAL OSCURO) CLINICAL J=2
  IF NOT OSCURA THEN * ESTIMULO ILLUMINACC
    BEGIN
      LINC1=LINCFF(1)
      LSU 1=LSCOFF(1)
      YAEU02=TRUE)
    END
  NCLIF * NO PUEDE SER ESTIMULO OSCURO.
  ENCLIF
LNDIF)
END)
END
ENDPROC * BUSCALINI ES
* SET PAGE
PROCEDURE BUSCALINI (ESPECSTERIGRES)
  BEGIN
  *
  IF YAEXTREPA1 THEN
    BEGIN
      LINC=LINCFF(1)
      LSU=LSCOFF(1)
    END
  ELSE
```

```

176900 LINC1=LINC1OFF)
177000 LSLC1=LSLC1OFF)
177100 ENC
177200 LLSL
177300 IF YAEXTREMA3 THEN
177400 BEGIN
177500 LINC1=LINC1OFF)
177600 LSLC1=LSLC1OFF)
177700 END
177800 ELSE
177900 IF YAEXTREMA4 THEN
178000 BEGIN
178100 LINC1=LINC1OFF)
178200 LSLC1=LSLC1OFF)
178300 END
178400 NCELSE
178500 ENCIF
178600 ENDIF
178700
178800 ENDF)
178900 IF YPRIMERBPRDL THEN
179000 IF YABCRPE1 OR YABORLL4 THEN
179100 BEGIN
179200 LINC1=LINC1OFF)
179300 LSLC1=LSLC1OFF)
179400 END
179500 LLSL
179600 IF YABORDE2 OR YALORLL3 THEN
179700 BEGIN
179800 LINC1=LINC1OFF)
179900 LSLC1=LSLC1OFF)
180000 END
180100 NCELSE
180200 ENCIF
180300 ENDIF
180400
180500 NOELSE
180600 ENDF)
180700 IF YEDU1 THEN
180800 BEGIN
180900 LINC1=LINC1OFF)
181000 LSLC1=LSLC1OFF)
181100 END
181200 ELSL
181300 IF YAEDU2 THEN
181400 BEGIN
181500 LINC1=LINC1OFF)
181600 LSLC1=LSLC1OFF)
181700 END
181800 NCELSE
181900 ENCIF
182000 ENDF)
182100 END
182200 FALPRO) BUSCALINI.ESPCSTERILRES
182300 8 SET PAGE
182400 PROCEDURE DETERMINACIONENADAS)
182500 BEGIN
182600 HEAD(MATCHCOP(LINC1))DACIONE(1))
182700 IF EXISTENCIVIENTU THEN
182800 BEGIN

```

183100
183200
183300
183400
183500
183600
183700
183800
183900
184000
184100
184200
184300
184400
184500
184600
184700
184800
184900
185000
185100
185200
185300
185400
185500
185600
185700
185800
185900
186000
186100
186200
186300
186400
186500
186600
186700
186800
186900
187000
187100
187200
187300
187400
187500
187600
187700
187800
187900
188000
188100
188200
188300
188400
188500
188600
188700
188800

```
CCORPE=CUNCY
LNDIF)
IF CASE P/L 2 THEN
  BEGIN
  IF SLB EQL 1 OR SLB EQL 2 CR
  SLB EQL 3 CR SLB EQL 4 THEN
    CUN RESTRI=CURDX
  NCElse
  ENDF)
  IF SLB EQL 5 OR SLB EQL 6 CR
  SLB EQL 7 OR SLB EQL 8 THEN
    CUN RESTRI=CURDY
  NCElse
  ENDF)
  ENF
NOELSE
LNDIF)

IF CASE P/L 4 THEN
  BEGIN
  IF SLB EQL 1 OR SLB EQL 3 CR SUB EQL 5 CR
  SLB EQL 7 OR SLB EQL 9 CR SUB EQL 11 CR
  SLB EQL 13 OR SUB EQL 15 THEN
    CUN RESTRI=CURDY
  NCElse
  ENDF)

  IF SLB EQL 2 OR SLB EQL 4 CR SUB EQL 6 CR
  SLB EQL 8 CR SLB EQL 10 CR SLB EQL 12 CR
  SLB EQL 14 OR SUB EQL 16 THEN
    CUN RESTRI=CURDX
  NCElse
  ENDF)
  ENF
NOELSE
LNDIF)

IF CASE P/L 5 THEN
  BEGIN
  IF SLB EQL 1 OR SLB EQL 2 THEN
    CUN RESTRI=CURDX
  NCElse
  ENDF)
  IF SLB EQL 3 OR SLB EQL 4 THEN
    CUN RESTRI=CURDY
  NCElse
  ENDF)
  ENF
NOELSE
LNDIF)
LND
ELSE
  BEGIN
  IF CASE P/L 1 THEN
    BEGIN
    IF SUB=1 OR SUB=2 OR
    SUB=5 OR SUB=6 THEN
      CUN DE=CURDY
```

189100
189200
189300
189400
189500
189600
189700
189800
189900
190000
190100
190200
190300
190400
190500
190600
190700
190800
190900
191000
191100
191200
191300
191400
191500
191600
191700
191800
191900
192000
192100
192200
192300
192400
192500
192600
192700
192800
192900
193000
193100
193200
193300
193400
193500
193600
193700
193800
193900
194000
194100
194200
194300
194400
194500
194600
194700
194800
194900

```
IF SUB#1 OR SUB#2 THEN  
  SLB#1 OR SLB#2 THEN  
  CDD#DE#CCROX  
NCElse  
ENCIff  
ENc  
NOELSE  
LNDIF)  
*  
IF CASE FOL 2 THEN  
  BEGIN  
  IF SLB#1 OR SUB#2 OR  
  SLB#3 OR SUB#6 THEN  
  BEGIN  
  CDD#DE#CCRDY;  
  CDR RESTRI#CCROX)  
  END  
NCElse  
ENCIff  
*  
IF SLB#3 OR SUB#4 OR  
  SUB#7 OR SUB#8 THEN  
  BEGIN  
  CDD#DE#CCROX;  
  CDR RESTRI#CCRDY)  
  END  
NCElse  
ENCIff  
ENc  
NOELSE  
LNDIF)  
*  
IF CASE FOL 3 THEN  
  BEGIN  
  IF SLB#1 OR SUB#3 THEN  
  CDD#LE#CCRDY  
  NCElse  
  ENCIff  
  IF SLB#2 OR SUB#4 THEN  
  CDD#DE#CCROX  
  NCElse  
  ENCIff  
  ENc  
  NOELSE  
  LNDIF)  
  END  
ENDIF)  
END  
ENGR02 * DETERMINACIONENADAS  
8 SET PAGE  
8 Bolean PROCEDRE CUNDICIONS  
*  
*  
BEGIN  
IF EXISTENCIVIENTU THEN  
*  
*  
BEGIN  
IF CASE FOL 1 THEN  
  BEGIN
```

* BCRDES

195300
195400
195500
195600
195700
195800
195900
196000
196100
196200
196300
196400
196500
196600
196700
196800
196900
197000
197100
197200
197300
197400
197500
197600
197700
197800
197900
198000
198100
198200
198300
198400
198500
198600
198700
198800
198900
199000
199100
199200
199300
199400
199500
199600
199700
199800
199900
200000
200100
200200
200300
200400
200500
200600
200700
200800
200900
201000

CONDICION = CLORDE + DIAMCONT/2. GTR PCSINIC
CLORDE = DIAMCONT/2. LSS PCSFIN

NOELSE
ENCIF)

IF SUB EOL 2 OR SUB EOL 4 OR
SUB EOL 6 OR SUB EOL 8 THEN

CONDICION = CLORDE + DIAMCONT/2. LSS PCSINIC
CLORDE + DIAMCONT/2. GTR PCSFIN

NOELSE
ENCIF)

NOELSE
ENDIF)

IF CASE PAL 2 THEN X LENGUETAS INFINITAS LIMITADAS

BEGIN
IF SUB EOL 1 OR SUB EOL 3 OR
SUB EOL 5 OR SUB EOL 7 THEN

CONDICION = CLORDE + DIAMCONT/2. GTR PCSINIC
CLORDE + DIAMCONT/2. LSS PCSFIN

CLORRESTRI GEG RESTRI
CLORRESTRI LEG RESTRI + ANCHO

NOELSE
ENCIF)

IF SUB EOL 2 OR SUB EOL 4 OR
SUB EOL 6 OR SUB EOL 8 THEN

CONDICION = CLORDE + DIAMCONT/2. LSS PCSINIC
CLORDE + DIAMCONT/2. GTR PCSFIN

CLORRESTRI GEG RESTRI
CLORRESTRI LEG RESTRI + ANCHO

NOELSE
ENCIF)

NOELSE
ENDIF)

IF CASE PAL 3 THEN X LENGUETAS DE LARGO INFINITO.

BEGIN
IF SUB EOL 1 OR SUB EOL 3 THEN

CONDICION = CLORDE + DIAMCONT/2. GTR PCSINIC
CLORDE + DIAMCONT/2. LSS PCSFIN

NOELSE
ENCIF)

201400
201500
201600
201700
201800
201900
202000
202100
202200
202300
202400
202500
202600
202700
202800
202900
203000
203100
203200
203300
203400
203500
203600
203700
203800
203900
204000
204100
204200
204300
204400
204500
204600
204700
204800
204900
205000
205100
205200
205300
205400
205500
205600
205700
205800
205900
206000
206100
206200
206300
206400
206500
206600
206700
206800
206900
207000
207100

CONDICION = CLORLE + LIAMCONT/2. LSS PESINIC
AND
CCORLE + LIAMCONT/2. GTR PESFIN

NOELSE
EXCIP)
EAC
NOELSE
ENDIF)

IF CASE PDL 4 THEN
BEGIN
IF SUB EOL 1 OR SUB EOL 5 OR
SUB EOL 6 OR SUB EOL 14 THEN

CONDICION = CCORLE + LIAMCONT/2. GTR PESINIC
CLORLE = LIAMCONT/2. LSS PESFIN
CLORRESTRI = LEG RESTRI

NOELSE
EXCIP)

IF SUB EOL 2 OR SUB EOL 9 OR
SUB EOL 10 OR SUB EOL 13 THEN

CONDICION = CLORLE + LIAMCONT/2. GTR PESINIC
CCORLE = LIAMCONT/2. LSS PESFIN
CLORRESTRI = LEG RESTRI

NOELSE
EXCIP)

IF SUB EOL 3 OR SUB EOL 7 OR
SUB EOL 8 OR SUB EOL 16 THEN

CONDICION = CLORLE + LIAMCONT/2. LSS PESINIC
CLORLE + LIAMCONT/2. GTR PESFIN
CLORRESTRI = LEG RESTRI

NOELSE
EXCIP)

IF SUB EOL 4 OR SUB EOL 11 OR
SUB EOL 12 OR SUB EOL 15 THEN

CONDICION = CLORLE + LIAMCONT/2. LSS PESINIC
CLORLE + LIAMCONT/2. GTR PESFIN
CLORRESTRI = LEG RESTRI

NOELSE
EXCIP)
EAC
NOELSE
ENDIF)

213500
213600
213700
213800
213900
214000
214100
214200
214300
214400
214500
214600
214700
214800
214900
215000
215100
215200
215300
215400
215500
215600
215700
215800
215900
216000
216100
216200
216300
216400
216500
216600
216700
216800
216900
217000
217100
217200
217300
217400
217500
217600
217700
217800
217900
218000
218100
218200
218300
218400
218500
218600
218700
218800
218900
219000
219100
219200
219300

CONDRESTRI + DIAMCENT/2. LEQ RESTRI
CONDRESTRI + DIAMCENT/2. GTR RESTRI
CONDRESTRI + DIAMCENT/2. GTR RESTRI + ANCHO
CONDRESTRI + DIAMCENT/2. LEQ RESTRI + ANCHO

NOELSE
ENDIF)

IF SUB EQL 2 OR SUB EQL 4 THEN
SUB EQL 6 OR SUB EQL 8 THEN

CONDICION1 = CONDRL + DIAMCENT/2. GTR POSINIC
POSINIC GEG CCRDGE + DIAMCENT/2.
CONDRESTRI + DIAMCENT/2. LEQ RESTRI
CONDRESTRI + DIAMCENT/2. GTR RESTRI
CONDRESTRI + DIAMCENT/2. GTR RESTRI + ANCHO
CONDRESTRI + DIAMCENT/2. LEQ RESTRI + ANCHO

NOELSE
ENDIF)
END
NOELSE
ENDIF)

IF CASE FOL 3 THEN % LENGUETAS INFINITAS (TIPODE = 3)
PARA TODOS LOS SUBCASOS

CONDICION1 = CCRDRL + DIAMCENT/2. GTR POSINIC + ANCHO
POSINIC + ANCHO GTR CCRDGE + DIAMCENT/2.
POSINIC GEG CCRDGE + DIAMCENT/2.
CCRDRL + DIAMCENT/2. GTR POSINIC

NOELSE
ENDIF)

IF CASE FOL 4 THEN % LSGUIAS (TIPODE=4)

BEGIN
IF SUB EQL 1 OR SUB EQL 5 THEN

CONDICION1 = CONDRLX + DIAMCENT/2. GEG POSINX
POSINX GTR CONDRLX + DIAMCENT/2.
POSINX GEG CONDLY + DIAMCENT/2.
CONDLY + DIAMCENT/2. GTR POSINX

NOELSE
ENDIF)

IF SUB EQL 3 OR SUB EQL 7 THEN

219406
219706
219806
219406
220006
220106
220206
220306
220406
220506
220606
220706
220806
220906
221006
221106
221206
221306
221406
221506
221606
221706
221806
221906
222006
222106
222206
222306
222406
222506
222606
222706
222806
222906
223006
223106
223206
223306
223406
223506
223606
223706
223806
223906
224006
224106
224206
224306
224406
224506
224606
224706
224806
224906
225006
225106
225206
225306
225406

POSINX GTR ^{ALC} CURLY = DIAMCENT/2.
POSINX GTR ^{ALC} CURLY = DIAMCENT/2.
CURDX = DIAMCENT/2. GEG POSINX

NOELSE
ENDIF)

IF SL3 EQL 2 OR SL3 LGL 6 THEN

CONDICION1=CURDX + DIAMCENT/2. GTR POSINX
POSINX GEG ^{ALC} CURDX + DIAMCENT/2.
POSINX GEG ^{ALC} CURLY + DIAMCENT/2.
CURDY + DIAMCENT/2. GTR POSINX

NOELSE
ENDIF)

IF SL5 EQL 4 OR SL5 LGL 3 THEN

CONDICION1=CURDX + DIAMCENT/2. GTR POSINX
POSINX GEG ^{ALC} CURDX + DIAMCENT/2.
CURDY = DIAMCENT/2. GEG POSINX
POSINX GTR ^{ALC} CURLY = DIAMCENT/2.

NOELSE
ENDIF)
END
NOELSE
ENDIF)

IF CASE FOL 5 THEN * FINITEC (TIPDGE = 5)

CONDICION1=CURDY - DIAMCENT/2. GEG POSINX + DIMVER
POSINX + DIMVER ^{ALC} GTR CURDY = DIAMCENT/2.
CURDX = DIAMCENT ^{ALC} GEG POSINX + DIMVER
POSINX + DIMVER ^{ALC} GTR CURDX = DIAMCENT/2.
CURDY + DIAMCENT/2. GTR POSINX
POSINX GEG ^{ALC} CURDY + DIAMCENT/2.
CURDX + DIAMCENT/2. GTR POSINX
POSINX GEG ^{ALC} CURDX + DIAMCENT/2.

NOELSE
ENDIF)

ENDIF)
END
FINPROJ & CONDICION

225700
225800
225900
226000
226100
226200
226300
226400
226500
226600
226700
226800
226900
227000
227100
227200
227300
227400
227500
227600
227700
227800
227900
228000
228100
228200
228300
228400
228500
228600
228700
228800
228900
229000
229100
229200
229300
229400
229500
229600
229700
229800
229900
230000
230100
230200
230300
230400
230500
230600
230700
230800
230900
231000
231100
231200
231300
231400
231500

```
BEGÍN  
DEFINE F=FREQUE CIA 0  
VELOCPRG=(VELOC/UNILETILIPU)  
POINTER PE  
REAL ALFA,ORFALST)  
PE=(LXTERNA)  
R PLXTERNA) BY " " FJR 12 NCRBS  
IF LAISTEPCVNIENTO THEN  
  BEGÍN  
  IF NOT OFREGREOC THEN 2 ER CASO DE QUE EL ESTIMULO VAYA  
  HACIA POSFIN (IBE=1, LAACIRECCIONAL) O SI  
  EL ESTIMULO VA HACIA POSIEXT (IBF=2, B.DIY)  
  BEGÍN  
  IF POSFIN > POSIAC THEN 2 BIEN POSIEXT > POSIAC SI UBF=2  
  T1=(COORDE-DIAMCNT/2.0-POSIAC)/VELOCPRG  
  ELSE 2 POSFIN < POSIAC BIEN POSIEXT < POSIAC  
  T1=(POSIAC-COORDE-DIAMCNT/2.0)/VELOCPRG  
  ENCIF)  
  T2=T1+(DIAMCNT/2.0-DIAMCNT/2.0)/VELOCPRG  
  T3=T1+(DIAMCNT/2.0+DIAMCNT/2.0)/VELOCPRG  
  T4=T1+DIAMCNT/VELOCPRG  
  EN  
  ELSE 2 UNICAMENTE P/LOS BIDIRECCIONALES, LE VAN HACIA DE LA  
  POSICION EXTERNA HACIA LA FINAL (CEE=2)  
  BEGÍN  
  IF POSIION > PI THEN 2 C SEA LE ARRIBA HACIA ABAJO O DE  
  DERECHA A IZQ EL MOVIMIENTO.  
  T1=(POSICION-COORDE-DIAMCNT/2.0)/VELOCPRG  
  ELSE 2 DE ABAJO HACIA ARRIBA O DE IZQ A DERECHA  
  T1=(COORDE-DIAMCNT/2.0-POSICION)/VELOCPRG  
  ENCIF)  
  T2=T1+(DIAMCNT/2.0-DIAMCNT/2.0)/VELOCPRG  
  T3=T1+(DIAMCNT/2.0+DIAMCNT/2.0)/VELOCPRG  
  T4=T1+DIAMCNT/VELOCPRG  
  IF NOT YAPRIMERBUNDE THEN  
  BEGÍN  
  T1=+TICA2)  
  T2=+TICA2)  
  T3=+TICA2)  
  T4=+TICA2)  
  END  
  ELSE  
  BEGÍN  
  T1=+TICA1)  
  T2=+TICA1)  
  T3=+TICA1)  
  T4=+TICA1)  
  END  
  ENCIF)  
  EN  
  ENCIF)  
  IF T1 LEC 0 AND T2 LL 0 AND  
  T3 LEC 0 AND T4 > 0 THEN  
  R PEPE BY "X" FJR 2
```

231800
231900
232000
232100
232200
232300
232400
232500
232600
232700
232800
232900
233000
233100
233200
233300
233400
233500
233600
233700
233800
233900
234000
234100
234200
234300
234400
234500
234600
234700
234800
234900
235000
235100
235200
235300
235400
235500
235600
235700
235800
235900
236000
236100
236200
236300
236400
236500
236600
236700
236800
236900
237000
237100
237200
237300
237400
237500
237600

```
IF T1 > 0 AND T2 > 0 AND T3 > 0 AND T4 > 0 THEN
  R PEIPE BY "X" FOR 2,
  T3+1 FOR * DIGITS,
  " " FOR 1,
  T4 FOR * DIGITS,
  " " FOR 1,
  F FOR * DIGITS,
  " " FOR 1,
  ELSE
  IF T1 LEG 0 AND T2 > 0 AND T3 > 0 AND T4 > 0 THEN
    R PEIPE BY "X" FOR 2,
    " " FOR 1,
    T2 FOR * DIGITS,
    " " FOR 1,
    F FOR * DIGITS,
    " " FOR 1,
    T3+1 FOR * DIGITS,
    " " FOR 1,
    T4 FOR * DIGITS,
    " " FOR 1,
    F FOR * DIGITS,
    " " FOR 1,
  ELSE
    IF T1 > 0 AND T2 > 0 AND T3 > 0 AND T4 > 0 THEN
      R PEIPE BY "X" FOR 2,
      T1+1 FOR * DIGITS,
      " " FOR 1,
      TF FOR * DIGITS,
      " " FOR 1,
      F FOR * DIGITS,
      " " FOR 1,
    ELSE
      IF T1 > 0 AND T2 > 0 AND T3 > 0 AND T4 > 0 THEN
        R PEIPE BY "X" FOR 2,
        T1+1 FOR * DIGITS,
        " " FOR 1,
        T2 FOR * DIGITS,
        " " FOR 1,
        F FOR * DIGITS,
        " " FOR 1,
      ELSE
        IF T1 > 0 AND T2 > 0 AND T3 > 0 AND T4 > 0 THEN
          R PEIPE BY "X" FOR 2,
          T1+1 FOR * DIGITS,
          " " FOR 1,
          T2 FOR * DIGITS,
          " " FOR 1,
          F FOR * DIGITS,
          " " FOR 1,
          T3+1 FOR * DIGITS,
```


24400
24410
24420
24430
24440
24450
24460
24470
24480
24490
24500
24510
24520
24530
24540
24550
24560
24570
24580
24590
24600
24610
24620
24630
24640
24650
24660
24670
24680
24690
24700
24710
24720
24730
24740
24750
24760
24770
24780
24790
24800
24810
24820
24830
24840
24850
24860
24870
24880
24890
24900
24910
24920
24930
24940
24950
24960
24970
24980

```
INTEGERT(CESTIMUL), FOR * DIGITS  
"X" FOR 1,  
TC FOR * DIGITS,  
"X" FOR 1,  
F FOR * DIGITS,  
"X" FOR 1)  
  
END  
ELSE  
BEGIN  
IF TG STR TIEMPOMAX THEN  
TIEMPOMAX  
NOELSE  
FADIF)  
R PEPL BY "X" FOR 2,  
"1" FOR 2,  
TG FOR * DIGITS,  
"X" FOR 1,  
F FOR * DIGITS,  
"X" FOR 1)  
  
END  
ENDIF  
LNDIF)  
LNC  
ENDIF)  
END  
ENDPROC * CALCLLAEXTERNA  
S SET PAGE  
PROCEDUR CALCLLAEXTERMANULA  
BEGIN  
PRINTER PX)  
  
R P(EXTERNA) BY "X" FOR 12 WGRES;  
R PXIP(EXTERNA) BY "X" FOR 2,  
TIEMPOMAX FOR * DIGITS,  
"X" FOR 1,  
TIEMPOMAX FOR * DIGITS,  
"X" FOR 1,  
"1" FOR 2)  
  
END  
ENDPROC * CALCLLAEXTERMANULA  
PROCEDUR GUARAFATERNA(INDI);  
INTEGER INDI;  
BEGIN  
INTEGER I,CAMPU;  
DEFINE  
UNAEXTERNA=FOR I=0 STEP 1 UNTIL 5 DO EXTERNA(I);  
LACTRATERNA=FOR I=0 STEP 1 UNTIL 11 DO EXTERNA(I);  
  
X  
HEAD(EXTERNAS(INDI-1),<I4>,CAMPU);  
IF CAMPU EGL J THEN X EXISTE CAMPL LIBRE  
WRITE(EXTERNAS(INDI-1),<I4>,CAMPU,UNAEXTERNA)  
ELSE  
BEGIN  
HEAD(EXTERNAS(INDI-1),<I4>,CAMPU,UNAEXTERNA);  
R P(EXTERNA) JO BY P(EXTERNA) FOR 6 WGRES;  
WRITE(EXTERNAS(INDI-1),<I4>,CAMPU,UNAEXTERNA,  
LACTRATERNA,  
UNAEXTERNA,  
LACTRATERNA);
```

```

250100 END
250200 ENDFRO) & GUARAFATERIA
250300 & SET PAGE
250400 PROCEDURE EXCITALAS&ESTARTLS)
250500 BEGIN
250600 YAPN,MLI,BCRDF&TRUL)
250700 RUSCALIITESPOSTERICRES)
250800 READ(MATCCORLI(LINC&),3,ACCORD&))
250900 WHILE LINC LEJ LSUC CC
251000 IF NEG ECL U THEN
251100 BEGIN
251200 LIAC(=++);
251300 READ(MATCCORLI(LINC&),3,ACCORD&))
251400 END
251500 ELSE
251600 BEGIN
251700 NGANGI=LIAC)
251800 CALCLLAEXTLFRANUL)
251900 GLARPAEXTERRA(LINC)
252000 LIAC(=++);
252100 READ(MATCCORLI(LINC&),3,ACCORD&))
252200 END
252300 ENDIF
252400 ENDU)
252500 END
252600 ENDFRO) & EXCITALAS&ESTARTLS
252700 & SET PAGE
252800 PROCEDURE DECICE)
252900 BEGIN
253000 &
253100 &
253200 WHILE LINC LEJ LSUC CC
253300 IF NEG ECL U THEN
253400 BEGIN
253500 LIAC(=++);
253600 DETERMI ACORDEVALAS)
253700 END
253800 ELSE
253900 IF CONDICIA THEN
254000 BEGIN
254100 NGA G=LIAC)
254200 CAL UL&EXTERRA)
254300 GJA DAL&XTERRA(LINC)
254400 LINC(=++);
254500 DETERMINACORLEVALAS)
254600 END
254700 ELSE
254800 BEGIN
254900 NGA G=LIAC)
255000 CALCUL&EXTERRA&HULAS)
255100 GJA DAL&XTERRA(LINC)
255200 LINC(=++);
255300 DETERMINACORLEVALAS)
255400 END
255500 ENDFIF
255600 ENDIF
255700 ENDU)
255800 END
255900 ENDFRO) & DECICE

```

256200
256300
256400
256500
256600
256700
256800
256900
257000
257100
257200
257300
257400
257500
257600
257700
257800
257900
258000
258100
258200
258300
258400
258500
258600
258700
258800
258900
259000
259100
259200
259300
259400
259500
259600
259700
259800
259900
260000
260100
260200
260300
260400
260500
260600
260700
260800
260900
261000
261100
261200
261300
261400
261500
261600
261700
261800
261900
262000

```

BEGIN
  DEFINE VLCCPRG=(VLCCI/UIDETIEMPC);
  INTCR LCR;
  SE INICIALIZA EL ARCHIVO DE EXTERNAS CON UN CLRC.
  CERU=0;
  THRU MAX(LSUPNUF,LSLOFFL) DU
  WRITE(EXTERNAS<IA>CLRC)
  FNDU;

  IF EXISTENCMIENTO THEN
    BEGIN
      IF UBE EGL 1 OR UBE EGL 2 THEN
        BEGIN
          DEERRESO=FALSE;
          IF UBE EGL 2 THEN
            BEGIN
              PFI=POSINIC;
              PFI=POSFIN;
              POSIN=PCSLAT;
              FND;
            NCElse
            ERCTF;
          IF CASO EGL 5 THEN
            IF SUB EGL 1 OR SUB EGL 2 THEN
              BEGIN
                ANCPFI=DIVER;
                DHEKI=DINHOR;
                ERU;
              FLSE
              BEGIN
                ANCPFI=DINHOR;
                DHEKI=DIVER;
                FND;
              NCElse
              ERCTF;
            IF CASO EGL 3 OR CASO EGL 5 THEN
              BEGIN
                POSINIC=+ANCHD;
                POSFIN=+ANCHD;
                FND;
              NCElse
              ERCTF;
            IF CASO EGL 2 OR
              CASO EGL 4 OR
              CASO EGL 5 THEN
              IF MOV EGL "X" THEN
                RESTR1=PCSIY;
              FLSE
                RESTR1=PCSIX;
              FNDIF;
            NCElse
            ERCTF;
          IF UBE EGL 2 THEN
            TIEMPOMAXI=(ALS(PCSFIN*POSINIC)+ABS(PC*PCSIEXT))/
              VLCCPRG + TIEMFCSTAB
          ELSE
            TIEMPOMAXI=ABS((PCSFIN*POSINIC)/VLCCPRG)+TIEMFCSTAB

```

PARA DINAMICAS
PARA UNIDIRECCIONALES C
BIDIRECCIONALES EN EL
PRIMER SECTIO.

262400
262500
262600
262700
262800
262900
263000
263100
263200
263300
263400
263500
263600
263700
263800
263900
264000
264100
264200
264300
264400
264500
264600
264700
264800
264900
265000
265100
265200
265300
265400
265500
265600
265700
265800
265900
266000
266100
266200
266300
266400
266500
266600
266700
266800
266900
267000
267100
267200
267300
267400
267500
267600
267700
267800
267900
268000
268100

```
YAFRTRHEPONDCEI=FALSE;
BUSCALIMITES;
DETERMINACUORDENADAS;
DECIDE;
IF CASO EQL 3 UR CASO EQL 5 THEN
  BEGIN
  IF USE EQL 2 THEN
    BEGIN
    POSINIC=PF;
    POSFIN=PSIEXT;
    END
  ELSE
    BEGIN
    POSINIC=+ANCHOS;
    POSFIN=+ANCHOS;
    END
  ENDIF;
  TFI=ABS((PSFIN-POSINIC)/VELOCPRG);
  TINA2=TFI;
  YAPRIMRECROD:=TRUE;
  BUSCALIMITESPLSTERIORES;
  DETERMINACUORDENADAS;
  DECIDE;
  END
ELSE
  IF USE EQL 1 THEN
    EXCITALASRESTANTES
  ADELRE
  ENDIF
ENDIF;
ENC;
NOELSE
ENDIF;

IF USE EQL 2 THEN % PARA LAS DIRECCIONALES (UNICA
                   % MENTE) EN EL SEGUNDO CERTICO.
  BEGIN
  DEREGRESO:=TRUE;
  POSINIC=PF;
  POSFIN=PSIEXT;
  POSICION=PSIEXT;
  TFI=ABS((PF-POSIEXT)/VELOCPRG);
  YAFRTRHEPONDCEI=FALSE;
  IF CASO EQL 3 UR CASO EQL 5 THEN
    BUSCALIMITES
  ELSE
    BEGIN
    YAPRIMRECROD:=TRUE;
    BUSCALIMITESPLSTERIORES;
    END
  ENDIF;
  DETERMINACUORDENADAS;
  DECIDE;
  IF CASO EQL 3 UR CASO EQL 5 THEN
    BEGIN
    POSINI=+ANCHOS;
    POSINIC=+ANCHOS;
    POSICION=PSIEXT+ANCHOS;
  
```


268300
268400
268500
268600
268700
268800
268900
269000
269100
269200
269300
269400
269500
269600
269700
269800
269900
270000
270100
270200
270300
270400
270500
270600
270700
270800
270900
271000
271100
271200
271300
271400
271500
271600
271700
271800
271900
272000
272100
272200
272300
272400
272500
272600
272700
272800
272900
273000
273100
273200
273300
273400
273500
273600
273700
273800
273900
274000
274100
274200

```
YAPRIMEN...  
BUSCALIMITESPOSTERIORES;  
DETERMINACORRENAS;  
DECIDE;  
END  
NCELSE  
ENCIF)  
PCFINI=PF;  
PCFINI=PI;  
ENC  
NCELSE  
ENDIF)  
END  
ELSE X PARASTATICAS  
BEGIN  
DETERMINACORRENAS;  
TIEMPOMAXI=TEOC+TIESTIMULO+JOS  
DECIDE;  
X  
X  
IF NOT TIEMPOINFINITO THEN X EN EL CASO DE QUE EXISTA ELFINAL.  
BEGIN  
HAYEFINAL=TRUL;  
TIEMPOMAXI=TIEDU+TIESTIMULO+TIEMPESTAE;  
IF EDIICIAL EQL "I" AND EDOFINAL EQL "C" THEN  
BEGIN  
DCENI=DIAMCONT;  
DCONI=DIAMCONT;  
DIAMCONTI = DIAMCONT;  
DIAMCONTI = DCENI;  
DECIDE X CON DIFERENTES CONDICIONES O ISMAS COORLS.  
DIAMCONTI=DCENI;  
DIAMCONTI=DCENI;  
END  
NCELSE  
ENCIF)  
X  
IF EDIICIAL EQL "I" AND EDOFINAL EQL "I" THEN  
BEGIN  
BUSCALIMITESPOSTERIORES;  
DECIDE X CON ISMAS CONDICIONES O DIFERENTES COORLS.  
END  
NCELSE  
ENCIF)  
X  
IF EDIICIAL EQL "O" AND EDOFINAL EQL "I" THEN  
BEGIN  
DCENI=DIAMCONT;  
DCONI=DIAMCONT;  
DIAMCONTI = DIAMCONT;  
DIAMCONTI = DCENI;  
DECIDE X CON DIFERENTES CONDICIONES O ISMAS COORLS.  
DIAMCONTI=DCENI;  
DIAMCONTI=DCENI;  
END  
NCELSE  
ENCIF)  
X  
IF EDIICIAL EQL "O" AND EDOFINAL EQL "C" THEN  
BEGIN
```

27400
27470
27480
27490
27500
27510
27520
27530
27540
27550
27560
27570
27580
27590
27600
27610
27620
27630
27640
27650
27660
27670
27680
27690
27700
27710
27720
27730
27740
27750
27760
27770
27780
27790
27800
27810
27820
27830
27840
27850
27860
27870
27880
27890
27900
27910
27920
27930
27940
27950
27960
27970
27980
27990
28000
28010
28020
28030

```
NCLESE  
ENCIF)  
ENC  
LLSL  
EXCITAIASHLSTAITLS  
ENDIF)  
END  
END  
END  
PROCEDURE LLEE*TRNA(SLACABO);  
RPGLEAN  
BEGIN  
IF KLAU(EXTERNA <<14,12A6>>NGANG(EXTLINA) THEN  
SEACABO=TRUE & SE ACABO EL ARCHIVE EXTERNAS  
ELSE  
SEACABO=FAISE  
ENDIF)  
*  
WHILE NGANG PUL 0 AND NOT SEACABO DO  
IF REAC(EXTERNAS <<14,12A6>>NGANG(EXTERNA) THEN  
SEACABO=TRUE  
LLSL  
SEACABO=FALSE  
ENDIF  
ENDWHILE  
END  
ENDPROC LLE*TRNA  
* SET PAGE  
PROCEDURE LLERED(SEACABO);  
RPGLEAN  
BEGIN  
LABEL CUF)  
REAC(RED,14,PAT S)(ECF))  
IF FALSE THEN  
EOF SEACABO=TRUE  
NOELJE  
ENDIF  
END  
ENDPROC LLERED  
* SET PAGE  
PROCEDURE CONFIRMAREU)  
BEGIN  
BOOLLAN  
ESGANGLI NANO  
ESASTERISCO  
HUBCERRUN)  
DEFINE  
IDENTIFILAGANGLI:AR=PREC=P(LW TCS))CI=EG)  
S PRECIFIED FOR CUC UNTIL EGL "A";  
ESGANGLI:AR=IF PREC EGL "AG" THEN TRUE  
ELSE FALSE #  
IDENTIFILAWTERISCO= ESASTERISCO=IF P(CATCS(13))+1 EGL "A"  
THEN TRUE  
ELSE FALSE)  
INTER C)  
POINTER
```

280600
280700
280800
280900
281000
281100
281200
281300
281400
281500
281600
281700
281800
281900
282000
282100
282200
282300
282400
282500
282600
282700
282800
282900
283000
283100
283200
283300
283400
283500
283600
283700
283800
283900
284000
284100
284200
284300
284400
284500
284600
284700
284800
284900
285000
285100
285200
285300
285400
285500
285600
285700
285800
285900
286000
286100
286200
286300
286400

```
PAUX=P(DATOS);  
REWIND(externas); * INICIA EL ARCHIVO DE EXTERNAS  
FILL DATOS WITH 14(" "); * SE LIMPIA EL VECTOR  
LEEALD(SEACABU);  
IDENTIFICACIONAR;  
IDENTIFICASTERISC;  
IF C GEU 1 THEN  
  BEGIN  
    IF LSG ANGLIGNAR THEN * SE APLATA AL NUMERO DE LA GARGO.  
      PREDI=PREU+2  
    ELSE  
      ENJIF;  
  WHILE NOT(SEACABU) AND NOT(LSG ANGLIGNAR AND L$ASTERISC) DO  
    BEGIN  
      IF LSG ANGLIGNAR THEN  
        BEGIN  
          LEEXTLFRA(SL;CADL);  
          S PAUXIPRED FOR CIG=2 WHILE IN NUMEROS  
          IF INTEGER(PRED;DULTA(PRED;PALV)) EQL NGANG THEN  
            BEGIN * EL NUM. DE LA GARGONIGNAR DE LA RED  
              * ES IGUAL A NGANG DEL ARCH. EXTERNAS  
              WRITE(DAT;SHELLRONAS;14;DATOS); * UNA LINEA DE LA RED  
              R P(DATOS) BY P(externas) FOR 12 WORDS;  
              WRITE(DAT;SHELLRONAS;14;DATOS); * LA EXTERNA  
              ENJ;  
            ELSE  
              BEGIN  
                LEEXTERNA(SEACABU); * SE SIGUE BUSCANDO LA NGANG  
                * CORRESPONDIENTE A LA DE RED  
                WHILE NOT(SEACABU) AND  
                  INTEGER(PRED;DULTA(PRED;PALV)) NEQ NGANG DO  
                  LEEXTERNA(SEACABU)  
                ENJCC;  
                IF SEACABU THEN * NO SE ENCONTRO LA NGANG O SEA QUE  
                  * EL NUM. DE LA GARGO DE LA RED ESTA  
                  * EQUIVOCADO  
                  PUBOLI.RORI=TRUE  
                ELSE  
                  BEGIN * SE ENCONTRO NGANG EN EXTERNAS  
                    WRITE(DAT;SHELLRONAS;14;DATOS); * UNA LINEA DE RED  
                    R P(DATOS) BY P(externas) FOR 12 WORDS;  
                    WRITE(DAT;SHELLRONAS;14;DATOS); * LA EXTERNA  
                    BEGIN * SE INICIALIZA ARCH. EXTERNAS  
                      ENJ;  
                    ENJIF;  
                  END  
                ENJ;  
              ENDIF;  
            ELSE  
              BEGIN * NO FUE CANGIGNAR ASI QUE SE ESCRIBE.....  
                WRITE(DAT;SHELLRONAS;14;DATOS); * .....UNA LINEA DE LA RED  
              ENJIF;  
              IF NOT HUBOERROR THEN  
                BEGIN  
                  LEEXTLFRA(SL;CADL);  
                  IDENTIFICACIONAR;  
                  IF LSG ANGLIGNAR THEN * SE APLATA AL NUM. DE LA GARGO  
                    PREDI=PREU+2
```

286700
286800
286900
287000
287100
287200
287300
287400
287500
287600
287700
287800
287900
288000
288100
288200
288300
288400
288500
288600
288700
288800
288900
289000
289100
289200
289300
289400
289500
289600
289700
289800
289900
290000
290100
290200
290300
290400
290500
290600
290700
290800
290900
291000
291100
291200
291300
291400
291500
291600
291700
291800
291900
292000
292100
292200
292300
292400
292500

```
IDENTIFICACION
END
ELSE
  SEACADU=TRUL & TERMINACION ANORMAL
ENDIF
ENC
END
LNDU)
IF LSASTERISCO AND ESCANGLIONAR THEN
  SELE SI LA ULTIMA LINEA
  DE LA RED ES CANGLIONAR Y
  HAY LA "*" (ASTERISCO) EN
  LA COLUMNA 80.

BEGIN
  PRED=P(DATOS(1)) * 14 * SE POSICIONA EN LA COL 80 DE RED
  R P(CAT, S(1)) * 14 * SE QUITA EL ASTERISCO DE RED
  WRITE(DATOS(NEURONAS(14) DATOS)) * SE ESCRIBE LA ULTIMA LINEA
  R P(DATOS) BY P(externa) FOR 14 WCRCS)
  R PRED BY "*" FOR 14
  WRITE(DATOS(NEURONAS(14) DATOS)) * LA EXTERNA CON "*" EN LA 80
ENC
NOELSE
LNDIF)
LND
ELSE
  HUBUERROR=TRUL
ENDIF
IF HUBUERROR THEN
  BEGIN
  R P(CARACTERISTICA) BY P(DATOS) FOR 14 WCRCS)
  LSCRIBERED(12))
  LND
NOELSE
ENDIF
LOCK(externas,*)
LOCK(DATOS(NEURONAS,*))
END
ENDPROC * CONFIRMALAREO
PROCEDURE COMPLETADATOSIMULACION)
BEGIN
  FILE DSIMULAC(KI D=DISK, MAXRECSIZE=14, LCCMSIZE=420
  TITLE="DATOSIMULACION(14)"),
  DATOSIMULACION(KI D=DISK, MAXRECSIZE=14, LCCMSIZE=420, FLEXIBLE,
  TITLE="DATOSIMULACION(14)"))
  ARRAY X(1013)
  READ(DSIMULAC, 10, X)
  WRITE(DATOSIMULACION, 14, X)
  WRITE(DATOSIMULACION, 14, TILMPGMX)
  READ(DSIMULAC, 10, X)
  WRITE(DATOSIMULACION, 14, X)
  LOCK(DATOSIMULACION, *)
  END
ENDPROC * COMPLETADATOSIMULACION
SET PAGE
PROCEDURE EJECTOFATSYDLCK)
BEGIN
  FILE EJECTA(KI D=DISK, MAXRECSIZE=14, LCCMSIZE=420)
  WRITE(EJECTA, " ? JCE " * CAT * " ) CLASS 1) " REGIA "
  P(IDENTIFICACION))
  WRITE(EJECTA, " ? HLN FATSYDLCK " * )
  WRITE(EJECTA, " ? FILE DATOSIMULACION(14) DISK FILETYPE=7) * )
```


REFERENCIAS

- 1.- BAUMGARTNER, G. BROWN, J. L. SCHULZ, A. "Responses of single units of the cat visual system to rectangular stimulus patterns".
J. Neurophysiology, 1965, Vol. 28.
- 2.- BARRA ARIAS, S. JIMENEZ GARCIA, J.A. "Simulación en computadora digital de procesos del sistema nervioso".
Tesis profesional, F.I. U.N.A.M. 1978.
- 3.- BURROUGHS "Algol lenguaje reference manual".
Junio, 1975.
- 4.- _____ "Cande lenguaje information manual".
1972.
- 5.- _____ "Work flow lenguaje".
1972.
- 6.- CERVANTES, F. MORENO, A. TRUJILLO, H. "Simulación de procesos plásticos en la sinapsis".
Tesis profesional, F.I. U. N.A.M. 1978.
- 7.- CREUTZFELDT, O. ITO, M. "Functional synaptic organization of primary visual cortex neurones in the cat".
Experimental brain research 6, 1968.
- 8.- FURUKAWA, T. HAGIWARA, S. "A nonlinear receptive field model of the visual system".
IEEE transactions on biomedical engineering Vol. BME-25, enero 1978.
- 9.- GERARDIN, L. "La biónica".
Ed. McGraw-Hill, 1968.
- 10.- GREGORY, D. J. "Algol on the B6700: A complete primer Vol. I y II.
Gregory publishing Co. 1977.
- 11.- HAM, A. W. "Tratado de histología".
Ed. Interamericana, sexta edición.
- 12.- HARA, K. TAKABAYASHI, A. "A dynamic model of retinal cells in the vertebrate retina".
Biological cibernetics 20, 1975.

- 13.- HUBEL, D.H. "The visual cortex of the brain".
Readings from scientific american, perception, pags. 148-156.
- 14.- HUBEL D. H. WIESEL, T.N. "Receptive fields of single neurones in the --
cat's striate cortex".
J. Physiology 148, 1959.
- 15.- _____ "Receptive fields and functional architecture in two nonstriate
visual areas (18 and 19) of the cat".
J. Neurophysiology 28, 1965.
- 16.- I.B.M. "Improved programming technologies".
Octubre, 1974.
- 17.- KENNEDY, D. "Inhibition in visual systems". readings from scientific ameri-
can, perception, pp. 120 - 125.
- 18.- KOZAK, W. RODIECK, R. W. BISHOP, P. O. "Responses of single units
in lateral geniculate nucleus of cat to moving visual patterns".
J. Neurophysiology 28, 1965.
- 19.- LARA Y ZAVALA, R. "Modelo electrónico de un sistema neuronal.
Tesis profesional, F.I. U.N.A.M. 1974.
- 20.- LEIBOVIC, K. N. "On the retinal basis of visual adaption".
Kybernetik, pp. 96 - 111, 1971.
- 21.- LURIA, A. R. "The working brain".
Ed. penguin books, 1976.
- 22.- MICHAEL, C. R. "Retinal processing of visual imagenes". Readings from --
scientific american, perception, pags. 137-147.
- 23.- MUNTZ, W. R. A. "Vision in frogs". Readings from scientific american, --
perception, pp. 157 - 164.
- 24.- RUSHTON, W. A. H. "Visual pigments in man". Readings from scientific --
american, perception, pp. 104 - 112.
- 25.- SHEPHERD, G. M. "The synaptic organization of the brain".
Ed. Oxford University press, 1975.
- 26.- TATE, C. WOOLFSON, M. N. "On modelling neural networks in the reti-
na". Vision research 11, 1971.

- 27.- TOLKMITT, J. "A computer simulation model of the afferent part of the visual foveation system. *Biological Cybernetics* 25, 1977.
- 28.- WALD, G. "Eye and camera. Readings from *Scientific American, Perception*, pp. 94-103.