

Duplicado
51
I

REALIZACION Y EXPERIMENTACION DE MODELOS
RETINALES EN ORDENADOR. DESARROLLO DE UN
LENGUAJE Y APLICACIONES.

MEMORIA presentada por
Octavio Santana Suarez
para optar al grado de
Doctor en Ciencias.

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA. FACULTAD DE CIENCIAS



Deseo expresar mi mas sincero agradecimiento al profesor Dr. D. Roberto Moreno Diaz, el que con su dirección y apoyo, hizo posible la realización de esta memoria.

Mi agradecimiento tambien, al profesor Dr. Francisco Rubio Royo y a mi compañero y amigo Enrique Rubio Royo por su valiosa colaboración.

I N D I C E

<u>RESUMEN</u>	1
<u>CAPITULO 1.- MODELOS RETINALES COMO SISTEMAS DE</u>	
<u>PROCESO DE DATOS</u>	7
1.1.- INTRODUCCION.	7
1.2.- MODELOS CON NUCLEOS DE TRANSFORMACION	10
1.3.- MODELOS CON OPERACIONES LOCALES Y OPE-	
RACIONES SOBRE PROPIEDADES DE LA IMA-	
GEN	24
<u>CAPITULO 2.- DESARROLLO DEL LENGUAJE</u>	46
2.1.- DESCRIPCION GENERAL	46
2.2.- FICHEROS DE DATOS	56
2.3.- PROGRAMAS	62
2.3.1.- PROGRAMA DIRECTOR	62
2.3.2.- ESTABLECIMIENTO DE LOS MODE-	
LOS PRINCIPAL Y DE NUCLEOS ..	67
2.3.3.- LISTADO DE LOS MODELOS	75
2.3.4.- EVALUACION DE LOS NUCLEOS ...	79
2.3.5.- PROCESO DEL MODELO	85
2.3.6.- GENERACION DE ESTIMULOS	93
<u>CAPITULO 3.- APLICACIONES DEL LENGUAJE A PROCESOS RE-</u>	
<u>TINALES BASICOS</u>	102
3.1.- NUCLEOS ESPACIALES	103

3.1.1.-	NUCLEOS SIMETRICOS	104
3.1.2.-	NUCLEOS ASIMETRICOS	110
3.2.-	NUCLEOS ESPACIO-TEMPORALES FACTORI-	
	ZABLES	116
3.2.1.-	EFEECTO ON	117
3.2.2.-	EFEECTO OFF	135
3.2.3.-	EFEECTO ON-OFF LINEAL	143
3.2.4.-	DETECCION DE CONTRASTES EN	
	MOVIMIENTO	147
3.2.5.-	NUCLEOS SUMA DE FACTORIZABLES	162
3.3.-	NUCLEOS NO FACTORIZABLES	180
3.3.1.-	EFFECTOS DE LA VELOCIDAD DE	
	PROPAGACION EN LAS FIBRAS ..	180
3.3.2.-	DETECCION DE MOVIMIENTO SE-	
	GUN UNA DIRECCION PREFERIDA.	200
3.4.-	OPERACIONES NO LINEALES	209
3.4.1.-	EFEECTO ON-OFF NO LINEAL	209
3.4.2.-	INHIBICION PRESINAPTICA MUL-	
	TIPLICATIVA	212
3.4.3.-	INHIBICION PRESINAPTICA DI-	
	VISIVA	224
3.4.4.-	EFFECTOS FACILITADOR Y DESFA-	
	CILITADOR	230

<u>CONCLUSIONES Y PRINCIPALES APORTACIONES</u>	239
<u>APENDICE I.- PROGRAMAS</u>	245
<u>APENDICE II.- UMBRALES ADAPTIVOS</u>	260
<u>REFERENCIAS</u>	263

R E S U M E N

En el capítulo primero se realiza la exposición de una serie de modelos retinales que han sido estudiados para obtener información acerca de una posible estructura general de éstos y de averiguar hasta que punto puede elaborarse un lenguaje adecuado para la realización de modelos. La exposición se realiza en dos secciones, los modelos que hacen uso de núcleos de transformación y los que realizan operaciones locales y operaciones sobre propiedades del estímulo.

En los modelos con núcleos de interacción se considera primeramente los que corresponden a la interacción lateral, con dos tipos de interacción, la recurrente y la no recurrente. En esencia, puesto que la interacción se considera independiente del tiempo, los procesos equivalen a la convolución espacial de una señal con un núcleo de interacción. A continuación se expone un modelo donde aparecen distintos retardos asociables a la acción excitadora e inhibidora procedente de cada punto en la retina, que proporciona en principio una explicación del efecto ON y efecto OFF y que, de forma general, es expresable por la acción de la convolución de la señal de entrada con un núcleo espacio-temporal. Este tipo de interacción, aunque asociado con realimentación aparece así mismo en un modelo sobre el comportamiento

de las celulas horizontales en los peces. La realimentación es usada para dar cuenta de la mayor o menor rapidez de respuesta de los potenciales en estas celulas.

Nucleos espacio-temporales mas concretos son los que corresponden al modelo lineal de algunas celulas ganglionares del gato, que conduce a la formulación de la respuesta de las mismas en términos de una convolución espacio-temporal expresada por un nucleo que es suma de dos términos factorizables.

Como último ejemplo de modelo retinal que hace uso de los nucleos de transformación nos referimos a un modelo no lineal en el dominio de tiempos, donde se aplican las técnicas de analisis de sistemas no lineales por estimulación con ruido blanco gaussiano. Se llega a la conclusión de que la no linealidad mas importante es un efecto rectificador en media onda a nivel ganglionar, efecto que, por lo general, es incluido en casi todos los modelos ya que la respuesta de una celula depende solo de la parte positiva del resultado de una acción expresada por un nucleo de transformación espacio-temporal.

En la sección 1.3,- se exponen modelos que se refieren a las operaciones locales. Así presenta un modelo dinamico basado en las propiedades de membrana y en la acción de liberación de sustancias conductoras en las sinapsis, encaminadas a proporcionar los mecanismos locales responsables de las acciones ON y OFF.

Un segundo modelo local se refiere al mecanismo responsable del control automático de ganancia en la retina. Estos mecanismos son interesantes desde el punto de vista de proceso de datos en cuanto proporcionan una señal comprimida y suponen la existencia de procesos adaptivos.

El último modelo presentado se refiere a la extracción de propiedades de la imagen, aplicado a la retina de la rana, cuyos aspectos de interés son el empleo de relaciones no lineales locales entre estímulo y respuesta y la introducción de efectos inhibidores postsinápticos no lineales.

En el capítulo segundo se ataca el problema del desarrollo del lenguaje para la realización de modelos. El lenguaje, que es capaz de entender una serie de operatividades y procesar en la secuencia establecida, se basa en que cualquier modelo retinal se puede realizar sin más que elegir adecuadamente los bloques operativos necesarios y conectarlos debidamente. En la sección 2.1.- se presenta una descripción general del mismo. El diseño y experimentación de modelos se realiza mediante la definición de dos tipos de estructuras que llamamos modelo principal y modelos de Kernel.

En el modelo principal, la señal procesada es de tipo matricial y los bloques básicos realizan las funciones siguientes: Proporcionar una constante, proyectar la película de estímulos, sumar las matrices de entrada, hallar el logaritmo, elevar el número e a la suma de las mismas, multiplicarlas elemento a elemento, dividir las, elevar una matriz

a los elementos de otra, proporcionar una señal de ruido, ejecutar una operación de umbral local, saturar una señal, efectuar un retarde temporal y ejecutar la convolución con el nucleo o nucleos calculados por el modelo de Kernel. En los modelos de Kernel las operaciones básicas son las siguientes: Proporcionar una constante, definir las dimensiones espaciales del nucleo, definir la dimensión temporal, sumar las entradas, elevar el numero e a las mismas, multiplicarlas, dividir las, elevar una entrada al valor de la otra, extraer la raiz cuadrada de la suma de las mismas, proporcionar una salida conmutada según un criterio de umbral, calcular el valor absoluta, y proporcionar la matriz de convolución que caracteriza al nucleo.

Las peliculas de estímulos son capaces de proporcionar discos, cuadros, anillos, marcos barras y fondo, estacionarios ó móviles, con luminosidad constante o intermitente.

En la sección 2.2- se exponen los ficheros de datos utilizados y el tipo de información que soportan. El primero se refiere a la estructura del modelo principal y de los nucleos de convolución que intervienen en el modelo.

El segundo almacena en cada instante la matriz señal de respuesta de cada bloque del modelo principal. El tercero almacena la película de estímulos. El cuarto constituye la base de datos para el funcionamiento de los retrasadores.

El quinto contiene las matrices de convolucion: espacio-temporales de los bloques KERNE y el último almacena la

información de entrada a los bloques KERNE para realizar la convolución.

En la sección 2.3.- se describen los programas, que son los siguientes: El Programa Director, que pilota todo el software; el programa para el establecimiento de los modelos principal y de núcleos, en sus versiones de definición y corrección de los mismos, el programa que proporciona los listados de cada una de las estructuras; el programa que permite la evaluación de las matrices espacio-temporales asociadas a los núcleos que aparecen en el modelo principal; el programa que procesa el modelo, tomando las señales de entrada procedentes de la película de estímulos y proporcionando las respuestas en cualquier punto del modelo. Y finalmente, el programa desarrollado para la generación de los estímulos.

En el capítulo 3.- se realiza la aplicación del lenguaje a los procesos retinales básicos. En la sección 3.1.- se tratan los núcleos espaciales puros: simétricos y asimétricos así como sus efectos sobre estímulos que contienen contrastes. En la sección 3.2.- se consideran los núcleos espacio-temporales factorizables y sus respuestas. Estos núcleos son los que realizan las operaciones ON, OFF, ON-OFF lineal, detección de contrastes en movimiento y los núcleos que pueden ser expresados como suma de términos factorizables. En cada caso, se proporcionan los estímulos correspondientes y se discuten las respuestas obtenidas.

En la sección 3.3.- se introducen los núcleos no factorizables de relevancia nemofisiológica, que son los debidos a la velocidad de propagación de las señales en las fibras aferentes y los detectores de estímulos en movimiento según una dirección preferida, que actúan en el espacio de señales. Las correspondientes respuestas y su posible significado neuronal son así mismo discutidas.

En la sección 3.4.- se estudian las operaciones no lineales correspondientes a la inhibición presináptica multiplicativa, a la inhibición postsináptica divisiva y a los efectos facilitador y desfacilitador, todas ellas aplicadas a la detección de contrastes.

Las respuestas discutidas permiten una comparación con las operaciones lineales.

En todos los casos anteriores se presentan las películas de estímulos correspondientes, los esquemas operativos de los modelos así como sus listados.

En el apéndice I se presentan los listados de los programas, y en el apéndice II se hacen algunas consideraciones sobre umbrales adaptivos.

MEMORIA

1.- MODELOS RETINALES COMO SISTEMAS DE PROCESOS DE DATOS

1.1.- INTRODUCCION

La característica mas importante de la retina de los vertebrados, desde el punto de vista funcional, es que procesa datos bidimensionales variables en el tiempo. La forma de como este proceso se lleva a cabo no es completamente conocida, debido a la dificultad de la investigación neurofisiológica implicada que hace que practicamente se hayan registrado solamente las respuestas retinales a nivel de la última capa de células, es decir, a nivel de los axones de las células ganglionales.

Podria suceder en principio, que la retina realice funciones de reconocimiento de formas espacio-temporales. Esto puede ser efectivamente asi en los vertebrados inferiores que tienen una corteza visual poco desarrollada. En los vertebrados superiores la operación de la retina es menos especializada y parece ser que la acción de reconocimiento de formas se lleva a cabo en etapas superiores del camino visual (REF. 1,2).

La investigación del funcionamiento de la retina de los distintos vertebrados (Ref. 3, 4, 5, 6 y 7), se realiza mediante un estudio de la respuesta de las células retinales acoplado con el desarrollo de modelos o

teorías adecuadas para explicar su comportamiento. La confección de un modelo retinal sigue caminos muy variados según sea el aspecto o aspectos del funcionamiento retinal que se pretende integrar en el modelo.

Por lo general, el modelo retinal se restringe convenientemente para cubrir aquellas facetas que pueden ser descritas analíticamente aunque el desarrollo de las consecuencias del modelo puede requerir el uso de un ordenador.

Sin embargo, aun en los modelos menos complejos, las dificultades de investigación de las respuesta, surgen siempre y es debida a la complejidad inherente al proceso espacio-temporal y a las dificultades para expresar analíticamente + los estímulos empleados para obtener las respuestas del modelo.

Los ordenadores modernos y los lenguajes de programación bien elaborados proporcionan, sin embargo, una herramienta extraordinariamente útil para copar con la aparentemente complicada naturaleza de los datos espacio-temporales que llegan al mosaico retinal, y al mismo tiempo proporcionan métodos para elaborar los modelos retinales de forma sistemática.

El problema de la confección de una estructura general de programas en ordenador para la experimentación con modelos retinales se plantea de manera diferente a los problemas de reconocimiento de formas, aunque el tipo de estímulo espacio-temporal tiene una naturaleza semejante en ambos

En el caso de reconocimiento de formas es preciso realizar una elaboración de los datos espacio-temporales para la extracción de las propiedades que sirven de base para el reconocimiento, independientemente de que los métodos usados tengan o no relevancia neurofisiológica.

El método que usualmente se sigue es el método heurístico y la bondad de los resultados se basa fundamentalmente en el éxito de los esquemas propuestos en la tarea de reconocimiento que se haya planteado.

En la realización de modelos retinales, los problemas se plantean como la construcción de una estructura a partir de bloques de funciones neurofisiológicas básicas, que han de ser combinadas de acuerdo con la anatomía para proporcionar el comportamiento necesario.

Las funciones que pueden ser postuladas para los bloques básicos y las reglas de interconexión no pueden ser cualquiera, ni introducida "ad hoc" para proporcionar propiedades sino que han de ser basadas en las funciones neurofisiológicamente plausibles.

Esto impone restricciones mucho más fuertes sobre el ya complejo problema del proceso de datos espacio-temporales, pero permite la confección de un marco general ampliable con la introducción de nuevas funciones adjudicables a los mecanismos neuronales.

En definitiva un modelo retinal es aceptable solamente en la medida en que este construido a partir de bloques o funciones básicas de acuerdo con la neurofisiología.

La neurofisiología proporciona una gama de funciones que van desde las operaciones lineales a las operaciones no lineales, sobre todas las variables espacio-temporales aunque un principio de economía científica requiere que en un modelo se empleen las hipótesis menos complicadas posibles que den cuenta del comportamiento deseado.

En este capítulo se estudiarán algunos modelos retinales que nos sirvan de partida para la introducción de las funciones básicas en la consecución de la estructura de programas.

1.2.- MODELOS CON NUCLEOS DE TRANSFORMACION

Un concepto fundamental en la formulación de modelos retinales es el de la transformación de los datos espaciales y temporales que llegan a la retina a través de la acción de transformaciones en el espacio y en el tiempo. La formulación para el caso de una retina continua e independiente del tiempo fué realizada por Rubio Royo (ref. 8,9) basándose en las aportaciones de tipo anatómico encontradas por Gallego acerca de las interacciones laterales en las vías retinales.

Partiendo de las hipótesis lineales en un proceso por capas, se formulan una serie de transformaciones integrales donde la retina se considera formada por

múltiples canales longitudinales con interacción lateral en las distintas capas. Las principales hipótesis sobre las que se basa esta formulación son: (ref. 8):

- 1) La interacción lateral entre los distintos elementos tiene lugar a través de factores peso, K , los cuales son función de los elementos particulares que interactúan, y en ciertos casos, de la dirección en que tiene lugar dicha interacción.
- 2) El efecto total sobre un elemento sujeto a interacción lateral, es lineal.
- 3) Se limita al caso estacionario, no considerando la variable tiempo y por ello los posibles retardos que puedan presentarse en la interacción.
- 4) Supone que el número de elementos retinales en cada capa es lo suficientemente elevado para que pueda sustituirse la doble suma de la formulación discreta por la integral doble sobre toda la retina. Así, los factores de peso pueden interpretarse como, los núcleos de ecuaciones integrales, siempre que puedan estas ser formuladas.
- 5) Las señales en los distintos niveles son potenciales lentos, es decir, no se trata de potenciales de acción.

Para formular la interacción lateral existen dos expresiones generales. Sea $I(\alpha, \beta)$ la señal de entrada sobre un elemento situado en (α, β) y sea $\phi(x, y)$ la señal de salida sobre un elemento situado en (x, y) . Considerese la interacción no recurrente. Sea $K(x, y, \alpha, \beta)$ el factor de peso que traduce el efecto del elemento (α, β) sobre el (x, y) ; la respuesta de este elemento es:

$$\phi(x, y) = I(x, y) + \iint_R K(x, y; \alpha, \beta) I(\alpha, \beta) d\alpha d\beta$$

como se observa depende de la señal de entrada del elemento que ejerce dicha interacción

En la interacción recurrente la salida del elemento (x, y) viene dada por:

$$\phi(x, y) = I(x, y) + \iint_R K(x, y; \alpha, \beta) \phi(\alpha, \beta) d\alpha d\beta.$$

Como se observa depende de la respuesta del elemento que la ejerce.

De este modo, se supone que en cada nivel retinal se verifica uno u otro tipo de interacción de acuerdo con las bases que la neurofisiología proporciona. La interacción directa entre los fotorreceptores se considera de tipo recurrente, puesto que la actividad que resulta en cada fotorreceptor puede afectar a los elementos vecinos. De este modo, si se supone que la respuesta de un foforeceptor está relacionada linealmente con el logaritmo de la intensidad luminosa, se tendrá:

$$P(x, y) = K_1 \log \frac{I'(x, y)}{I_0}$$

Considerando la interacción lateral, la ecuación anterior se transforma en

$$P(x,y) = K_1 \log \frac{I'(x,y)}{I_0} + \iint_R P(\alpha,\beta) K(x,y;\alpha,\beta) d\alpha d\beta$$

y si a este nivel, se supone que los campos de influencia interactivas son circulares, puede suponerse un nucleo de la forma diferencia de gaussianas:

$$K(x,y;\alpha,\beta) = K_3 e^{-((x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2) K_2} ; \alpha \neq x, \beta \neq y$$

Siendo $K_3 < 1$.

Este tipo de interacción que solo actua a pequeñas distancias, se asocia a un atenuador de contrastes (filtro pasa baja).

La interacción a nivel de la capa plexiforme externa la considera del tipo no recurrente. El nucleo asociado a las amacrinas de esta capa es:

$$K_1(x,y;\alpha,\beta) = K_0 e^{-(\gamma_1(x-\alpha) + \gamma_2(y-\beta))}$$

Donde γ_1 y γ_2 son las constantes de atenuación segun dos direcciones principales.

La acción de las ceculas horizontales se considera también, del tipo no recurrente y en cuanto a la forma del nucleo, partiendo de que la distribución de los mismos no es simétrica, se concluye que el nucleo será asimétrico, además de discontinuo. Por su localización las celulas horizontales

pueden proporcionar una via de realimentación entre los pies de los fotorreceptores, aunque por su posición en las triadas son una estructura especialmente adecuada para modular la acción de los fotorreceptores.

En la capa plexiforme interna, se distinguen dos tipos de contactos sinapticos:

- a) La diada, entre procesos de amacrinas, bipolares y ganglionares.
- b) Las sinapsis presinapticas entre los amacrinas y los terminales de las bipolares.

A este segundo tipo de contacto sinaptico se le asocia interacción no recurrente, siendo el nucleo analogo al de las amacrinas de la capa plexiforme externa. En el caso de las "diadas", las amacrinas parece ser que regulan la transmisión de información de las bipolares a las ganglionares; esta interacción es del tipo recurrente.

A nivel de las celulas ganglionares, ya se puede trabajar con datos experimentales dignos de credito; en estas celulas no se presentan fenomenos de interacción lateral, tal como se han descrito anteriormente, sino que las galglionares realizan otro tipo de interacción. Asi, si $R(x,y)$ es la respuesta de la ganglionar situada en (x,y) ; $K(x,y,\alpha,\beta)$ es el factor de peso que traduce la influencia de un elemento, que ahora es idéndica como la salida de un fotorreceptor en la posición (α,β) del campo receptivo, sobre la ganglionar (x,y) , entonces:

$$R(x,y) = \iint_R I(\alpha,\beta) K(x,y;\alpha,\beta) d\alpha d\beta$$

Donde $I(\alpha,\beta)$ representa la entrada en la capa de los fotorreceptores que se encuentran dentro del campo receptivo de la ganglionar considerada.

Una vez a asociado un tipo de intracción en cada nivel retinal, de acuerdo con las bases que la neurofisiología proporciona, para salvar la no linealidad debida a la existencia de umbrales, se supone que todos los umbrales de cada una de las capas han sido superados.

Yasuda (ref.10) desarrolló un modelo del comportamiento espacio-temporal del campo receptivo de una célula ganglionar de tipo ON que aparece repetidamente en la retina de los vertebrados basandose en la posibilidad de la existencia de retardo diferente para las señales excitadoras e inhibitoras.

La idea fundamental en la construcción del modelo es la siguiente: Cuando una entrada es aplicada en un punto O sobre la retina, el proceso excitador aparece con un retraso temporal D propagandose lateralmente en una capa de la retina de modo que el retraso aumenta con la distancia (el retraso por unidad de distancia, en la retina, se denominará a); del mismo modo, el proceso inhibitor procedente de esta posición aparecerá con un retraso T y se propagará también lateralmente (el retraso por unidad de distancia se denominará b). Se sabe que la retina consta de varias capas de modo que la información es procesada a través

de las conexiones existentes entre las capas de entrada y de salida. Se denominarán O' , p' , q' los puntos correspondientes a O , p , q y que pertenecen a la capa de salida. Si $T > D$ y $a > b$, la salida desde un punto t' proximo a O' será transitoriamente grande (respuesta tipo ON), puesto que el proceso excitador aparecerá antes que el inhibidor. Si por el contrario, se evalúa la salida en un punto q' lejano a O' , aparecerá en primer lugar el proceso inhibidor y luego el excitador, de modo que si el primero es mayor que el segundo no habrá respuesta. Por otra parte una vez que desaparece la entrada el proceso inhibidor será el que primero se anule, permaneciendo durante un corto periodo de tiempo el proceso excitador.

Así pues, la salida en un punto q' solamente aparecerá después de que haya cesado la entrada (respuesta tipo OFF) Por el contrario, si se observa la salida en O' correspondiente a una entrada en p , se obtendrá una respuesta tipo ON, mientras que si la entrada es en q , la salida en O' será del tipo OFF.

Respecto a la relación entrada-salida del modelo, suponiendo que la estructura de la retina es espacialmente unidimensional y lateralmente homogénea, así como el rango de trabajo es lineal se tiene:

$$y(x, t) = \int_0^t \left(\int_{-\infty}^{+\infty} W(x-x', t-t') v(x', t') dx' \right) dt'$$

siendo $V(x, t)$ la entrada, $Y(x, t)$, la salida y $W(x, t)$

la respuesta impulsiva de la retina. Los datos que se obtienen a partir de diferentes funciones de transferencia, están mas o menos de acuerdo con los datos fisiológicos. Otro modelo más elaborado que hace uso de las transformaciones espacio-temporales en la retina es el realizado por Fukurotami y Hara (ref. 11) sobre el campo receptivo de las denominadas células horizontales L en la retina de la carpa. Las células horizontales presentan grandes campos receptivos los cuales exceden aparentemente en campo dendrítico de una célula horizontal simple. En algunos casos el área de sumación espacial cubre virtualmente toda la retina. La existencia de esta gran área de sumación puede ser explicada por un acoplamiento eléctrico entre las células horizontales. De este modo, una fila de células horizontales en una capa se comporta de una manera equivalente a un medio conductor laminar limitado por un par de membranas paralelas de elevada resistencia. Esta estructura que cubre toda la retina fué denominada espacio S por Naka y Rushton.

La estructura funcional del modelo es la siguiente: la respuesta de un cono $V_r(t,x)$ (t es el tiempo y x un vector espacial orientado), se compone de una respuesta directa, debida al estímulo luminoso, y una respuesta debida a la realimentación procedente de las células L. $V_r(t,x)$ es transformada por la acción de las sinapsis entre conos y células L, dando la señal $V_s(t,x)$.

La respuesta de una celula horizontal es: $V_h(t, x)$.

Segun ello, resultan las siguientes relaciones:

$$V_r(t, x) = h_d(\tau) *_{\tau} I(\tau, x) - V_f(t, x)$$

$$V_s(t, x) = h_s(\tau) *_{\tau} V_r(\tau, x)$$

$$V_h(t, x) = V_s(t, y) *_{y} W(y)$$

$$V_f(t, x) = V_h(\tau, x) *_{\tau} h_f(\tau)$$

Donde: $*_{\tau}$ y $*_{y}$ indican las integrales de convolución con respecto a las variables tiempo y a las variables espaciales respectivamente. $h_d(\tau)$, $h_s(\tau)$ y $h_f(\tau)$ son las respectivas respuesta impulsivas en conos, sinapsis conos-horizontales y realimentación horizontales, conos. $W(y)$ son los factores de peso sinápticos entre los conos y las horizontales e $I(\tau, x)$ es el estímulo incidente en la retina. El lazo de realimentación de las celulas L a los conos no ha sido, sin embargo, detectado en la carpa. En el modelo, el lazo directo es de quinto orden y el de realimentación de primer orden, con ello, se obtiene, de acuerdo con los resultados experimentales, que las celulas L responde más rápidamente a medida que el tamaño del estímulo luminoso aumenta, así como que la respuesta de las celulas L mas proximas al centro del estímulo presentan una respues mas rápida. El modelo muestra, pues, que la rapidez de respuesta puede estas asociada a un mecanismo

de realimentación.

Otro modelo basado en los núcleos de transformación ha sido realizado por Fernandez Escartin (Ref. 12, 13).

Partiéndolo de la clasificación de las células ganglionares del gato en simples (las cuales son, fundamentalmente, detectoras de contrastes locales de intensidad) y en complejas (selectivas de hechos más específicos del estímulo visual) y considerando la existencia de sinapsis de tipo "tríada" entre fotorreceptores, células horizontales y células bipolares, así como, sinapsis del tipo "diada" entre células bipolares y células ganglionares, sugieren la idea de la existencia de dos caminos anatómicos en la retina que parten de la capa nuclear externa y convergen sobre las células ganglionares simples. El primero de ellos es un camino directo desde los fotorreceptores a las bipolares y a las células ganglionares, al cual se le hace responsable del mecanismo central de la excitación del campo receptivo, mientras que el segundo es un camino indirecto desde los fotorreceptores a las horizontales, bipolares y células ganglionares y al cual se le asocia el mecanismo periférico inhibitorio.

Esta es la idea básica del modelo espacio-temporal que a continuación se establece. Los modos de operación espacial y temporal correspondientes a las diferentes neuronas en ambos caminos, los supone lineales. La hipótesis de linealidad espacial se basa en el hecho de que los procesos de suma espacial correspondientes a los mecanismos central

o perifericos son aproximadamente lineales y en que la interacción entre ellos es substractiva. Por lo que respecta a la linealidad temporal, se admite de acuerdo con las respuestas temporales de las células ganglionares a estímulos locales.

Entonces, si el comportamiento temporal de las neuronas se supone invariante en el tiempo e independiente de su posición retinal, cada tipo de célula retinal podrá caracterizarse por una función de transferencia $H(s)$, donde "s" es la variable compleja.

Respecto a la formulación matemática se supone que la retina es bidimensional, lateralmente homogénea e indefinida, así como una distribución continua para cada uno de los tipos de células retinales. También se supone que la información en la retina es procesada por distintas capas celulares de modo que cada una de ellas recibe información únicamente de las capas anteriores por lo que se supone que no existe ni interacción lateral, ni realimentación. Cada tipo de célula, situada en una posición dada por \bar{r}_0 se le atribuye que realiza una operación del tipo:

$$Y(\bar{r}_0, s) = H(s) \iint_R K(\bar{r}, \bar{r}_0) \cdot I(\bar{r}, s) da$$

Donde $Y(\bar{r}_0, s)$ e $I(\bar{r}, s)$ son respectivamente las transformadas de la salida y de la entrada. Los Kernels o funciones de peso, que describen la interacción entre las diferentes capas celulares, son independientes de s puesto que se ha admitido el carácter invariante en el tiempo de la retina.

Por otro lado, la homogeneidad de la retina, fuerza a los Kernels a ser de diferencias cuando se expresan en coordenadas rectangulares, así mismo, también supone que los Kernels presenten simetría radial.

Respecto a las células horizontales se obtiene:

$$Y_h(\bar{r}_h, s) = H_h(s) \int_R Y_f(\bar{r}, s) K_{fh}(|\bar{r} - \bar{r}_h|) da$$

Donde K_{fh} es el factor de peso que denota el efecto producido por un fotorreceptor en \bar{r} sobre la horizontal situada en \bar{r}_h .

Para las bipolares, por tener dos clases de entradas:

Una excitadora, procedente de los fotorreceptores y otra inhibidora procedente de las horizontales, se tiene::

$$Y_b(\bar{r}_b, s) = H_b(s) \left[\int_R Y_f(\bar{r}, s) K_{fb}(|\bar{r} - \bar{r}_b|) da - \int_R Y_h(\bar{r}_h, s) K_{hb}(|\bar{r}_h - \bar{r}_b|) da_h \right]$$

Siendo: $K_{fb}(|\bar{r} - \bar{r}_b|)$ y $K_{hb}(|\bar{r}_h - \bar{r}_b|)$ los factores de peso correspondientes a las interacciones fotorreceptores-bipolar y horizontales-bipolar respectivamente. Del mismo modo, para las células ganglionares:

$$Y_g(s) = H_g(s) \int_R Y_b(\bar{r}_b, s) K_{bg}(|\bar{r}_b|) da_b$$

La salida de la célula ganglionar puede expresarse como una transformada espacio-temporal lineal global de la imagen retinal, puesto que cada una de las capas realiza una transformación lineal.

La transformación global contiene dos partes, una correspondiente al mecanismo central y otra correspondiente al mecanismo periférico. Entonces, se escribe:

$$Y_g(s) = H_c(s) \int_R K_c(r) L(\bar{r}, s) da - H_p(s) \int_R K_p(r) L(\bar{r}, s) da$$

Donde:

$$H_c(s) = H_f(s) H_b(s) H_g(s)$$

$$K_c(\bar{r}) = \int_R K_{fb}(|\bar{r} - \bar{r}_b|) K_{bg}(|\bar{r}_g|) da_b$$

$$H_p(s) = H_c(s) H_h(s)$$

$$K_p(s) = \int_R \int_R K_{fh}(|\bar{r} - \bar{r}_h|) K_{hb}(|\bar{r}_h - \bar{r}_b|) K_{bg}(\bar{r}_b) da_h da_b$$

Para obtener resultados a partir de dicho modelo, se precisa especificar cada uno de los Kernels y cada una de las funciones de transferencia. Supone que todos los Kernel son gaussianas centradas en la célula correspondiente, excepto aquel que expresa la interacción entre las células horizontales y las bipolares que las supone como un Kernel en forma de círculo, con su sección normal al mismo en forma de gaussiana.

Respecto a las funciones de transferencia a los fotoreceptores, se les asocia una del tipo

$$H_f(s) = \frac{1}{(1 + s \tau_f)^2}$$

Debido a que los estudios realizados en el NECTURUS indican un proceso rápido en los fotoreceptores.

En el modelo las celulas horizontales introducen un retraso en el camino transversal, dicho retraso se obtiene haciendo que las celulas bipolares y las horizontales presenten una función de transferencia similar, tal como, tambien, sugieren los estudios realizados en el Necturus

$$H_h(s) = H_b(s) = \frac{(1+s\tau_t)}{(1+s\tau_b)} ; \quad \tau_b > \tau_t$$

La respuesta de las celulas ganglionares presentan un transitorio inicial, cuya respuesta es mayor que la asociada a la respuesta mantenida; para ello:

$$H_g(s) = \frac{(1+s\tau_t)(1+s\tau_f)}{(1+s\tau_b)^2} ; \quad \tau_f > \tau_b$$

Con estímulos tales como puntos luminosos barras de luz en movimiento y rejillas sinusoidales y con las funciones de transferencia y Kernels anteriores, se obtienen resultados que están de acuerdo con los datos experimentales.

Como último ejemplo del modelo retinal que hace uso de los nucleos de transformación se considera el modelo desarrollado por Marmarelis y Naka (Ref. 14,15, 16) en el dominio de tiempo. Este es un modelo interesante en cuanto que sugiere un método para la aplicación de las técnicas de analisis de sistemas no lineales en el tiempo a la simulación retinal. Marmarelis y Naka aplicaron la teoria de Wiener (ref. 17) de identificación de sistemas no lineales mediante estimulación por ruido blanco gaussiano a la retina de los

peces. Para ello utilizaron como estimulo corrientes electricas o luz, obteniendo dos tipos de respuesta, una como potenciales analógicos intracelulares y otra como descargas en forma de impulsos. En primer lugar (ref.14) estudiaron la aplicación de la tecnica no lineal a sistemas neuronales, asi como los resultados de su aplicación a un sistema neuronal retinal (celula horizontal. celula ganglionar), asegurando que el modelo no lineal resultante puede predecir, con una seguridad aceptable la respuesta del sistema a cualquier entrada. Mostraron que el sistema celula horizontal-celula ganglionar es fuertemente no lineal, que actua como un filtro pasa baja seguido de un rectificador de media onda y que la celula bipolar procesa la señal linealmente de modo que la no linealidad asociada a la rectificación sucede a nivel de la celula ganglionar.

1.3.- MODELOS CON OPERACIONES LOCALES Y OPERACIONES SOBRE PROPIEDADES DE LA IMAGEN

El segundo aspecto importante de los modelos retinales, util para obtener funciones neurofisiológicas básicas, lo representan las operaciones locales que son operaciones realizadas por las sinapsis locales o debidas a efectos de la membrana neuronal y por la acción de operaciones sobre propiedades extraidas de la imagen retinal por las celulas que preceden a una dada en el proceso de los datos visuales. Se verá la formulación de estos modelos.

Hara y Takabayashi (ref. 21) desarrollaron un modelo dinámico para las células bipolares y amacrinas de la retina de los vertebrados en el que incorpora la estructura funcional de la transmisión sináptica de señales entre células retinales, basándose en la relación existente entre las respuestas de las células retinales y los cambios en las resistencias de membrana que les acompaña.

El modelo lo desarrollan del siguiente modo: Como se sabe la mayoría de las sinapsis observadas en la retina de los vertebrados, se realiza mediante transmisores químicos, de forma que el mecanismo sináptico se explica por el hecho de que, al ser despolarizados los terminales presinápticos liberan unos ciertos transmisores químicos que, al actuar sobre los elementos postsinápticos, hacen que una membrana celular sea permeable para uno o varios iones determinados.

Las células horizontales que reciben entradas procedentes de los fotorreceptores, son despolarizadas cuando en la oscuridad los receptores liberan transmisores sinápticos. La cantidad de transmisor liberado en los terminales de los receptores es inhibida durante la iluminación retinal, debido a la hiperpolarización de los receptores. Se supone entonces que la variación en el tiempo del transmisor intercambiado es proporcional al potencial del receptor y que disminuye con la cantidad de transmisor intercambiado.

Asi:

$$\frac{d\Delta Q_R}{dt} = A_R V_R - B_R \Delta Q_R$$

donde ΔQ_R es la cantidad de transmisor intercambiado, V_R el potencial del receptor y A_R, B_R , constantes.

Además, se supone que la resistencia de membrana de cada celula horizontal, R_H , aumenta con ΔQ_R

$$R_H = R_{HO} + K_H \cdot \Delta Q_R$$

siendo R_{HO} el valor inicial de la resistencia de membrana de cada celula horizontal.

Según el modelo la respuesta de cada celula horizontal, V_H , debe satisfacer la relación siguiente:

$$\frac{dV_H}{dt} = T_H \left[(1 + E_{DH}/R_H) - (1 + \frac{1}{R_H}) V_H \right]$$

en donde E_{DH} y T_H son constantes.

Respecto a las celulas bipolares el tipo centro-OFF periferia-ON responde con hiperpolarización mantenida a iluminación puntual y con depolarización a una iluminación anular. En el tipo centro-ON periferio-OFF la respuestas son inversas. En ambas clases de celulas bipolares la iluminación anular antagoniza los potenciales provocados por activación del centro.

Además, la hiperpolarización de las bipolares va acompañada de un aumento de la resistencia de membrana y la depolarización, de una disminución.

El centro de los campos receptivos de las bipolares corresponde a su campo dendrítico ya que las dendritas de las bipolares nunca se esparcen lo suficiente como para cubrir el centro y periferia de sus campos receptivos. El esparcimiento lateral de los axones de las células horizontales es aproximadamente igual al campo de la periferia de las células bipolares.

Estos hechos anatómicos sugieren que la respuesta central de las células bipolares es debida a la sinapsis directa receptor-bipolar mientras que la respuesta antagonista de la periferia se debe a la sinapsis horizontal-bipolar. Tal como se mencionó anteriormente, parece razonable postular que en la oscuridad tanto los receptores como las horizontales son depolarizados hasta ciertos niveles. Así las células bipolares también son depolarizadas hasta ciertos niveles. Como en los receptores, el transmisor intercambiado procedente de las horizontales debe satisfacer la ecuación:

$$\frac{d \Delta Q_H}{dt} = A_H (V_H - V_{HO}) - B_H \Delta Q_H$$

Además, si se supone que en las bipolares centro-ON la resistencia de membrana disminuye con ΔQ_R y aumenta con ΔQ_H , mientras que en las bipolares centro-OFF se veri-

fica lo contrario, se podrá escribir:

$$R_B = R_{BO} - K_{BE} \Delta Q_R + K_{BI} \Delta Q_H \quad (\text{bipolares centro-ON})$$

$$R'_B = R'_{BO} + K'_{BE} \Delta Q_R - K'_{BI} \Delta Q_H \quad (\text{bipolares centro-OFF})$$

Partiendo del circuito equivalente, la respuesta de cada celular bipolar V_B , debe satisfacer la ecuación siguiente:

$$\frac{dV_B}{dt} = T_B \left[(1 + E_{DB}/R_B) - (1 + 1/R_B)V_B \right]$$

donde E_{DB} y T_B son constantes.

Las células amacrinas establecen contactos sinápticos con las terminales de las bipolares, con las dendritas ganglionares y con las ramificaciones de amacrinas. En las diadas de las terminales de las bipolares, los procesos de amacrinas participantes pueden provocar una cierta realimentación estableciendo sinapsis con los terminales bipolares.

Dicha sinapsis se llama sinapsis recíproca. Se supone que esta sinapsis de realimentación es inhibitoria, teniendo un efecto de realimentación negativa sobre las terminales bipolares.

Basándose en estas evidencias anatómicas, la transmisión sináptica desde los terminales de las bipolares a los procesos de amacrinas se puede expresar como:

$$\frac{d \Delta Q_B}{dt} = A_{BE}(V_B - V_{BO}) - A_{BI}(V_{BF} - V_{EO}) - B_p \Delta Q_B$$

donde V_{BF} es el potencial de realimentación equivalente de las células amacrinas a las bipolares, ΔQ_B es la cantidad de transmisor liberado por las células bipolares y A_{BE} , A_{BI} , B_B son constantes.

Las células amacrinas ON-OFF responden con una depolarización transitoria tanto al encendido como al apagado de la iluminación y proporcionan una respuesta no detectable durante la iluminación.

Por otra parte, las células bipolares, desde las cuales las células amacrinas reciben entradas, presentan respuestas depolarizantes o hiperpolarizantes mantenidas y graduadas.

Además, las amacrinas ON-OFF muestran un decrecimiento transitorio de la resistencia de membranas durante la depolarización transitoria, y normalmente, dicha resistencia, no presenta cambios detectables durante la iluminación existente entre el encendido y el apagado transitorio.

Así todo ello, sugiere que las células amacrinas responden con acción diferencial a las respuestas de las bipolares. Se supone que la resistencia de membrana de las amacrinas es proporcional a $d \Delta Q_B / dt$.

$$R_A = R_{AO} + Q_A \frac{d\Delta Q_B}{dt}$$

del modelo de circuito equivalente se concluye que la respuesta de las células amacrinas debe satisfacer la siguiente ecuación:

$$\frac{dV_A}{dt} = T_A \left[(1 + E_{DA}/R_A) - (1 + 1/R_A)V_A \right]$$

E_{DA} y T_A son constantes.

Respecto al transmisor liberado por las células amacrinas se tiene:

$$\frac{d\Delta Q_A}{dt} = A_A (V_A - V_{AO}) - B_A \Delta Q_A$$

suponiendo que la resistencia de membrana de cada sinapsis recíproca es proporcional a ΔQ_A .

$$R_{BF} = R_{BFO} + K_{BF} \Delta Q_A$$

Finalmente, de acuerdo con el circuito equivalente el potencial de realimentación de las amacrinas a las bipolares, V_{BF} , se puede expresar mediante la ecuación:

$$\frac{dV_{BF}}{dt} = T_{BF} \left[(1 + E_{DBF}/R_{BF}) - (1 + 1/R_{BF})V_{BF} \right]$$

de forma semejante a las expresiones anteriores.

Enroth Cugell y Shapley (ref. 31) investigaron el mecanismo responsable del control automático de ganancia en la retina. Para ello partieron de los estudios realizados por Barlow y Levick, los cuales midieron los mínimos incrementos que requería el estímulo para provocar un cambio detectable en la razón de disparo de la célula ganglionar retinal (umbral). Mostraron que este umbral se determinaba a partir de tres factores:

- 1) Ruido
- 2) Razón impulsos/cantidad de luz (I/Q), factor de amplificación entre la entrada, luz, y la salida, impulsos nerviosos.
- 3) Tiempo de integración, es decir, el tiempo durante el cual el estímulo proporciona impulsos adicionales

Observaron que el factor más importante en el fenómeno de adaptación a la luz era la razón I/Q ; por ello Enroth-Cugell y Shapley a la hora de estudiar dicha adaptación, investigaron que mecanismo conduce esa razón y que será referido como control automático de ganancia de la retina. Para ello llevaron a cabo un estudio sistemático de la dependencia de la razón I/Q con la iluminación de fondo. Los estímulos se eligieron de modo que: primero, proporcionase respuestas tales que la retina trabajase en un rango lineal. Así se obtuvo que el máximo pico de respuesta dentro del rango lineal fué alrededor de 80 impulsos/seg. Segundo, los estímulos se eligieron para que provocaran

respuestas centrales puras (a partir de las células ganglionares). Tercero, las experiencias se realizaron bajo condiciones de iluminación de fondo tal que únicamente los bastones fuesen los receptores que produjeran señales medible a través de las células ganglionares.

Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes:

- 1) Midiendo la razón I/Q en función de la iluminación de fondo, se comprobó que dicha razón para bajas iluminaciones de fondo (estado de adaptación a la oscuridad) se mantiene prácticamente constante, mientras que para altas iluminaciones de fondo (estado de adaptación a la luz), era inversamente proporcional a la potencia 0.9 de la iluminación de fondo; existiendo una abrupta transición entre el estado adaptado a la oscuridad y el estado adaptado a la luz.
- 2) Definieron el nivel de adaptación a una iluminación particular de fondo como la razón I/Q asociada a dicha iluminación partido por la razón I/Q correspondiente al estado de adaptación a la oscuridad.
- 3) Correlacionaron la respuesta temporal a un estímulo luminoso modulado en forma de onda cuadrada, con el nivel de adaptación comprobando que, dicha respuesta se

mantiene mas o menos constante en el estado de adaptación a la oscuridad, mientras que en los niveles de transición es parcialmente transitoria, y progresivamente es mas transitoria la respuesta, a medida que se aumenta la iluminación de fondo. Esto era cierto tanto para las celulas tipo ON como para las celulas tipo OFF

- 4) También midieron la dependencia con la frecuencia temporal del mecanismo central de respuesta; observando que en el estado de adaptación a la oscuridad se podía caracterizar como un filtro pasa bajo, evolucionando luego hacia características de paso banda a medida que se aproximaba al estado de adaptación a la iluminación.
- 5) Todos estos resultados, los aglutinaron bajo la construcción de un modelo con realimentación no lineal desde las celulas horizontales a los bastones.

La idea fundamental del modelo se expresa mediante la ecuación:

$$r(t) = \frac{p(t)}{\exp \left\{ H(t)/H_{trig} \right\}}$$

donde $r(t)$ es la salida total de los receptores que se transmite a las celulas horizontales y bipolares.

El termino $p(t)$ representa la suma de las fotocorrientes en cada uno de aquellos bastones individuales que constituyen la primera etapa del mecanismo de respuesta central de la celula ganglionar; se supone que $p(t)$ está relacionado linealmente con la intensidad luminosa. $H(t)$ expresa el cambio de potencial de membrana provocada en la celula horizontal y H_{trig} es el valor de disparo para la señal horizontal.

La no linealidad la introduce el potencial producido en la celula horizontal (función exponencial) que controla la sensibilidad de la transmisión $r(t)$ procedente de los receptores. En este modelo si $H(t)$ es igual a H_{trig} , la amplitud de las señales que viajan a lo largo del camino baston \rightarrow celula ganglionar deberían decrecer en un factor $1/e$ de su valor correspondiente en la oscuridad.

El potencial de las celulas horizontales se supuso que era la salida de los receptores $r(t)$, filtrada a través de un filtro lineal pasa baja con una gran constante de tiempo,

$\tau_H = 200$ msec. Lo cual parece consistente con la ya conocida respuesta lenta de las celulas horizontales.

De acuerdo con el modelo, la lentitud de las celulas horizontales es la razón básica que provoca el cambio en el tiempo de la respuesta de las celulas ganglionares ante un estimulo modulado en forma de onda cuadrada en el rango de la adaptación a la luz.

Un modelo de proceso de datos retinales que se basa en la extracción de propiedades de la imagen y en operaciones más o menos locales sobre las propiedades extraídas, fué desarrollado por Moreno Diaz (refs. 22, 23, 24 y 25), para explicar el comportamiento del grupo II de las células ganglionares en la retina de la rana.

Según los trabajos de Lettvin y otros (refs. 26, 27) el grupo II es sensible a pequeños objetos oscuros que se mueven centrípetamente en el campo receptivo de la célula. Este tipo es identificable con las células ganglionares que proyectan su árbol dendrítico a muchos niveles dentro de la capa plexiforme interna.

En el modelo, se parte de la posibilidad de postular neurofisiológicamente una dependencia no lineal entre estímulo y respuesta, correspondiente posiblemente a la acción sináptica, a través de una función $\phi(E)$, donde E es el estímulo, que es continua positiva y distinta de cero en un intervalo $(0, E_0)$, representando un valor máximo cerca del valor medio de dicho intervalo.

El estímulo E se identifica con propiedades de la imagen espacio-temporal incidente en la retina. Así, se introducen $\phi_1(p)$, donde p es la penetración del borde anterior de un objeto oscuro que se mueve en el campo receptivo, y $\phi_2(d)$ donde d es proporcional al contorno de dicho objeto.

Se introduce así mismo una acción inhibitoria, ψ , proporcional al efecto ON provocado por objetos brillantes en movi-

miento.

Como resultado, se obtiene una función de actividad Ω tal que la frecuencia de disparo de la célula ganglionar es proporcional a ella.

La forma de obtener ϕ_1 , ϕ_2 y Ψ a partir de argumentos neurofisiológicos es la siguiente.

Se supone que los fotoreceptores están conectados a dos tipos diferentes de células bipolares, las salidas de las cuales son pulsos de ancho δt y amplitud r .

Cada célula bipolar realiza una operación distinta sobre la imagen retinal. Sean $n_I(t)$ y $n_{II}(t)$ el número de células bipolares que se disparan en el instante t como respuesta a una imagen cambiante sobre la retina.

Se postula que:

- a) $n_I(t)$ es proporcional a la longitud total de los bordes coincidentes con un oscurecimiento local en la imagen retinal.
- b) $n_{II}(t)$ es proporcional a la longitud total de los bordes, coincidente con un abrillantamiento local, en la imagen retinal.

A las células bipolares del tipo I, se las denomina detectoras de contraste-oscurcimiento.

A las células bipolares del tipo II, detectoras de contraste-abrillantamiento.

En ambos casos y para que se disparen dichas células son necesarios cambios simultáneos espacio-temporales de la

iluminación sobre, los fotoreceptores que alimentan a las células bipolares en cuestión.

Se admite entonces que una célula ganglionar tipo II, recibe señales de las células bipolares tipo I y II, procesando dichas señales en tres capas.

En la capa I, los pulsos que parten de las bipolares tipo I son recogidos en un área circular igual a la del campo receptivo de la célula ganglionar.

Cada pulso origina un nivel de señal que es mantenido durante un tiempo Δt igual al tiempo de tránsito a través del campo receptivo del objeto más lento detectado por la célula.

Así, se obtiene:

$-n_1(t)$ es el número de pulsos incidente sobre la capa I en el instante t .

$-N_1(t)$ es el número de señales existente en el instante t que será igual al número total de pulsos que han alcanzado la capa I en el anterior intervalo de tiempo $(t-\Delta t, t)$. $N_1(t)$ es proporcional al área barrida por oscurecimiento dentro del campo receptivo de la célula ganglionar debido al objeto móvil.

Cada nivel de señal existente en el instante t es afectado por inhibición divisiva $((E/(1+I)) \approx E/I)$ procedente del conjunto de pulsos entrantes en el instante t . Así se originan $N_1(t)$ nuevos niveles de señal, teniendo cada uno de

ellos un valor identico α definido por:

$$\alpha = \frac{K}{n_1(t)}$$

En la capa 2, se distinguen tres operaciones:

a) Los $N_1(t)$ niveles, teniendo cada uno de ellos un valor

$$\frac{K}{n_1(t)}$$

interactúan de una manera tal que se obtiene una señal

$$\phi_2 \left[\frac{N_1(t)}{n_1(t)} \right]$$

La razón:

$$\frac{N_1(t)}{n_1(t)} = \frac{\text{area barrida por contraste-oscuridad en el CR}}{\text{Longitud de contraste-oscuridad en el C.R.}}$$

Proporciona una medida de penetración de un objeto circular oscuro y móvil en el campo receptivo. Elijiendo valores apropiado para las constantes, se puede hacer que la función ϕ sea solo significativa cuando la imagen se mueva centripetamente a través del campo receptivo.

Una forma particular de Φ , puede obtenerse aceptando que las señales interactúan a través de procesos aceptados en neurofisiología, tales como inhibición divisiva lateral, adaptación y sumación espacial. Para demostrarlo se supone que, cada línea activa aferente es lateralmente inhibida por todas las demás. Si el nivel de señal de cada línea es

$$\frac{K}{n_1(t)}$$

la inhibición total sobre cada línea es

$$\xi = R \left[N_1(t) - 1 \right] \frac{K}{n_1(t)}$$

donde R es una constante y $N_1(t)$ es el número total de líneas activas. si $N_1(t) \gg 1$ implica que

$$= K_1 \cdot \frac{N_1(t)}{n_1(t)}$$

como resultado de la inhibición, la señal A_c en cada línea activa es

$$A_c = \frac{\frac{K}{n_1(t)}}{1 + K_1 \cdot \left(\frac{N_1(t)}{n_1(t)} \right)}$$

si suponemos que cada línea es adaptativa, es decir

su umbral θ aumenta proporcionalmente a la señal entrante, se obtiene

$$\theta = \frac{K}{n_1(t)} \cdot A$$

Esta es una forma de adaptación lineal.

La señal neta es:

$$A_c - \theta = \frac{\frac{K}{n_1(t)}}{1 + K_1 \cdot \left(\frac{N_1(t)}{n_1(t)} \right)} - A \cdot \frac{K}{n_1(t)}$$

por sumación espacial sobre todas las $N_1(t)$ líneas activas en el instante t , se obtiene:

$$\phi_1 \left[\frac{N_1(t)}{n_1(t)} \right] = \sum A_c - \theta = K \cdot \frac{N_1(t)}{n_1(t)} \frac{1}{1 + K_1 \cdot \left(\frac{N_1(t)}{n_1(t)} \right)} - A \cdot \frac{N_1(t)}{n_1(t)}$$

- b) La segunda operación en la capa 2 es ejecutada sobre los pulsos aferente procedente de las bipolares I en un area circular de radio R , mayor que el radio R_F del campo receptivo de la ganglionar.

siendo $n_2(t)$ el numero de pulsos entrantes recogidos en el instante t sobre dicha area.

Este es proporcional a la longitud, total del contraste- oscuridad sobre el area circular del R.

Los $n_2(t)$ pulsos interaccionan de una manera tal que se obtiene una función $\phi_2 [n_2(t)]$ de igual modo que ϕ_1 . Asi, ϕ_2 es maximo para $n_2(t)$ optimo y 0 para $n_2(t)$ igual a cero y para $n_2(t) \geq n_2(t)_{lim}$. De nuevo se supone que los pulsos $n_2(t)$ interactuan por inhibición divisiva lateral y que existe adaptación y sumación espacial, es decir,

$$\phi_2 [n_2(t)] = K \left[\frac{n_2(t)}{1 + K_1 \cdot n_2(t)} - B n_2(t) \right] ; K', K_1, B$$

son constantes.

c) La tercera operación de la capa 2 es una multiplicación de las funciones ϕ_1 y ϕ_2 , de modo que la salida de la capa 2 es

$$\phi \left[\frac{N_1(t)}{n_1(t)} \right] = \psi [n_2(t)]$$

La operación en la capa 3 se relaciona con las salidas de las bipolares tipo II. Esos pulsos aferentes son recogidos sobre el campo receptivo y generan señales cuyo nivel

se mantiene durante un tiempo Δt , siendo:

$-N_3(t)$ el número de niveles de señal en el instante t ;
 es proporcional al área que ha sido barrida por el contraste-abrillantamiento en el campo receptivo durante el intervalo $(t - \Delta t, t)$.

Las señales $N_3(t)$ son sumadas espacialmente y general una señal

$$\Psi [N_3(t)] = C \cdot N_3(t) \quad ; \text{ donde } C \text{ es una constante}$$

Esta señal afecta por inhibición divisiva la salida de la capa 2, de modo que se obtiene

$$\Omega = \frac{\phi_1 \phi_2}{1 + \Psi}$$

finalmente la frecuencia de pulsos, f , de las células ganglionares es proporcional a Ω .

$$f = f_0 \Omega = f_0 \cdot \frac{\phi_1 \cdot \phi_2}{1 + \Psi} \quad f_0 \text{ es una constante.}$$

Las distintas constantes que aparecen en las expresiones se calculan de acuerdo con los resultados experimentales. El modelo refleja adecuadamente el carácter especializado de este grupo de células ganglionares, aunque la forma de

introducir la función Φ es neurofisiológicamente un tanto artificiosa.

Un modelo que hace uso tanto de núcleos de transformación como operaciones locales es el desarrollado por Rubio Royo E. (Ref. 28,29).

El modelo está basado en la computación por capas. El proceso de datos es llevado a cabo por capas de elementos computacionales similares. Estas capas pueden relacionarse con capas funcionales o anatómicas de la retina, aunque no necesariamente con una relación uno a uno.

Cada elemento computacional, dentro de una capa, es localizado por un par de coordenadas espaciales, asociadas a un supuesto sistema de referencia bidimensional.

En cada capa pueden existir entradas procedente de capas anteriores o posteriores a la capa en cuestión. Se supone una distribución continua para las entradas y salidas de cada capa, de modo que son representables por funciones continuas espacio-temporales.

La computación, dentro de cada capa puede ser lineal o no lineal. La computación lineal es del tipo de interacción lateral, estando caracterizado por un núcleo espacio-temporal. Si por Y_{xyt} se representa el valor de la salida del elemento computacional en el punto (x,y) y en el instante t la computación llevada a cabo en dicha capa es:

$$Y_{xyt} = \sum_R \int_t \int_t K^1(tt'xx'yy') x^1(x'y't') dx'dy'dt'$$

donde $K^1(tt'xx'yy')$ es la respuesta impulsiva de la capa. Generalmente, se supone que K^1 es factorizable, esto es,

$$K^1(tt'xx'yy') = K_t^1(tt') \cdot K_e^1(xy'x'y')$$

lo cual significa que la parte temporal de la respuesta es la misma para todos los puntos de la capa.

También, es frecuente suponer que el núcleo es un núcleo de diferencias. Así

$$K^1(tt'xx'yy') = K^1(t-t'; x-x'; y-y').$$

Esto implica una invarianza espacio-temporal, es decir que todos los elementos de computación de una capa desarrollan la misma función.

Los modelos de las células ganglionares de la retina de la rana sugieren que la computación no lineal puede llevarse a cabo mediante funciones no lineales punto a punto (locales) esto es

$$Y_{xyt} = F[X^a(xyt); X^b(xyt) \dots]$$

Las no linealidades típicas son las debidas a umbrales, a efectos de membrana y a inhibiciones exponenciales y divisivas.

La formulación global de procesos no locales más generales bajo tratamiento no lineal conduce a una computación que puede expresarse por una serie de múltiples integrales

$$\begin{aligned}
 Y_{xyt} = & \int \int K(xyt, x'y't') x(x'y't') dx'dy'dt' + \\
 & + \int \int \int \int K(xyt, x'y't', x''y''t'') \\
 & x(x'y't') x(x''y''t'') dx'dy'dt' dx''dy''dt'' + \dots
 \end{aligned}$$

esta expresión generalizada se simplifica cuando se modelan tipos concretos de células retinales.

2.- DESARROLLO DEL LENGUAJE

2.1.- DESCRIPCION GENERAL

Según la exposición presentada en el capítulo 1, el desarrollo analítico de los modelos retinales solo es posible si estos son relativamente simples. La dificultad de la expresión analítica de los estímulos y de los propios modelos se acrecienta rápidamente. De ahí, que se formulase la idea de desarrollar un conjunto de programas para realizar estos tipos de trabajos con un ordenador.

El Software desarrollado se basa en la implantación de un lenguaje de propósito especial, que sea capaz de entender una serie de operatividades, dotándolas de nombre nemotécnicos y además que posea la capacidad de procesar estas operatividades en la secuencia que se desee para la computación del modelo; estas dos características de

- a) reconocer operatividades
- b) procesar en la secuencia establecida

Son las características fundamentales para que su estructura pueda entenderse como lenguaje. Esta estructura fué elegida con el fin de que fuese posible establecer cualquier modelo retinal que se desease sin más que elegir adecuadamente los bloques operativos necesarios e interconectarlos

debidamente, de esta manera los programas de base serían siempre los mismos y solo, sería necesario establecer las distintas secuencias de los bloques de los diferentes modelos para su procesamiento.

Así mismo, se desarrolla paralelamente un programa encaminado a la generación de una película de estímulos, a fin de, simular la evolución durante el proceso, de los estímulos normalmente usados por los neurofisiólogos, y estudiar la respuesta del modelo implantado con esos requisitos. Dicha generación se lleva a efecto mediante la definición del tipo de estímulos, posición, dimensiones, movilidad e intermitencia, pudiendo coexistir varios estímulos diferentes con características propias distintas .

El diseño y experimentación de los modelos de retina se realizan mediante la definición de dos tipos de modelos: el modelo principal y los modelos de Kernel, estos se construyen interconectando entre sí bloques operativos que realizan funciones determinadas. En el modelo principal la señal que progresa es del tipo matricial de tres dimensiones las dos dimensiones espaciales y la temporal, mientras que en el modelo de Kernel la señal que se transmite es de valor único con el fin de ir construyendo; elemento a elemento, la matriz de convolución espacio-temporal asociada a cada núcleo.

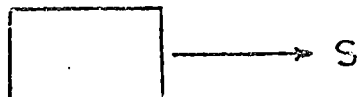
Debido a que se estudian procesos invariantes en el tiempo, una vez obtenida la matriz de convolución espacio-temporal asociada a cada núcleo, estas serán las que entrarán en juego con el modelo principal a lo largo de todo su procesamiento

Los bloques operativos son de dos clases:

Los que proporcionan señal de salida solamente (clase A) y los que general señal de salida como función de varias entradas (clase B), dicha función depende de cada bloque y es la que determina su operatividad.

En el modelo principal los siguientes bloques

- Clase A



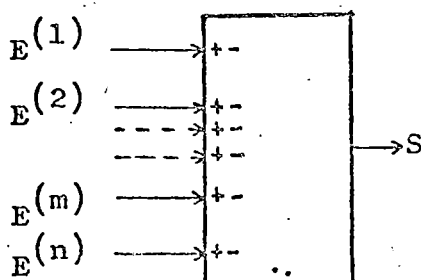
- MCONS: proporciona una matriz cuyos elementos son iguales a un valor definido VO

$$S_{ij} = VO$$

$$\forall i, j$$

- MFILM: proyecta a su salida los sucesivos fotogramas de la película de estímulos.

- Clase B



- MSUMA: La matriz de salida es la suma de las matrices de entrada.

$$S_{i,j} = \sum_{m=1}^n E_{i,j}^{(m)}$$

$$\forall i, j$$

- MLOGA: Cada elemento de la matriz de salida es el logaritmo de la suma de los elementos correspondientes a las matrices de entrada

$$S_{i,j} = \log \left(\sum_{m=1}^n \pm E_{i,j}^{(m)} \right)$$

$$\forall i,j$$

- MEXPO: Los elementos de la matriz de salida se obtienen de la elevación del numero "e" a la suma de los elementos correspondientes de las matrices de entrada

$$S_{i,j} = \exp \left(\sum_{m=1}^n \pm E_{i,j}^{(m)} \right)$$

$$\forall i,j$$

- MMULT: La matriz de salida se calcula como la multiplicación de los elementos correspondientes de las señales matriciales de entrada (1) y (2)

$$S_{i,j} = (\pm E_{i,j})^{(1)} \cdot (\pm E_{i,j})^{(2)}$$

$$\forall i,j$$

- MDIVI: Los elementos de la matriz de salida se obtienen como la división de los elementos correspondientes de las matrices de entrada (1) y (2)

$$S_{i,j} = \frac{(\underline{+}E_{i,j})^{(1)}}{(\underline{+}E_{i,j})^{(2)}} \quad \forall i,j$$

- MELEV: La matriz de salida se obtiene, asignando a cada uno de sus elementos el resultado de la elevación de los elementos correspondientes a la matriz de entrada (1) a los de la entrada (2)

$$S_{i,j} = ((\underline{+}E_{i,j})^{(1)})^{(\underline{+}E_{i,j})^{(2)}} \quad \forall i,j$$

- MRUID: Cada elemento de la matriz de salida se obtiene con los elementos de la entrada (1) afectado de un porcentaje aleatorio de ellos, definido por los elementos correspondientes de la entrada (2) y por una variable aleatoria.

$$S_{i,j} = (\underline{+}E_{i,j})^{(1)} \cdot (1 + (\underline{+}E_{i,j})^{(2)} \cdot (2 \cdot \text{RAND} - 1)) \quad \forall i,j$$

siendo RAND la variable aleatoria

$$0 \leq \text{RAND} \leq 1$$

- MUMBR: La matriz de salida se evalua según el siguiente criterio

$$S_{i,j} \begin{cases} [(\underline{+}E_{i,j})^{(1)} \leq (\underline{+}E_{i,j})^{(2)}] & = 0 \\ [(\underline{+}E_{i,j})^{(1)} > (\underline{+}E_{i,j})^{(2)}] & = (\underline{+}E_{i,j})^{(1)} - (\underline{+}E_{i,j})^{(2)} \end{cases}$$

$$\forall i,j$$

- MSATU: La señal de salida se evalúa atendiendo al criterio

$$S_{i,j} \begin{cases} \left[(\pm E_{i,j}^{(1)}) < (\pm E_{i,j}^{(2)}) \right] = (\pm E_{i,j}^{(1)}) \\ \left[(\pm E_{i,j}^{(1)}) \geq (\pm E_{i,j}^{(2)}) \right] = (\pm E_{i,j}^{(2)}) \end{cases}$$

- MRETR: La matriz de salida en el tiempo "t" se computa como la matriz suma de sus entradas en el tiempo t-n. de t", siendo "n del t" el retraso

$$S_{i,j} = \left(\sum_{m=1}^n \pm E_{i,j}^{(m)} \right)_{t-n. \text{ del } t}$$

$\forall i, j$

- KERNE: Realiza la convolución espacio-temporal entre la matriz definida por el modelo Kernel correspondiente y la suma de las entradas, entre los tiempos t-n. del t y t, siendo n + 1 la dimensión de las matrices que convolucionan.

$$S_{i,j} = \sum_{i'} \sum_{j'} \sum_{t'} K(\Delta i, \Delta j, \Delta t) \cdot \left(\sum_m \pm E_{i',j'}^{(m)} \right)_{t'}$$

$\forall i, j$

En los modelos de Kernel se reconocen los bloques siguientes:

- Calse A



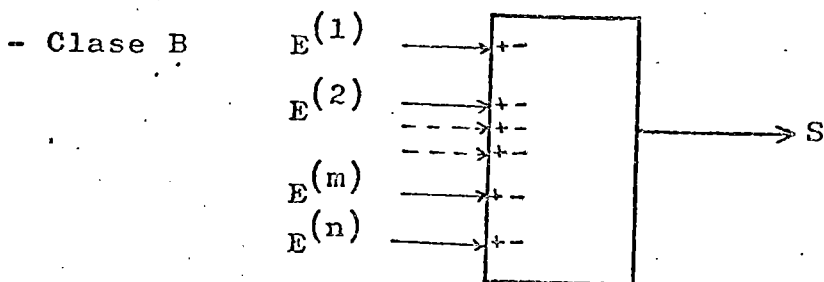
- NCONS: Proporciona un valor definido V

$$S=V$$

- IJDIM: Su salida aporta el valor de la dimensión espacial de la matriz de convolución espacio-temporal

- TEDIM: Proporciona el valor de la dimensión temporal de la matriz de convolución

- IDELTA }
 - JDELTA } Arrojan los valores de las diferencias de I, J
 - TDELTA } (espaciales) y T (temporales)



- NSUMA: Computa la suma algebraica de las entradas

$$S = \sum_{m=1}^n (\pm E^{(m)})$$

- NEXPO: Evalua el numero "e" elevado a la suma algebraica de sus entradas

$$S = \exp \left(\sum_{m=1}^n (\pm E^{(m)}) \right)$$

- NMULT: Multiplica las entradas (1) y (2)

$$S = (\pm E^{(1)}) \cdot (\pm E^{(2)})$$

- **NDIVI:** La salida se obtiene dividiendo la entrada (1) por la (2)

$$S = (\underline{+E}^{(1)}) / (\underline{+E}^{(2)})$$

- **NELEV:** Eleva la entrada (1) a la entrada (2)

$$S = (\underline{+E}^{(1)}) (\underline{+E}^{(2)})$$

- **NRAIZ:** Evalua la raiz cuadrada de la suma algebraica de las entradas

$$S = \sum_{m=1}^n (\underline{+E}^{(m)})$$

- **NRELE:** La salida se evalua según el siguiente criterio

$$S \begin{pmatrix} \underline{+E}^{(1)} \\ \underline{+E}^{(1)} \end{pmatrix} \quad 0 = \underline{+E}^{(2)} \quad 0 = \underline{+E}^{(3)}$$

- **NABSO:** Realiza las operaciones de valor absoluto de la suma algebraica de sus entradas

$$S = \sum_{m=1}^n (\underline{+E}^{(m)})$$

- **MCONV:** Es el unico bloque operativo en los modelos de Kernel que siendo sus entradas de valor unico, proporciona una salida matricial que es la matriz de convolución espacio-temporal asociada a cada Kernel.

$$S_{i,j} = \sum_{m=1}^n t E^{(m)}$$

$$\forall i,j$$

Para definir un modelo de retina, se ha de establecer el modelo principal, interconectando los bloques operativos necesarios permitidos, descritos anteriormente.

A continuación, se diseñan uno a uno los modelos de Kernel asociados a cada uno de los bloques KERNE que intervengan en el modelo principal, evaluando entonces, las matrices de convolución espacio-temporal a partir de los modelos de Kernel. De esta manera, el procesamiento del modelo de retina se lleva a efecto sobre el modelo principal, participando cada bloque KERNE con su matriz de convolución anteriormente evaluada.

Es de interés, notar que la aparición del bloque MFILM en el modelo principal, implica que antes del procesamiento del modelo se haya definido una película de estímulos. Los estímulos definidos que pueden tomar parte en esta película son:

- DISCO: Formado por aquellos elementos del fotograma que están a una distancia al centro geométrico del estímulo menor o igual a su radio

$$\forall F_{i,j} \sqrt{(i-i_c)^2 + (j-j_c)^2} \leq R$$

- CUADR: Formado por los elementos del fotograma que cumplen la condición de:

$$\forall F_{i,j} \quad \begin{array}{l} (i-i_c) \leq (N-1)/2 \\ \delta \\ (j-j_c) \leq (N-1)/2 \end{array}$$

siendo N la dimensión del estímulo (cuadrado)

- ANILL: Los elementos del fotograma que lo dibujan han de estar a una distancia de su centro geométrico menor ó igual que su radio externo y mayor o igual que su radio interno

$$\forall F_{i,j} \quad \begin{array}{l} \sqrt{(i-i_c)^2 + (j-j_c)^2} \leq R_e \\ \sqrt{(i-i_c)^2 + (j-j_c)^2} \geq R_i \end{array}$$

siendo R_e y R_i los radios externos e internos del estímulo.

- MARCO: Formado por los elementos del fotograma que cumplan la condición de:

$$\forall F_{i,j} \quad \begin{array}{l} (N1-1)/2 \leq (i-i_c) \leq (N2-1)/2 \\ \delta \\ (N1-1)/2 \leq (j-j_c) \leq (N2-1)/2 \end{array}$$

siendo N2 y N1 las dimensiones externas e interna del estímulo.

- BARRA: Los elementos del fotograma que lo conforman cumplen la condición de:

$$\forall F_{i,j} \quad (i-i_c) \leq (N1-1)/2$$

o

$$(j-j_c) \leq (N2-1)/2$$

siendo N1 y N2 los numeros elementos verticales y horizontales respectivamente.

- FONDO: Construido por todos los elementos del fotograma

$$\forall F_{i,j} \quad 1 \leq i \leq N9$$

y

$$1 \leq j \leq N9^1$$

Siendo N9 la dimensión del fotograma

2.2.- FICHEROS DE DATOS

El medio de registro que se usa es el disco magnetico debido a su gran capacidad de almacenamiento de información. Se distinguen cinco ficheros distintos diferenciados por sus nombres, sus estructuras son matriciales. Excepto en el fichero REDECMN.TO la información que almacena cada registro es una matriz fila N9 elementos, las agrupaciones correspondientes de N9 de estos registros constituyen la matriz (N9.N9 elementos) señal que progresa en el modelo. los ficheros de datos que se manejan son:

A) REDECMN.TO: La información que almacena cada uno de sus registros es:

L(B9,J9), F(B9), D(B9), T(B9), K(B9), C(B9), V(B9), R(B9), Z(8) siendo B9 y J9 el número más alto que se le puede asignar a un bloque y el número de entradas máximos a un bloque respectivamente. Su número de registros es igual al número más alto asignado a un bloque KERNE. El registro 0 hace referencia a la información concerniente al modelo principal y cada uno de los subsiguientes registros a los modelos de cada uno de los Kernel cuyo número de bloque KERNE en el modelo principal indica el registro en cuestión.

La matriz L soporta la información de los tipos de bloque que constituyen el modelo y su interconexión. El número asociado a cada bloque selecciona la fila en la cual se deposita la siguiente información relativa al bloque:

En la primera columna el código del bloque, (dato numérico relacionado unívocamente al tipo de operatividad por el sistema), las columnas 2, 3, 4 ... J9 representan los números de los bloques cuyas salidas sean las entradas a dicho bloque.

La matriz C almacena los sucesivos números de bloques del modelo, los primeros elementos lo constituyen los de la clase A (sin entradas) seguidos por los de la clase B (con en-

tradas) ordenados convenientemente para que los modelos puedan ser procesados, atendiendo a su estructura.

La matriz Z contiene la siguiente información:

- Z(1) : El numero de bloques más alto del modelo
- Z(2) }
 - Z(5) }
 - Z(6) } : Los indices máximos de las matrices :
 - Z(7) }
 - Z(8) }
 - K
 - V
 - R
 - D
 - T
- Z(3) : El numero total de bloques
- Z(4) : El numero total de bloques de clase A (sin entradas)

La información concerniente a las restantes matrices se muestra en la siguiente tabla:

En el modelo principal	En los modelos de Kernel
-F (NB)	-F (NB)
:: Retardo de los MRETR	:: Valor constante NCONS
:: Dimens temporal de KERNE	
-D (NB)	-D(I); I=1, Z(7)
:: Valor de los elementos de la matriz MCONS	Sucesivos numeros de bloques IJDIM
:: Dimension espacial KERNE	

-T ()	-T(I);I=1,Z(8)
No se usa	:: Sucesivos numeros de bloques TEDIM
-K(I);I=1,Z(2)	-K(I);I=1,Z(2)
:: Sucesivos numeros de bloques KERNE	:: Sucesivos numeros de bloques IDELT
-V(I);I=1,Z(5)	-V(I);I=1,Z(5)
:: Sucesivos numeros de bloques MFILM	:: Sucesivos numeros de bloques TDELT
-R(I);I=1,Z(6)	-R(I);I=1,Z(6)
:: Sucesivos numeros de bloques MRETR	:: Sucesivos numeros de bloques JDELT

NB indica el numero de bloque

B) REDMASA.TO: La función que desempeña es la de almacenar en cada unidad de tiempo la matriz-senal de salida de cada uno de los bloques del modelo principal, conformada como un conjunto de N_9 matrices filas de N_9 elementos, siendo por tanto N_9^2 el numero de elementos de la matriz-senal que se propaga. La localización en el fichero de una de estas matrices filas en un tiempo dado viene dada por:

$$R=N9.(B-1) +F ; F=1,N9$$

Donde B representa el numero del bloque, F la fila que se desea manipular, y R el registro asociado del fichero.

C) REDMFIL.TO: Es el fichero donde se ubica la pelicula de estímulos compuesto de una serie de matrices-fotogramas, generado durante la ejecución del programa REPMFIL.TO. El almacenamiento se realiza en forma de matrices filas de N9 elementos, quedando constituido cada fotograma+ como el conjunto de N9 de estas matrices. Este fichero será leído de una manera secuencial durante el procesamiento del modelo por cada bloque MFILM, proyectándolo en su salida.

D) REDMRET.TO: Constituye la base de información para el funcionamiento de todos los bloques retrasadore MRETR, conformado por sucesivos segmentos virtuales de N9 (α_i+1) matrices filas de N9 elementos , donde α_i es el numero de intervalos de tiempo de retraso de cada uno de los bloques MRETR. En cada uno de estos segmentos asociados a un bloque retrasador, se realizan N9 desplazamientos hacia los registros de numeros más bajos a cada intervalo de tiempo, arrojando a la salida del bloque en cuestión las N9 matrices filas primeras y guardando la suma algebraica de las matrices de entrada al bloque como N9 matrices filas en los

últimos N_9 registros del segmento virtual correspondiente.

Inicialmente este fichero es puesto a cero escribiendo en el $Z(6).N_9.(\alpha_i+1)$ matrices filas, cuyos N_9 elementos son todos cero.

Este fichero se inicializa y se procesa durante la ejecución del programa REPPROC.TO.

E) REDMCKE.TO: Contiene las matrices de convolución espacio temporal de todos los bloques KERNE del modelo principal, evaluadas a partir de los modelos de Kernel durante la ejecución del programa REPEVMC.TO, cada bloque KERNE está asociado a un segmento virtual del fichero constituido por $N_9.\beta_i$ matrices filas de N_9 elementos, donde β_i es la dimensión temporal de la matriz de convolución

F) REDMEKE.TO: Es el fichero que soporta las β_i matrices resultantes de entradas (suma matricial de las señales de entrada) últimas a cada uno de los bloques KERNE, donde β_i es la dimensión temporal de la matriz de convolución. Está constituido por segmentos virtuales de $N_9.(\beta_i + 1)$ matrices filas de N_9 elementos. Opera mediante desplazamientos de N_9 matrices filas hacia registros de número más bajos durante el procesamiento del modelo.

2.3.- PROGRAMAS

El Software implantado es de tipo modular, a fin de que se puedan ir desarrollando sus distintas funciones según se desee. Esta estructuración se lleva a cabo a través de un programa director. Además, existen, los siguientes programas: a) programa para generación de entradas, b) programa para construir y corregir el modelo principal y los modelos de Kernel, c) programa para general listados, d) programa para evaluar las matrices de convolución espacio-temporal, e) programa para computar el modelo. Estos programas se describen a continuación.

2.3.1.- PROGRAMA DIRECTOR (PROGRAMA REPRETI.TO)

Es el programa director, encargado de hacer entrar en ejecución al resto del software dependiendo de lo que se desee realizar, tomando de nuevo control cuando la operación en cuestión se haya ultimado. El diagrama de bloques se muestra en la figura (2.3.1.-A)

La lectura de un parámetro (KO) permite la selección de una de las siguientes opciones:

- 1) Generar la película de estímulos
- 0) Situaciones de stand-by
- 1) Definir el modelo principal
- 2) Listar el modelo principal

PROGRAMA REPRETI.TO

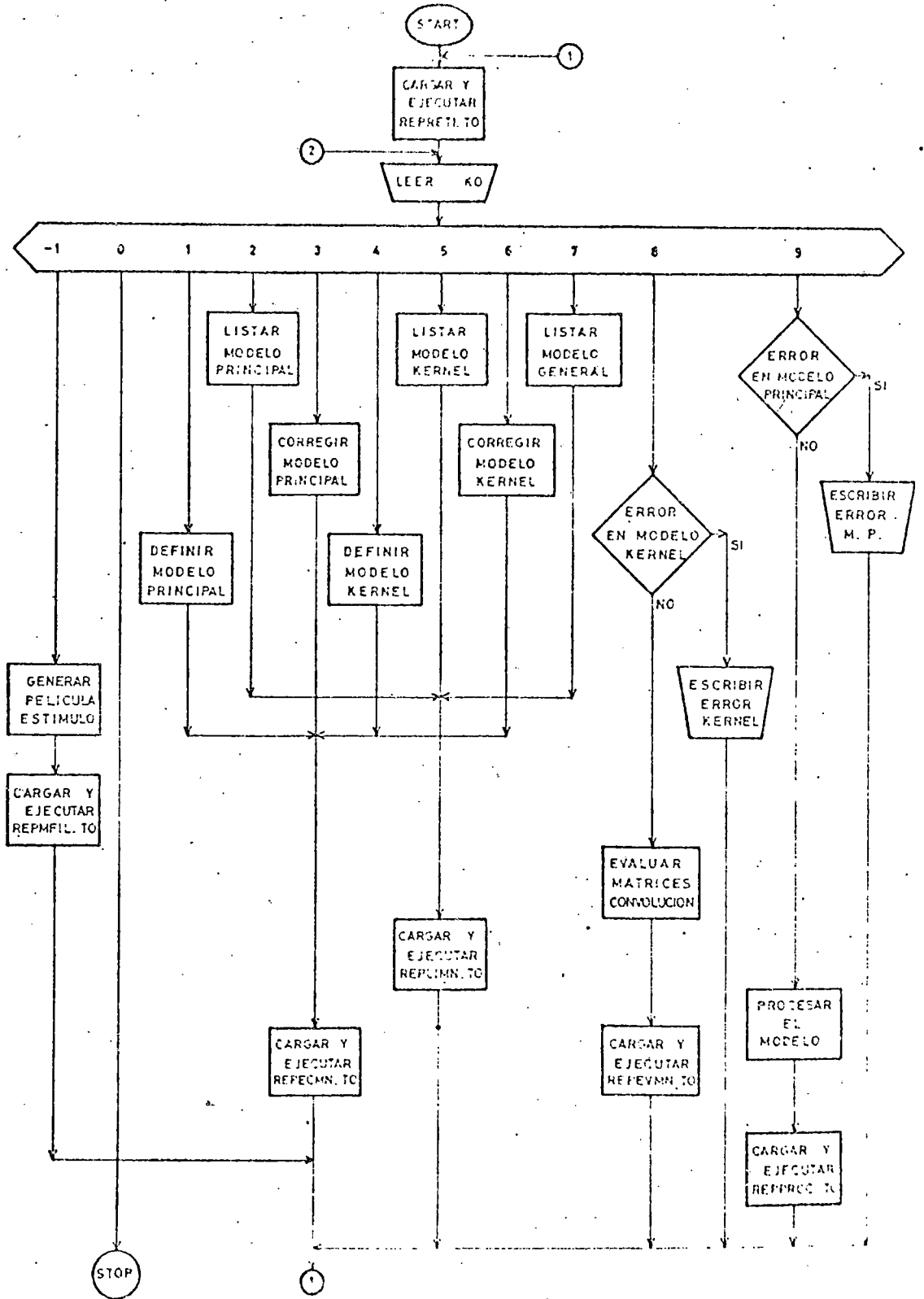


FIGURA (2.3.1-A)

- 3) Corregir el modelo principal
- 4) Definir el modelo de una Kernel
- 5) Listar un modelo de Kernel
- 6) Corregir un modelo de Kernel
- 7) Listado general del modelo
- 8) Evaluar las matrices de convolución de todos los Kernel
- 9) Procesamiento del modelo

Las opciones 1, 3, 4 y 6 hacen entrar en ejecución al programa REPECMN.TO desde distintos puntos, con el fin de que dos variables (B5 y KO) adopten los valores correctos necesarios para que dicho programa funciones en la modalidad deseada, o bien, haciendo referencia al modelo principal o al modelo Kernel, seleccionando su versión de definición o de corrección.

Las opciones 2, 5 y 7 ejecutan el programa REPLIMN.TO desde tres puntos diferentes para que una variable (KO) adopte el valor adecuado a fin de que dicho programa realice correctamente la opción seleccionada; listando el modelo principal, o el modelo de un kernel indicado por su número de bloque en el modelo principal. o bien, el modelo general entendiendo como tal al modelo principal y todos los modelos de Kernel que intervengan. Este último, listado se obtiene en una impresora, mientras que los dos tipos anteriores se reflejan en una terminal de pantalla.

La opción -1 se utiliza para general la película de estímulos, ejecutando el programa REPMFIL.TO.

La opción 8 realiza una serie de tests sobre el modelo principal y los modelos de Kernel. En caso de fallo expone el mensaje correspondiente presentando de nuevo las opciones. Si el modelo está correctamente definido evalúa entonces, ejecutando el programa REPEVMC.TO; las matrices de convolución espacio-temporal de todos los bloques KERNE que existan en el modelo principal, a partir de los modelos de Kernel.

La opción 9 comprueba, en primer lugar, el modelo principal, exponiendo el tipo de fallo si existiese, desencadenando, entonces, la ejecución del programa REPPROC!TO para el procesamiento del modelo, en caso de que este estuviese bien definido.

Las opciones 8 y 9 leen del fichero REDECMN.TO en primer lugar, el registro 0 el cual posee toda la información referente al modelo principal comprobando, entonces, si este tipo de modelo está definido y además si lo está correctamente. En caso afirmativo, la opción 8 verifica la existencia de bloques KERNE en el modelo principal, si están todos los modelos de Kernel definidos, y si además lo están correctamente. Los modelos principal y de Kernel están bien definidos cuando no existen bucles algebraicos, no existan referencias a bloques que no se encuentren en el modelo, o bien se hayan asignado a distintos bloques un mismo número de bloque.

El diagrama de flujo que ilustra los algoritmos relativos a las opciones 8 y 9 es el de la figura (2.3.1.B).

La opción 0 permite una situación de Stand-by.

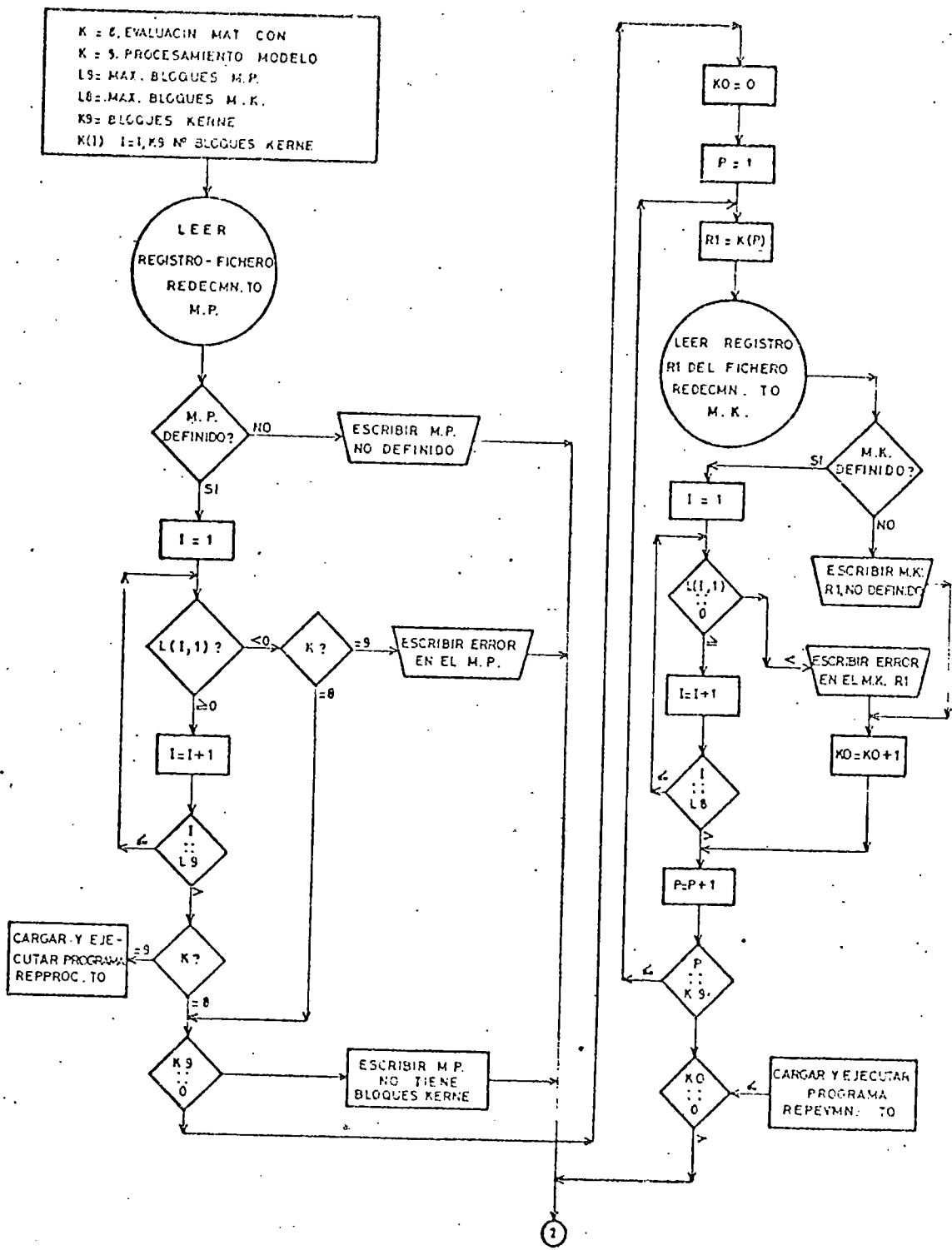


FIGURA (2.31 -B)

2.3.2.- ESTABLECIMIENTO DE LOS MODELOS PRINCIPAL Y DE NUCLEOS (PROGRAMA REPECMN.TO)

Es el programa mediante el cual se realizan las operaciones de definición de los modelos principal y de los Kernel, así como, sus correcciones dependiendo de los valores adoptados por dos variables definidas al solicitar la opción correspondiente en el programa REPETTI.TO. El diagrama de flujo puede verse en las figuras (2.3.2.-A y 2.3.2.-B) En el modo de definición de modelos, tanto en el modelo principal, como en el de los Kernel, las matrices que soportan la información de estructuras reseñadas en el fichero REDECMN.TO son puestas a cero. En el modo de corrección estas matrices son leídas de este fichero.

Tanto en uno como en otro modo, se establece la correspondencia de esta información a ser definida o alterada con aquel fichero, siendo el registro número 0 el referente al modelo principal y el registro "n" el del modelo de Kernel cuyo número de bloque KERNE asociado en el modelo principal sea "n"

Vinculado a cada tipo, de modelo se declara el conjunto de los posibles nombres de bloques operativos que pueden entrar en juego en su constitución. Estos nombres están formados por cinco caracteres

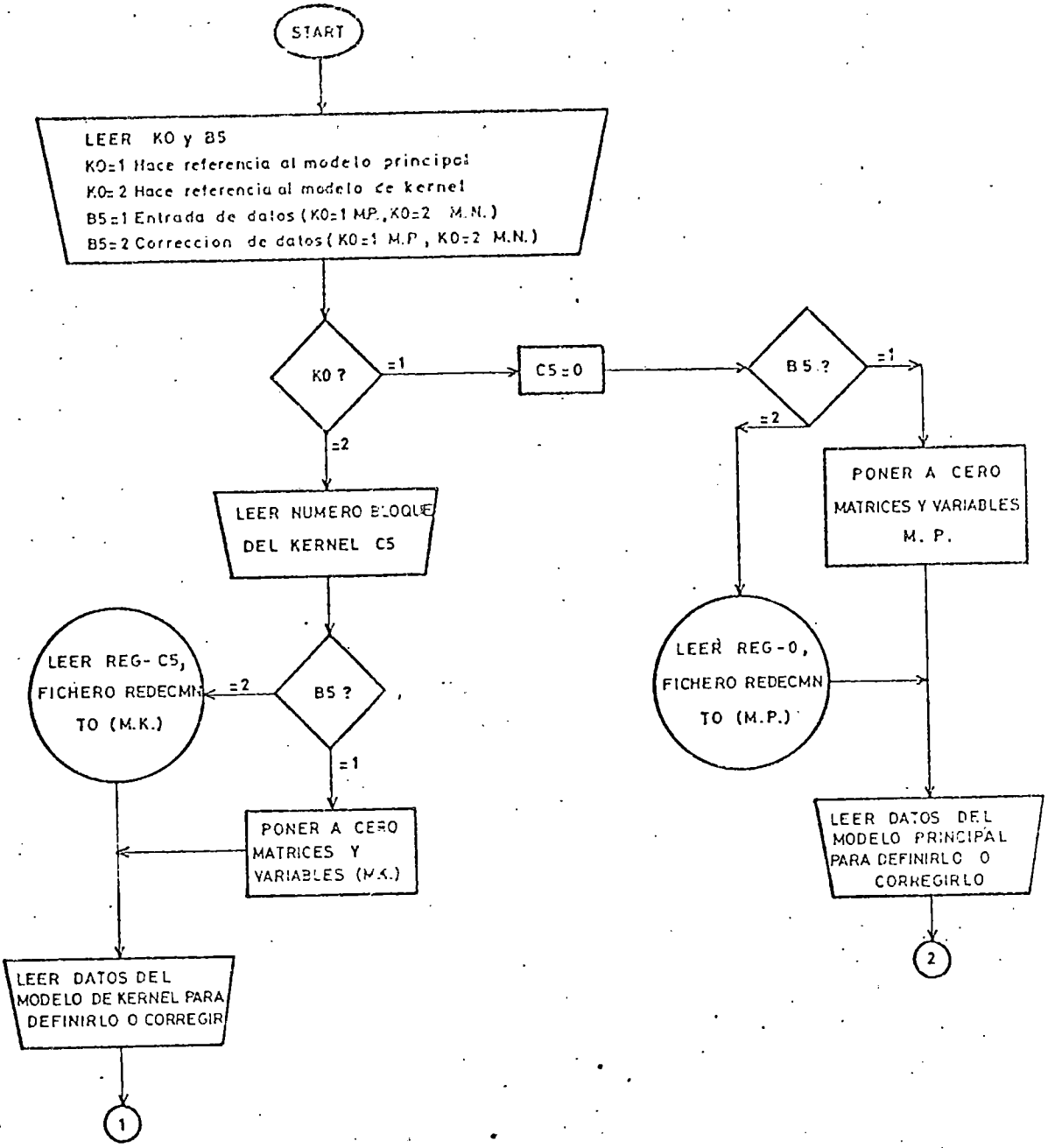


FIGURA (2.3.2-A)

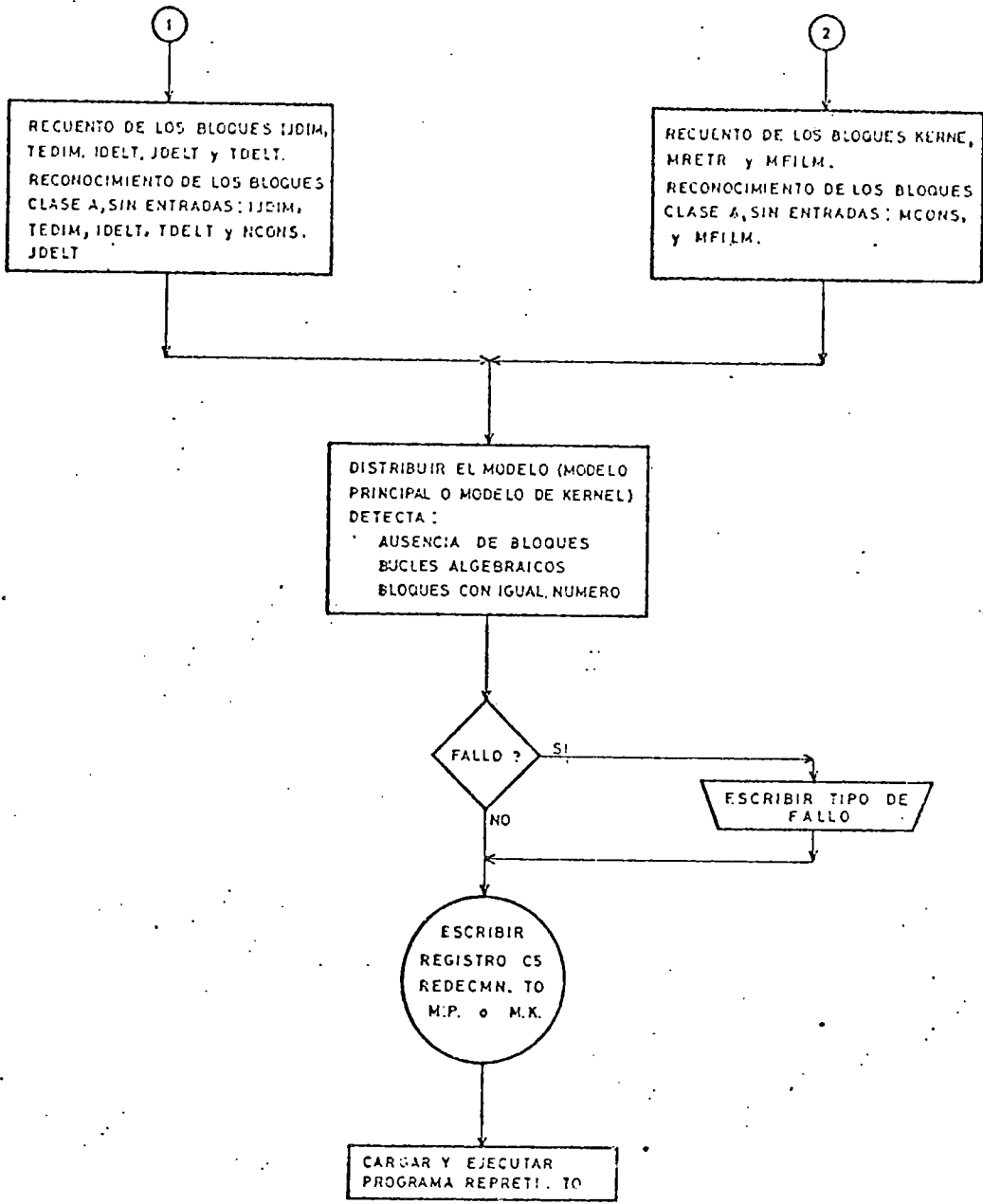


FIGURA (2 3.2-B)

alfabéticos, de tal manera que no existe conflicto en la referencia a ninguno de ellos. Se solicita entonces, el nombre de cada bloque operativo que conforma al tipo de modelo de que se trate, así como al número que se le asocie. En este punto se realiza un test de comprobación del nombre del bloque, a fin de, constatar si el nombre seleccionado pertenece al tipo de modelo en que en ese momento se está haciendo referencia. Para indicar que la definición o corrección de un modelo ha sido ya ultimada, se hace referencia a un nombre de bloque ficticio ULTIM. Se distingue entonces, las dos clases de bloques (sin entradas y con entradas) para solicitar únicamente de estos últimos los números de los bloques que inmediatamente le preceden, es decir, aquellos cuyas salidas están directamente conectadas a sus entradas. Así, en el modelo principal los bloques MFLIM, MCONS y en los modelos de Kernel los bloques IDELT, JDELT, TDELT, IJDIM, TEDIM y NCONS no precisan indicaciones de los bloques que le preceden, sin embargo, se ha de proporcionar el valor de la constante en el caso de NCONS y el valor de todos los elementos iguales de la matriz asociada al bloque MCONS. Paralelamente otros bloques necesitan información adicional como son los KERNE en los que se ha de definir las dimensiones espacial y temporal de la matriz de convolución y los MRETR en los que se ha de especificar el retardo. El diagrama de flujo que refleja este segmento de programa se observa en la figura (2.3.2-C). Se identifican, a continuación los bloques MFILM, MRETR,

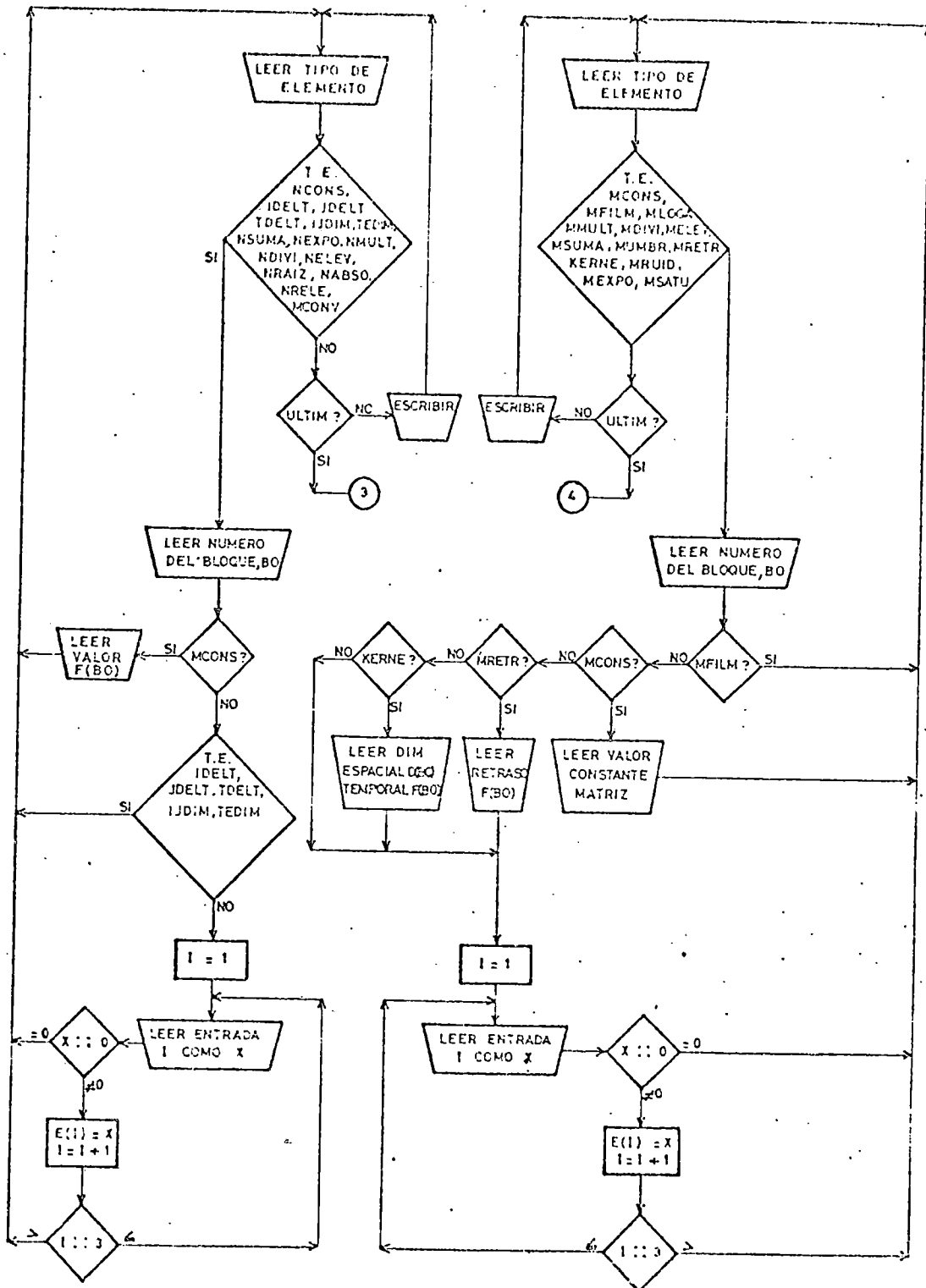


FIGURA (2.3.2 - C)

MCONS y KERNE en el modelo principal y los bloques IJDIM, TEDIM, TDELT, JDELT, IDELT y NCONS en el modelo de nucleo, con el fin de definir como primeros elementos de la matriz C los numeros de los bloques de clase A ;(sin entradas) y realizar un recuento en matrices diferentes de los bloques arriba reseñados para su ulterior procesamiento. El diagrama de flujo que hace referencia a este proceso es el mostrado en la figura (2.3.2.-D) para el modelo principal y en la figura (2.3.2.-E) para el modelo de nucleo.

El establecimiento de la secuencia del modelo en cuenti3n para su ulterior procesamiento ordenado, se realiza en la 3ltima parte del programa, que completa la matriz de secuencia C, compuesta en su segunda parte por todos los bloques de clase B (con entradas) dispuestos en orden creciente del indice de esta matriz, de acuerdo con la direcci3n de computaci3n de las señales de salida de cada uno de los bloques de esta clase que conforman el modelo. Se detecta, adem3s, los posibles errores que puedan existir en el interconexionado de los bloques operativos, como pueden ser:

La presencia de bucles algebraicos, bloques diferentes a los que se les haya asignado un mismo numero, o bloques referenciados que no aparezcan en el modelo. El algoritmo que realiza estas funciones puede verse en el diagrama de flujo de la figura (2.3.2.-F)

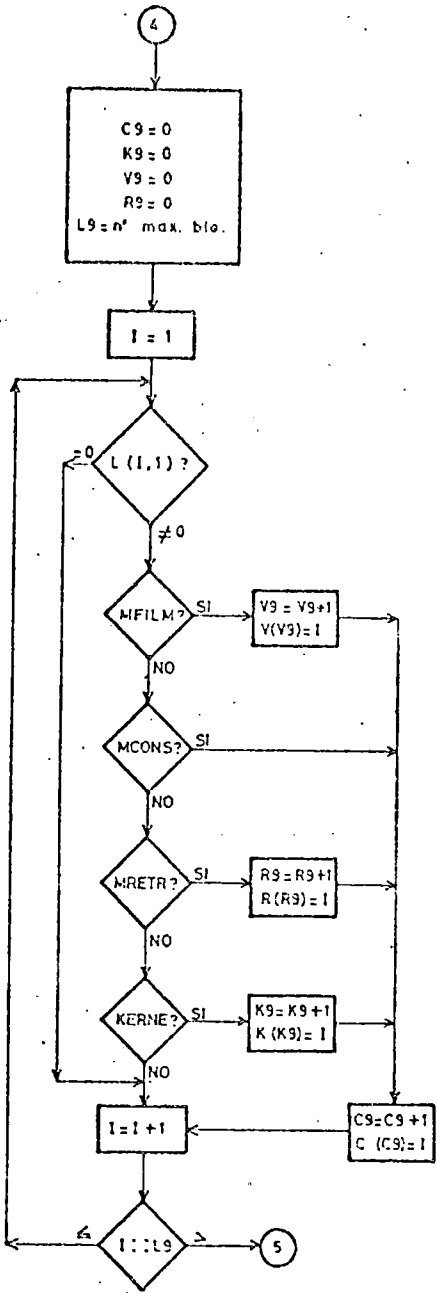


FIGURA (2.3.2-D)

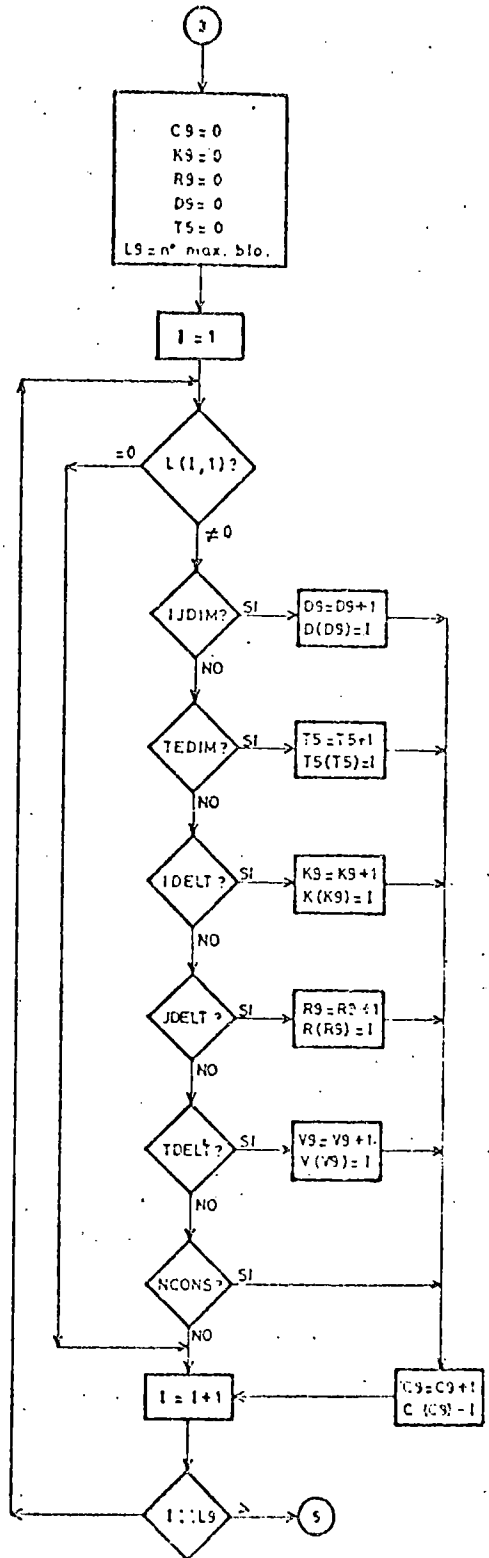


FIGURA (2.3.2-E)

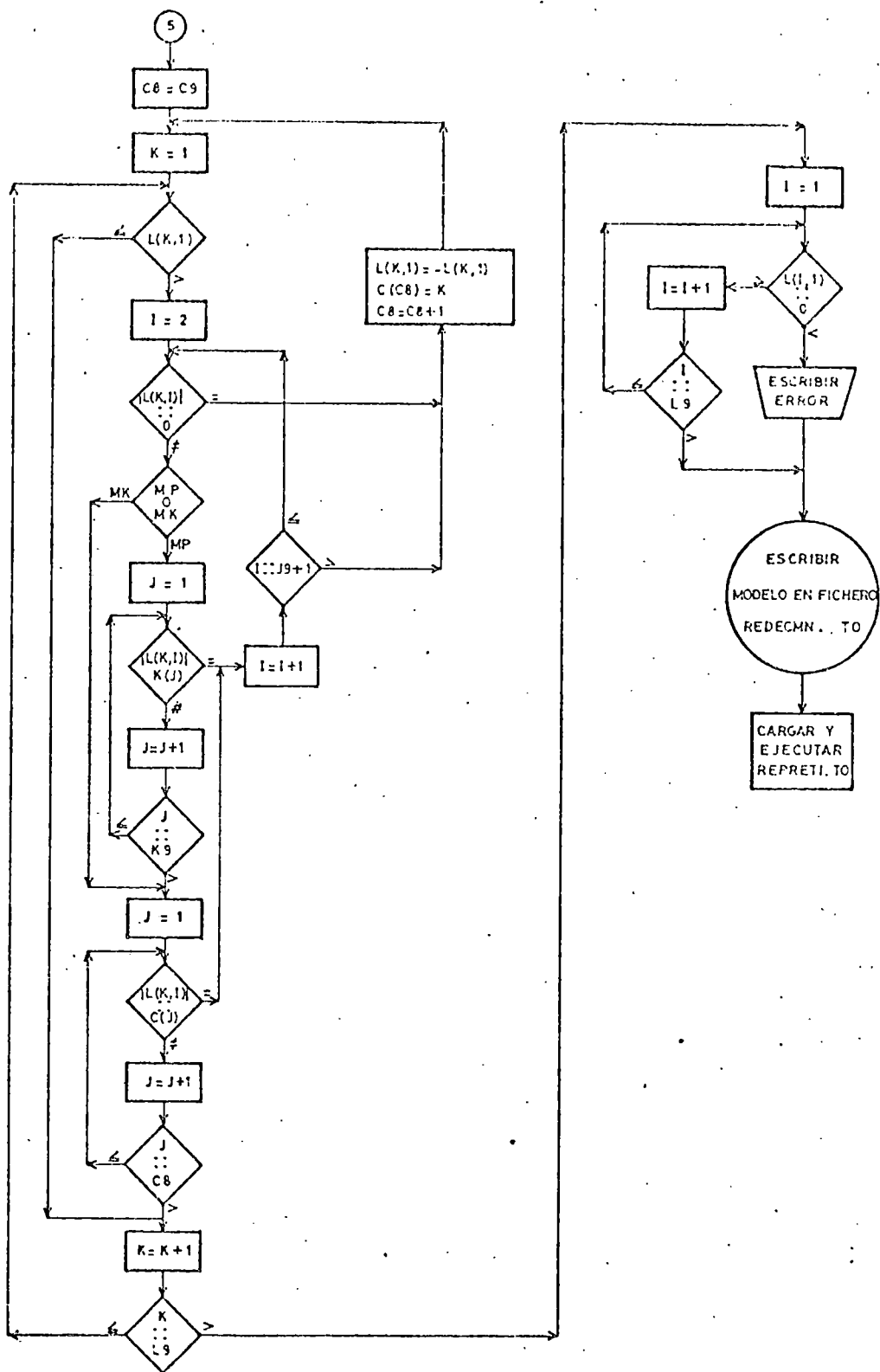


FIGURA (2.3.2-F)

2.3.3.- LISTADO DE LOS MODELOS: (PROGRAMA REPLIMN.TO)

Es el programa encargado de realizar los listados de los modelos, modelo principal y modelo de Kernel. Dependiendo del valor que adopte una variable, genera el listado del modelo principal o del modelo de un núcleo seleccionado o bien el listado general del modelo.

Este último tipo de operación consiste en el listado del modelo principal y el de todos los modelos de Kernel que intervengan en el primero.

El resultado de las dos primeras opciones se hacen inteligibles a través de un terminal de pantalla y la tercera en papel a través de la impresora del sistema.

El diagrama de flujo correspondiente aparece en la figuras (2.3.3.-A y 2.3.3.-B). En cualquiera de las tres opciones, lee el registro 0 del fichero REDECMN.TO el modelo principal, dando un mensaje de error si este no se encuentra definido.

En los casos 1 y 3 este se imprime por el periférico que le corresponda.

La opción 2 solicita el número del bloque KERNE que se desea listar, si este no participa en el modelo principal o bien su modelo de Kernel no esté definido aparece un mensaje de error. Si es la opción 3 la seleccionada en vez de listar un solo modelo

PROGRAMA REPLINH. 10

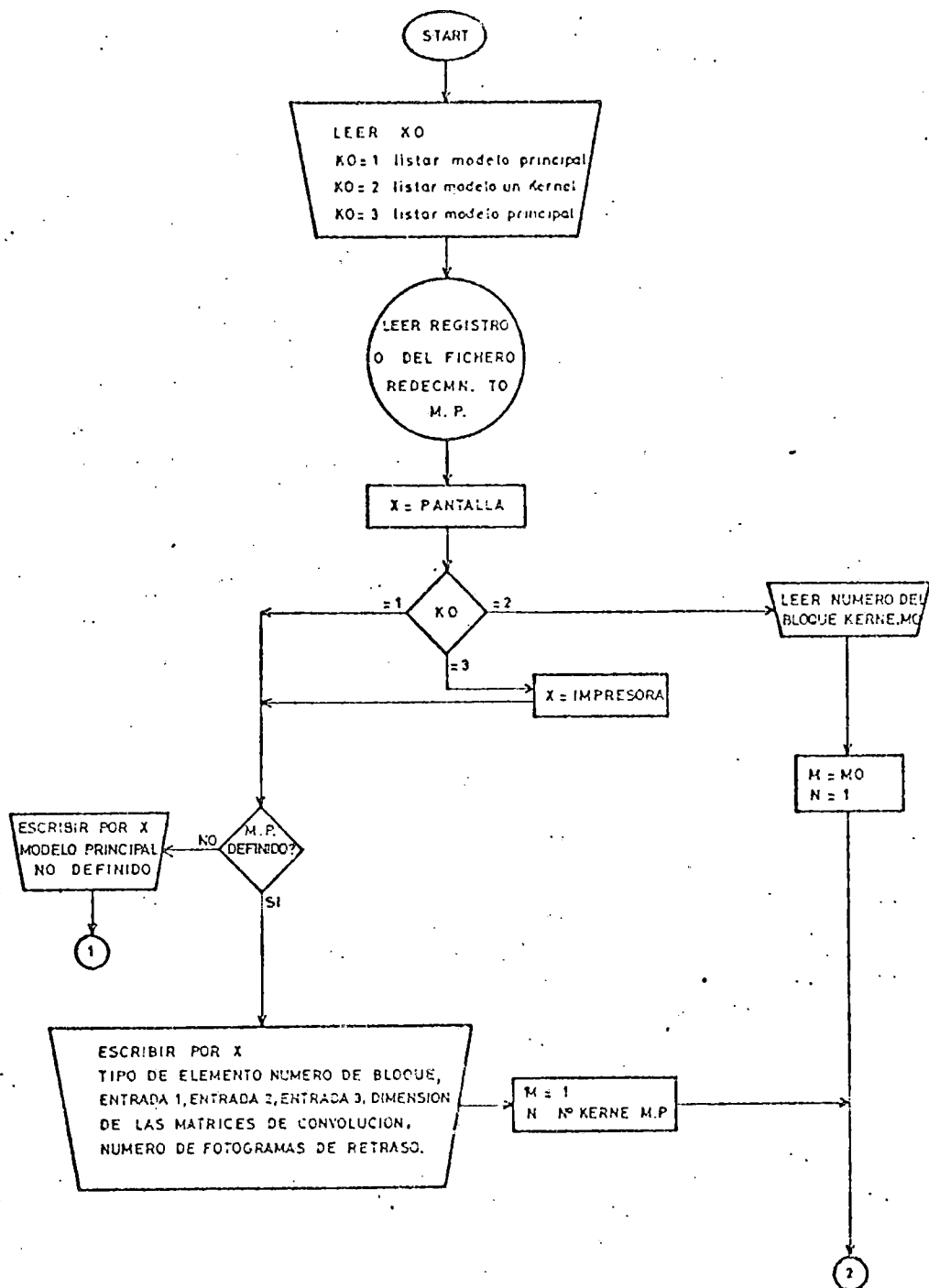


FIGURA (2.33-A)

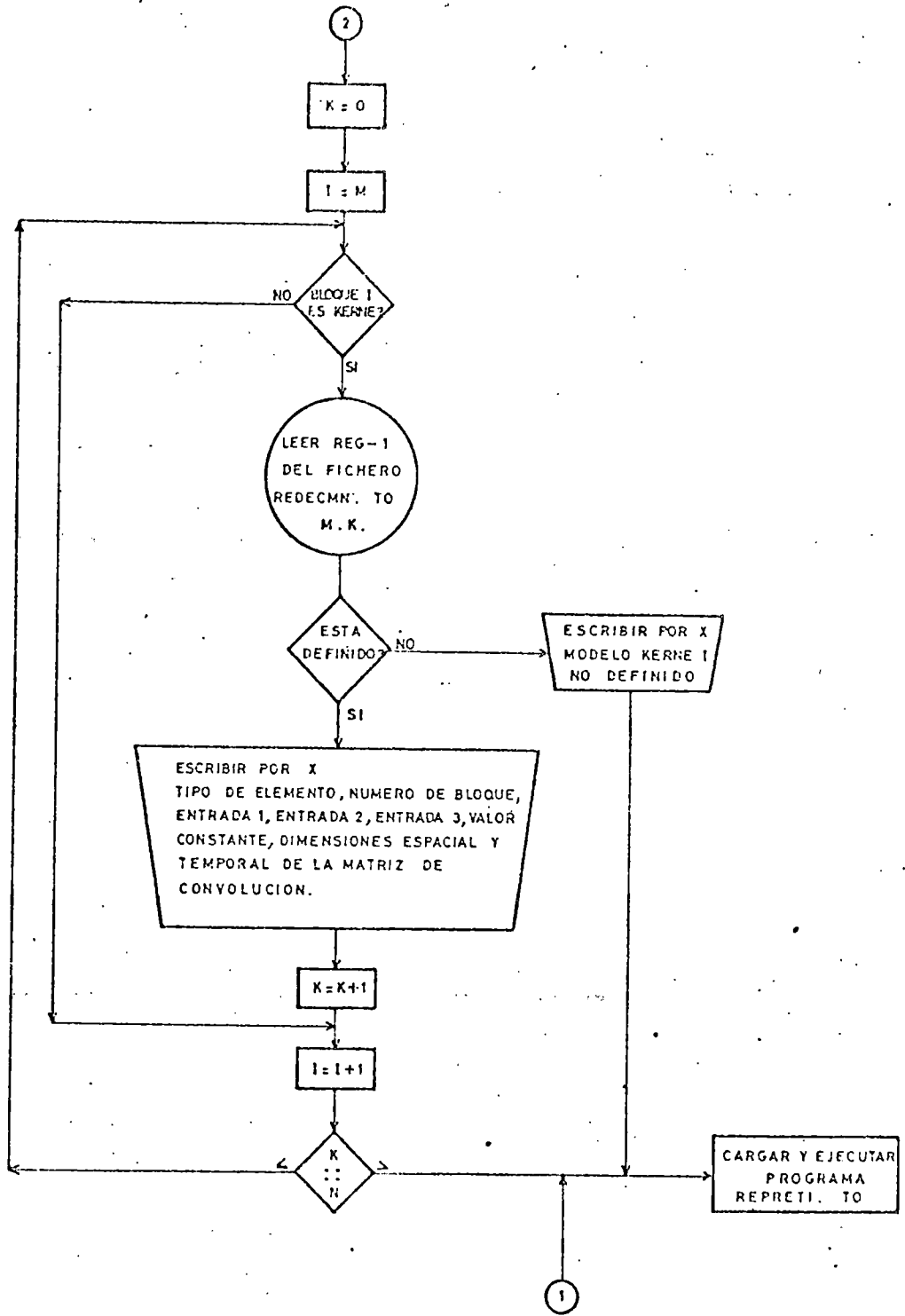


FIGURA (2.33-B)

de Kernel, barre listando todos los modelos que se encuentran reseñados en el modelo principal. La información de los modelos de Kernel se obtiene del fichero REDECMN.TO. La estructura de estos listados es como sigue..

- Para el modelo principal

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR

En la columna sexta aparece el retraso cuando el bloque es el MRETR. o bien la dimensión temporal de la matriz de convolución cuando el bloque sea un KERNE. La ultima columna expone el valor de los elementos matriciales iguales del bloque MCONS o la dimensión espacial de la matriz de convolución cuando el bloque sea un KERNE.

Para los modelos de KERNE

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	

En la última columna aparece el valor asignado al bloque NCONS o bien la dimensión espacial o temporal de la matriz de convolución espacio-temporal que representa el modelo, cuando el bloque sea IJDIM ó TEDIM respectivamente.

En ambos tipos de listados las columnas de entrada representan los numeros de los bloques, que están directamente conectados a cada bloque. Los signos acaban de definir la relación de las entradas a un bloque con las salidas de los bloques que se encuentran conectados a él. Las dos primeras columnas muestran los nombres de los bloques y sus numeros asociados respectivamente.

2.3.4.- EVALUACIÓN DE LOS NUCLEOS. (PROGRAMA REPEVMC.TO)

Es el programa que realiza el calculo y la gravación de las matrices de convolución espacio-temporal de cada uno de los bloques KERNE que aparecen en el modelo principal, segun los modelos de Kernel asociados a dichos bloques. El correspondiente diagrama de flujo se ilustra en las figuras (2.3.4-A y 2.3.4.-B) Se lee en primer lugar la información referente a la estructura del modelo principal alojada en el registro 0 del fichero REDECMN.TO, con el fin de localizar los bloques Kerne que lo constituyen.

Extrae a continuación, uno a uno todos los modelos de Kernel asociados al modelo principal del fichero REDECMN.TO para su procesamiento de acuerdo con sus bloques operativos y el conexionado que los estructuran.

PROGRAMA REPEYMN. TO

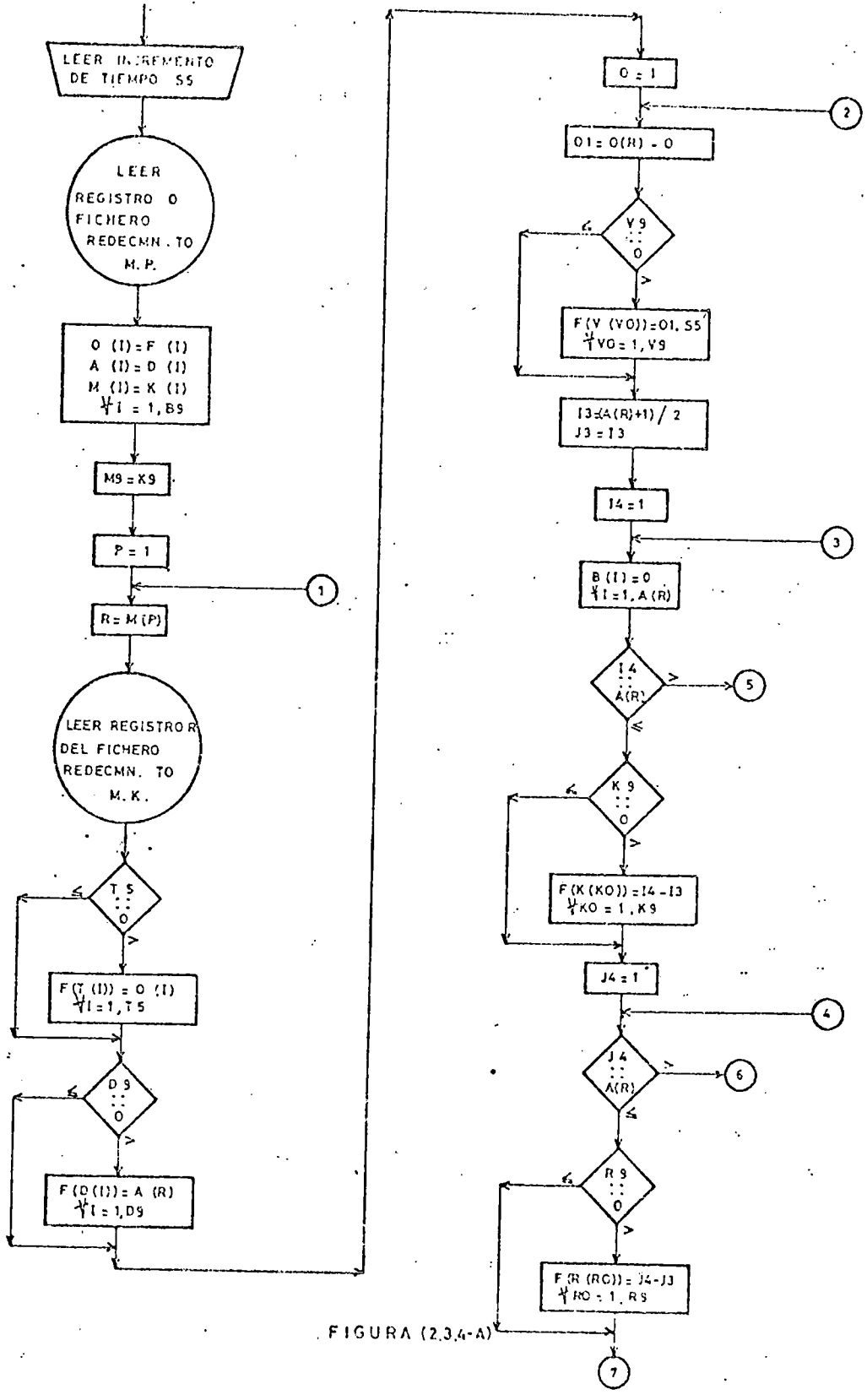


FIGURA (2.3.4-A)

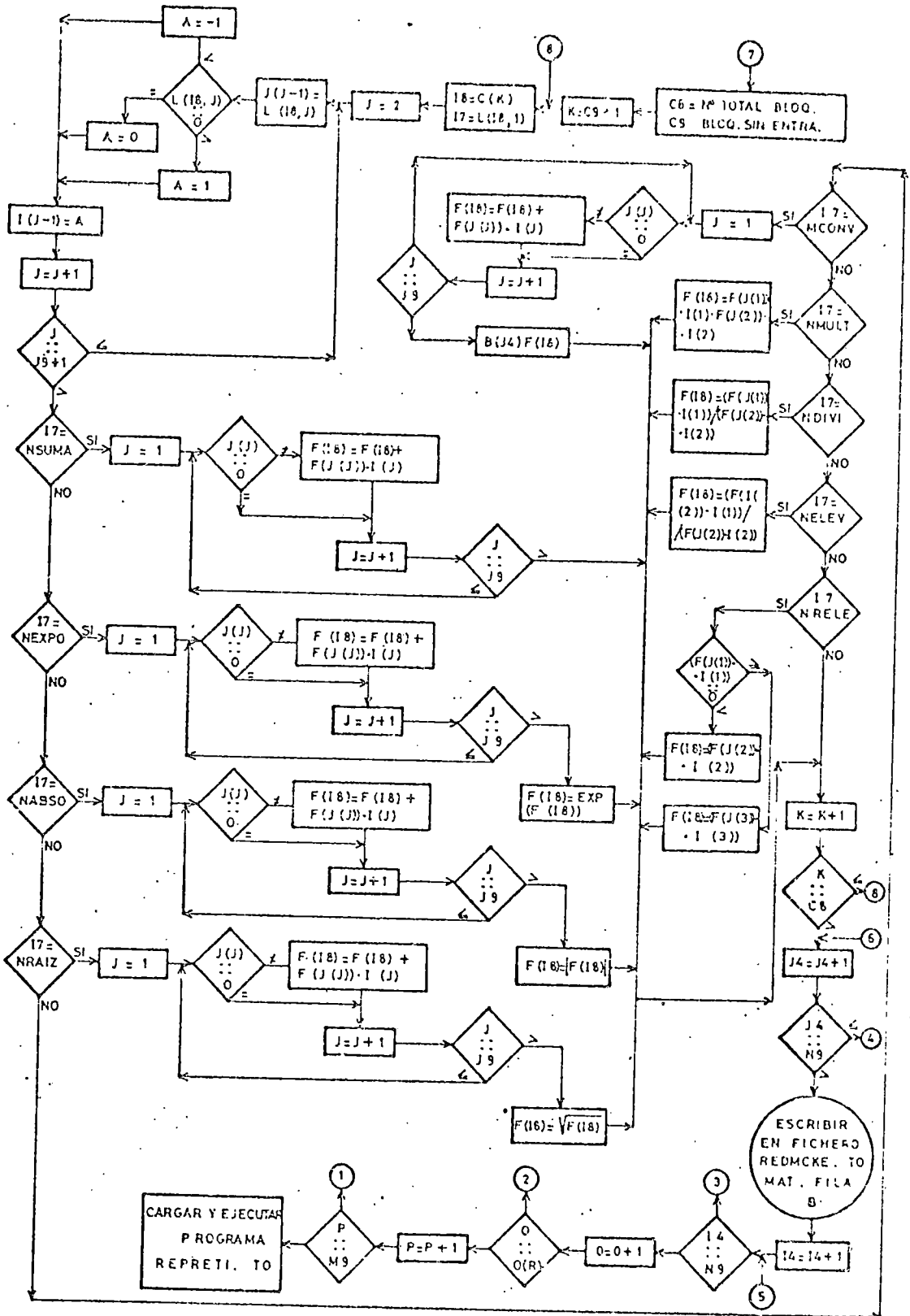


FIGURA (2.34-B)

Se vincula, si existen, a los bloques TEDIM y IJDIM los valores de las dimensiones temporal y espacial respectivamente, de la matriz de convolución definidas al declarar el bloque KERNE correspondiente en el modelo principal, durante la ejecución del programa REPECMN.TO, ello implica que si se deseara realizar otra simulación alterando las dimensiones espaciales y/o temporales de un determinado bloque KERNE, solo sería necesario corregir dicho bloque en el modelo principal, pues durante la ejecución del programa REPEVMG.TO en lo referente al modelo de Kernel asociado a dicho bloque los IJDIM y TEDIM adoptarían los nuevos valores de las dimensiones espaciales y temporales, no siendo necesario para este tipo de corrección del modelo, actuar sobre los modelos Kernel.

El procesamiento progresa desde el tiempo $t - (\text{TEDIM} - 1) \cdot \Delta t$ hasta el tiempo t , siendo t el tiempo actual y Δt los incrementos de tiempo en los que se estudia la simulación. Debido a ello, los bloques TDELT expondrán a su salida los valores definidos por $R \cdot \Delta t$, siendo R una variable que vá desde $\text{TEDIM} - 1$ hasta 0 , definiendo la componente temporal de las matrices de convolución.

Cada vez, se computa una matriz cuadrada de dimensión IJDIM. El conjunto de todas estas TEDIM matrices planas, conforman la matriz espacio-temporal de convolución. El calculo de cada una de ellas se realiza elemento a elemento asociando a los bloques IDELT y JDELT las diferencias $I - I_0$ y $J - J_0$ respectivamente, siendo las variables I y J los indices del elemento que se está evaluando y las va-

riables IO y JO los índices del elemento central de la matriz plana.

Las matrices planas son obtenidas en el bloque MCONV que es el único bloque con estructura matricial de los que componen el modelo de Kernel. Estas matrices están en realidad descompuestas en matrices filas de IJDIM elementos y de esta manera se manipulan con el fin de evitar problemas de falta de memoria interna al intentar trabajar con matrices de convolución de elevada dimensión espacial.

Los bloques operativos se computan conforme a la secuencia establecida durante la ejecución apropiada del programa REPECMN.TO. Los bloques de clase A (sin entradas), instalados como los C9 primeros elementos de la matriz C (matriz de secuencia), alojan sus valores de salida en los elementos correspondientes de un vector de trabajo F, los bloques de clase B (con entradas), ubicados ordenadamente desde el elemento C9+1 hasta el C8 de la matriz C, se ejecutan secuencialmente (desde C9+1 hasta C8), tomando cada bloque sus entradas de los elementos de F (I), tal que, los índices I sean los números de los bloques cuyas salidas sean las entradas al mismo y depositando el valor asociado a su salida en F (J), siendo J el número del bloque en cuestión.

Las matrices de convolución espacio-temporal asociadas a los modelos de Kernel se graban en el fichero REDMCKE.TO, del que serán leídas convenientemente para el procesamiento

durante la ejecución del programa REPPROC.TO.

Cada modelo de Kernel tendrá, por tanto asociado en este fichero TEDIM matrices cuadradas, cada una de ellas de dimensión IJDIM desglosadas en forma de IJDIM matrices filas de IJDIM elementos. De esta manera cada bloque KERNE del modelo principal hace referencia, por lo que respecta a su matriz de convolución espacio-temporal, a un segmento de aquel fichero constituido por TEDIM.IJDIM matrices filas de IJDIM elementos, localizable unívocamente a través del número de bloque KERNE en cuestión.

Una vez evaluadas y gravadas todas las matrices de convolución de todos los KERME que intervienen en el programa principal, se devuelve el control al programa REPREDI.TO. Debe ser tenido en cuenta que, la detección de errores debidos a modelos de Kernel mal o no definidos no se realiza durante la ejecución de este programa sino en el REPREDI.TO al seleccionar la opción 8 con lo que la entrada en ejecución del programa que estamos tratando se realiza sin posibilidad alguna de existencia de estos errores.

2.3.5.- PROCESO DEL MODELO (PROGRAMA REPPROC.TO)

Es el programa que se encarga de realizar el procesamiento del modelo atendiendo a la estructura del modelo principal. En el momento de su entrada en ejecución deben encontrarse evaluadas las matrices de convolución espacio-temporal asociadas a los bloques KERNE que aparecen en el mismo.

El diagrama de flujo correspondiente se muestra en la figura (2.3.5.-A).

Se define en primer lugar, el numero del bloque cuya salida se desea observar durante la evolución de la simulación y el tipo de impresión de estas señales que pueden ser: a) como una matriz cuyos elementos sean los valores calculados en el proceso ó b) como un escalado de caracteres, entre un valor minimo asociado al caracter 0 y un valor maximo asociado al caracter Z, perteneciente a la serie ordenada

<0123456789ABCDEFGHIJKLMNPOQRSTUVWXYZ>

reservandose los signos "<" y ">" para aquellos valores que caigan por debajo del minimo o sean superiores al valor maximo respectivamente.

En segundo lugar, se define el numero de veces, M9, que ha de entrar en juego el algoritmo que establece la estructura de bloques del modelo ~~leyendose~~

PROGRAMA REPROC. TO

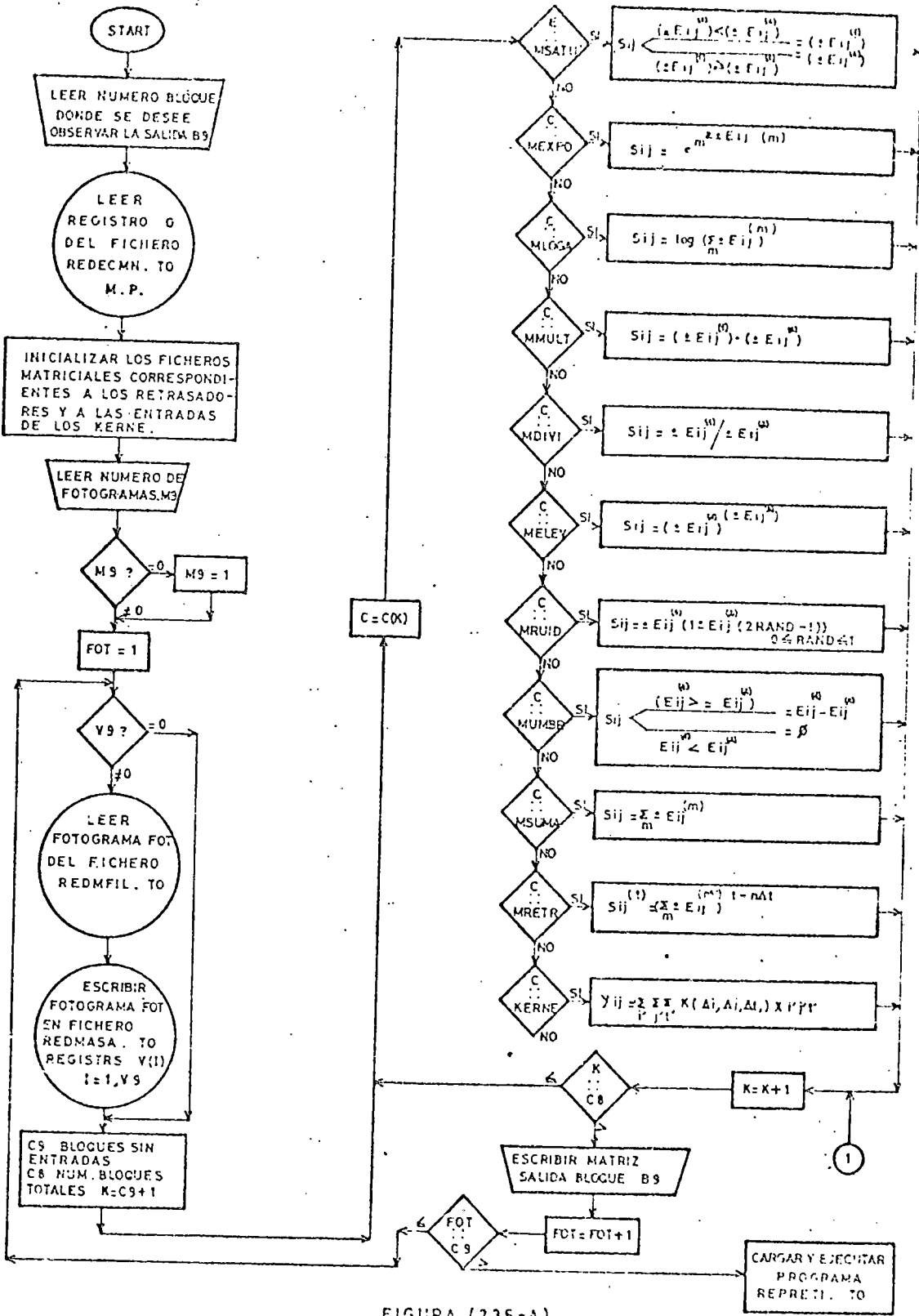


FIGURA (2.35-A)

A continuación el modelo principal desde el fichero REDECMN.TO.

Si existen bloques retrasadores (MRETR) en el modelo, el fichero de trabajo REDMRET.TO donde se realizan los desplazamientos se inicializará con n.a. (b_i+1) matrices filas ceros de n elementos, siendo "a" el numero total de estos bloques y b_i los retrasos de cada uno de ellos.

La presencia de bloques KERNE exige la inicialización del fichero de trabajo REDMEKE.TO que contendrá las últimas b_i entradas resultantes a esos bloques con n.a. (b_i+1) matrices filas ceros, siendo "a" el numero total de estos bloques.

Una vez, ultimada esta etapa de lectura de inicialización, comienza el procesamiento propiamente dicho del modelo un numero determinado de veces (M9).

El tratamiento de la estructura de los bloques operativos del modelo, detecta en primer lugar, la existencia de bloques MFILM a fin de depositar en el fichero REDMASA.TO y en el registro cuyo numero sea el de este bloque el fotograma correspondiente a la película de estímulos, extrayendolo del fichero REDMFIL.TO .

El numero del fotograma que se extrae corresponde al numero de la ejecución del modelo que se esté realizando en cada momento, este numero de ejecución varía desde 1 hasta M9. De esta manera la salida de cada uno de los bloques MFILM que forman parte del modelo ofrecerá, a lo largo de toda la simulación la proyección de la película de estímulos,

fotograma a fotograma. La presencia de bloques MEXPO y MLOGA suponen la realización de la operación indicada (exponencial y logarítmica) sobre cada uno de los elementos de la matriz suma de las matrices de entrada al bloque.

El bloque MSUMA evalúa la matriz suma de las matrices de entrada.

Los bloques MMULT, MDIVI, MELEV, MRUID, MUMBR y MSATU realizan las operaciones de multiplicación división, elevación, incorporación de ruido, establecimiento de umbrales y saturadores elemento a elemento, dependiendo de dos entradas con a tribuciones concretas cada una de ellas.

Los bloques retrasadores MRETR presentes caracterizan un retardo de la suma matricial de las señales de entrada. Cada bloque de este tipo de numero $R(I)$ y con un retraso de $F(R(I))$ lleva asociado un segmento del fichero REDMRET, TO compuesto por $(F(R(I))+1) \cdot N9$ matrices filas de $N9$ elementos. Su operación realiza, cada vez que es procesado, un desplazamiento de $N9$ matrices filas dentro de un segmento de fichero REDMRET, TO asociado en el sentido de descenso del numero de registro, constituyendo el conjunto de las $N9$ matrices filas primeras la salida del bloque considerado. La última porción de las $N9$ matrices de ese segmento son reescritas con la suma de las matrices de entrada en ese momento, el algoritmo que describe el funcionamiento de este tipo de bloque puede verse en la figura (2.3.5.-B).

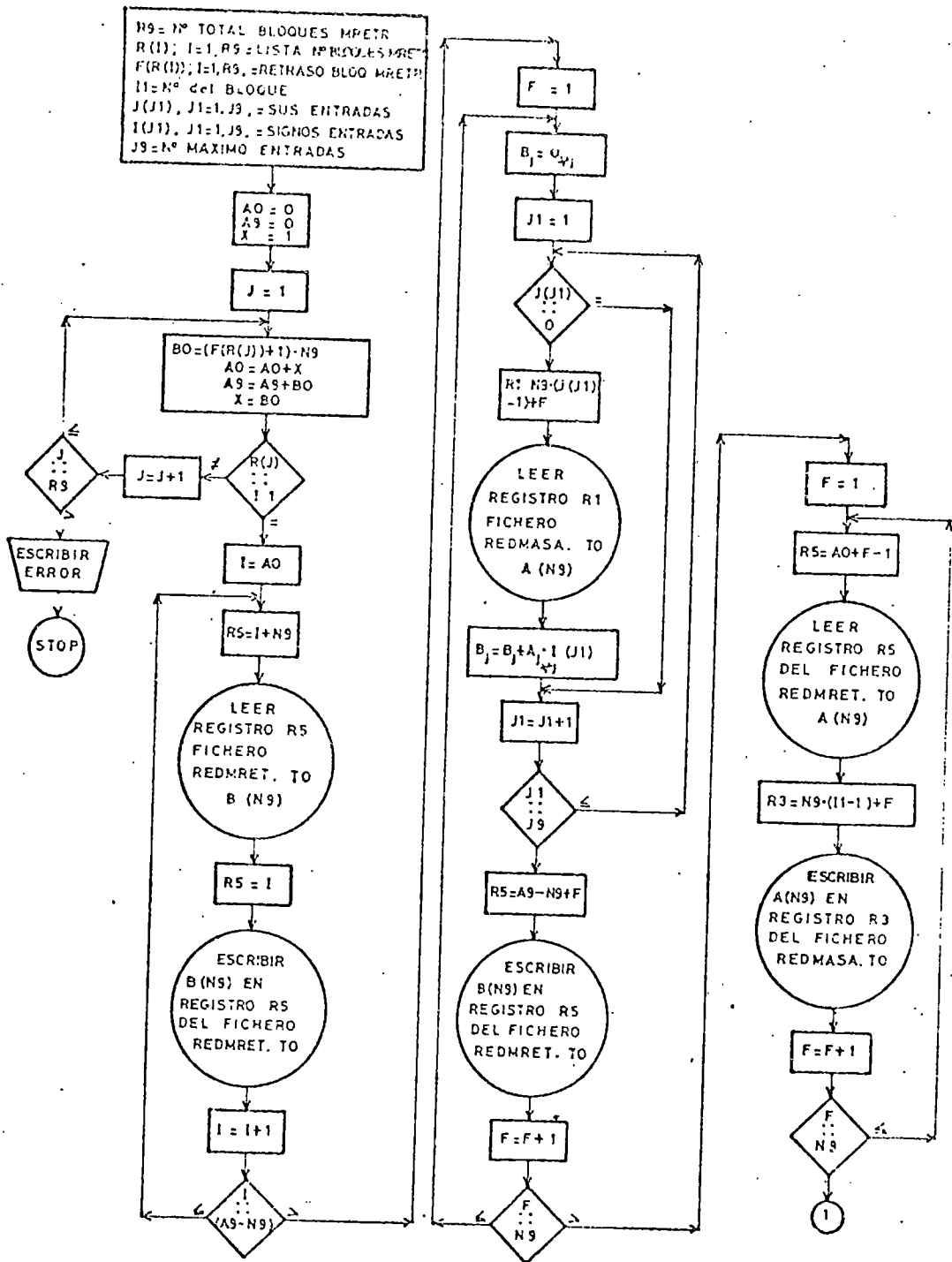


FIGURA (2.3.5 -B)

Los bloques KERNE son los encargados de llevar a cabo la convolución espacio-temporal entre las señales de entrada y la matriz de convolución asociada a cada bloque de este tipo. Cada bloque KERNE de número $K(I)$ y de dimensión temporal $F(K(I))$ utiliza un segmento del fichero REDMEKE.TO de $(F(K(I))+1) \cdot N_9$ matrices filas de N_9 elementos, la función de estos segmentos es soportar las $(F(K(I)) \cdot N_9$ matrices filas resultantes de entradas más recientes, constituyendo, de este modo, una matriz espacio-temporal sobre la que convolucionamos la matriz de convolución, almacenada en un segmento del fichero REDMCKE.TO de $(F(K(I))) \cdot N_9$ matrices filas de N_9 elementos.

La matriz espacio-temporal de entrada se obtiene por un desplazamiento de N_9 matrices filas dentro del segmento correspondiente del primer fichero hacia los registros de número más bajo, seguido de la grabación, en la última porción de las matrices del segmento, de la suma de las matrices de entradas al bloque en ese momento.

En cada desplazamiento la matriz resultante de entrada más antigua sale del cálculo con el fin de conservar la dimensión temporal establecida. El diagrama de flujo que ilustra el funcionamiento de este tipo de bloque se muestra en las figuras (2.3.5.-C y 2.3.5.-D)

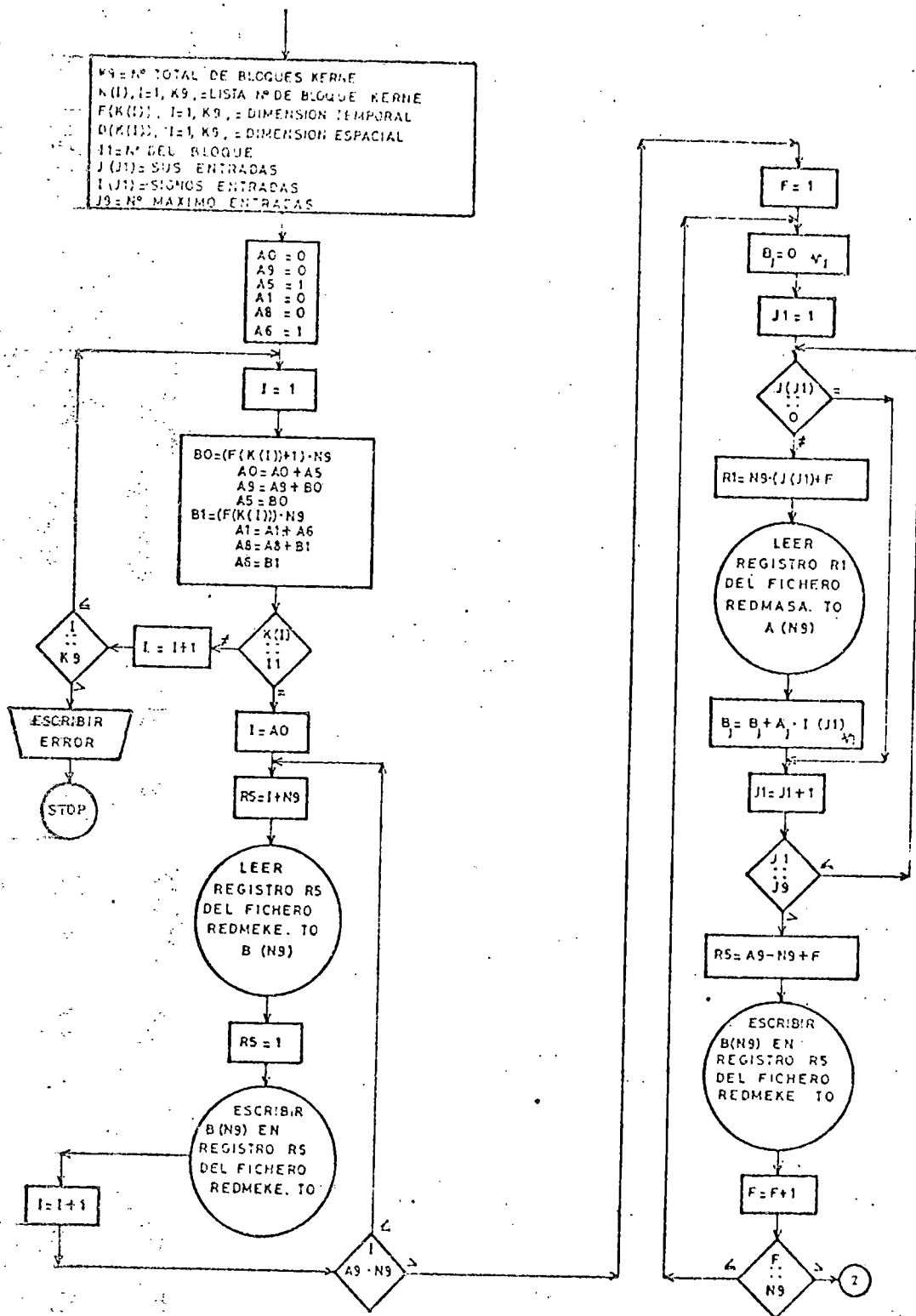


FIGURA (2.3.5-C)

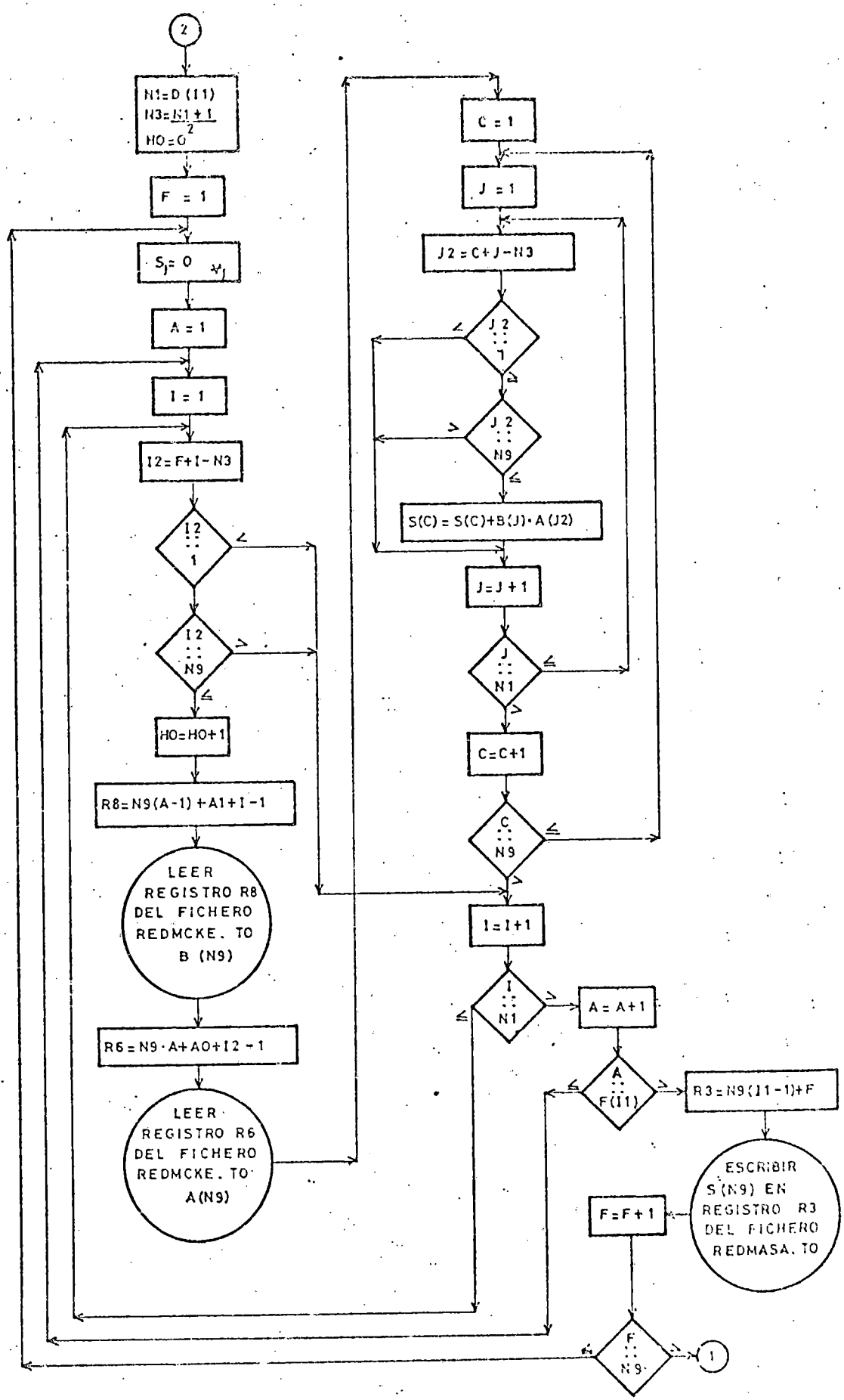


FIGURA (2.35-D)

2.3.6.- GENERACION DE ESTIMULOS (PROGRAMA REPMFIL.TO)

Este programa genera la película de estímulos como una serie de matrices fotogramas a intervalo constante de tiempo, donde los elementos de las matrices representan los puntos espaciales de los que se posee información de la imagen, representando el valor de cada uno de ellos la luminosidad que emiten. Los estímulos definidos son: Disco, Cuadro, Anillo, Marco, Barra y Fondo en cuanto a la forma y tamaño, reciben los nombres nemotécnicos de : DISCO, CUADR, ANILL, MARCO, BARRA y FONDO respectivamente.

Estos, además, pueden ser móviles en cualquier dirección o fijos, con luminosidad intermitente o constante a lo largo del experimento. En la película generada con este programa, pueden coexistir simultáneamente más de un estímulo.

El diagrama de flujo correspondiente se muestra en las figuras (2.3.6.-A y 2.3.6.-B).

La Matriz L soporta toda la información referente a los estímulos, cada fila define las características de un estímulo, representando cada columna una propiedad, así cada columna de un estímulo representa:

PROGRAMA REPMFIL.TO

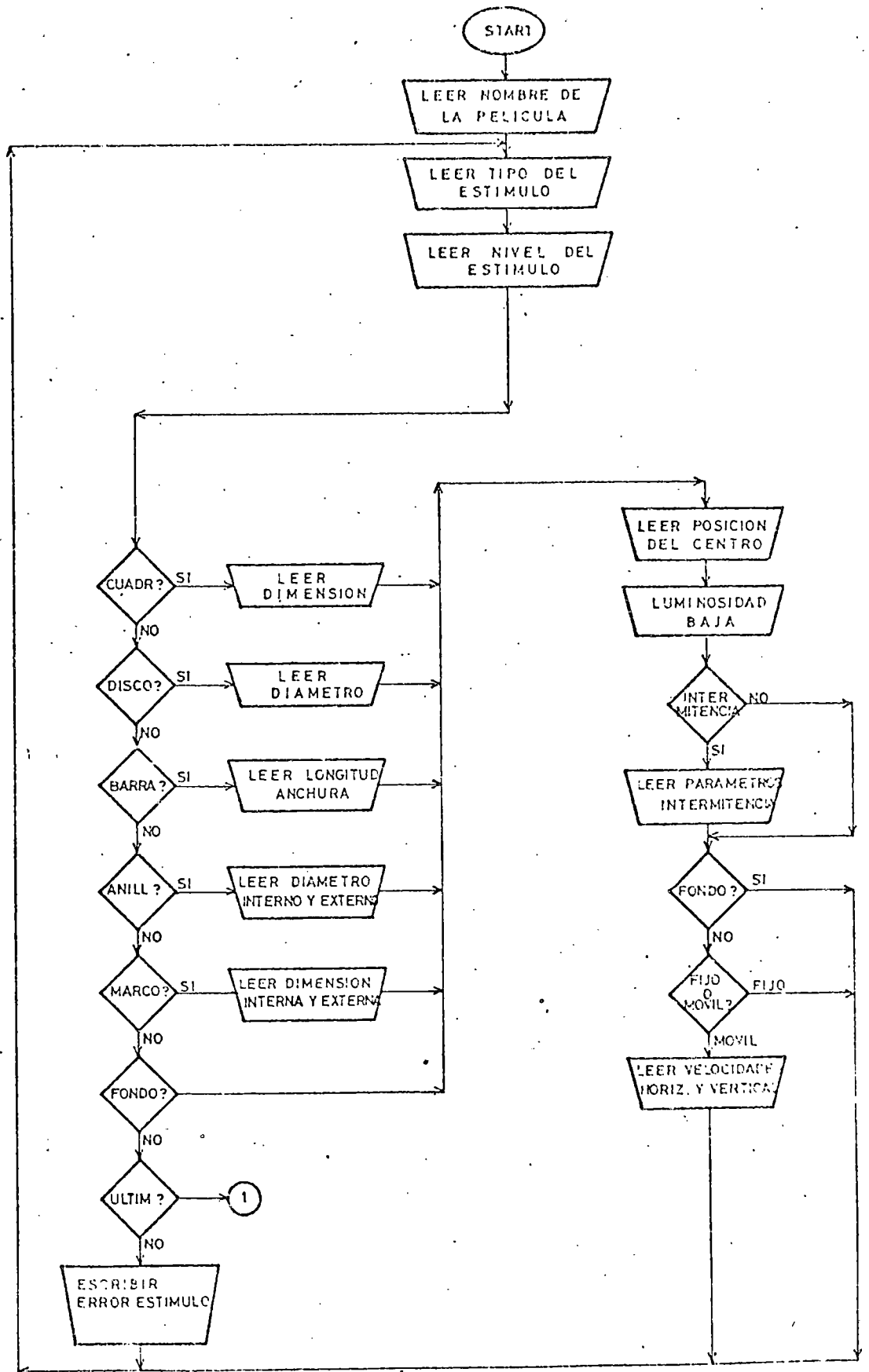


FIGURA (2.36-A)

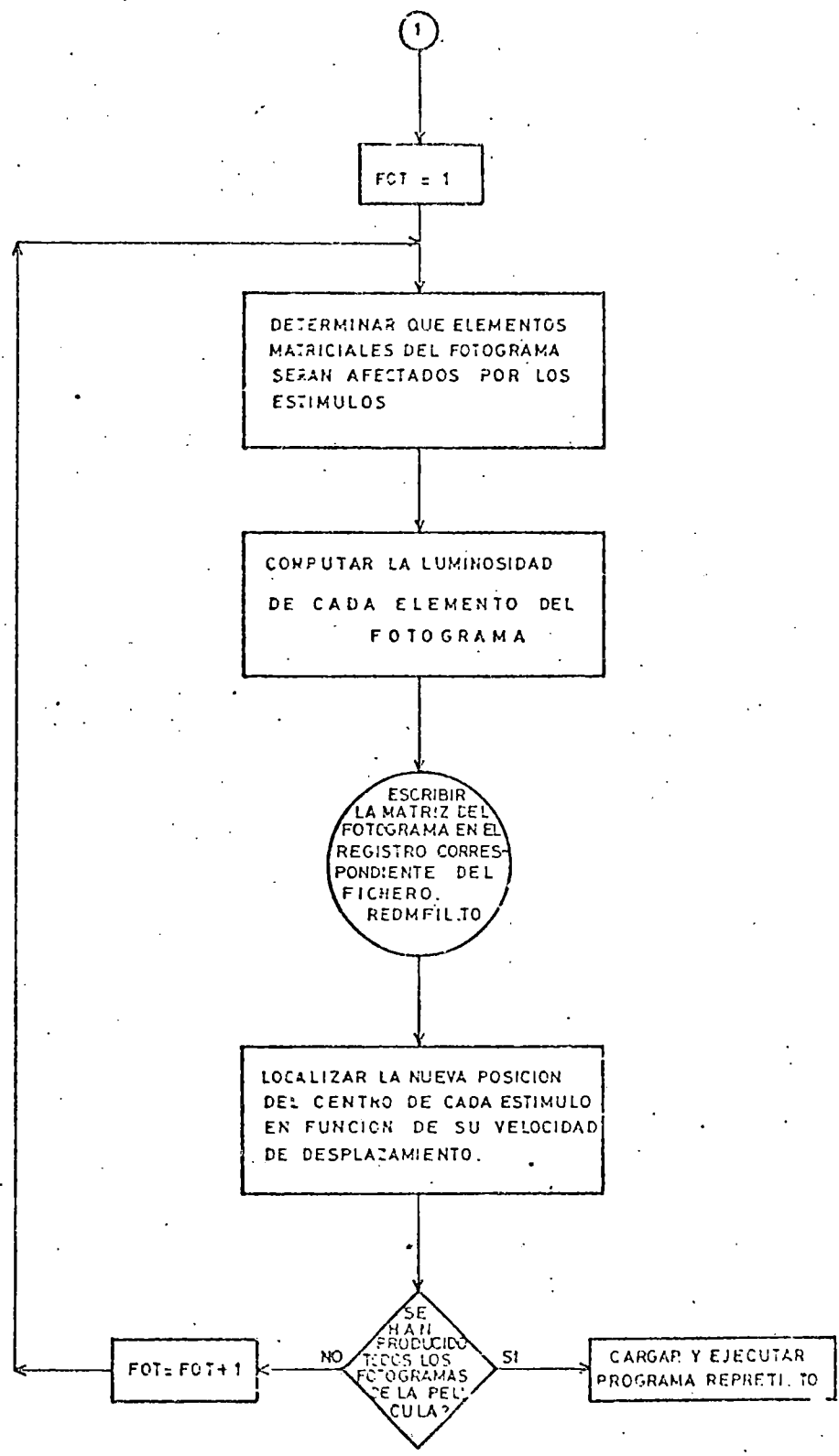


FIGURA (2.3.6-B)

- Columna 1) Código del estímulo, asociado por el programa unívocamente al nombre. La fila implicada responde al nivel del estímulo.
- Columna 2) Número de fila de la posición inicial del centro geométrico del estímulo, en caso de FONDO es la fila central de la matriz de fotograma.
- Columna 3) Número de columna de la posición inicial del centro geométrico del estímulo, en caso de FONDO es la columna central de la matriz del fotograma.
- Columna 4) Dimensión mayor: externa en los casos de ANILL o MARCO una de las longitudes, expresada en número de elementos, en caso de BARRA, en el caso de FONDO, contiene la dimensión de la matriz de fotograma, en los casos de DISCO o CUADR su dimensión.
- Columna 5) Dimensión menor: interna en los casos de ANILL y MARCO, la otra longitud de la BARRA, la dimensión del fotograma en caso de FONDO, y en los estímulos de DISCO y CUADR su dimensión.
- Columna 6) Luminosidad

Columna 7) Numero de fotogramas de baja ,si existe intermitencia

Columna 8) Numero de fotogramas de alta, si existe intermitencia.

Columna 9) Aumento de luminosidad en alta, en el caso de que se considere que el estimulo tenga luminosidad intermitente.

Columna 10) Variación del numero de filas por fotograma del centro geométrico del estimulo

Columna 11) Variación del numero de columnas por fotograma del centro geométrico del estímulo.

Los estímulos inmaviles imponen el valor cero a estas dos últimas columnas.

El programa, comienza solicitando el nombre atribuido a la película que se ha de generar, con el fin de memorizar referencias al experimento en cuestión. Se asigna, a continuación el tipo de estímulo y su nivel asociado (no pueden coexistir mas de un estímulo con el mismo nivel). Excepto en el caso de FONDO se ha de definir la localización inicial de su centro geométrico y su o sus dimensiones.

Se especifica, entonces, su luminosidad, declarando si esta es constante o intermitente a lo largo de la simulación, siendo en este último caso necesario establecer el número de fotogramas de baja y de alta, así como, el aumento de su luminosidad en los estadios de alta. Su posible movilidad se expresa como la variación de la localización del centro geométrico del estímulo entre fotogramas sucesivos (variación del índice de filas ΔI y del índice de columnas ΔJ).

El único estímulo que no puede ir dotado de movimiento es el FONDO.

Una vez declarados los estímulos que conforman la película y sus características comienza la producción de la misma. Debido a que la evaluación de los elementos de la matriz fotograma se realiza fila a fila, desde la primera hasta la última, para su grabación en el fichero REDMFIL.TO del disco magnético, es necesario una previa ordenación de la participación de los estímulos por orden ascendente de las filas afectadas. Se sitúa, entonces, cada uno de los estímulos en el fotograma, por este orden, definiendo los elementos de la matriz que serán afectados, asignándoles el valor Luminico del estímulo ocurrente, con nivel más alto. Teniendo en cuenta que el aporte de luminosidad de un estímulo intermitente es el referenciado en la columna 6 para los estadios de baja, mientras que el de alta se calcula como la suma de los valores correspondientes a las

columnas 6 y 9.

Una vez computada y grabada la matriz-fotograma, se evalúan las nuevas posiciones de los centros geométricos de los estímulos, atendiendo a sus velocidades de desplazamientos establecidas en las columnas 10 y 11 correspondientes.

El diagrama de flujo asociado a estas funciones es el mostrado en las figuras (2.3.6.-C y 2.3.6.-D)

Cuando todos los fotogramas que componen el film se han evaluado y grabado, este programa devuelve el control al programa REPRETI.TO cargándolo y ejecutándolo, permitiendo de esta manera la selección de cualquier opción de las mostradas.

La información descriptiva de la película de estímulos, así como, la película misma y por este orden aparecen en la impresora del sistema.

La información descriptiva, aparece como la impresión de la matriz L encabezada por el nombre del film y los titulares de sus columnas.

FILM, NOMBRE

ESTI-	NIVEL	CEN-	CEN-	DIM.	DIM.	LUM.	NUM.	NUM.	LUM.	VEL.	VEL.
MULO		HOR.	VER.	MAY.	MEN.	BAJ.	FOT.	FOT.	ALT.	HOR.	VER.
									BAJ.	ALT.	

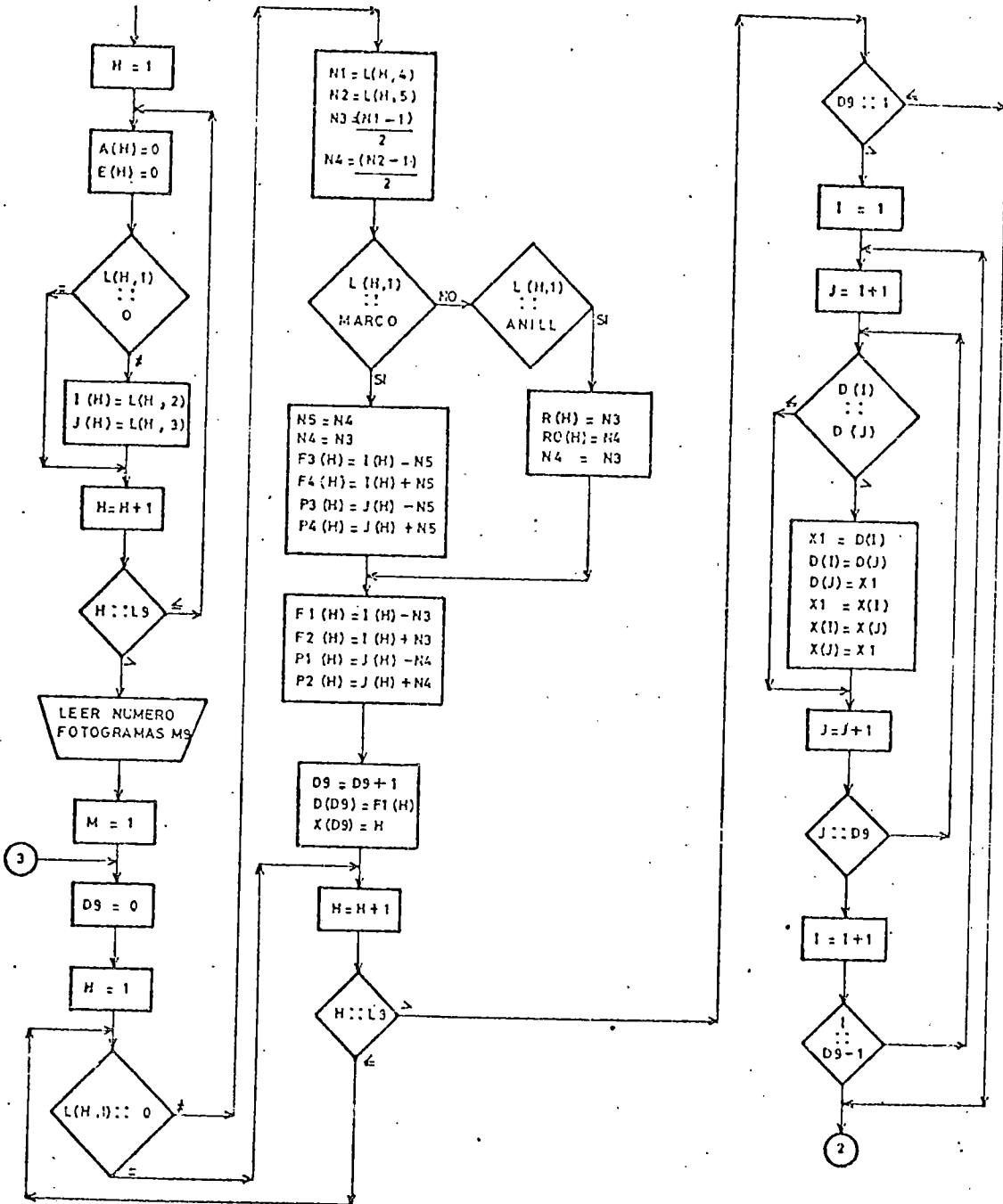


FIGURA (236-C)

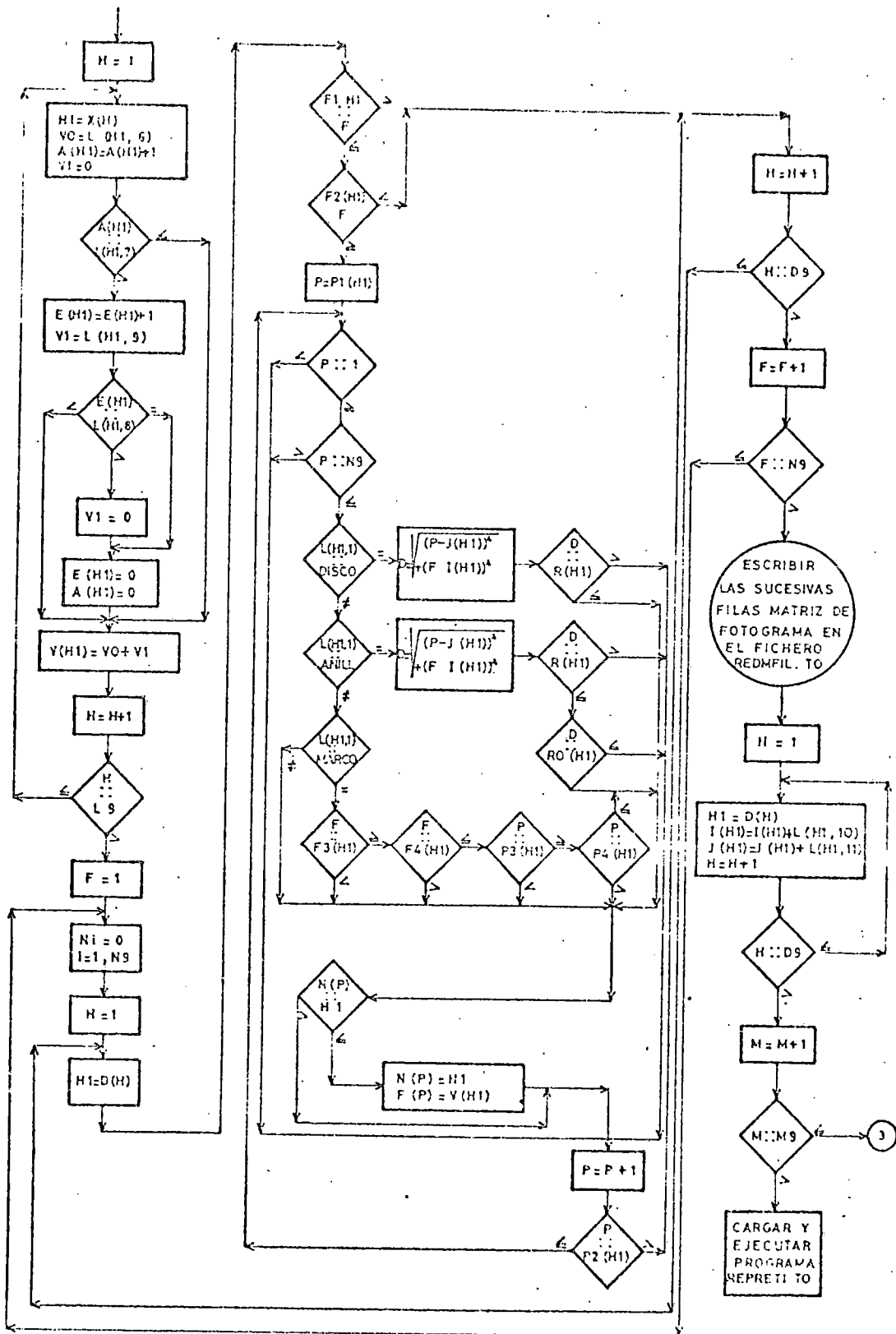


FIGURA (2.3.5-D)

Duplicado
51
II

3.- APLICACIONES DEL LENGUAJE A LOS PROCESOS RETINALES BASICOS

En la realización de los modelos retinales aparecen asociados a las células de las distintas capas de la retina distintos factores de peso y funciones de transferencia cuando el modelo puede aproximarse por una representación lineal. Para cada tipo de célula, los núcleos correspondientes de las transformaciones reflejan la operación de la sinapsis, debido a la acción de los pesos sinápticos, o bien a la interacción de los aferentes presinápticos.

Aunque esta última es de carácter esencialmente no lineal, tiene una primera parte que es expresable asimismo por la acción de una transformación lineal.

Por ello, en el estudio de las aplicaciones de los núcleos a modelos de células retinales se consideran primeramente las transformaciones lineales realizadas por núcleos espaciales y temporales. factorizables ó no, y a continuación las transformaciones no lineales típicas.

El propósito de este capítulo es investigar el efecto de los núcleos típicos, sugeridos por la neurofisiología, utilizando la estructura de los programas desarrollados en el segundo capítulo.



3.1.- NUCLEOS ESPACIALES

Haciendo abstracción del tiempo, la configuración espacial típica encontrada en los campos receptivos de las células ganglionares en la retina de los vertebrados es la de un centro con carácter excitador o inhibitorio y una periferia antagonista. Para las células ganglionares, el campo receptivo se extiende sobre un número considerable de fotorreceptores, por lo que las operaciones espaciales tienen un carácter no local. Sin embargo, los arboles dendríticos restringidos de las células bipolares indican que las operaciones de estas células sobre la imagen tienen carácter local. Resulta natural, y la neurofisiología parece confirmarlo, admitir para la configuración de los campos receptivos bipolares de algunas células (las bipolares pequeñas) una estructura centro-periférica de tipo análogo a las de las células ganglionares, aunque el campo receptivo abarca solo unos pocos fotorreceptores en este caso.

Por otro lado, la acción de las células amacrinas, y horizontales, así como la propia interacción entre los pies de los fotorreceptores, sugieren que, incluso a nivel bipolar, la acción espacial correspondiente puede, así mismo, presentar un carácter no local. Por lo tanto, para la especificación de los núcleos espaciales, se distinguirá entre los núcleos de acción

local (sobre unos pocos fotoreceptores) y los nucleos de acción global. La organización centro-periferia dá a los nucleos espaciales el caracter de detectores de contrastes.

Dicha organización puede ser simetrica o no, según la posición relativa del centro con respecto a la periferia, dando lugar así a una detección de contrastes simétrico o asimétrico.

3.1.1.- NUCLEOS ESPACIALES SIMETRICOS

En la formulación continua, la acción de un nucleo espacial simétrico, puede expresarse por:

$$Y(x,y) = \iint_{\text{CENTRO}} K_1(x,y,\alpha,\beta) X(\alpha,\beta) d\alpha d\beta - \iint_{\text{PERIFERIA}} K_2(x,y,\alpha,\beta) X(\alpha,\beta) d\alpha d\beta$$

Donde $X(\alpha,\beta)$ es la señal de entrada e $Y(x,y)$ la de salida.

Para los nucleos de acción local la region central se reduce a un punto, y resulta

$$Y(x,y) = X(x,y) - \iint_{\text{PERIFERIA}} K_2(x,y,\alpha,\beta) X(\alpha,\beta) d\alpha d\beta$$

que corresponde al nucleo equivalente:

$$K_{eq}(x,y,\alpha,\beta) = \delta(x-\alpha) \delta(y-\beta) - K_2(x,y,\alpha,\beta)$$

La condición de respuesta nula frente a una estimulación uniforme (que corresponde al carácter de detector de contraste de los núcleos) proporciona en cada caso

$$\iint_{\text{CENTRO}} K_1(x, y, \alpha, \beta) d\alpha d\beta - \iint_{\text{PERIFERIA}} K_2(x, y, \alpha, \beta) d\alpha d\beta \leq 0$$

Considerando la formulación de estos núcleos en el campo discreto, donde la zona central está constituida por el elemento central de la matriz de convolución y la zona periférica por los restantes elementos de esta matriz. Los elementos de la periferia se evalúan según:

$$\text{MCONV}(I, J) = \beta (\max(|I - I_c|, |J - J_c|)) - \alpha$$

$$I, J = 1, \text{IJDIM}$$

El elemento central debe verificar:

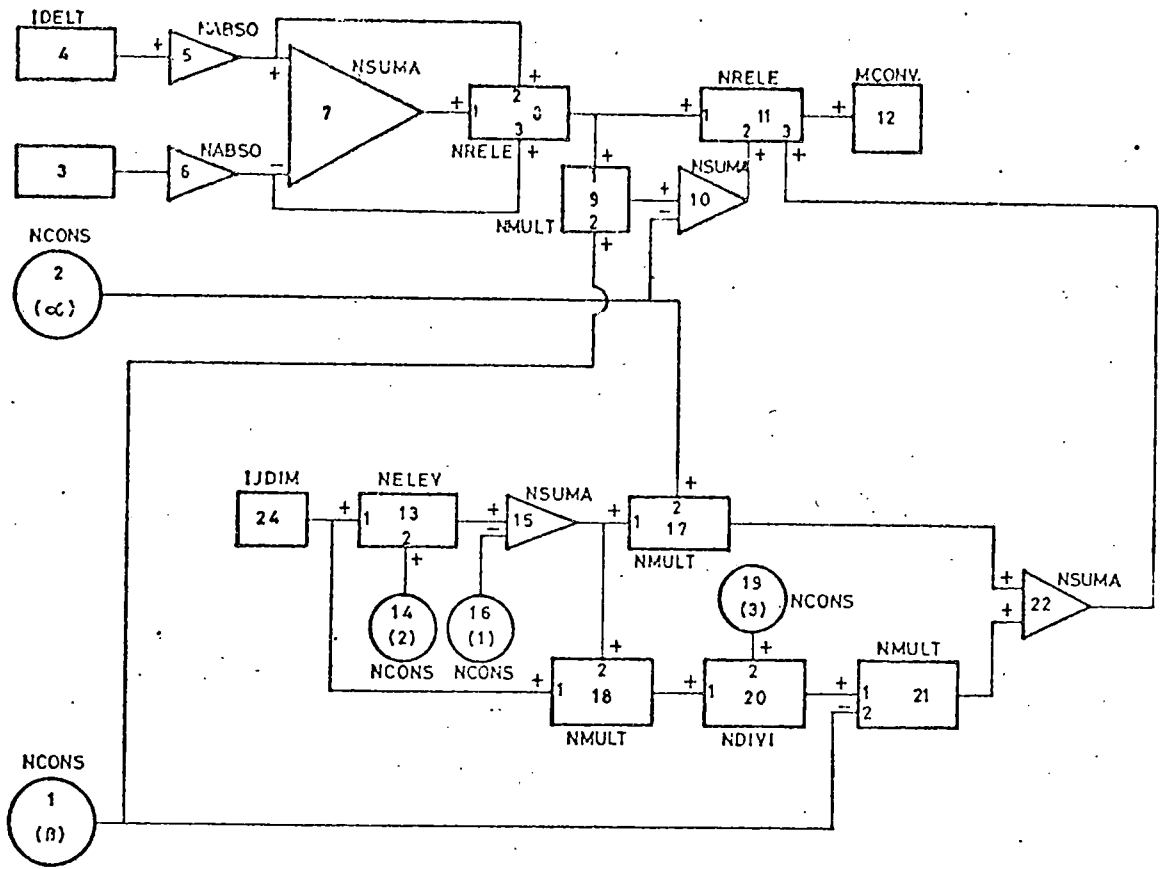
$$\text{MCONV}(I_c, J_c) = - \sum_{I, J = 1}^{\text{IJDIM}} \text{MCONV}(I, J)$$

o expresado de esta manera:

$$\text{MCONV}(I_c, J_c) = (\text{IJDIM}^2 - 1)(\alpha - \beta \cdot \text{IJDIM} / 3)$$

El esquema del modelo en la figura (3.1.1.-A) el listado general en la figura (3.1.1.-B) la matriz de convolución espacial que evalúa el modelo de Kernel es:

MODELO DEL KERNEL 2



MODELO PRINCIPAL

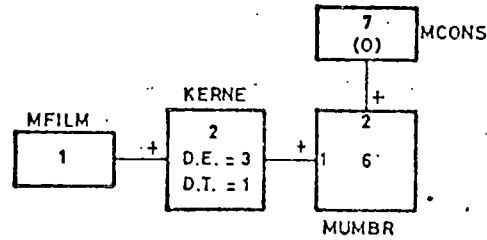


FIGURA (3.1.1-A)
 DETECCION DE CONTRASTE ESPACIAL
 CON NUCLEO SIMETRICO

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	2	+1	+0	+0	+1	+3
NUMBR	3	+2	+4	+0	+0	+0
MCONS	4	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 2

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
NCONS	1	+0	+0	+0	+1.00
NCONS	2	+0	+0	+0	+2.00
JDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
IDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABS0	5	+4	+0	+0	+0.00
NABS0	6	+3	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NRELE	8	+7	+5	+6	+0.00
NMULT	9	+8	+1	+0	+0.00
NSUMA	10	+9	-2	+0	+0.00
NRELE	11	+8	+10	+22	+0.00
NCONV	12	+11	+0	+0	+0.00
NELEV	13	+24	+14	+0	+0.00
NCONS	14	+0	+0	+0	+2.00
NSUMA	15	+13	-16	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NMULT	17	+2	+15	+0	+0.00
NMULT	18	+15	+24	+0	+0.00
NCONS	19	+0	+0	+0	+3.00
NDIVI	20	+18	+19	+0	+0.00
NMULT	21	+20	+1	+0	+0.00
NSUMA	22	+17	-21	+0	+0.00
IJDIM	24	+0	+0	+0	+3.00

Fig. 3.1.1.-B

-1 -1 -1

-1 8 -1

-1 -1 -1

La película asociada al bloque MFILM se muestra en la figura (3.1.1.-C), la señal obtenida a la salida del bloque 6 (MUMBR) puede observarse en la figura (3.1.1.-D), donde se pone de manifiesto la detención de contraste; el mayor abrillantamiento en las esquinas es una característica típica de estos tipos de detectores.

3.1.2.- NUCLEOS ESPACIALES ASIMETRICOS

La detección de contrastes estacionarios con una orientación preferida, es una propiedad que se presenta en las células ganglionares de la retina de algunos vertebrados, principalmente en la retina de las aves.

Esta propiedad indica que ha de existir una asimetría en el campo receptivo de la célula ganglionar, aunque dicha simetría puede aparecer probablemente solo a nivel presináptico en la interacción de los aferentes a las células. La interacción de los aferentes presinápticos es de naturaleza no lineal pero puede descomponerse en una operación lineal seguida de una no linealidad.

Considerando solo la parte lineal, el efecto correspondiente puede expresarse por un nucleo espacial con organización centro-periferia asimétrico. La formulación continua se realiza como en el caso anterior, teniendo en cuenta la situación asimétrica del centro con relación a la periferia.

En el campo discreto se puede considerar el nucleo conformado por una zona central constituida por la primera ó última fila o columna de la matriz de convolución en función de los bloques 40 y 41 del modelo de Kernel presentado en la figura (3.1.2.-A), los restantes elementos constituyen la zona periférica. El cálculo de la periferia se obtiene:

a) Zona central fila

$$MCONV (I,J) = \beta |J-J_c| - \alpha$$

$$I, J=1, IJDIM; I \neq I_{\text{central}}$$

b) Zona central columna

$$MCONV (I,J) = \beta |I-I_c| - \alpha$$

$$I, J =1, IJDIM; J \neq J_{\text{central}}$$

El calculo del centro se realiza:

a) Zona central fila

$$MCONV (I_{\text{central}}, J) = -(IJDIM-1)(\beta \cdot |J-J_c| - \alpha)$$

$$J=1, IJDIM$$

b) Zona central columna

$$MCONV(I, J_{\text{central}}) = -(IJDIM - 1)(\beta \cdot |I - I_c| - \alpha)$$

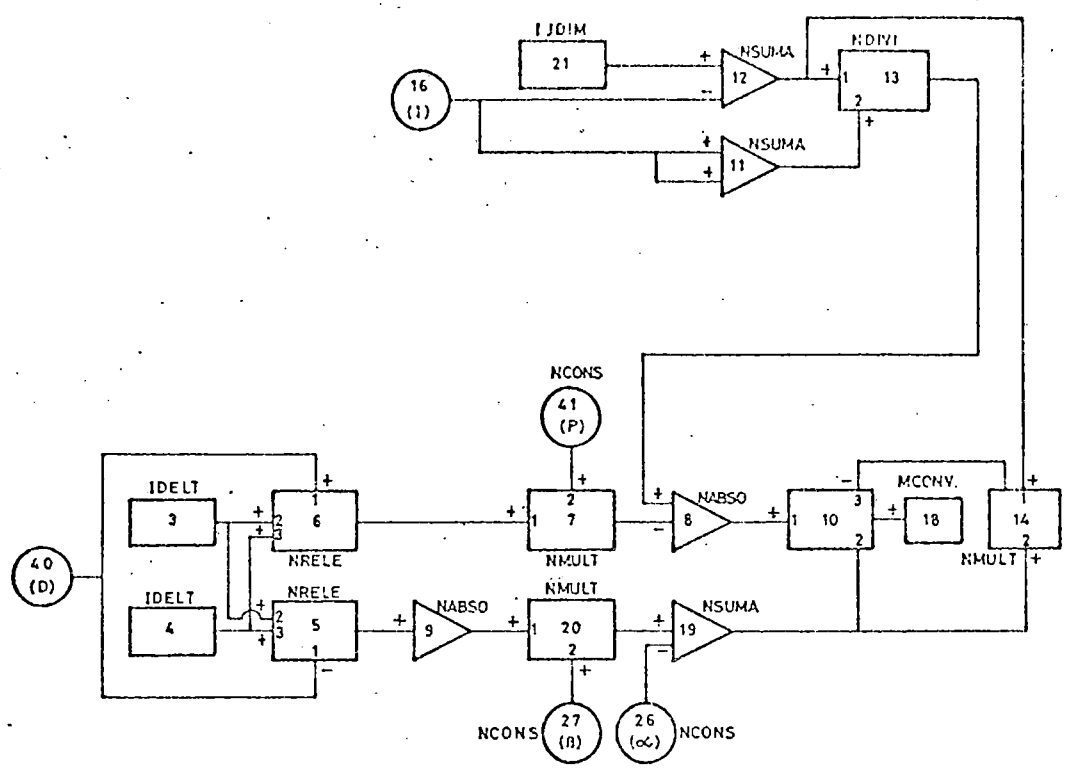
El listado general del modelo se muestra en la figura (3.1.2.-B), la matriz de convolucion espacial que evalua el modelo del Kernel es:

-6	-9	-6
-6	-9	-6
12	18	12

La pelicula asociada al bloque MFILM se muestra en la figura (3.1.1.-C), la señal obtenida a la salida del bloque 10 (MUMBR) puede verse en la figura (3.1.2.-C).

Dado el caracter asimétrico del nucleo, de los cuatro bordes del estimulo solo es detectado el horizontal superior, que coincide con la normal a la dirección preferida, definida esta como la dada por las posiciones relativas de las zonas excitadoras e inhibidoras en el nucleo. El sentido preferido va de la excitación a la inhibición, o sea, hacia arriba en la figura (3.1.2.-C). Asi, el borde inferior, aunque es normal a la dirección preferida, no es detectado por ser el contraste de sentido contrario. La extensión en el sentido contrario de la respuesta al preferido es debido a la extensión espacial del nucleo. Asi mismo, hay una extensión lateral y un efecto de oscurecimiento en las esquinas

MODELO KERNEL 3



MODELO PRINCIPAL

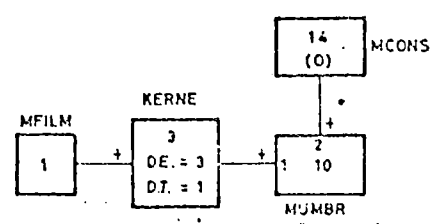


FIGURA (3.1.2-A)
 DETECCIÓN DE CONTRASTE ESPACIAL CON NUCLEO ASIMETRICO
 LOCALIZACION DEL CENTRO. BLOQUE 40 D=1 HORIZONTAL
 D=1 VERTICAL; BLOQUE 41 P=1 ULTIMA; P=-1 PRIMERA

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	3	+1	+0	+0	+1	+3
MUMBR	10	+3	+14	+0	+0	+0
MCONS	14	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 3

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+1.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+1.00
NRELE	5	-40	+3	+4	+1.00
NRELE	6	+40	+3	+4	+1.00
NMULT	7	+6	+41	+0	+1.00
NABSO	8	+13	-7	+0	+1.00
NABSO	9	+5	+0	+0	+1.00
NRELE	10	+8	+19	-14	+1.00
NSUMA	11	+16	+16	+0	+1.00
NSUMA	12	+21	-16	+0	+1.00
NDIVI	13	+12	+11	+0	+1.00
NMULT	14	+12	+19	+0	+1.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
MCONV	18	+10	+0	+0	+1.00
NSUMA	19	+20	-26	+0	+1.00
NMULT	20	+9	+27	+0	+1.00
IJDIM	21	+0	+0	+0	+3.00
NCONS	26	+0	+0	+0	+9.00
NCCNS	27	+0	+0	+0	+3.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+1.00
NCONS	41	+0	+0	+0	+1.00

Fig. 3.1.2.-B

3.2.- NUCLEOS ESPACIO-TEMPORALES FACTORIZABLES

En el caso mas general de interacción lineal, el efecto de un estímulo $X(\alpha, \beta, t)$ sobre la salida de una celula retinal en posición (x, y) es $Y(x, y, t)$ que viene dado por:

$$Y(x, y, s) = \iint_{\alpha \beta} K(x, y, \alpha, \beta, s) X(\alpha, \beta, s) d\alpha d\beta$$

donde $Y(x, y, s)$, $K(x, y, \alpha, \beta, s)$ y $X(\alpha, \beta, s)$ son las transformadas de Laplace correspondientes. Si los efectos de todos los aferentes a la celula retinal tienen una forma temporal identica el nucleo de interacción $K(x, y, \alpha, \beta, s)$ es factorizable, es decir:

$$K(x, y, \alpha, \beta, s) = H(s) \cdot K'(x, y, \alpha, \beta)$$

así, la forma espacio-temporal del nucleo de interacción se obtiene como producto de la parte espacial (representada por una matriz en la formulación discreta) por la transformada inversa de $H(s)$, $H(t)$ que, en la formulación discreta corresponde a una columna de valores temporales. Las dos condiciones que suelen aparecer sobre el nucleo factorizable son consecuencia de la ausencia de respuesta de una celula ante una estimulación uniforme en el espacio y constante en el tiempo, que se refleja en el expresión:

$$\int_{t=0}^{+\infty} \iint_{\alpha \beta} H(t) K'(x, y, \alpha, \beta) d\alpha d\beta dt \leq 0$$

Por otro lado, la finitud de la memoria de la unidad hace que la integral temporal no se extienda a $+\infty$, puesto que, $H(t)$ es nulo por encima de un cierto valor de t .

Consideremos los distintos casos de núcleos factorizables sugeridos por la neurofisiología:

3.2.1.- EFECTO ON

La acción temporal mas sencilla de una fibra aferente a una célula es la de provocar un retardo en la señal que viaja por ella. Los efectos temporales típicos, como son las respuestas de tipo ON, OFF y ON-OFF parecen surgir neurofisiológicamente por la interacción de señales con sus retardadas. La formulación de la acción de retardo, para el caso continuo se hace de la forma siguiente: Para un retardo puro " τ " unidades de tiempo se tendrá un núcleo espacio-temporal en el que la parte espacial se reduce a un punto, mientras que lo mismo ocurre para la parte temporal, es decir:

$$K(x, y, \alpha, \beta, t) = \delta(x - \alpha) \delta(y - \beta) \delta(t - \tau)$$

Para el retardo exponencial en una fibra se tendrá el núcleo

$$K(x, y, \alpha, \beta, s) = \delta(x - \alpha) \delta(y - \beta) \frac{A}{1 + \tau s}$$

La formulación de estos retardos en el campo discreto es para el retardo puro el que se muestra en la figura (3.2.1.-A); en la figura (3.2.1.-C), el retardo lineal; las figuras (3.2.1.-B) y (3.2.1.-D) muestran los listados generales de los modelos respectivos. Las matrices de convolución espacio-temporal son para el retardado puro y el retardo lineal las siguientes:

0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
TDELTA=3	TDELTA=2	TDELTA=1	TDELTA=0

0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0
0.0 0.2 0.0	0.0 0.3 0.0	0.0 0.4 0.0	0 0 0
0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0 0 0
TDELTA=3	TDELTA=2	TDELTA=1	TDELTA=0

El efecto de respuesta ON en la célula retinal, que corresponde a la respuesta ante aumentos locales de la intensidad luminosa, puede expresarse en su forma más sencilla, por la acción de un núcleo espacio-temporal factorizable, donde la parte espacial $K'(x, y, \alpha, \beta)$ es positiva y la parte temporal $H(s)$ viene dada por:

$$H(s) = 1 - \frac{a}{1 + \tau s}$$

que corresponden a la interacción de la señal en cada aferente con su señal retardada exponencialmente. para $a=1$ no hay respuesta a estimulación uniforme, mientras que para $a > 0$ hay efecto ON sostenido. En el dominio de tiempo, se obtiene la expresión continua de la denominada columna temporal, que viene dada por:

$$H(t) = \delta(t) - \frac{e^{-t/\tau}}{\tau}$$

Un caso limite de la expresión anterior corresponde al efecto ON con retardo puro, es decir:

$$H(t) = \delta(t) - \delta(t - \tau)$$

En general, el efecto ON corresponde a una función $H(t)$ que es positiva en un intervalo $(0, t_1)$ y es negativa en el intervalo (t_1, t_2) , anulándose para $t > t_2$. La existencia de efecto sostenido depende del valor de la integral:

$$\int_0^{t_2} H(t) dt = A$$

para $A > 0$ existe efecto sostenido.

Dentro del marco de programas del capítulo segundo, la formulación del efecto ON se realiza de la forma siguiente:

$$MCONV(I, J, TDELT) = (f(\alpha', \beta', TDELT))$$

tal que

$$\sum_{\substack{TEDIM-1 \\ TDELT=0}} MCONV(I, J, TDELT) = 0 \quad I, J=1, IJDIM$$

Siendo $\alpha' = g(\text{TDELTA}) \cdot \alpha$ y $\beta' = g(\text{TDELTA}) \cdot \beta$; esta función g (TDELTA) adopta el valor uno para $\text{TDELTA}=0$ y el valor

$$- \left[\left(1 - \frac{2 \cdot \text{TDELTA}}{\text{TEDIM}} \right) + \frac{1}{\text{TEDIM} - 1} \right]$$

para $\text{TDELTA} = 1, \text{TEDIM}$

La respuesta sostenida a iluminación constante se obtiene multiplicando la parte negativa del núcleo por un factor mayor que cero, la ausencia de este tipo de respuesta se consigue haciendo este factor igual a la unidad. El valor de este factor se asocia al bloque 41E(NCONS).

El esquema del modelo se muestra en la figura (3.2.1.-E) y el listado general del modelo en la figura (3.2.1.-F) Para este tipo de efecto el valor del bloque 26 (NCONS) debe ser positivo. La matriz de convolución espacio-temporal obtenida en el caso de ON puro:

-0.5	-0.5	-0.5	-2.5	-2.5	-2.5	3.0	3.0	3.0
-0.5	-0.5	-0.5	-2.5	-2.5	-2.5	3.0	3.0	3.0
-0.5	-0.5	-0.5	-2.5	-2.5	-2.5	3.0	3.0	3.0
TDELTA=2			TDELTA=1			TDELTA=0		

en el caso de ON con respuesta sostenida:

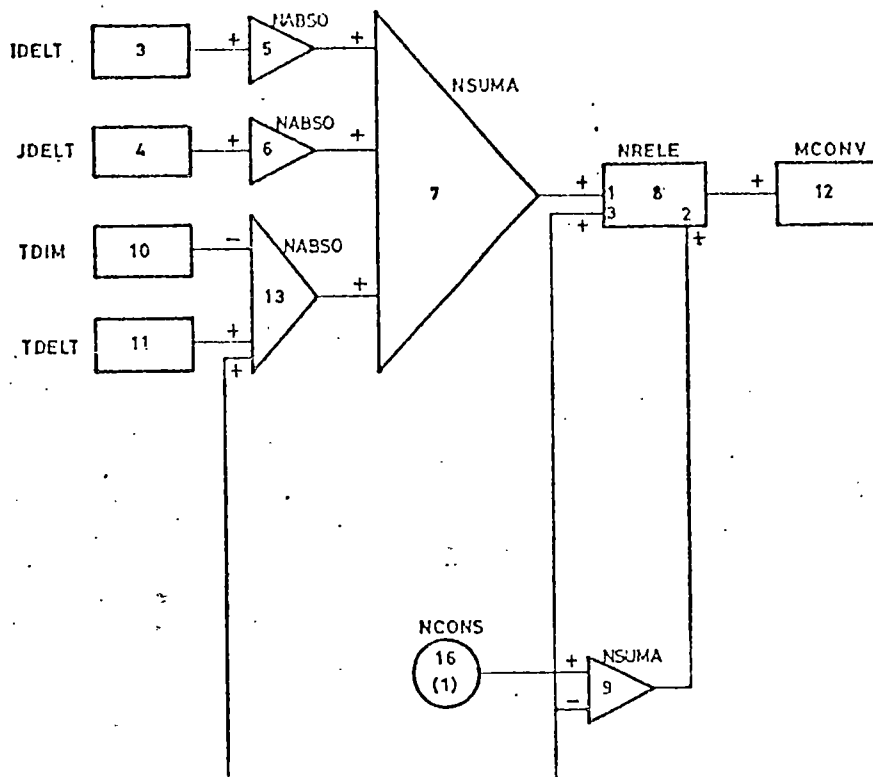
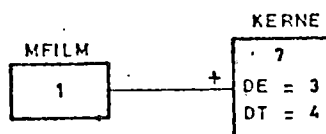
MODELO DEL KERNEL 7MODELO PRINCIPAL

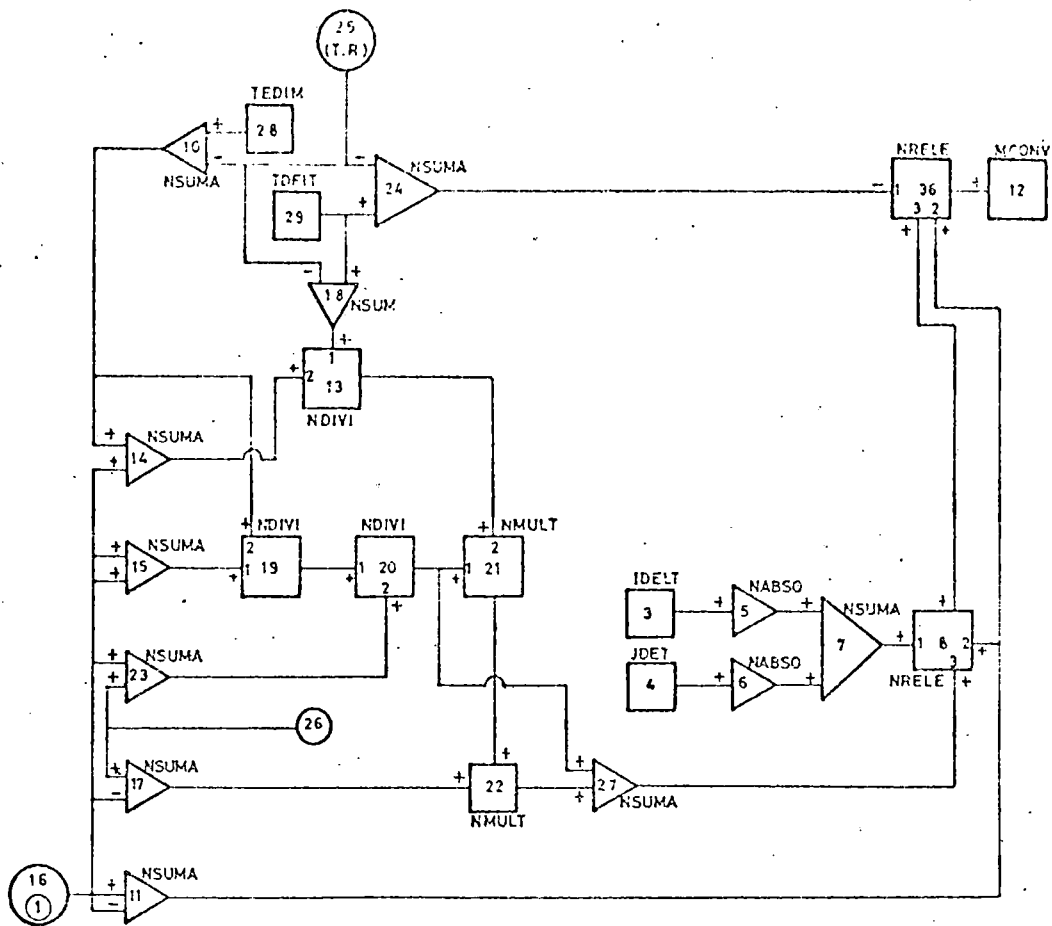
FIGURA (3.2.1-A)
RETARDO PURO

MODELO PRINCIPAL						
TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	7	+1	+0	+0	+4	+3

MODELO DEL NUCLEO 7						
TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR	
ELEMEN	BLOQ	1	2	3		
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00	
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00	
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00	
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00	
NSUMA	7	+5	+6	+13	+0.00	
NRELE	8	+7	+9	+16	+0.00	
NSUMA	9	+16	-16	+0	+0.00	
TEDIM	10	+0	+0	+0	+4.00	
TDELT	11	+0	+0	+0	+0.00	
MCONV	12	+8	+0	+0	+0.00	
NABSO	13	+11	+16	-10	+0.00	
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00	

Fig: 3.2.1.-B

MODELO DEL KERNEL 4



MODELO PRINCIPAL

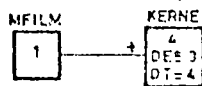


FIGURA (3.2.1-C)
RETARDO LINEAL

MODELO PRINCIPAL

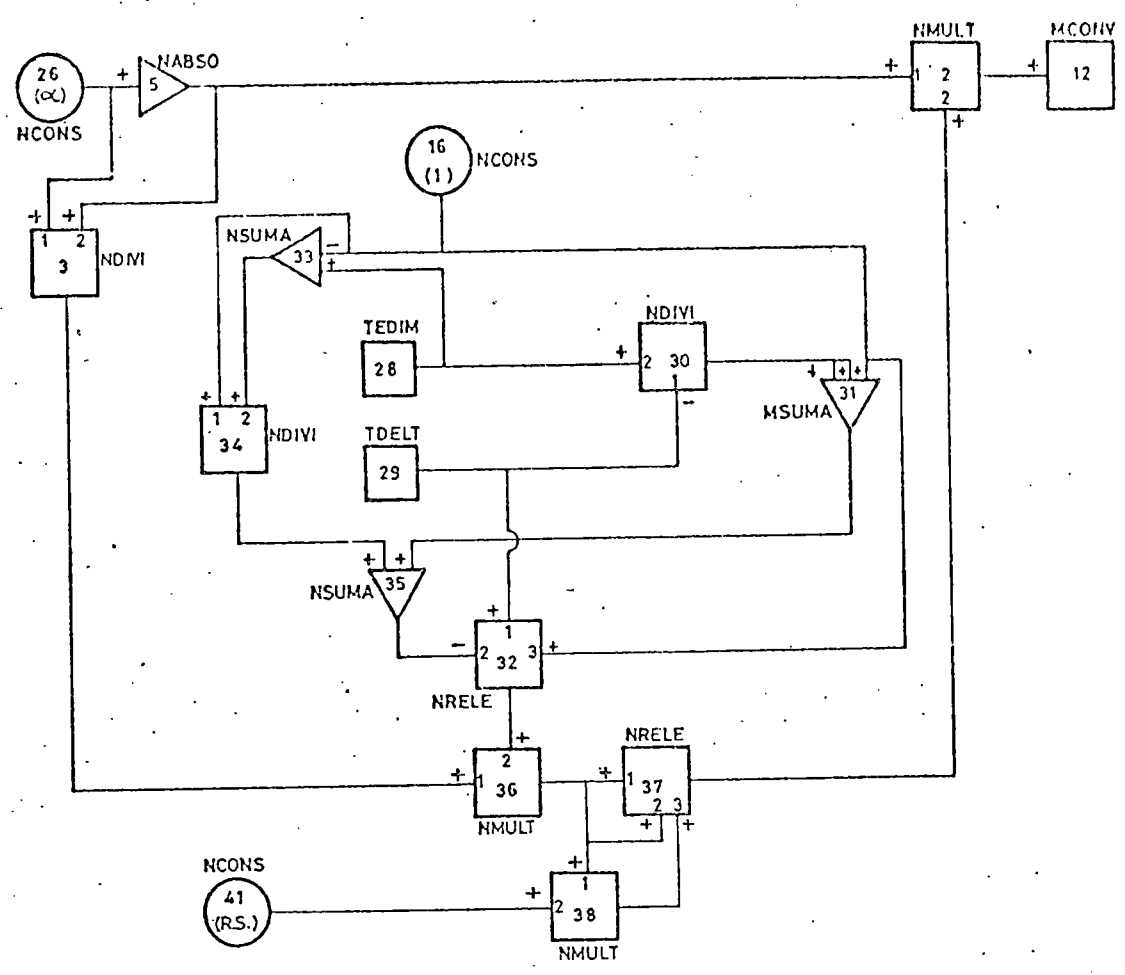
TIPO ELEMEN	NUM BLOQ	ENTR 1	ENTR 2	ENTR 3	RETR CONV	DIM VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	4	+1	+0	+0	+4	+3

MODELO DEL NUCLEO 4

TIPO ELEMEN	NUM BLOQ	ENTR 1	ENTR 2	ENTR 3	VALOR
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	+6	+0	+0.00
NRELE	8	+7	+11	+27	+0.00
NSUMA	10	+28	-25	+0	+0.00
NSUMA	11	+16	-16	+0	+0.00
MCONV	12	+36	+0	+0	+0.00
NDIVI	13	+18	+14	+0	+0.00
NSUMA	14	+10	-16	+0	+0.00
NSUMA	15	+16	+16	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NSUMA	17	+26	-16	+0	+0.00
NSUMA	18	+29	-25	+0	+0.00
NDIVI	19	+15	+10	+0	+0.00
NDIVI	20	+19	+23	+0	+0.00
NMULT	21	+20	+13	+0	+0.00
NMULT	22	+17	+21	+0	+0.00
NSUMA	23	+16	+26	+0	+0.00
NSUMA	24	-25	+29	+0	+0.00
NCONS	25	+0	+0	+0	+1.00
NCONS	26	+0	+0	+0	+0.50
NSUMA	27	+20	+22	+0	+0.00
TEDIM	28	+0	+0	+0	+4.00
TDELT	29	+0	+0	+0	+0.00
NRELE	36	-24	+11	+8	+0.00

Fig. 3.2.1.-D

MODELO DEL KERNEL 5



MODELO PRINCIPAL

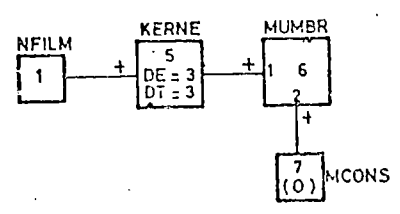


FIGURA (3.2.1-E)

DETECCION 'ON' PURO (1); 'OFF' PURO (2); 'ON' CON RESPUESTA SOSTENIDA (3); Y 'OFF' CON RESPUESTA SOSTENIDA (4).
 1) $\alpha > 0$, R.S. = 1 ; 2) $\alpha < 0$, R.S. = 1 ; 3) $\alpha > 0$, $0 < R.S. < 1$; 4) $\alpha < 0$, $0 < R.S. < 1$
 EN LOS BLOQUES 26 y 41.

MODELO PRINCIPAL

TIPO ELEMEN	NUM BLOQ	ENTR 1	ENTR 2	ENTR 3	RETR CONV	DIM VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	5	+1	+0	+0	+3	+3
MUMBR	6	+5	+7	+0	+0	+0
MCONS	7	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 5

TIPO ELEMEN	NUM BLOQ	ENTR 1	ENTR 2	ENTR 3	VALOR
NMULT	2	+5	+37	+0	+0.00
NDIVI	3	+26	+5	+0	+0.00
NABSO	5	+26	+0	+0	+0.00
MCONV	12	+2	+0	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NCONS	26	+0	+0	+0	+3.00
TEDIM	28	+0	+0	+0	+3.00
TDELT	29	+0	+0	+0	+0.00
NDIVI	30	-29	+28	+0	+0.00
NSUMA	31	+30	+30	+16	+0.00
NRELE	32	+29	-35	+16	+0.00
NSUMA	33	-16	+28	+0	+0.00
NDIVI	34	+16	+33	+0	+0.00
NSUMA	35	+34	+31	+0	+0.00
NMULT	36	+3	+32	+0	+0.00
NRELE	37	+36	+36	+38	+0.00
NMULT	38	+36	+41	+0	+0.00
NCONS	41	+0	+0	+0	+1.00

Fig. 3.2.1.-F

FILM : ESTIMULOS INTERMITENTES FOTOGAMA NUMERO 2

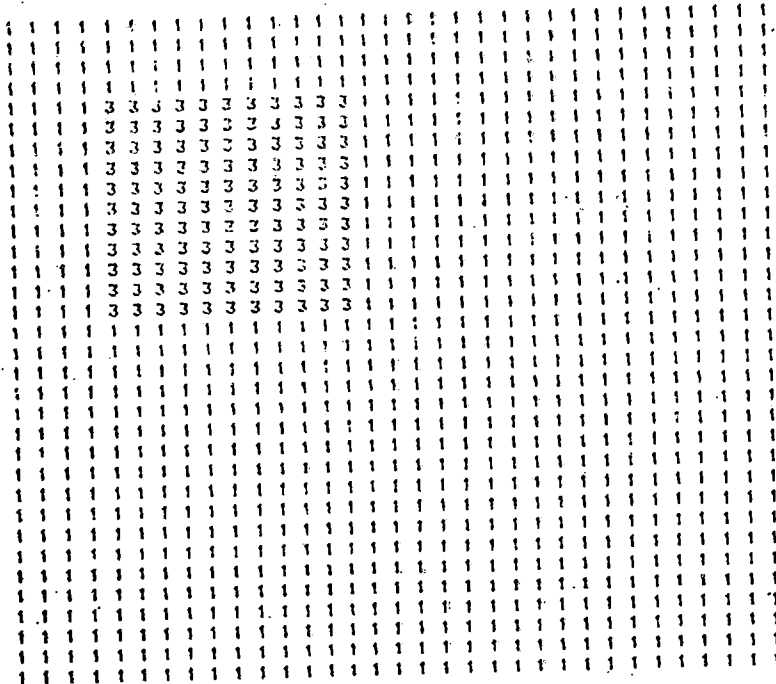
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

FILM : ESTIMULOS INTERMITENTES FOTOGAMA NUMERO 3

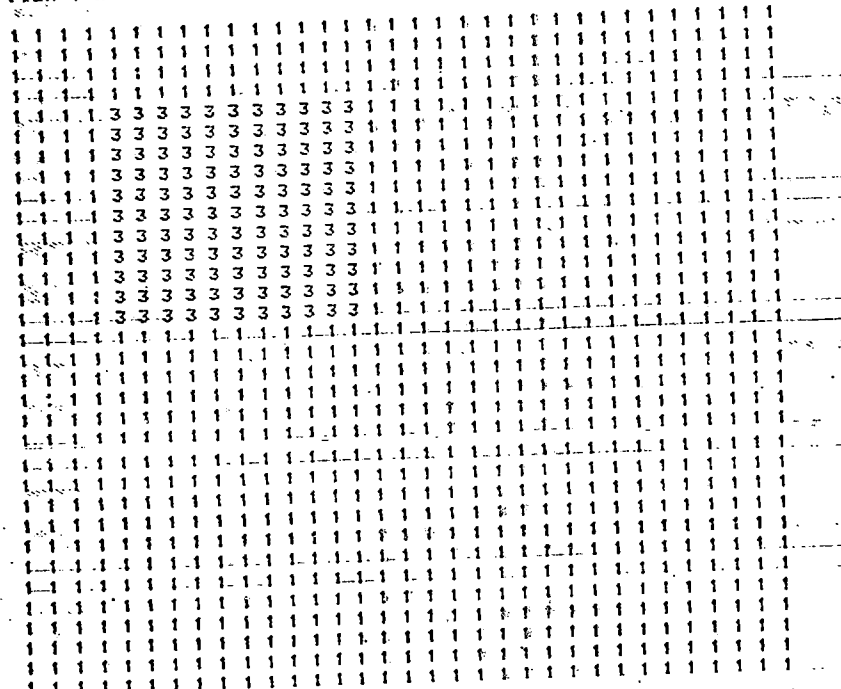
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

FONDO CUADR	1 2 3	+0 +10 +24	+0 +10 +24	+33 +11 +11	+0 +0 +0	+1 +1 +1	+0 +3 +6	+0 +3 +3	+0 +3 +3	+0 +0 +0	ESTI - NIVEL	
											CEN- HOR.	DEN- VER.
							BAJA	NUM. FOT.	HUM. FOT.	LUM. ALTA	VER. ALTA	VER. HOR.

Fig. 3.2.1.-G



FILM : ESTIMULOS INTERMITENTES FOTOGRAFIA NUMERO 5



FILM : ESTIMULOS INTERMITENTES FOTOGRAFIA NUMERO 6

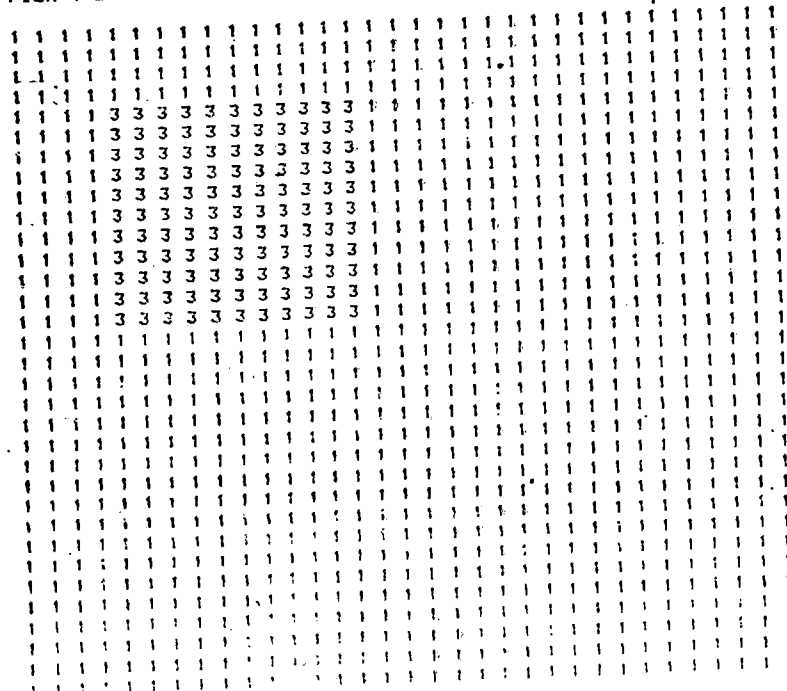
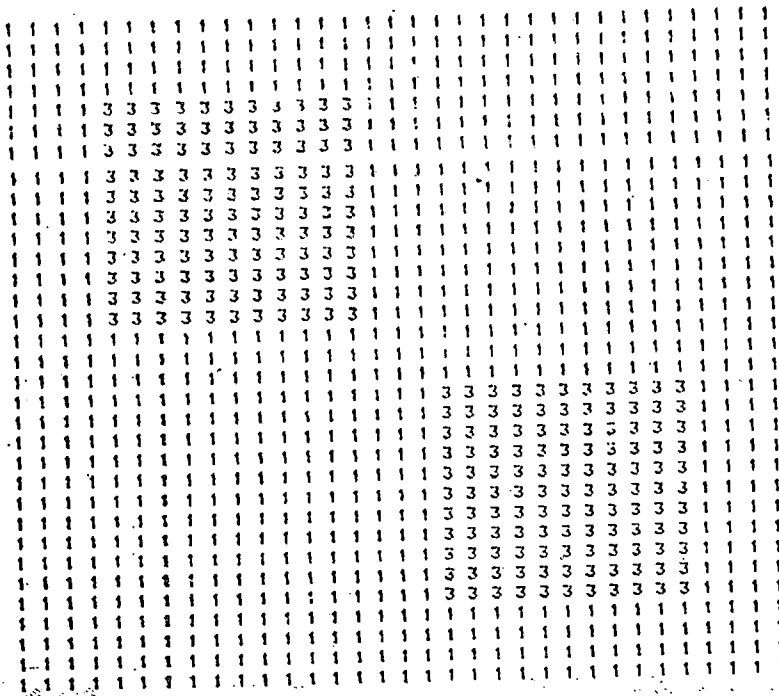
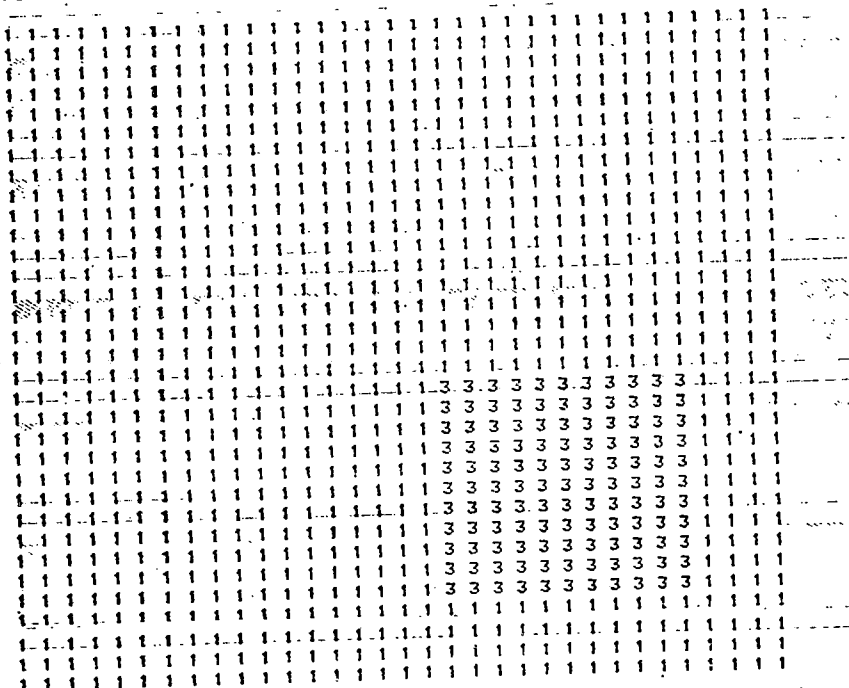


Fig. 3.2.1.-G
(cont.)



FILM ESTIMULOS INTERMITENTES FOTOGAMA NUMERO 8



FILM ESTIMULOS INTERMITENTES FOTOGAMA NUMERO 9

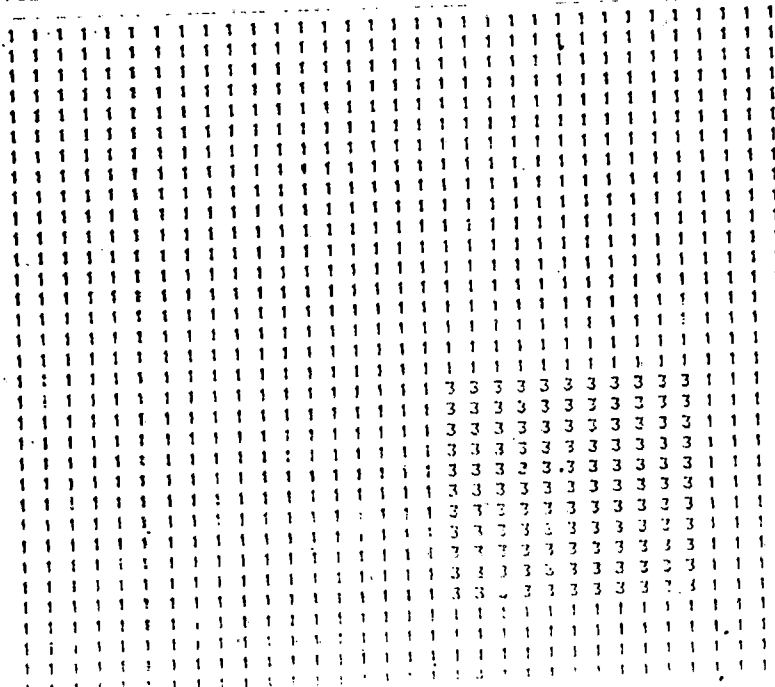


Fig. 3.2.1.-G (cont.2)

FILM : ESTIMULOS INTERMITENTES FOTOGAMA NUMERO 10

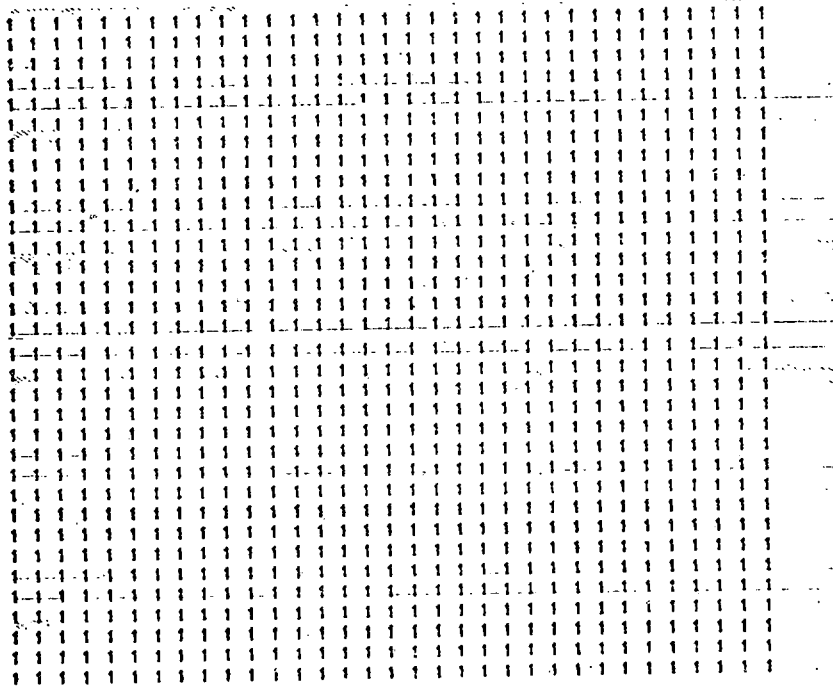


Fig. 3.2.1.-G

(cont.3)

Table with 40 columns and multiple rows of numerical data, mostly zeros and some non-zero values like 2, 4, 6, 8, and J.

SALIDA 5 BLOQUE 6

Table with 40 columns and multiple rows of numerical data, including sequences of 1s, 2s, 3s, and 4s.

SALIDA 6 BLOQUE 6

Table with 40 columns and multiple rows of numerical data, including sequences of 0s, 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 6s, 7s, 8s, and 9s.

Fig. 3.2.1.-II
(cont.1)

-0.25	-0.25	-0.25	-1.25	-1.25	-1.25	3,0	3.0	3.0
-0.25	-0.25	-0.25	-1.25	-1.25	-1.25	3.0	3.0	3.0
-0.25	-0.25	-0.25	-1.25	-1.25	-1.25	3.0	3.0	3.0
TDELTA=2			TDELTA=1			TDELTA=0		

La película asociada al bloque MFILM se muestra en la figura (3.2.1.-G), y corresponde a dos cuadros que aparecen y desaparecen en el campo receptivo. La acción del efecto ON puede observarse en las imágenes procesadas, de la figura (3.2.1.-H). El efecto ON provoca un transitorio que cubre todo el campo y desaparece en la salida temporal No.3. En la salida No.4 puede observarse que el efecto ON provocado por la aparición de uno de los estímulos, respuesta que persiste en la salida No.5 y desaparece en la No. 6 aunque el estímulo permanece constante. El máximo valor ON corresponde a la zona central del estímulo, mientras que en la periferia está más difuminado, debido a la extensión espacial del núcleo.

El efecto por la aparición del segundo estímulo es análogo. La desaparición de los estímulos no provoca respuesta.

3.2.2.- EFEECTO OFF

El efecto OFF corresponde a la respuesta de una célula retinal antes disminuciones locales de la intensidad luminosa en su campo receptivo.

De forma analoga, el efecto es expresable, en su forma mas sencilla, por un nucleo espacio-temporal factorizable donde la parte espacial $K'(x, y, \alpha, \beta)$ es positiva y la parte temporal viene dada:

$$H(s) = \frac{1}{1 + \gamma s} - a$$

correspondiente, asi mismo a la interacción de la señal en cada aferente con su retardada. Para $a=1$ no existe efecto sostenido. En el dominio temporal la columna correspondiente es:

$$H(t) = \frac{1}{\gamma} \cdot e^{-t/\tau} - \delta(t)$$

En general, el efecto OFF corresponde a una función $H(t)$ que es negativa en el intervalo $(0, t_1)$, positiva en el intervalo (t_1, t_2) y cero para $t > t_2$. La no existencia de efecto sostenido suele ser la regla en el efecto OFF, por lo que

$$\int_0^{t_2} H(t) dt = 0$$

La formulación de este tipo de efecto es analoga a la del efecto ON sin mas que invertir los signos en la dirección temporal de los elementos matriciales. El esquema del modelo se muestra en la figura (3.2.1.-E) y el listado general del modelo en la figura (3.2.2.-A).

Para este tipo de efecto el valor del bloque 26 (NCONS) debe ser negativo. La matriz de convolución espacio-temporal es en el caso de OFF puro:

0.5	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5	-3.0	-3.0	-3.0
0.5	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5	-3.0	-3.0	-3.0
0.5	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5	-3.0	-3.0	-3.0
TDELTA=2			TDELTA=1			TDELTA=0		

En el caso de OFF con respuesta sostenida:

0.25	0.25	0.25	1.25	1.25	1.25	-3.0	-3.0	-3.0
0.25	0.25	0.25	1.25	1.25	1.25	-3.0	-3.0	-3.0
0.25	0.25	0.25	1.25	1.25	1.25	-3.0	-3.0	-3.0
TDELTA=2			TDELTA=1			TDELTA=0		

La película que proyecta el bloque MFILM puede verse en la figura (3.2.1.-G), y es la misma usada para el efecto ON. Los resultados del proceso se muestran en la figura (3.2.2.-B). El efecto transitorio del comienzo del proceso no se manifiesta, ya que ese transitorio es un transitorio ON. La aparición de los estímulos no provoca respuesta, mientras que su desaparición, (salida temporal No.8), provoca un transitorio que se prolonga hasta la salida No.9 y desaparece luego. Los efectos de esparcimiento lateral del estímulo y de respuesta máxima en el centro del mismo son análogos a los aparecidos en la res-

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	5	+1	+0	+0	+3	+3
MUMBR	6	+5	+7	+0	+0	+0
MCONS	7	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 5

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
NMULT	2	+5	+37	+0	+1.00
NDIVI	3	+26	+5	+0	+1.00
NABSO	5	+26	+0	+0	+1.00
MCONV	12	+2	+0	+0	+1.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NCONS	26	+0	+0	+0	-3.00
TEDIM	28	+0	+0	+0	+3.00
TDELT	29	+0	+0	+0	+1.00
NDIVI	30	-29	+28	+0	+1.00
NSUMA	31	+30	+30	+16	+1.00
NRELE	32	+29	-35	+16	+1.00
NSUMA	33	-16	+28	+0	+1.00
NDIVI	34	+16	+33	+0	+1.00
NSUMA	35	+34	+31	+0	+1.00
NMULT	36	+3	+32	+0	+1.00
NRELE	37	+36	+36	+38	+1.00
NMULT	38	+36	+41	+0	+1.00
NCONS	41	+0	+0	+0	+1.00

Fig. 3.2.2.-A

puesta ON.

3.2.3.- EFEECTO ON-OFF LINEAL

El efecto ON-OFF local, esto es, respuestas de la célula tanto a aumentos como a disminuciones locales de la intensidad luminosa; está por lo común, asociado a operaciones no lineales de las células retinales. Sin embargo, es posible presentar una formulación lineal si el efecto OFF está retardado con respecto al efecto ON o viceversa. Este puede ser el caso, en un cierto rango de la intensidad de la iluminación, para algunas células ganglionares de la retina de los vertebrados superiores. Según las consideraciones de las secciones anteriores, el efecto ON-OFF lineal viene representado por un núcleo espacio-temporal donde la parte espacial es positiva y la parte temporal está dada por una función $H(t)$ tal que, en el intervalo $(0, t_1)$ es positiva, en el intervalo (t_1, T_2) es negativa y en el intervalo (t_2, t_3) vuelve a ser positiva, siendo nula para $t > t_3$. En el efecto ON-OFF no existe respuesta sostenida por lo que la integral

$$\int_0^{t_2} H(t) dt = 0$$

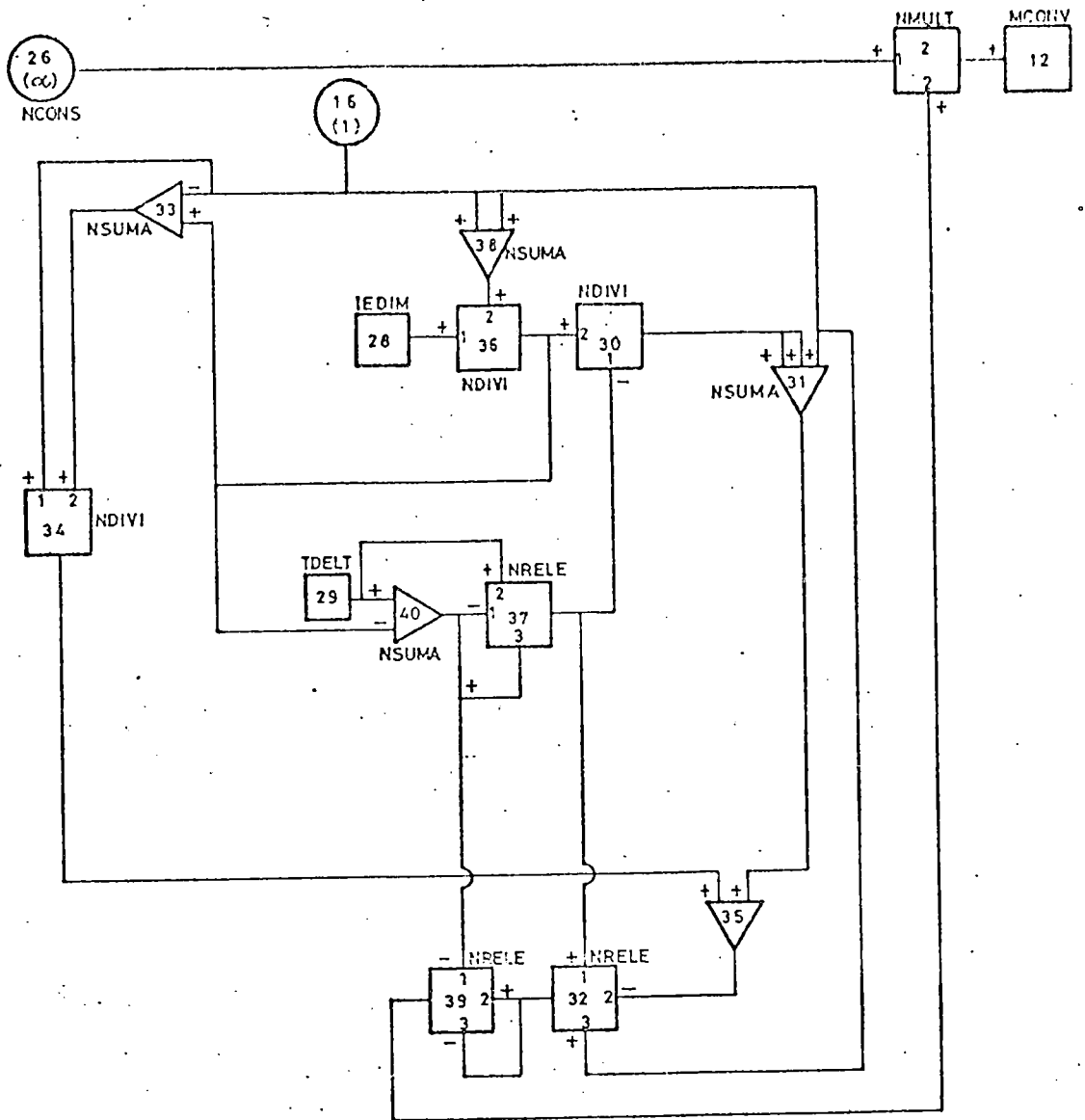
Bajo el software desarrollado en el capítulo segundo, la formulación de este efecto es como sigue: la dimensión temporal de este Kernel es dividida en dos mitades en la primera de ellas (la que actúa en tiempos más recientes) se ubica en un núcleo ON de dimensión temporal $TEDIM/2$ y en la segunda de ellas se instala un núcleo OFF de igual dimensión que la anterior, resultando un núcleo ON-OFF lineal, este orden se invierte si el valor asociado al bloque 26 (NCONS) es negativa, dando como resultado un modelo ON-OFF lineal.

El esquema del modelo se muestra en la figura (3.2.3.-A) y el listado general del modelo en la figura (3.2.3.-B)

La matriz de convolución resultante será:

0.5	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5	-3.0	-3.0	-3.0
0.5	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5	-3.0	-3.0	-3.0
0.5	0.5	0.5	2.5	2.5	2.5	-3.0	-3.0	-3.0
TDELT=5			TDELT=4			TDELT=3		
-0.5	-0.5	-0.5	-2.5	-2.5	-2.5	3.0	3.0	3.0
-0.5	-0.5	-0.5	-2.5	-2.5	-2.5	3.0	3.0	3.0
-0.5	-0.5	-0.5	-2.5	-2.5	-2.5	3.0	3.0	3.0
TDELR=2			TDELT=1			TDELT=0		

MODELO DEL KERNEL 6.



MODELO PRINCIPAL

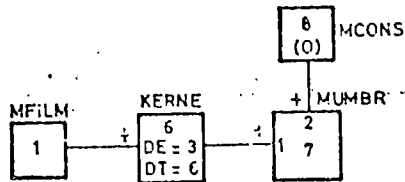


FIGURA (3.2.3 - A)

DETECCION ON-OFF LINEAL (1), OFF-ON LINEAL (2)
 1) $\alpha > 0$; 2) $\alpha < 0$ EN BLOQUE 26

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALDR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	6	+1	+0	+0	+6	+3
MUMBR	7	+6	+8	+0	+0	+0
MCONS	8	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 6

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
NMULT	2	+26	+39	+0	+ .00
MCONV	12	+2	+0	+0	+ .00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1 .00
NCONS	26	+0	+0	+0	+3 .00
TEDIM	28	+0	+0	+0	+6 .00
TDELT	29	+0	+0	+0	+ .00
NDIVI	30	-37	+36	+0	+ .00
NSUMA	31	+30	+30	+16	+ .00
NRELE	32	+37	-35	+16	+ .00
NSUMA	33	+36	-16	+0	+ .00
NDIVI	34	+16	+33	+0	+ .00
NSUMA	35	+31	+34	+0	+ .00
NDIVI	36	+28	+39	+0	+ .00
NRELE	37	-40	+29	+40	+ .00
NSUMA	38	+16	+16	+0	+ .00
NRELE	39	-40	+32	-32	+ .00
NSUMA	40	+29	-36	+0	+ .00

Fig. 3.2.3.-B

3.2.4.- DETECCION DE CONTRASTES EN MOVIMIENTO

La combinación de los efectos temporales ON y OFF con un nucleo espacial detector de contrastes proporciona de forma automática la propiedad de detección de contrastes en movimiento, propiedad que es frecuente en un numero elevado de células ganglionares de la retina de los vertebrados. En este caso, la parte espacial del núcleo es detectora de contrastes locales, esto es, organizada en la forma centro-periferia, mientras que la parte temporal es la correspondiente al efecto ON u OFF. Consideremos el efecto ON con un nucleo espacial y excitador y periferia inhibidora, es decir:

$$K(x,y,\alpha,\beta,t)=H(t) \left[K_1(x,y,\alpha,\beta)-K_2(x,y,\alpha,\beta) \right]$$

donde K_1 se refiere al centro y K_2 a la periferia, siendo K_1 y K_2 funciones positivas. $H(t)$ es la forma ON, esto es, positiva en el intervalo $(0, t_1)$ y negativa para el intervalo (t_1, t_2) y cero para $t > t_2$. Por ser K_1 positivo, el centro del campo receptivo es de naturaleza ON. Pero dada la inversión del signo en K_2 , la periferia se comporta como OFF localmente. Es decir, la organización espacio temporal del campo receptivo es de centro ON y periferia OFF. Esta es la organización típica

de las células concéntricas en la retina del gato.

Considerando la formulación de estos núcleos en el campo discreto, las condiciones que debe cumplir la matriz de convolución son:

$$a) \quad MCONS(I_c, J_c, TDELT) = - \sum_{\substack{I, J=1 \\ I, J \neq I_c, J_c}}^{IJDIM} MCONV(I, J, TDELT)$$

$$TDELT = 0, TEDIM-1$$

Ello implica que si no existe contraste espacial, la convolución dará cero.

$$b) \quad \sum_{TDELT=0}^{TEDIM-1} MCONV(I, J, TDELT) = 0 \quad I, J=1, IJDIM$$

Exige que haya contraste temporal pues de otra manera la convolución será nula.

Lógicamente se supone que la influencia cuantitativa sobre la componente temporal de la matriz de convolución disminuye con el tiempo, es decir, la excitación producida en el instante actual tendrá una mayor influencia que la excitación producida en los instantes pasados (memoria de la neurona).

Del mismo modo que los componentes espaciales de dicha matriz para cada valor de la componente temporal, disminuyen al alejarse del elemento central, puesto que, también es de esperar que la influencia de la excitación disminuya espacialmente respecto a la zona de incidencia del estímulo en cuestión.

Definiendo:

$$\bar{w} = \max (|I - I_c| , |J - J_c|)$$

una posible formulación de la condición (b), para kernels espacio-temporales factorizables es:

- 1) Para $TDELTA = 0$, cualquier elemento no central de la matriz de convolución vendrá definido por: $(\beta w - \alpha)$
- 2) Para cualquier otro $TDELTA$ entre 1 y $TEDIM - 1$, tanto como vendrán afectados por un factor dependiente de $TDELTA$, tal como

$$= \left[\left(1 - \frac{2 \cdot TDELTA}{TEDIM} \right) + \frac{1}{TEDIM-1} \right]$$

ya que

$$(\beta w - \alpha) - \sum_{TDELTA=1}^{TEDIM-1} (\beta w - \alpha) \left[\left(1 - \frac{2 \cdot TDELTA}{TEDIM} \right) + \frac{1}{TEDIM-1} \right] =$$

$$= 1 - \sum_{TDELTA=1}^{TEDIM-1} \left[\left(1 - \frac{2 \cdot TDELTA}{TEDIM} \right) + \frac{1}{TEDIM-1} \right] = 0$$

El esquema del modelo puede verse en la figura (3.2.4.-A) y el listado general en la figura (3.2.4.-B). La matriz de convolución que evalúa el modelo del Kernel es:

+1.000	+1.000	+1.000	+5.000	+5.000	+5.000
+1.000	-8.000	+1.000	+5.000	-40.000	+5.000
+1.000	+1.000	+1.000	+5.000	+5.000	+5.000

TDEL T=2

TDEL T=1

-6.000	-6.000	-6.000
-6.000	+48.000	-6.000
-6.000	-6.000	-6.000

TDEL T=0

La película que proyecta el bloque MFILM se muestra en la figura (3.2.4.-C).

Esta corresponde a dos estímulos iniciales (dos cuadros) uno fijo y otro móvil, más un cuadro que aparece de pronto en el fotograma No.4 y desaparece en el fotograma No.7. La respuesta correspondiente al efecto de este núcleo se muestra en la figura (3.2.4.-D). El núcleo tiene carácter total ON-OFF, por lo que se pone de manifiesto en el transitorio inicial del proceso, que llega hasta el fotograma de salida temporal 2.

En la salida No. 3 puede observarse que el estímulo en reposo no es detectado, mientras que el borde anterior del

estímulo en movimiento dá una respuesta elevada, debido al efecto ON del centro del nucleo, respuesta que espacialmente está bien definida.

El borde posterior es así mismo, detectado, por el caracter OFF de la periferia del nucleo, proporcionando una respuesta doble, donde la anterior (niveles de intensidad G) está mas definida que la posterior (niveles B,3).

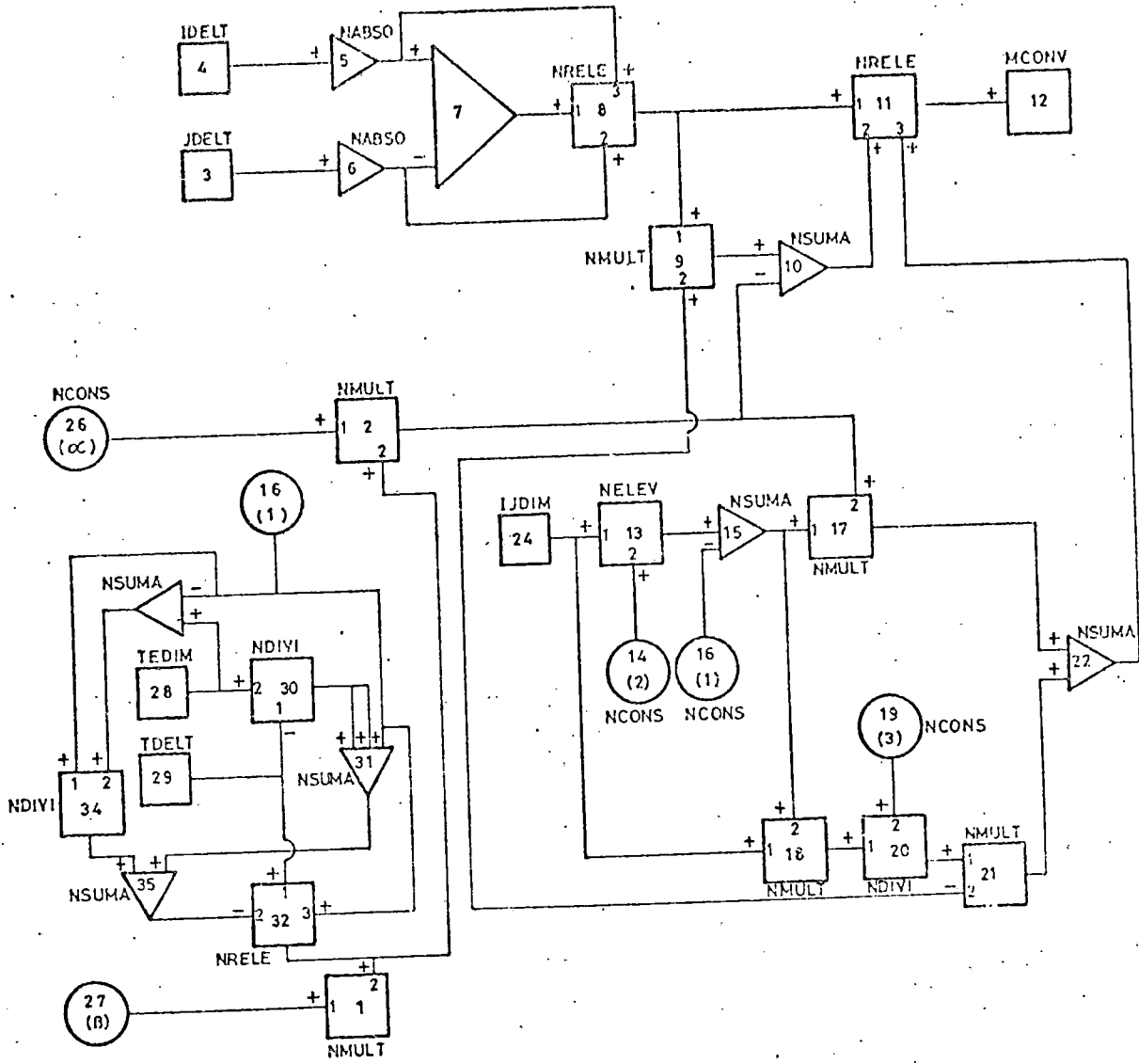
Hay un efecto de oscurecimiento en las esquinas, en oposición al abrillantamiento de las esquinas en el frente ON. La doble respuesta no existe en las esquinas, donde se tiene un efecto OFF normal, solo que esparcido en cuatro unidades de tiempo.

El efecto OFF normal en las esquinas se explica ya que el estímulo en movimiento no llega a excitar la región central correspondiente de las células que se encuentran en esa posición.

La doble respuesta aparece como consecuencia de que la región central ON se comporta como inhibidor OFF. Análogamente, el abrillantamiento de las esquinas del frente ON se explica porque la periferia excitada OFF, se comporta como inhibidor ON.

La desaparición del estímulo (fotograma de salida No.7) provoca un típico efecto OFF, pero con una acción de halo alrededor de los bordes del estímulo, de nuevo, debido a la acción de la periferia.

MODELO DEL KERNEL 1



MODELO PRINCIPAL

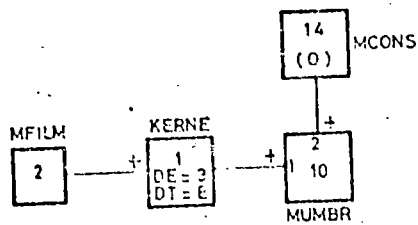


FIGURA (35.4-A)
 DETECCION DE CONTRASTE ESPACIO TEMPORAL
 CON NUCLEO ESPACIAL SIMETRICO.

MÓDELO PRINCIPAL

TIPO ELEMEN	NUM BLOQ	ENTR 1	ENTR 2	ENTR 3	RETR CONV	DIM VALOR
		1	2	3		
KERNE	1	+2	+0	+0	+3	+3
MFILM	2	+0	+0	+0	+0	+0
NUMBR	10	+1	+14	+0	+0	+0
MCONS	14	+0	+0	+0	+0	+0

MÓDELO DEL NUCLEO 1

TIPO ELEMEN	NUM BLOQ	ENTR 1	ENTR 2	ENTR 3	VALOR
		1	2	3	
NMULT	1	+27	+32	+0	+0.00
NMULT	2	+26	+32	+0	+0.00
JDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
IDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+4	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+3	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+6	+0.00
NRELE	8	+7	+5	+0	+0.00
NMULT	9	+8	+1	+0	+0.00
NSUMA	10	+9	-2	+0	+0.00
NRELE	11	+8	+10	+22	+0.00
MCONV	12	+11	+0	+0	+0.00
NELEV	13	+24	+14	+0	+2.00
NCONS	14	+0	+0	+0	+0.00
NSUMA	15	+13	-16	+0	+1.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+0.00
NMULT	17	+2	+15	+0	+0.00
NMULT	18	+15	+24	+0	+3.00
NCONS	19	+0	+0	+0	+0.00
NDIVI	20	+18	+19	+0	+0.00
NMULT	21	+20	+1	+0	+0.00
NSUMA	22	+17	-21	+0	+3.00
IJDIM	24	+0	+0	+0	+9.00
NCONS	26	+0	+0	+0	+3.00
NCONS	27	+0	+0	+0	+3.00
YEDIM	28	+0	+0	+0	+0.00
YDELT	29	+0	+0	+0	+0.00
NDIVI	30	-29	+28	+0	+0.00
NSUMA	31	+30	+30	+16	+0.00
NRELE	32	+29	-35	+16	+0.00
NSUMA	33	+23	-16	+0	+0.00
NDIVI	34	+16	+33	+0	+0.00
NSUMA	35	+34	+31	+0	+0.00

Fig. 3.2.4.-B

Table with 4 rows and multiple columns of data. The bottom row contains the text 'FILM : CUADRO FIJ., MOV. E INTERMI. FOTOGRAFIA NUMERO 2'.

FONDO CUADR CUADR	NIVEL HOR. VER.	CEN- VER.	CEN- DIM. MAY. MEN.	DIM. LUM. BAJA	NUM. FOT. ALTA	NUM. LUM. ALTA	VEL. VER. HOR.
1	+0	+0	+33	+0	+1	+0	+0
2	+24	+10	+11	+0	+3	+0	-1
3	+24	+24	+11	+0	+3	+0	+0
4	+10	+24	+11	+0	+1	+3	+0

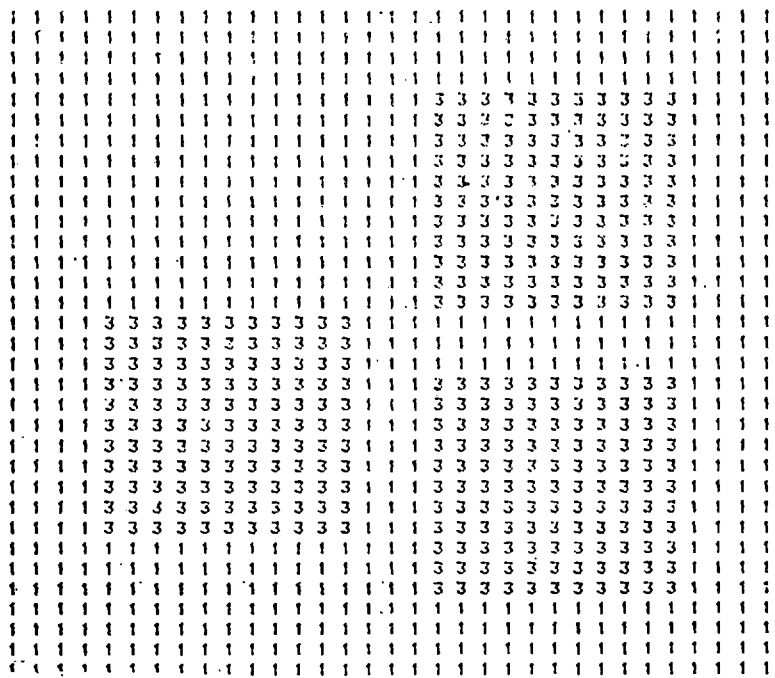
FILM : CUADRO FIJ., MOV. E INTERMI. FOTOGRAFIA NUMERO 2

Table with 4 rows and multiple columns of data. The bottom row contains the text 'FILM : CUADRO FIJ., MOV. E INTERMI. FOTOGRAFIA NUMERO 3'.

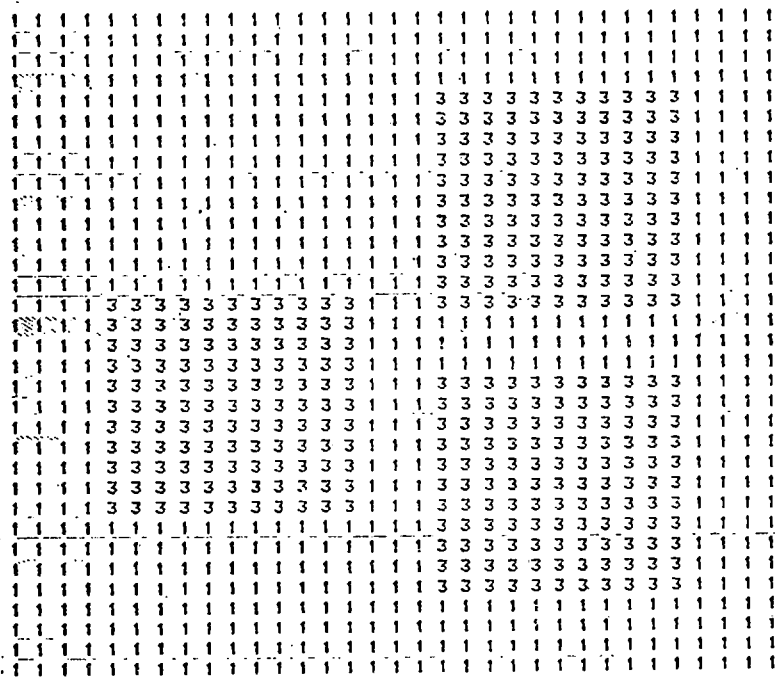
FILM : CUADRO FIJ., MOV. E INTERMI. FOTOGRAFIA NUMERO 3

Table with 4 rows and multiple columns of data. The bottom row contains the text 'FILM : CUADRO FIJ., MOV. E INTERMI. FOTOGRAFIA NUMERO 3'.

Fig. 3.2.4.-C



FILM : CUADRO FIJ.,MOV. E INTERMI. FOTOGRAFIA NUMERO 5



FILM : CUADRO FIJ.,MOV. E INTERMI. FOTOGRAFIA NUMERO 6

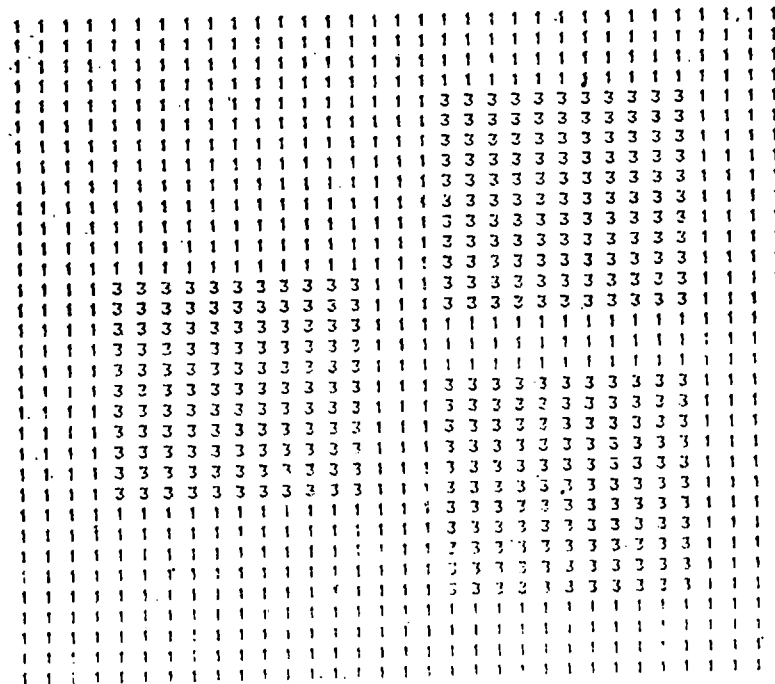
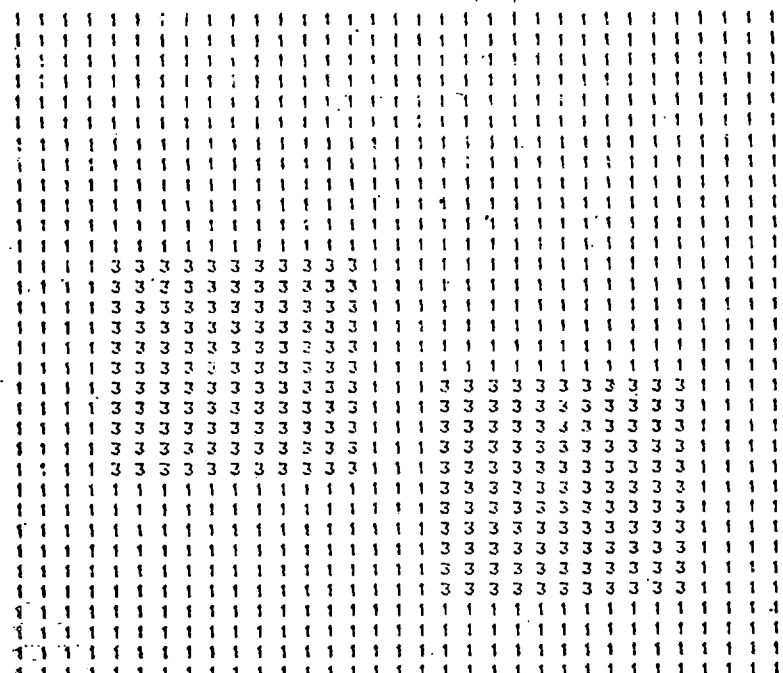
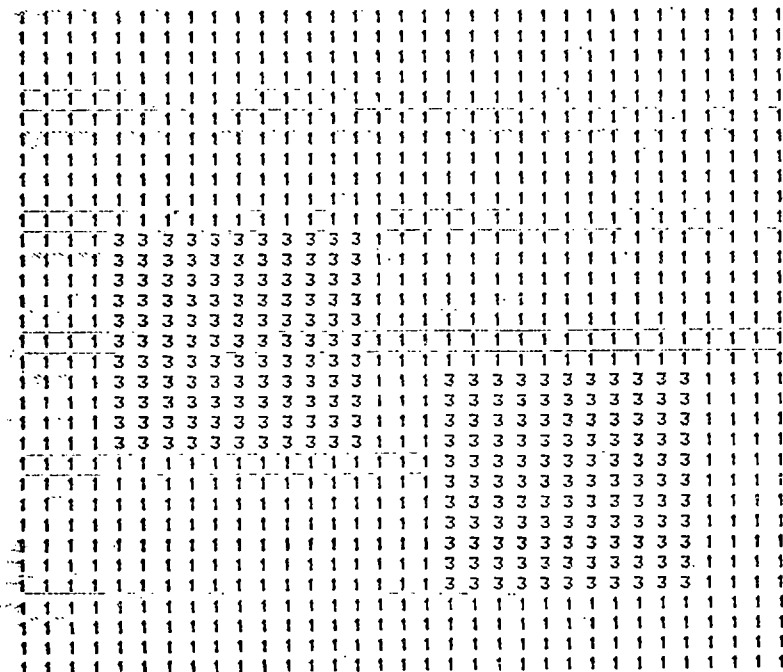


Fig. 3.2.4-C
(cont.1)



FILM CUADRO FIJ.,MOV. E INTERNI. FOTOGRAFIA NUMERO 8



FILM CUADRO FIJ.,MOV. E INTERNI. FOTOGRAFIA NUMERO 9

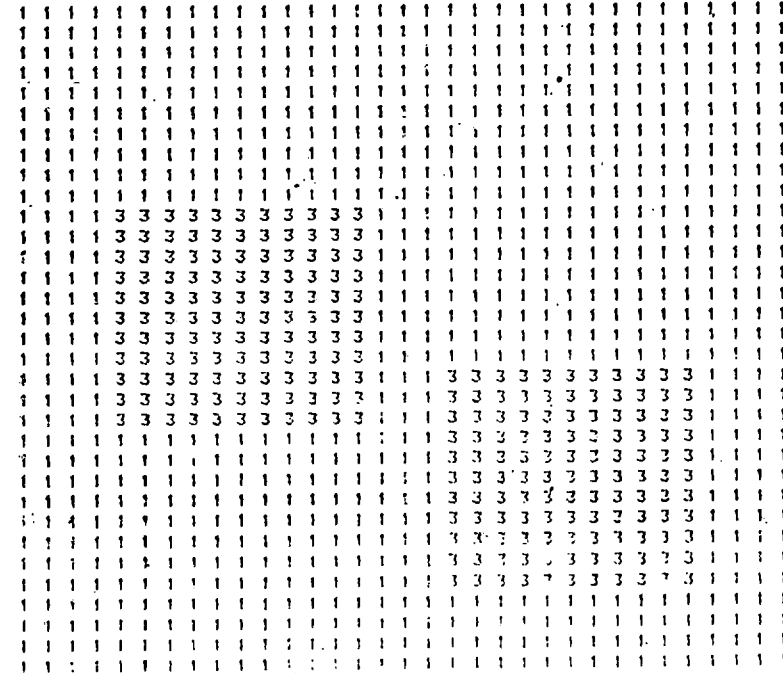


Fig. 3.2.4.-C (cont.2)

FILM Y CUADRO FIJ., MOV. E INTERNI. FOTOGAMA NUMERO 10

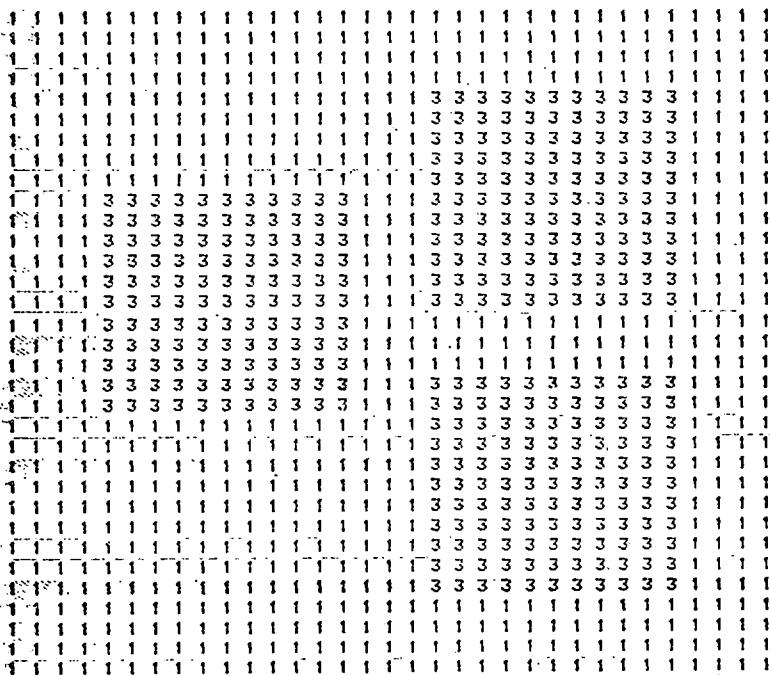


Fig. 3.2.4.-C

(cont.3)

3.2.5.- NUCLEOS SUMA DE FACTORIZABLES

Los nucleos suma de factorizables se expresan por:

$$K(x, y, \alpha, \beta, s) = \sum_i H_i(s) \cdot K_i(x, y, \alpha, \beta)$$

La correspondencia neurofisiológica de estos nucleos se encuentra en la organización de campos receptivos en zonas excitadoras e inhibitoras con funciones de transferencia diferentes.

Para los casos de organización espacial simétrica, con centro excitador y periferia inhibitora, la inhibición puede venir retardada con respecto a la excitación. En las situaciones más sencillas el nucleo es expresable por:

$$K(x, y, \alpha, \beta, t) = \frac{U_1(x, y, \alpha, \beta)}{S_1} \cdot H_1(t) - H_2(t) \frac{U_2(x, y, \alpha, \beta)}{S_2}$$

Donde $H_1(t)$ y $H_2(t)$ son funciones positivas en los intervalos $(0, t_1)$ y (t_1, t_2) respectivamente y nulas fuera de ellos. $U_1(x, y, \alpha, \beta)$ y $U_2(x, y, \alpha, \beta)$ son funciones que valen la unidad sobre las areas S_1 y S_2 respectivamente, y cero fuera de ellas. S_1 representa el area excitadora y S_2 el area inhibitora.

En el campo sidcreto se estudia a continuación el efecto del núcleo detector de contrastes espaciales simétrico con inhibición retardada, distinguiendo las dos zonas: central y periférica

a) Periferia

$$w = \max(|I - I_c|, |J - J_c|)$$

$$MCONV(I, J, TDELTA) \begin{cases} [TDELTA=0] & = 0 \\ [TDELTA=1, TEDIM] & = \beta' w - \alpha' \end{cases}$$

$I, J=1, IJDIM$
 $I, J \neq I_c, J_c$

donde $\alpha' = g(TDELTA)$ y $\beta' = g(TDELTA)$.

$$g(TDELTA) \begin{cases} [TDELTA=0] & = 1 \\ [TDELTA=1, TEDIM] & = \left[1 - \frac{2 \cdot TDELTA}{TEDIM} \right] + \frac{1}{TEDIM-1} \end{cases}$$

b) Centro

$$MCONV(I_c, J_c, TDELTA) \begin{cases} [TDELTA=1, TEDIM] & = 0 \\ [TDELTA=0] & = - \sum_{I, J=1}^{IJDIM} \sum_{TDELTA=1}^{TEDIM-1} (\beta \cdot w - \alpha) \end{cases}$$

$I, J \neq I_c, J_c$

$$\cdot g(TDELTA) =$$

$$= \sum_{I, J=1}^{IJDIM} (\beta \cdot w - \alpha)$$

El esquema del modelo se observa en la figura (3.2.5.-A) y el listado general del modelo en la figura (3.2.5.-B) La matriz de convolución resultante es:

-1.0	-1.0	-1.0	-5.0	-5.0	-5.0	0	0	0
-1.0	0	-1.0	-5.0	0	-5.0	0	+48.0	8
-1.0	-1.0	-1.0	-5.0	-5.0	-5.0	0	0	0
	TDELT=2			TDELT=1			TDELT=0	

El film que proyecta el bloque MFILM es el mostrado en la figura (3.2.5.-C) y las imagenes procesadas se muestran en la figura (3.2.5.-D).

El estimulo corresponde a un cuadro que aparece en el fotograma No.4 y desaparece en el No.7. La respuesta demuestra el caracter ON global del nucleo, por el transitorio ON masivo que ocupa todo el campo y desaparece en la salida temporal No.3. La aparición del estimulo (fotograma de respuesta No.4) proporciona una salida ON que inicialmente ocupa toda la extensión de este. Progresivamente, la inhibición periferica comienza a actuar (fotograma de respuesta No.5) hasta que queda respuesta correspondiente solo al borde del estimulo (respuesta No.6), con el abrillantamiento tipico en las esquinas producido por la detección simetrica de contrastes estacionarios. La desaparición del estimulo no provoca ninguna respuesta.

Un caso importante es el del nucleo espacial asimétrico con inhibición retardada, que presenta sensibilidad al movimiento de estímulos positivos en una dirección preferida. Este tipo de nucleo parece actuar fundamentalmente a nivel presináptico y sirve para caracterizar parte del comportamiento de las células ganglionares sensibles a la dirección del movimiento del estímulo, presente en diversas retinas desde mamíferos hasta anfibios.

Bajo el marco del software desarrollado en el capítulo segundo, este tipo de nucleo se formula atendiendo por una parte a la estructura de los nucleos asimétricos descritos en la sección 3.2.1. y por otra a la puesta en juego de la inhibición retardada tratada en esta sección anteriormente.

El esquema del modelo muestra en la figura (3.2.5.-E) y el listado general del modelo en la figura (3.2.5.-F). La matriz de convolución evaluada resulta ser:

-1.0	-1.5	-1.0	-5.0	-7.5	-5.0	0	0	0
-1.0	-1.5	-1.0	-5.0	-7.5	-5.0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	12.0	18.0	12.0
	TDEL=2		TDEL=1		TDEL=0			

La película asociada al bloque MFILM se muestra en la figura (3.2.5.-G) y la señal resultante del procesamiento se muestra en la figura (3.2.5.-H)

MODELO DEL KERNEL 8

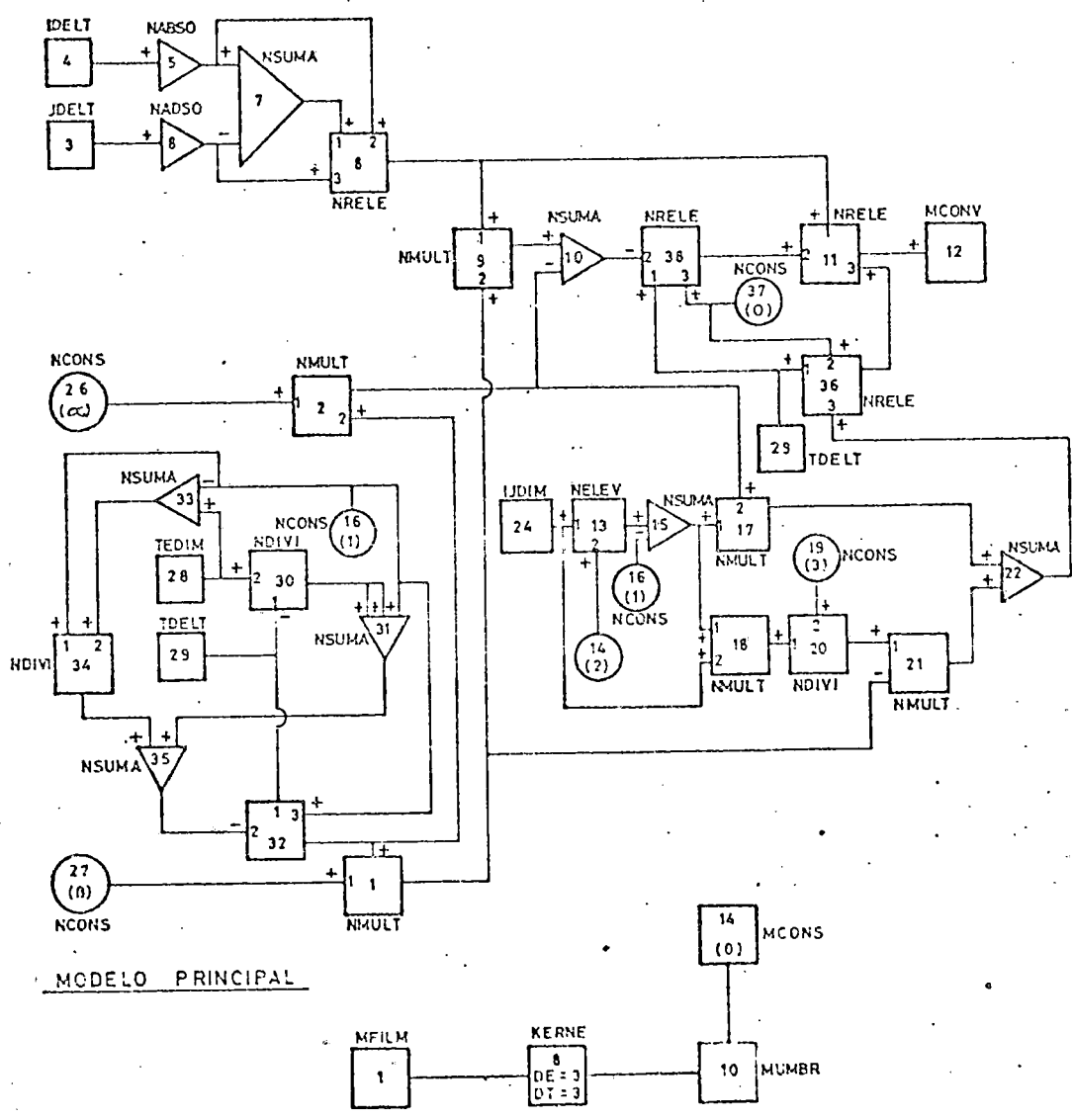


FIGURA (3.2.5 -A)
 DETECCION DE CONTRASTE ESPACIAL
 CON NUCLEO ESPACIAL SIMETRICO E INHIBICION RETARDADA

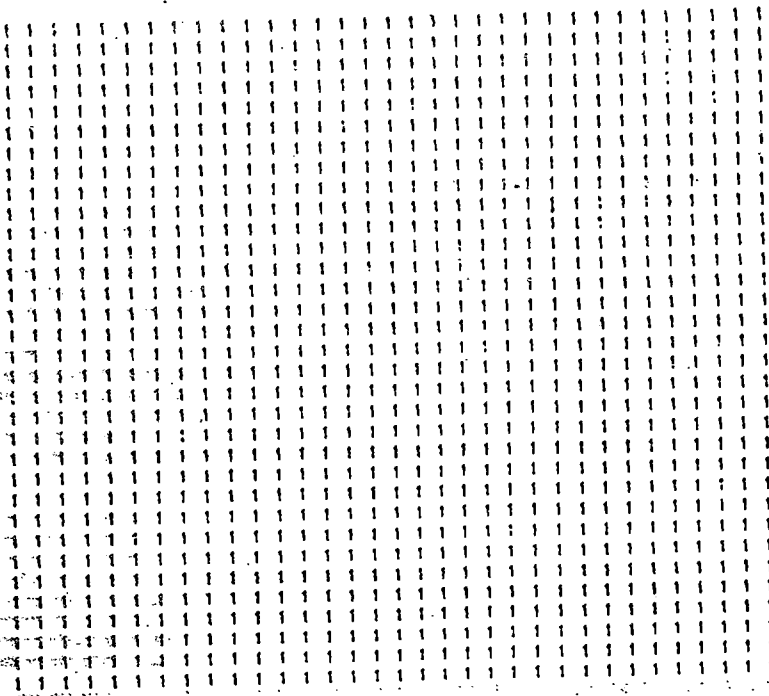
MODELO PRINCIPAL

TIPO ELEMEN	NUM BLOQ	ENTR 1	ENTR 2	ENTR 3	RETR CONV	DIM VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	8	+1	+0	+0	+3	+3
MUMBR	10	+8	+14	+0	+0	+0
MCONS	14	+0	+0	+0	+0	+0

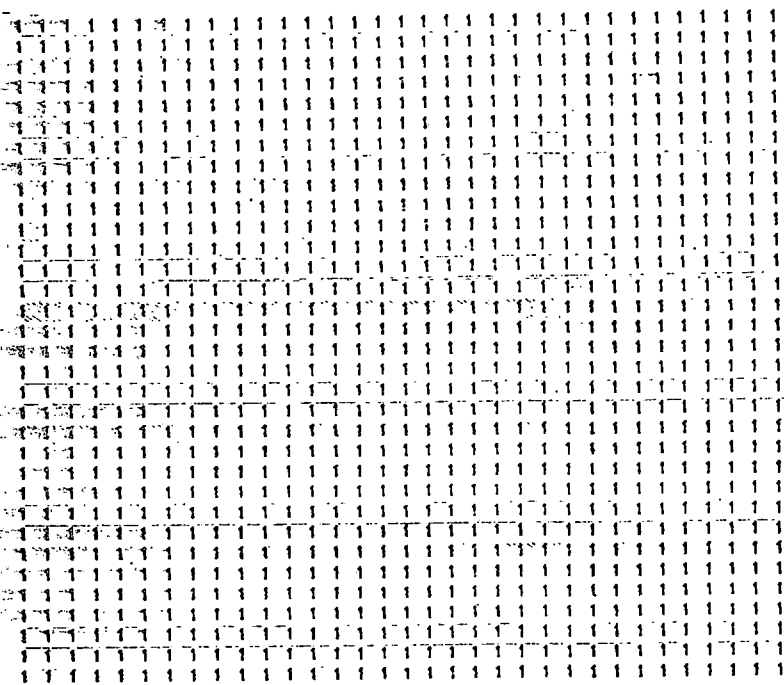
MODELO DEL NUCLEO 8

TIPO ELEMEN	NUM BLOQ	ENTR 1	ENTR 2	ENTR 3	VALOR
NMULT	1	+27	+32	+0	+0.00
NMULT	2	+26	+32	+0	+0.00
JDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
IDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+4	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+3	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NRELE	8	+7	+5	+6	+0.00
NMULT	9	+8	+1	+0	+0.00
NSUMA	10	+9	-2	+0	+0.00
NRELE	11	+8	+38	+36	+0.00
MCONV	12	+11	+0	+0	+0.00
NELEV	13	+24	+14	+0	+2.00
NCONS	14	+0	+0	+0	+0.00
NSUMA	15	+13	-16	+0	+1.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+0.00
NMULT	17	+15	+2	+0	+0.00
NMULT	18	+15	+24	+0	+3.00
NCONS	19	+0	+0	+0	+0.00
NDIVI	20	+18	+19	+0	+0.00
NMULT	21	+20	-1	+0	+0.00
NSUMA	22	+17	+21	+0	+0.00
IJDIM	24	+0	+0	+0	+3.00
NCONS	26	+0	+0	+0	+9.00
NCONS	27	+0	+0	+0	+3.00
NCONS	28	+0	+0	+0	+3.00
TEDIM	28	+0	+0	+0	+0.00
TDELT	29	+0	+0	+0	+0.00
NDIVI	30	-29	+28	+0	+0.00
NSUMA	31	+16	+30	+30	+0.00
NRELE	32	+29	-35	+16	+0.00
NSUMA	33	+28	-16	+0	+0.00
NDIVI	34	+16	+33	+0	+0.00
NSUMA	35	+34	+31	+0	+0.00
NRELE	36	+29	+37	+22	+0.00
NCONS	37	+0	+0	+0	+0.00
NRELE	38	+29	-10	+37	+0.00

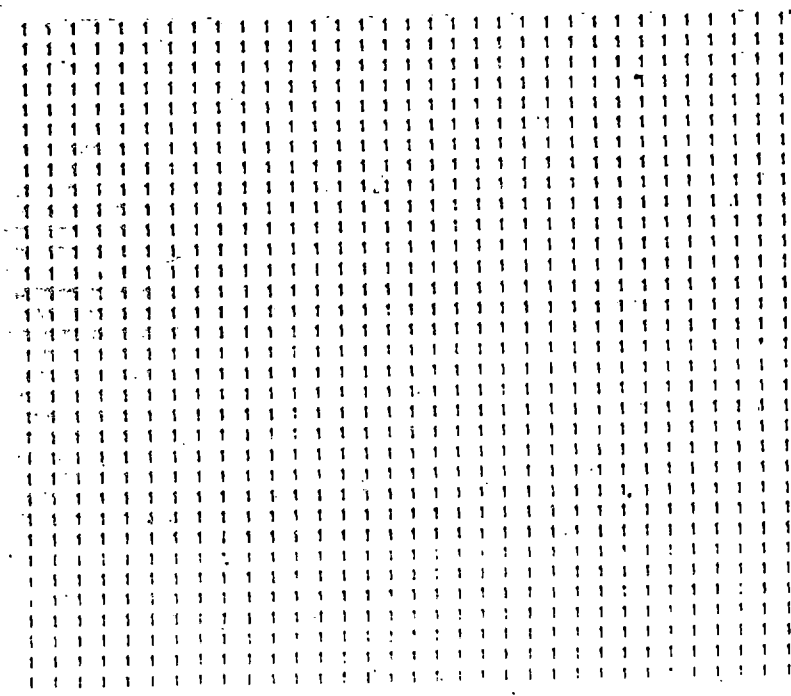
Fig. 3.2.5.-B



FILM CUADRO INTERMITENTE FOTOGRAFIA NUMERO 2

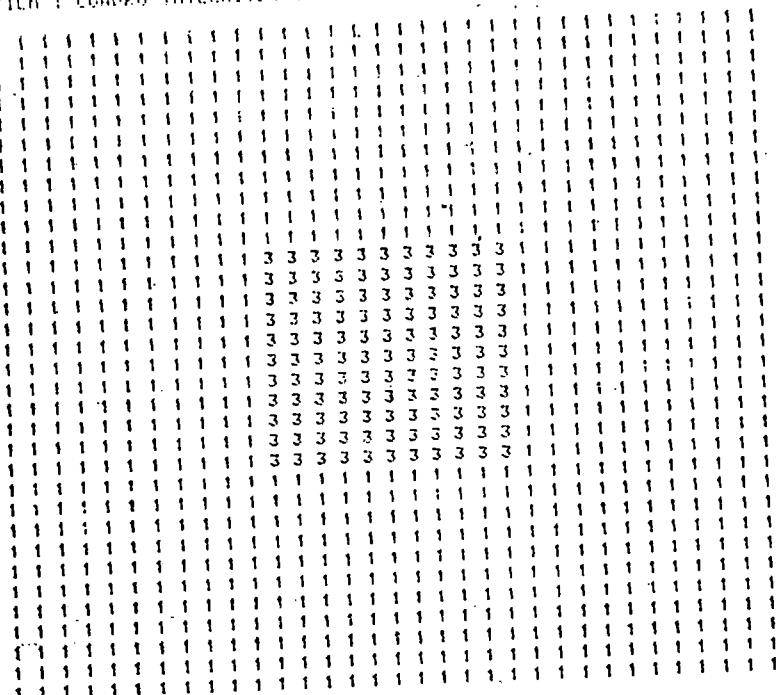


FILM CUADRO INTERMITENTE FOTOGRAFIA NUMERO 3

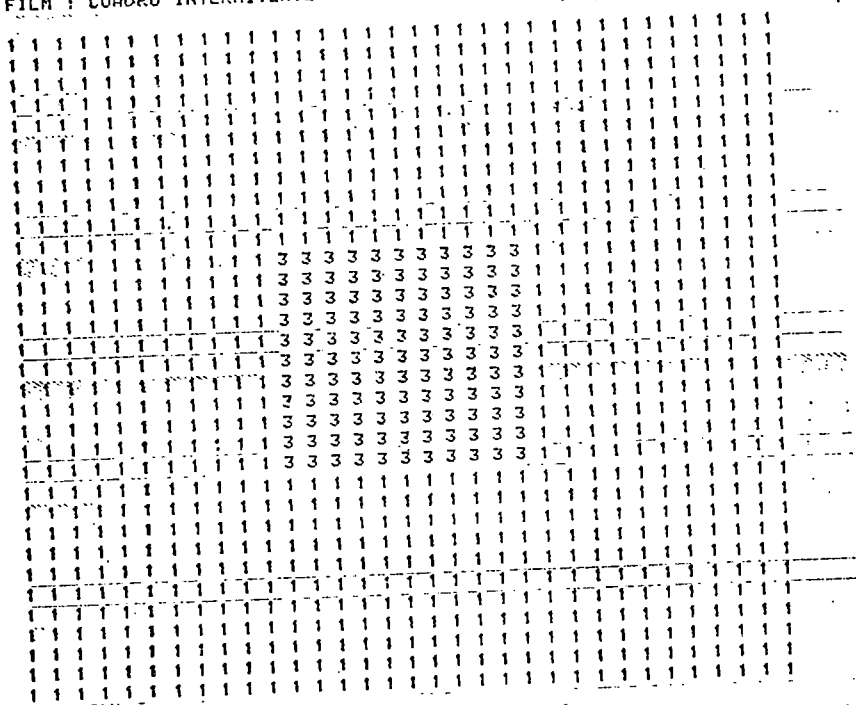


FONDO	ESTI- NULO	NIVEL	CEN- HOR.	CEN- VER.	DIM. MAY.	DIM. MEN.	LUM. BAJA	NUM. FOT.	NUM. ALTA	LUM. ALTA	VEL. VER.	VEL. HOR.
1			+0	+0	+33	+0	+1	+0	+3	+0	+0	+0
2			+17	+17	+11	+0	+1	+0	+3	+3	+0	+0

Fig. 3.2.5.-B



FILM : CUADRO INTERMITENTE FOTOGRAFIA NUMERO 5



FILM : CUADRO INTERMITENTE FOTOGRAFIA NUMERO 6

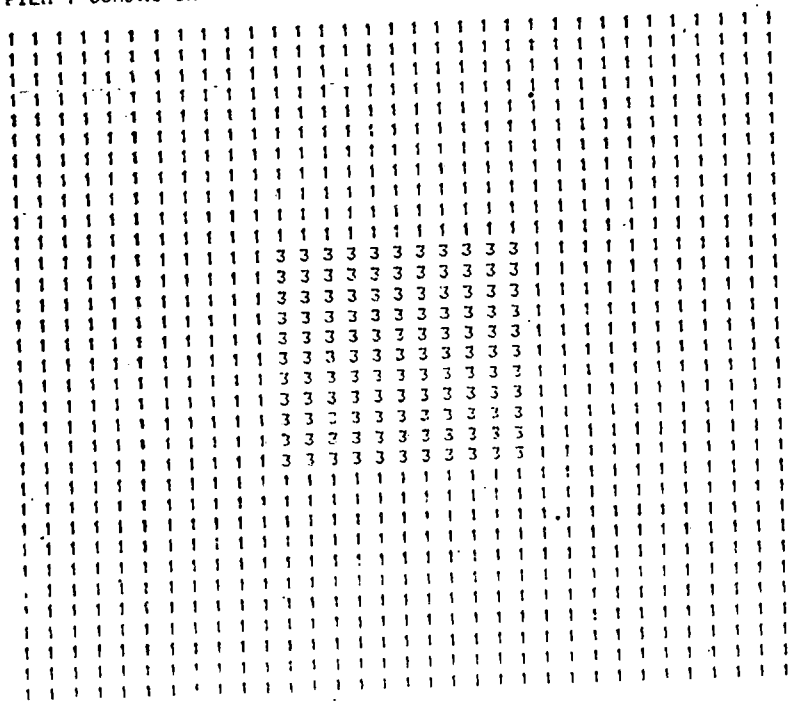
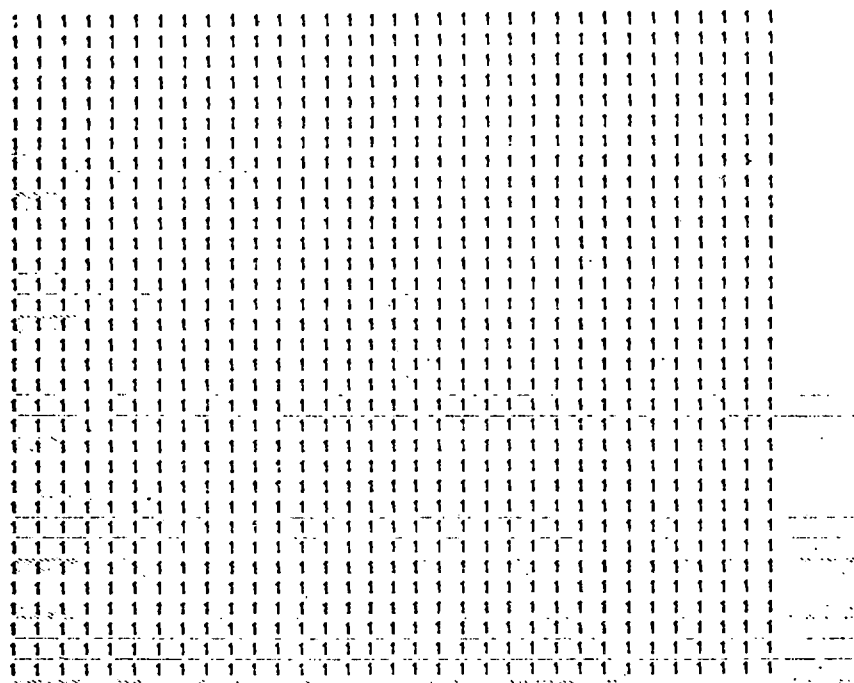


Fig. 3.2.5.-C
(cont.1)

FILM : CUADRO INTERMITENTE FOTOGRAFIA NUMERO 7



FILM : CUADRO INTERMITENTE FOTOGRAFIA NUMERO 8

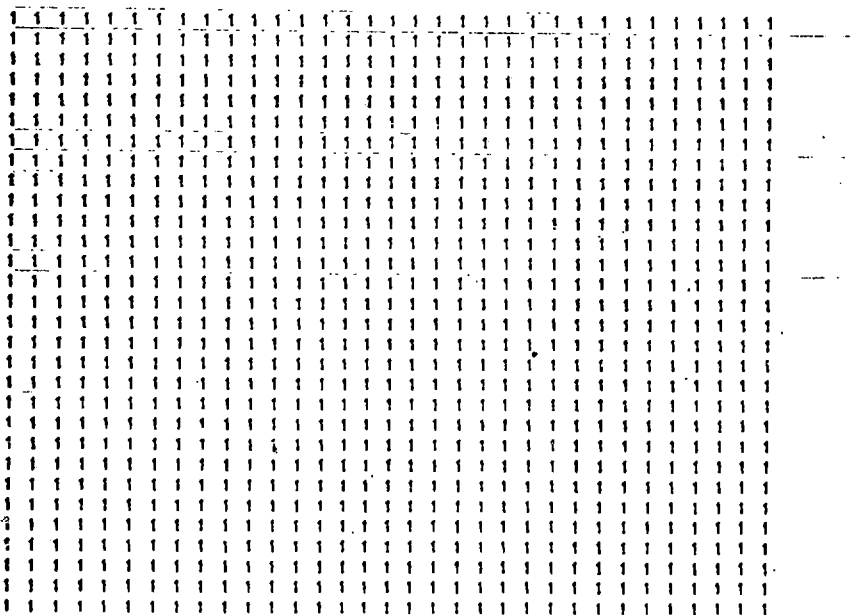


Fig. 3.2.5.-C

(cont.2)

Table with 32 columns and 32 rows. Most cells contain '0'. Some cells contain 'Y' starting from row 26, column 18. Row 32 contains 'A' at both ends.

Table with 32 columns and 32 rows. Contains various characters including 'G', 'H', 'L', 'D', 'N', 'Y', and 'A'. The 'A' characters are at the beginning and end of the first and last rows.

Table with 32 columns and 32 rows. Contains various characters including 'G', 'L', 'D', 'N', 'Y', and 'A'. The 'A' characters are at the beginning and end of the first and last rows.

Fig. 3.2.5.-D (cont.1)

MODELO DEL KERNEL 10

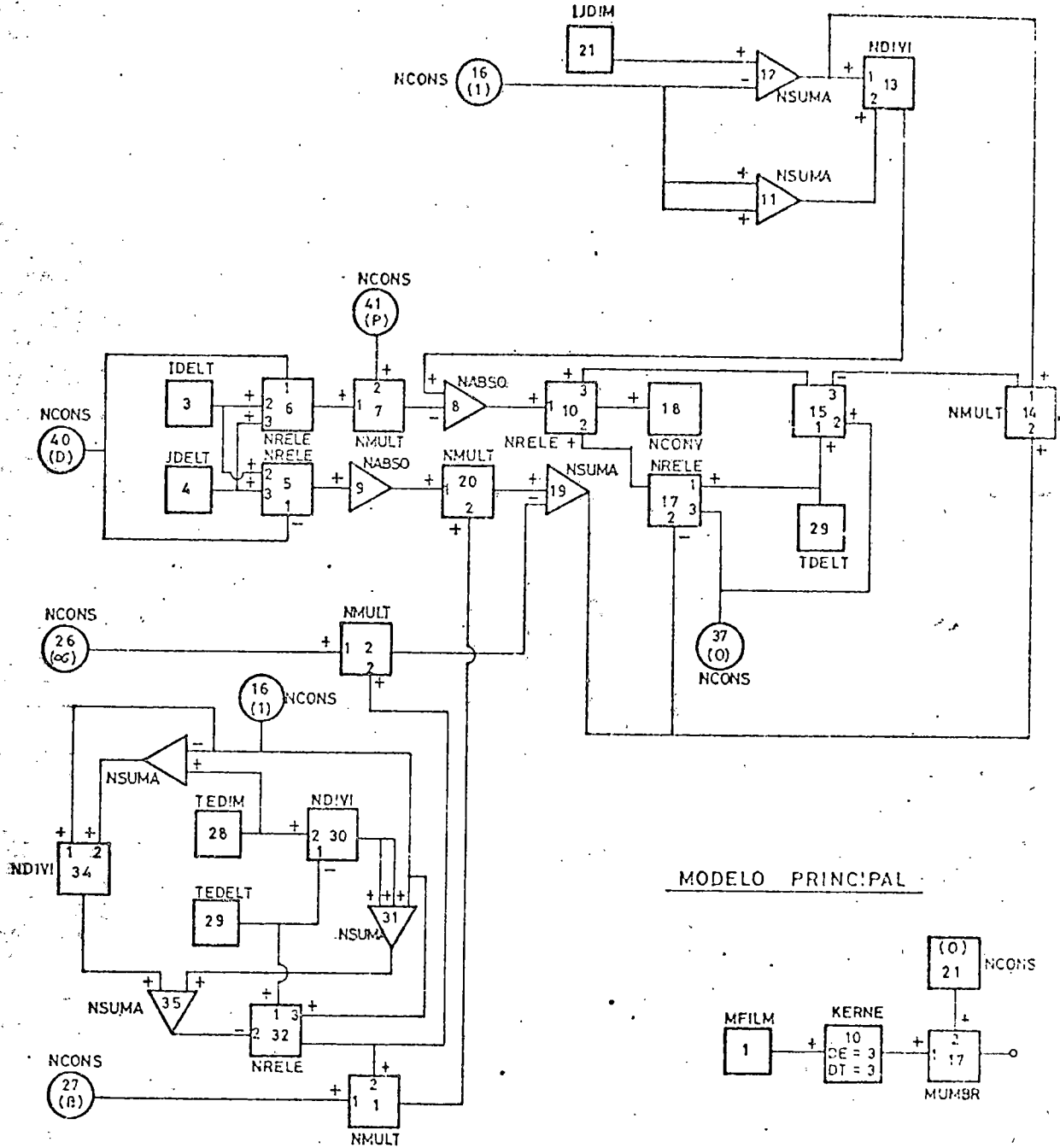


FIGURA (3.25 - E)

DETECCION DE CONTRASTE ESPACIAL
 CON NUCLEO ASIMETRICO E INHIBICION RETARDADA
 LOCALIZACION DEL CENTRO: BLOQUE 40; D=1 HORIZONTAL,
 D=1 VERTICAL; BLOQUE 41 P=1 ULTIMA, P=1 PRIMERA

MODELO PRINCIPAL

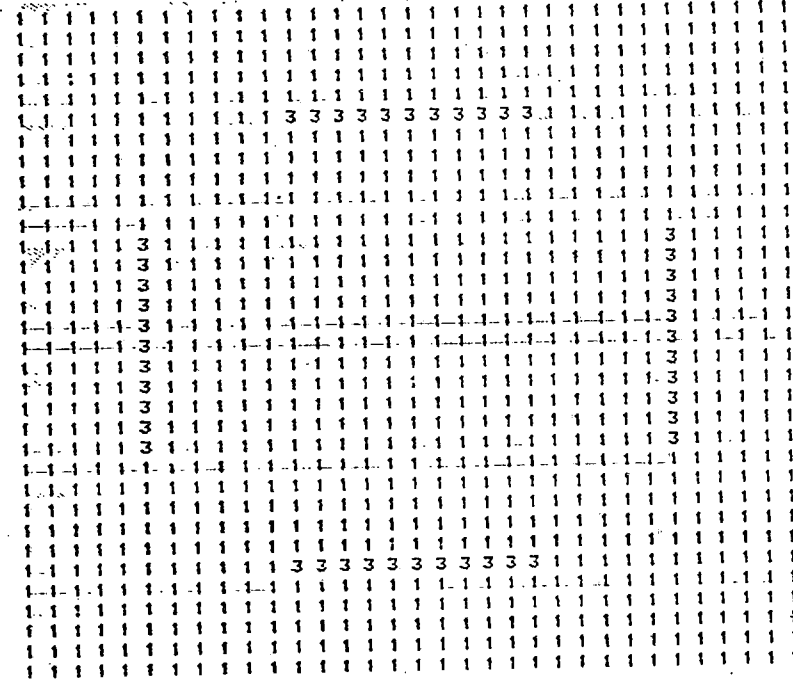
TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	10	+1	+0	+0	+3	+3
MUMBR	17	+10	+21	+0	+0	+0
MCONS	21	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 10

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
NMULT	1	+27	+32	+0	+0.00
NMULT	2	+26	+32	+0	+0.00
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NRELE	5	-40	+3	+4	+0.00
NRELE	6	+40	+3	+4	+0.00
NMULT	7	+6	+41	+0	+0.00
NABSO	8	+13	-7	+0	+0.00
NABSO	9	+5	+0	+0	+0.00
NRELE	10	+8	+17	+15	+0.00
NSUMA	11	+16	+16	+0	+0.00
NSUMA	12	+21	-16	+0	+0.00
NDIVI	13	+12	+11	+0	+0.00
NMULT	14	+12	+19	+0	+0.00
NRELE	15	+29	+37	-14	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NRELE	17	+29	-19	+37	+0.00
MCONV	18	+10	+0	+0	+0.00
NSUMA	19	+20	-2	+0	+0.00
NMULT	20	+9	+1	+6	+0.00
IJDIM	21	+0	+0	+0	+3.00
NCONS	26	+0	+0	+0	+9.00
NCONS	27	+0	+0	+0	+3.00
NCONS	28	+0	+0	+0	+3.00
TEDIM	29	+0	+0	+0	+0.00
TDELT	29	+0	+0	+0	+0.00
NDIVI	30	-29	+28	+0	+0.00
NSUMA	31	+16	+30	+30	+0.00
NRELE	32	+29	-35	+16	+0.00
NSUMA	33	+28	-16	+0	+0.00
NDIVI	34	+16	+33	+0	+0.00
NSUMA	35	+34	+31	+0	+0.00
NCONS	37	+0	+0	+0	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+1.00
NCONS	41	+0	+0	+0	+1.00

Fig. 3.2.5.-F

FILM : BARRAS MOVILES FOTOGRAFIA NUMERO 2



FONDO	ESTI- NIVEL	CEN- HOR.	CEN- VER.	DIR- MAY.	DIR- MEN.	LUM- BAJA	NUM. FOT. BAJA	NUM. FOT. ALTA	LUM. ALTA	VEL. ALTA	VEL. HOR.
1	+0	+0	+33	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0
BARRA 2	+17	+5	+11	+1	+3	+0	+0	+0	+0	+1	+0
BARRA 3	+5	+17	+1	+11	+3	+0	+0	+0	+0	+1	+0
BARRA 4	+17	+29	+11	+1	+3	+0	+0	+0	+0	+0	-1
BARRA 5	+29	+17	+1	+11	+3	+0	+0	+0	+0	+0	+0

FILM : BARRAS MOVILES FOTOGRAFIA NUMERO 3

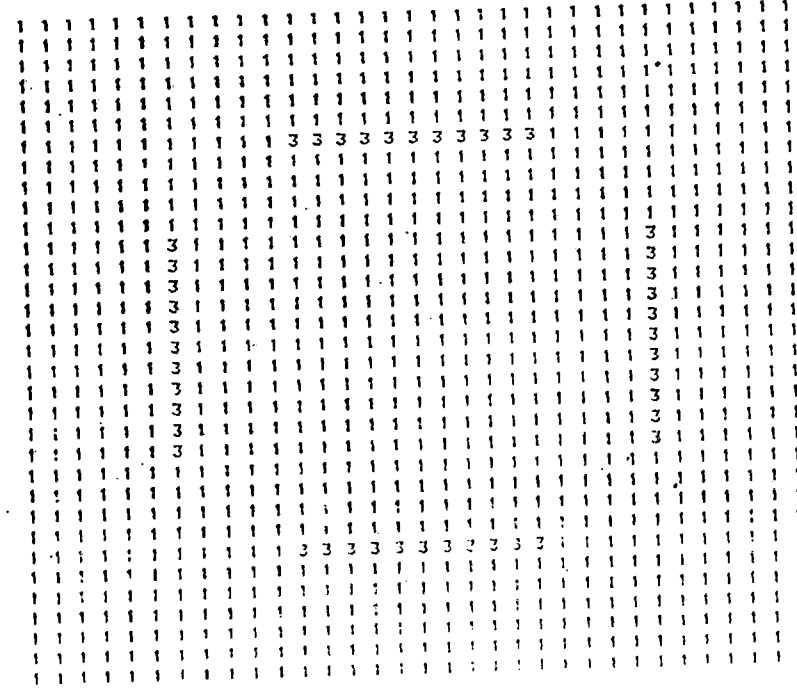


Fig. 3.2.5.-G

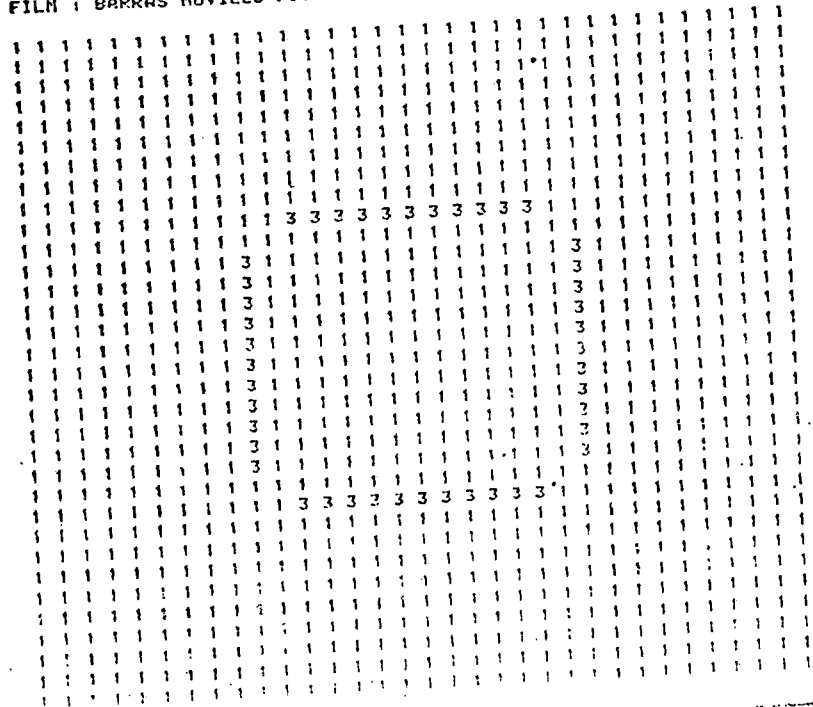
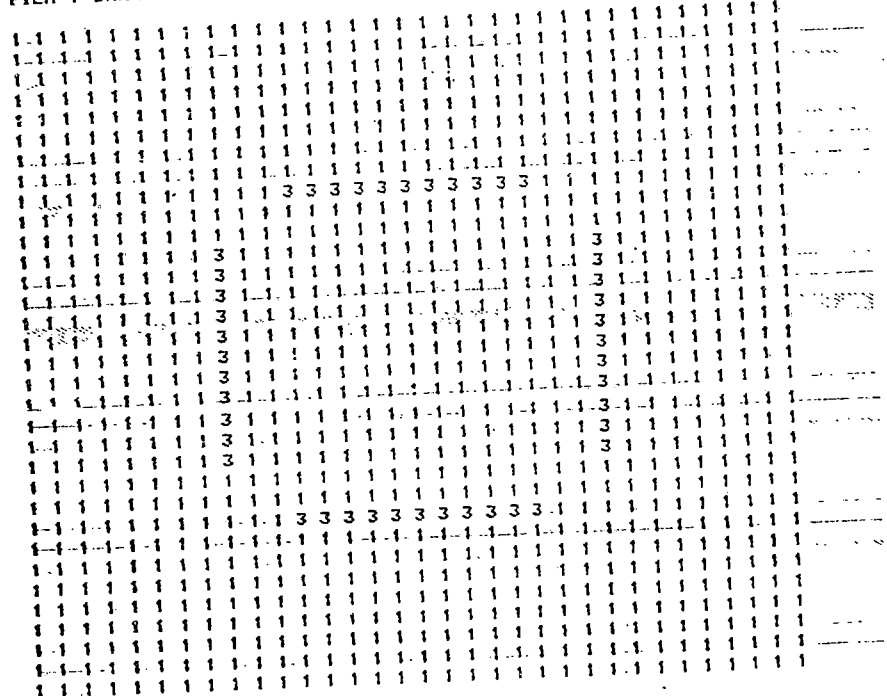
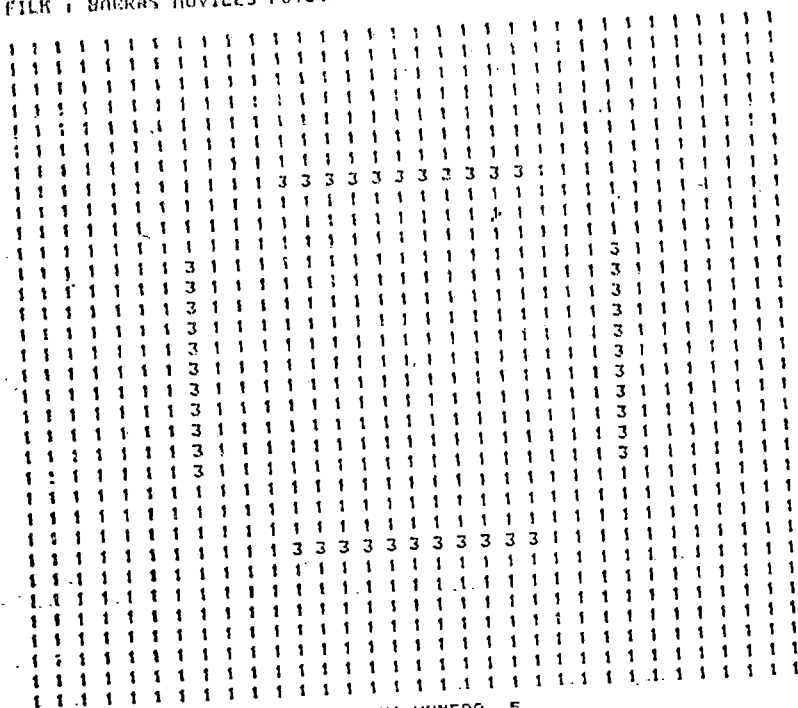


Fig. 3.2.5.-G (cont.)

El estímulo consiste en cuatro barras móviles según las cuatro direcciones principales. La respuesta demuestra el carácter ON total del núcleo y su carácter detector de contrastes asimétricos en los transitorios del proceso correspondiente a los fotogramas de salida No. 1 y 2. En los siguientes fotogramas puede apreciarse la selectividad al movimiento en la dirección preferida, siendo la respuesta a la barra inferior, que se mueve en esa dirección, muy superior a la respuesta de las barras restantes. Un umbral a un nivel no muy alto (G ó H) eliminaría todas las respuestas excepto la de la barra moviéndose en el sentido preferido, los efectos de secuela en los bordes superiores de las barras verticales son debidos a la simetría del núcleo detector de contrastes; aparecen abri-llantamientos en dichos bordes, mientras que los bordes de las barras normales a la dirección preferidas están oscurecidos.

3.3.- NUCLEOS NO FACTORIZABLES

3.3.1.- EFFECTOS DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN EN LAS FIBRAS

La formulación de procesos retinales utilizando núcleos no factorizables aproximan mucho más los modelos neurofisiológicos a

la realidad. La principal causa de la aparición de la no factorización es la existencia de retardos en los arboles dendríticos y en los axones, así como efectos de integración, que dependen ambos de la longitud de las fibras y por lo tanto de las distancias entre los cuerpos celulares correspondientes y el punto donde se realiza el contacto. Asimismo, cuando existe interacción lateral debido a otras células (horizontales y amacrinas) los efectos temporales con la distancia se acentúan. Estos efectos tienen una consecuencia lógica en el comportamiento de las unidades correspondientes ante una excitación variable en el tiempo, como es el caso de la respuesta ante estímulos en movimiento.

Veamos la formulación para el caso más sencillo de un retardo puro producido en las fibras aferentes a una célula y que sea proporcional a la longitud de estas.

Ello equivale a admitir que las señales se propagan con velocidad uniforme en ellas. La situación se ilustra en la figura (3.3.1.-A). Se denotan por "r" y "r'" cada par de variables espaciales correspondientes. Para una señal incidente en el punto "r'" en el instante "t", $f(r', t)$, la señal que alcanza la unidad en posición "r" en ese instante es:

$$F(r, t) = \iint_{R'} K(r, r') f(r', t - d/v) dr' \quad \text{Ec. 3.3.1.-1}$$

Donde $K(r, r')$ es el factor de peso espacial correspondiente y " v " la velocidad de propagación. Una forma rápida de obtener el núcleo espacio-temporal equivalente es la de expresar la Ec. 3.3.1.-1 en el campo transformado.

$$F(r, s) = \iiint_{R'} K(r, r') \varphi(r', s) dr' = \iiint_{R'} K(r, r') e^{-d \cdot s/v} f(r', s) dr' \quad \text{Ec. 3.3.1.-2}$$

donde:

$$\varphi(r', s) = \mathcal{L} \left[f(r', t - \frac{d}{v}) \right] = f(r', s) e^{-d \cdot s/v}$$

Luego se tiene que:

$$K_{eq} = K(r, r') e^{-d \cdot s/v}$$

que corresponde al núcleo espacio-temporal:

$$K_{eq}(r, r', t) = K(r, r') \delta \left(t - \frac{d}{v} \right)$$

Suponiendo que las señales incidentes en el punto donde está la unidad no sufren un retardo apreciable, se puede aproximar:

$$d \approx |r' - r|$$

con lo que, el núcleo espacio-temporal (Ec. 3.3.1.-2)

referido al origen es

$$K_{eq}(r', t) = K(r') \delta\left(t - \frac{r'}{v}\right) \quad \text{Ec.3.3.1.-3}$$

Suponiendo simetría cilíndrica, "r'" representa la distancia al origen y el retardo $\delta\left(t - \frac{r'}{v}\right)$ correspondiente a un anillo de radio "r'", es evidentemente el mismo para todos los puntos.

Una mejor aproximación al efecto de retardo de cada aferente se obtiene suponiendo que cada fibra realiza una integración sobre la señal que recoge, y que la constante de tiempo "τ" de esta misma integración es función de la longitud de la misma. En el caso más simple $\tau = a \cdot r'$, donde se ha hecho la aproximación $r' \approx d$ y a es una constante.

La transformada del núcleo espacio-temporal equivalente es:

$$K_{eq}(r', s) = \frac{K(r')}{1 + a \cdot r' \cdot s} \quad ; \quad \frac{K(r') e^{-t/a \cdot r'}}{a \cdot r'} = K_{eq}(r', t)$$

Ec.3.3.1.-4

que proporciona el correspondiente núcleo espacio-temporal. Debido a su anatomía, una situación peculiar la presentan las células horizontales, según se ilustra en la figura (3.3.1.-B). La célula recoge las señales sobre un área A_h y ejerce su acción a cierta distancia, que es donde se proyecta su axón. Dicha acción es presumiblemente inhibitoria

sobre la sinapsis fotoreceptores-bipolares, que suponemos situada en "r". Admitiendo alguno de los retardos anteriores en el axon, el nucleo correspondiente se expresará por:

$$H_h(s) \left[\delta(r-r') - \frac{S_h(r,r')}{1+a|r-r'| \cdot s} \right]$$

o bien

$$H_h(s) \left[\delta(r-r') - S_h(r,r') e^{-a(r-r')s} \right]$$

Ec.3.3.1.-5

Donde $H_h(s)$ es la función de transferencia de la celula horizontal.

Conforme a los programas desarrollados en el capitulo segundo en el campo discreto, la formulación de estos nucleos se realiza teniendo en cuenta las condiciones siguientes:

$$W = \max(|I - I_c| , |J - J_c|)$$

a) centro

$$MCONV(I_c, J_c, TDELT) \begin{cases} [TDELT=0] & = -(\beta w - \alpha) \\ [TDELT=1, TEDIM] & = 0 \end{cases}$$

b) periferia

$$MCONV(I, J, TDELT) \begin{cases} [TDELT=w. (vel)] =_{\pm} (\beta.w-\alpha) \\ [TDELT\neq w. (vel)] =0 \end{cases}$$

$$I, J \neq I_c J_c$$

El valor de la velocidad va asociado al bloque 38 (MCONS)
 El doble signo "±" debe referenciarse en el bloque 41 (NCONS) con el fin de obtener la modalidad de excitador puro (-) o la modalidad de centro excitador y periferia inhibidora (+).

El esquema del modelo puede verse en la figura (3.3.1.-C) y el listado general del modelo en la figura (3.3.1.-D)

La matriz de convolución que resulta es:

3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	3	0	6	6	6	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	3	0	6	0	6	0	0	0	9	0	0
3	0	0	0	3	0	6	6	6	0	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TDELT=2					TDELT=1					TDELT=0				

El nucleo es mas sensible a estímulos pequeños si estos se mueven centripetamente que si el movimiento es centrifugo. Esta propiedad está presente en el grupo II de las celulas ganglionares de la retina de la rana, y como

se vé, al menos parte del comportamiento respecto a estímulos móviles en dichas células puede explicarse sin necesidad de postular asimetrías en el campo receptivo, que deberían estar situadas a nivel presináptico. Para un núcleo plano (en el esquema $\alpha=1$, bloque 2, y $\beta=0$ bloque 1)

1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La sensibilidad al movimiento centripeto sigue existiendo. Así, el núcleo plano con retardo proporcional a la distancia proporciona, para un estímulo puntual, una velocidad óptima de la 1 div/seg en el sentido centripeto cuyo listado se muestra en la figura (3.3.1.-E).

Un umbral igual a uno elimina a un estímulo que se mueva en sentido centrífugo a esa velocidad.

En las células horizontales el efecto correspondiente es el de una inhibición retardada con retardo proporcional a la distancia. El núcleo más sencillo para expresar esta acción será un núcleo plano con centro excitador y periferia inhibidora, en el esquema $P=1$, bloque 41, cuyo listado puede verse en la figura (3.3.1.-F) siendo su matriz de convolución asociada la siguiente:

-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	1	0	0
-1	0	0	0	-1	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TDELT=2					TDELT=1					TDELT=0				

La película asociada en el bloque MFILM es la mostrada en la figura (3.3.1.-G), que corresponde a siete puntos y una mancha móviles según las direcciones indicadas.

La respuesta de una capa de células con el núcleo no plano dado por la figura (3.3.1.-D) se muestra en la figura (3.3.1.-H). Después del transitorio inicial del proceso de los fotogramas de salida 1 y 2, puede observarse el efecto del núcleo en las salidas siguientes;

La variación en el tiempo de la respuesta de una unidad puede estudiarse en un solo fotograma de salida teniendo en cuenta la dirección y sentido del movimiento del estímulo.

Para la estimulación correspondiente a los puntos móviles, la secuencia de una respuesta es (1,0,6,0,1) para las unidades que dan respuesta máxima. Este triple carácter en la respuesta es debido a la velocidad del estímulo. Para estas unidades, la respuesta es máxima cuando el movimiento del estímulo ha sido centripeto, pasando a los siguientes valores, mucho menores cuando el movimiento es centrifugo.

Para otras unidades, la situación es semejante, aunque la respuesta es bastante menor debido a que el estímulo no cruza el centro del campo receptivo.

Fianlmente para las unidades en las que el estímulo cruza solo el ultimo anillo del campo receptivo la respuesta, baja es prácticamente constante.

Se observa que un umbral adaptivo no muy alto eliminaria todas las respuestas a los estímulos puntuales excepto los de aquellas células en las que el movimiento del estímulo ha sido centripeto y cruzando el centro del campo receptivo. Así mismo, la observación de un unico fotograma de salida (que corresponde a la observación de la salida de todas las células en un instante) permite deducir la dirección y sentido de movimiento de los estímulos, que corresponde a la dirección y sentido opuesto marcado por las respuestas consecutivas (I,0).

La respuesta de las unidades al estímulo en forma de mancha es mas compleja, aunque tiene unas características similares, a las anteriormente discutidas. El frente de respuesta no es tan abrupto, pero de nuevo, su posición indica el movimiento centripeto del estímulo (líneas diagonales de I,Q,Z y > en la figura). Como es natural el estímulo afecta ahora a mas unidades.

El nucleo no factorizable que estamos discutiendo proporciona pues un metodo por el que, sin perderse la simetria del campo receptivo, las células pueden extraer información acerca de la velocidad del estímulo, propiedad que,

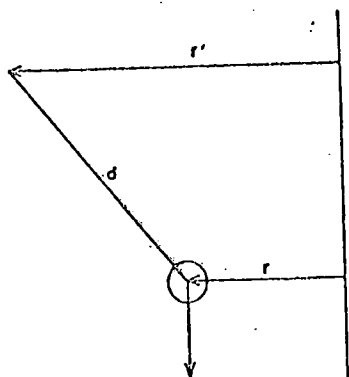


FIGURA (3.3.1-A)

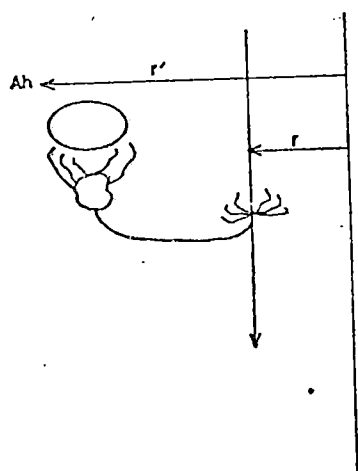
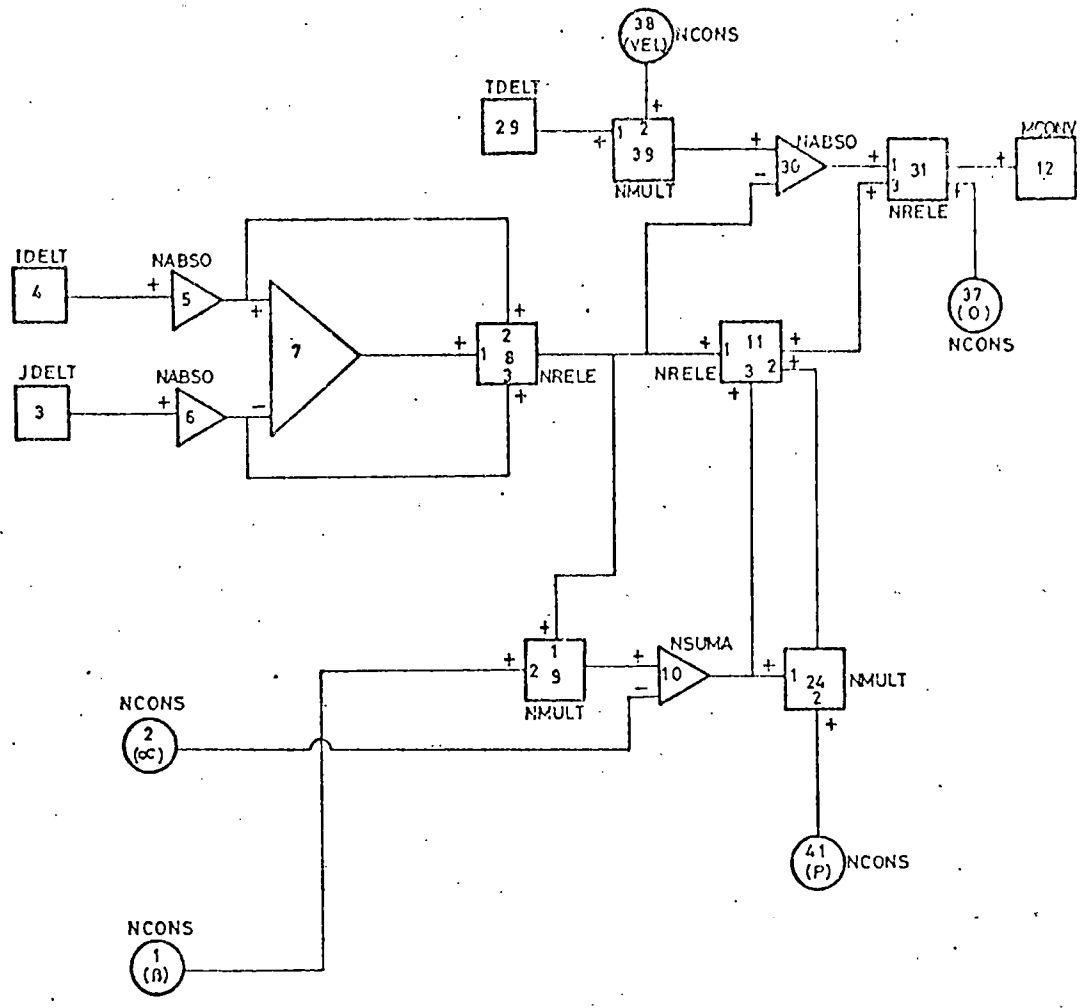


FIGURA (3.3.1-B)

MODELO DEL KERNEL 9



MODELO PRINCIPAL

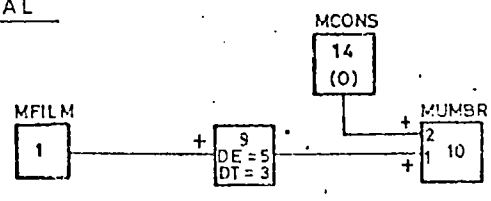


FIGURA (3.3.1-C)

EFEECTO DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LA SENAL EN LAS FIBRAS: NUCLEO EXCITADOR PURO (1); NUCLEO CON CENTRO EXCITADOR Y PERIFERIA INHIBIDORA (2)
 1) P=-1, 2) P=+1 EN BLOQUE 4:

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	9	+1	+0	+0	+3	+5
MUMER	10	+9	+14	+0	+0	+0
MCONS	14	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 9

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
NCONS	1	+0	+0	+0	+3.00
NCONS	2	+0	+0	+0	+9.00
JDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
IDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+4	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+3	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NRELE	8	+7	+5	+6	+0.00
NMULT	9	+8	+1	+0	+0.00
NSUMA	10	+9	-2	+0	+0.00
NRELE	11	+8	+24	-10	+0.00
MCONV	12	+31	+0	+0	+0.00
NMULT	24	+10	+41	+0	+0.00
TDELT	29	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	30	+39	-8	+0	+0.00
NRELE	31	+30	+37	+11	+0.00
NCONS	37	+0	+0	+0	+0.00
NCONS	38	+0	+0	+0	+1.00
NMULT	39	+29	+38	+0	+0.00
NCONS	41	+0	+0	+0	-1.00

Fig. 3.3.1.-D

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	9	+1	+0	+0	+3	+5
NUMBR	10	+9	+14	+0	+0	+0
MCONS	14	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 9

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
NCONS	1	+0	+0	+0	+0.00
NCONS	2	+0	+0	+0	+1.00
JDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
IDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+4	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+3	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NRELE	8	+7	+5	+6	+0.00
NMULT	9	+8	+1	+0	+0.00
NSUMA	10	+9	-2	+0	+0.00
NRELE	11	+8	+24	-10	+0.00
MCONV	12	+31	+0	+0	+0.00
NMULT	24	+10	+41	+0	+0.00
TDELT	29	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	30	+39	-8	+0	+0.00
NRELE	31	+30	+37	+11	+0.00
NCONS	37	+0	+0	+0	+0.00
NCONS	38	+0	+0	+0	+1.00
NMULT	39	+29	+38	+0	+0.00
NCONS	41	+0	+0	+0	-1.00

Fig. 3.3.1.-E

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	9	+1	+0	+0	+3	+5
MUMBR	10	+9	+14	+0	+0	+0
MCONS	14	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 9

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
NCONS	1	+0	+0	+0	+1.00
NCONS	2	+0	+0	+0	+1.00
JDELT	3	+0	+0	+0	+1.00
IDELT	4	+0	+0	+0	+1.00
NABSO	5	+4	+0	+0	+1.00
NABSO	6	+3	+0	+0	+1.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+1.00
NRELE	8	+7	+5	+6	+1.00
NMULT	9	+8	+1	+0	+1.00
NSUMA	10	+9	-2	+0	+1.00
NRELE	11	+8	+24	-10	+1.00
MCONV	12	+31	+0	+0	+1.00
NMULT	24	+10	+41	+0	+1.00
TDELT	29	+0	+0	+0	+1.00
NABSO	30	+39	-8	+0	+1.00
NRELE	31	+30	+37	+11	+1.00
NCONS	37	+0	+0	+0	+1.00
NCONS	38	+0	+0	+0	+1.00
NMULT	39	+29	+38	+0	+1.00
NCONS	41	+0	+0	+0	+1.00

Fig. 3.3.1.- F

como indicamos antes está presente en las células ganglionares de un número elevado de vertebrados, sobre todo inferiores. Para facilitar la discusión las respuestas han sido escaladas tomando como origen el valor mínimo de la respuesta de una unidad.

La acción del núcleo plano de la figura (3.3.1.-E) se muestra en la figura (3.3.1.-I).

La situación es análoga al caso anterior, aunque ahora las diferencias entre las respuestas no son tan marcadas. El núcleo de centro excitado con periferia inhibidora de la figura (3.3.1.-F) es insensible al movimiento de los puntos con la velocidad indicada. La respuesta obtenida es nula para todas las unidades. Sin embargo, si algún punto o la mancha estuviera fijo o se moviera a velocidad muy alta (que correspondería a su aparición brusca en el campo receptivo) sería detectado, esta es una propiedad que ha sido descrita para las células centro ON y OFF con periferia inhibidora de las aves.

3.3.2.- DETECCION DE MOVIMIENTO SEGUN UNA DIRECCION PREFERIDA

Considerando el espacio de señales, el movimiento de un estímulo puntual corresponde a una línea en dicho espacio.

Para el movimiento con velocidad uniforme, en una dirección determinada, la línea es una recta con cierta orientación que depende de la velocidad y de la dirección.

La sensibilidad máxima a una velocidad y a una dirección se presenta de la misma manera que una sensibilidad máxima a una distribución rectilínea de estímulos en el espacio de señales. La detección del estímulo en movimiento corresponde pues a la detección de un contraste espacio-temporal orientado.

Según se ha visto en la sección 3.1.2.-, la detección de contrastes orientados se realiza con núcleos asimétricos con centro excitador y periferia inhibidora. El mismo criterio es aplicable a los contrastes espacio-temporales, según se deduce fácilmente de la consideración del caso unidimensional, ilustrado en la figura (3.3.2.-A), que corresponde a un núcleo espacio-temporal no factorizable con sensibilidad máxima al movimiento de un estímulo puntual en la dirección centripeta con la velocidad óptima de una división espacial por unidad de tiempo.

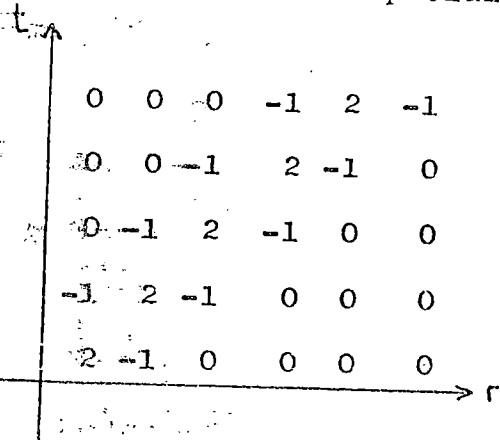


Fig. (3.3.2.-A)

Núcleo para la detección de contrastes espacio-temporales, orientados en una dirección.

Para el caso bidimensional es preciso completar el nucleo en otra dirección.

Asi pues, la estructura del nucleo en el espacio de señales es la de un volumen excitador orientado, rodeado de un volumen inhibidor.

Una consecuencia importante de este tipo de nucleos no factorizables es que cada punto tiene naturaleza ON-OFF. Esta naturaleza se ha observado en los campos receptivos de todas las celulas ganglionares sensibles direccionalmente.

Para la formulación de este tipo de nucleo, basado en los diagramas de bloques se han de hacer las siguientes consideraciones. El centro para cada instante de tiempo se moverá a una posición espacial, pudiendo hacerlo en las direcciones este-oeste, o este-este, norte-sur y sur-norte, en los dos primeros movimientos lo hará siguiendo la fila central de la matriz de convolucion espacio-temporal, en los dos ultimos a lo largo de su columna central. El control de estos desplazamientos los realiza los bloques 40 y 41.

Fijado para cada TDELTA el centro, con su valor asociado definido por el bloque 2, (NCONS), los elementos que inmediatamente le circundan adoptan el valor del bloque 1 (NCONS), los restantes elementos son puestos a cero.

J_{centro} = funcion del tipo de movimiento y de TDELTA

$$\text{MCONV}(I, J, \text{TDELTA}) \left\{ \begin{array}{l} [I=I_{\text{centro}} \text{ y } J=J_{\text{centro}}] = \text{CEN (bloque 2)} \\ [|I-I_{\text{centro}}| + |J-J_{\text{centro}}| \leq 4] = \text{ALR (bloque 2)} \\ [|I-I_{\text{centro}}| + |J-J_{\text{centro}}| > 4] = 0 \end{array} \right.$$

El esquema del modelo se muestra en la figura (3.3.2.-B) y el listado general del modelo puede verse en la figura (3.3.2.-C) La matriz de convolución espacio-temporal se muestra a continuación:

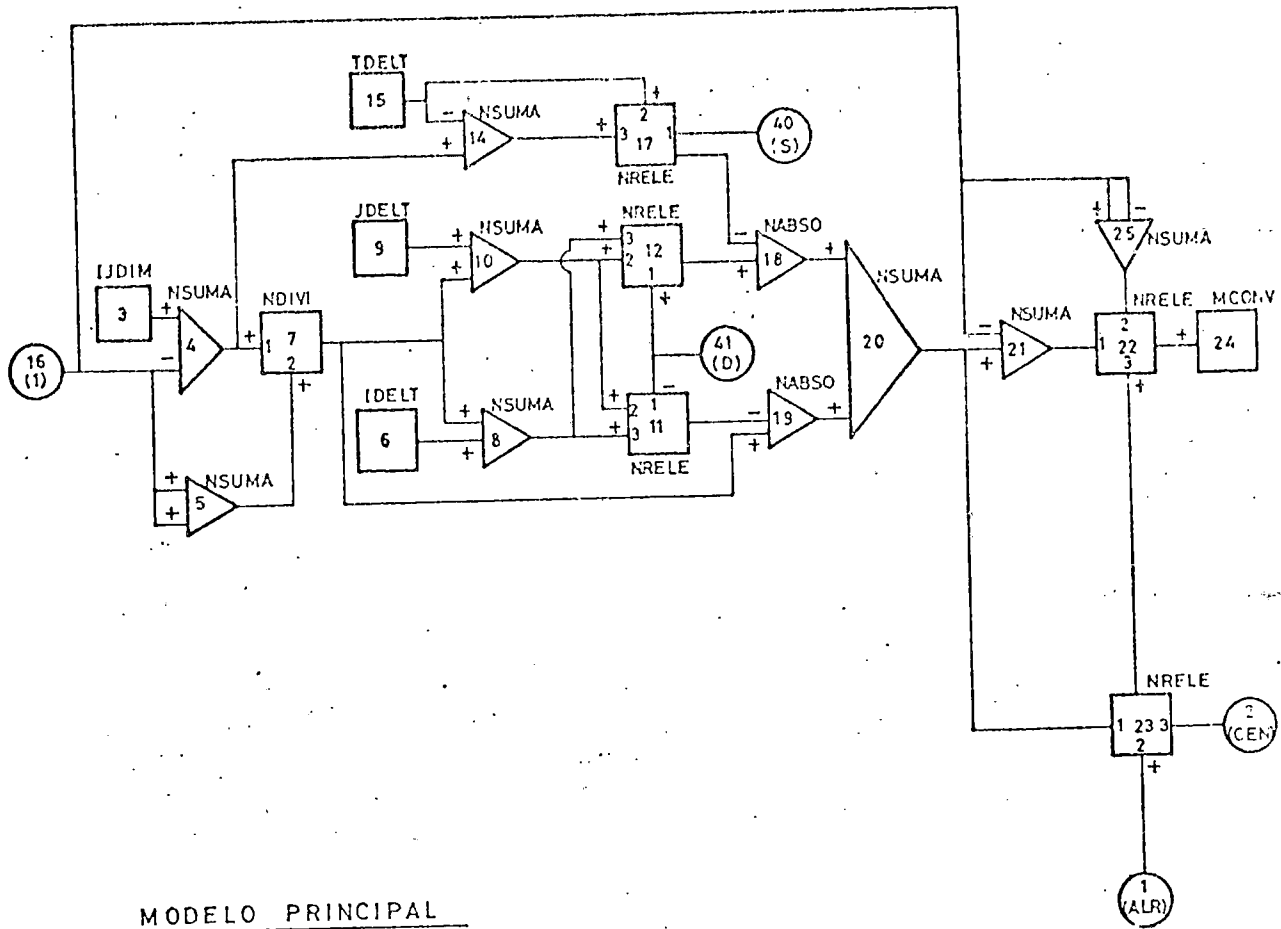
$$\begin{array}{ccccccc}
 -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\
 2 & -1 & 0 & -1 & 2 & -1 & 0 & -1 & 2 \\
 -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\
 \text{TDELTA}=2 & & & \text{TDELTA}=1 & & & \text{TDELTA}=0 & &
 \end{array}$$

La película usada por el bloque MFILM es la misma utilizada en la sección anterior, de puntos y manchas móviles, mostrada en la figura (3.3.1.-G). La respuesta de unidades con este núcleo se muestra en la figura (3.3.2.-D). El carácter local ON-OFF del núcleo se manifiesta en el transitorio inicial del proceso, donde todos los estímulos provocan respuesta. Los cambios generalizados de intensidad del fondo sin embargo, no proporcionan respuesta. Esta es una propiedad descrita para las células sensibles a la dirección, o selectivas direccionalmente. Notemos que esta propiedad ON-OFF local del campo es una consecuencia de la situación del

nucleo en el espacio de señales.

En los fotogramas siguientes se observa que solamente el estímulo que se mueve en la dirección selectiva es detectado. Es decir, el estímulo que, en el espacio de señales, produce la configuración adecuada. Esta es una consecuencia importante y proporciona un nuevo método para atacar el problema de la especialización de las células ganglionares. Podríamos suponer que, en la capa plexiforme interna las ramificaciones de los axones de las células bipolares interactúan con los procesos de las células amacrinas y las dendritas de las células ganglionares, en las sinapsis de estas. Puesto que las distintas fibras producen distintos retardos, el volumen de la capa plexiforme interna podría reproducir algo semejante al espacio de señales. Para una célula ganglionar dada, la configuración geométrica de sus sinapsis en este espacio, con zonas excitadoras e inhibitoras puede corresponder a núcleos espaciotemporales con orientación y configuración diversa, según el tipo de especialización de la célula. Es importante notar que estas configuraciones de los núcleos no rompen el carácter ON-OFF uniforme del campo receptivo retinal de la célula.

MODELO DEL KERNEL 11



MODELO PRINCIPAL

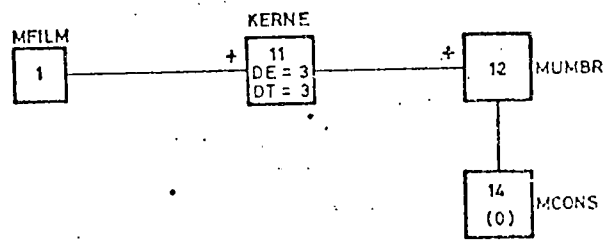


FIGURA (3.3.2 - B)

DETECCION DE MOVIMIENTO SEGUN DIRECCION PREFERIDA
 SE ESTABLECEN CUATRO DIRECCIONES PREFERIDAS DE MOVIMIENTO:
 1) D=1, S=1; HACIA LA DERECHA 2) D=1, S=-1 HACIA LA IZQUIERDA
 3) D=-1, S=1 HACIA ABAJO, 4) D=-1, S=-1 HACIA ARRIBA.

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOO	1	2	3	COIV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	11	+1	+0	+0	+3	+3
MUMER	12	+11	+14	+0	+0	+0
MCONS	14	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 11

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOO	1	2	3	
NCONS	1	+0	+0	+0	-1.00
NCONS	2	+0	+0	+0	+2.00
IJDIM	3	+0	+0	+0	+3.00
NSUMA	4	+3	-16	+0	+0.00
NSUMA	5	+16	+16	+0	+0.00
IDELT	6	+0	+0	+0	+0.00
NDIVI	7	+4	+5	+0	+0.00
NSUMA	8	+6	+7	+0	+0.00
JDELT	9	+0	+0	+0	+0.00
NSUMA	10	+9	+7	+0	+0.00
NRELE	11	-41	+10	+8	+0.00
NRELE	12	+41	+10	+8	+0.00
NSUMA	14	-15	+4	+0	+0.00
TDELT	15	+0	+0	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NRELE	17	+40	+15	+14	+0.00
NABSO	18	-17	+12	+0	+0.00
NABSO	19	-11	+7	+0	+0.00
NSUMA	20	+18	+19	+0	+0.00
NSUMA	21	-16	+20	+0	+0.00
NRELE	22	+21	+25	+23	+0.00
NRELE	23	+20	+1	+2	+0.00
MCONV	24	+22	+0	+0	+0.00
NSUMA	25	+16	-16	+0	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	-1.00
NCONS	41	+0	+0	+0	+1.00

Fig. 3.3.2.-C

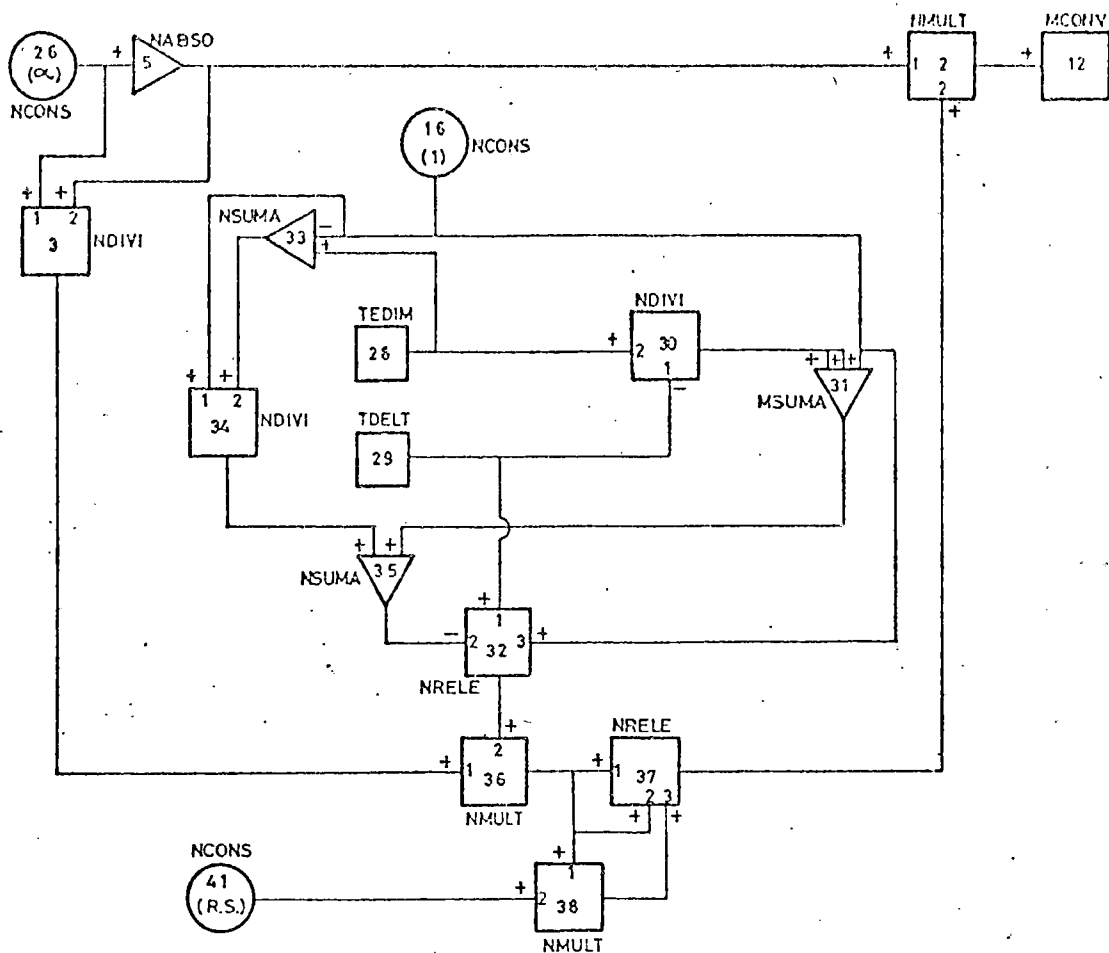
3.4.- OPERACIONES NO LINEALES

Aparte de la existencia de umbrales, efecto que ha sido incluido en el tratamiento de las secciones anteriores, las no linealidades típicas que aparecen en la formulación de los modelos retinales son el efecto temporal ON-OFF no lineal, la inhibición presináptica multiplicativa, la inhibición postsináptica divisiva y los efectos de facilitación y defacilitación.

3.4.1.- EFEECTO ON-OFF NO LINEAL

El efecto ON-OFF no lineal aparece en células ganglionares del campo receptivo ON-OFF con respuesta rápida, es decir, en los que la respuesta ON y la OFF no se encuentran retrasadas una con respecto a la otra. Desde el punto de vista neurofisiológico, la interacción de aferentes presinápticos puede proporcionar el mecanismo necesario para la operación. La operación presináptica puede realizar el equivalente de tomar el módulo después de una acción ON u OFF y ello proporciona el efecto ON-OFF rápido. Así pues, si $H(t)K(x,y,\alpha,\beta)$ es el núcleo espacio-temporal que caracteriza el efecto ON, la acción ON-OFF no lineal viene

MODELO DEL KERNEL 5



MODELO PRINCIPAL

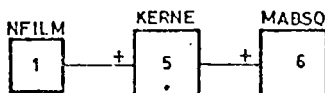


FIGURA (3.4.1 -A)
 DETECCION ON - OFF NO LINEAL
 $\alpha > 0$, R.S.=1 EN LOS BLOQUES 26 y 41

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	5	+1	+0	+0	+3	+3
MABSO	6	+5	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 5

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
NMULT	2	+5	+37	+0	+0.00
NDIVI	3	+26	+5	+0	+0.00
NABSO	5	+26	+0	+0	+0.00
MCONV	12	+2	+0	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NCONS	26	+0	+0	+0	+3.00
TEDIM	28	+0	+0	+0	+3.00
TDELT	29	+0	+0	+0	+0.00
HDIVI	30	-29	+28	+0	+0.00
NSUMA	31	+30	+30	+16	+0.00
NRELE	32	+29	-35	+16	+0.00
NSUMA	33	-16	+28	+0	+0.00
NDIVI	34	+16	+33	+0	+0.00
NSUMA	35	+34	+31	+0	+0.00
NMULT	36	+3	+32	+0	+0.00
NRELE	37	+36	+36	+38	+0.00
NMULT	38	+36	+41	+0	+0.00
NCONS	41	+0	+0	+0	+1.00

Fig. 3.4.1.-B

dada por:

$$Y(x, y, t) = \left| \int_{\alpha} \int_{\beta} \int_t H(t, t') K(x, y, \alpha, \beta) d\alpha d\beta dt' \right|$$

La formulación en terminos de la estructura de los programas se realiza de la siguiente forma: El modelo de Kernel asociado con el modelo principal es el modelo de Kernel θN sugerido en la sección (3.2.1.-).

El modelo principal acaba en un bloque MABSO que evalúa el valor absoluto de la convolución de este Kernel sobre la película proyectada por el bloque MFILM.

El esquema del modelo se muestra en la figura (3.4.1.-A) y el listado general del modelo en la figura (3.4.1.-B)

El resultado del proceso ON-OFF corresponde a una superposición, sin retardos, de los efectos ON y OFF individuales ya estudiados.

3.4.2.- INHIBICION PRESINAPTICA MULTIPLICATIVA

La inhibición presináptica multiplicativa ha sido descrita como la probable acción inhibidora en la detección de contrastes estacionarios en la retina de los antibios. La formulación de este efecto inhibidor, suponiendo una retina continua, se realiza de la forma siguiente: Sea un campo receptivo detector de contraste con organización centro excita-

dor y periferia inhibidora; la contribución de la excitación viene dada por:

$$E(x,y) = \iint_{\text{CENTRO}} X(x,y,\alpha,\beta) d\alpha d\beta$$

y la de la inhibición por

$$I(x,y) = \iint_{\text{PERIFERIA}} X(x,y,\alpha,\beta) d\alpha d\beta$$

el efecto resultante de la inhibición, $Y(x,y)$, viene dada por

$$Y(x,y) = E(x,y) e^{-I(x,y)/I_0} \quad \text{Ec. 3.4.2.-1}$$

Donde " I_0 " es una constante que garantiza la adimensionalidad del exponente

Suponiendo igual area para la superficie excitadora e inhibidora, por ejemplo "A", la iluminación uniforme y constante " X_0 " proporciona.

$$Y(x,y) = X_0 A e^{-X_0 A / I_0}$$

que es siempre positiva. Por ello, la ausencia de respuesta ante iluminación uniforme exige la existencia de un umbral positivo. El maximo de Y al ir variando la intensidad incidente X_0 ocurre para

$$X_0 = \frac{I_0}{A} \quad Y_{\max} = \frac{I_0}{e}$$

Luego, estableciendo un umbral constante y positivo, igual a I_0/e se obtiene la ausencia de respuesta ante estimulación uniforme. Análogamente, si las áreas excitadoras e inhibitoras son A_E y A_I respectivamente el umbral a establecer es:

$$\theta = \frac{I_0 \cdot A_E}{A_I \cdot e} \quad \text{Ec. 3.4.2.-2}$$

La detección de contrastes con este tipo de inhibición no lineal y la ausencia de respuesta ante estimulación uniforme y constante puede garantizarse con un mecanismo menos drástico que el establecimiento de los umbrales anteriores, a través de un umbral adaptivo.

En efecto, estableciendo un umbral adaptivo, θ , con la misma forma multiplicativa, en el que los papeles de las señales E e I se intercambian, tendremos:

$$\theta = I_0 e^{-E/E_0} \quad \text{Ec. 3.4.2.-3}$$

El umbral crece al aumentar la inhibición y decrece al aumentar la excitación. La señal resultante del proceso multiplicativo será

$$Y(x,y) = E(x,y) e^{-Y(x,y)/I_0} - I(x,y) e^{-E(x,y)/E_0}$$

Ec. 3.4.2.-4

Suponiendo igual área para las regiones excitadoras e inhibitoras como en el caso anterior, la iluminación uniforme

y constante proporcional:

$$Y(x,y) = A X_0 e^{-AX_0/I_0} - AX_0 e^{-AX_0/E_0}$$

Que se anula siempre para $I_0 = E_0$

La formulación de estos procesos en el caso discreto y dentro del marco de la estructura del lenguaje se realiza de la forma siguiente:

Elegido el tamaño de la zona central C, los elementos de la matriz de convolución del Kernel asociado al bloque KERNE 14, se definen como:

$$W = \max (|I - I_c| , |J - J_c|)$$

$$C' = \frac{C-1}{2}$$

$$MCONV(I, J) = \begin{cases} [W > C'] & = 1 \\ [W \leq C'] & = 0 \end{cases}$$

$I, J=1, IJDIM$

Los elementos asociados de la matriz de convolución asociada al bloque KERNE 13 se evalúan:

$$\rho = \left(\frac{IJDIM}{C} \right)^{-1}$$

$$MCONV(I, J) = \begin{cases} [W > C'] & = 0 \\ [W \leq C'] & = \rho \end{cases}$$

$I, J=1, IJDIM$

ρ , así calculado garantiza la igualdad de "areas" de la superficie excitadora e inhibidora.

Los modelos principales se establecen conforme a las ecuaciones (3.4.2.-1 y 3.4.2.-3) y a sus umbrales correspondientes descritos en las ecuaciones (3.4.2.-2 y 3.4.2.-4)

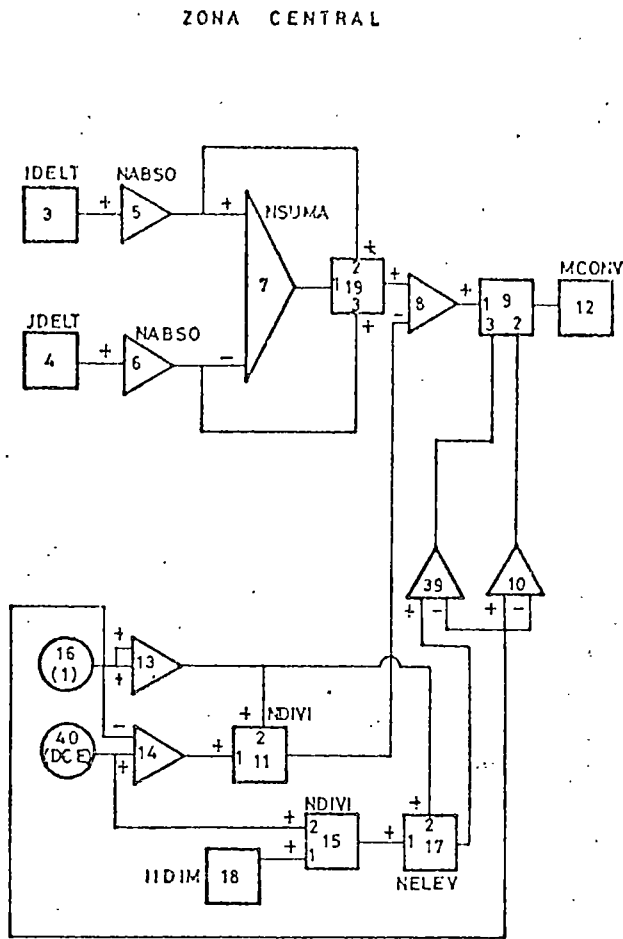
El esquema y el listado general del modelo dotado de umbral fijo se muestran en las figuras (3.4.2.-A y 3.4.2.-B).

Las figuras (3.4.2.-C y 3.4.2.-D) se reflejan en el esquema y el listado general del modelo dotado de umbral adaptivo. Las matrices de convolución espacial asociadas a ambos bloques KERNE son:

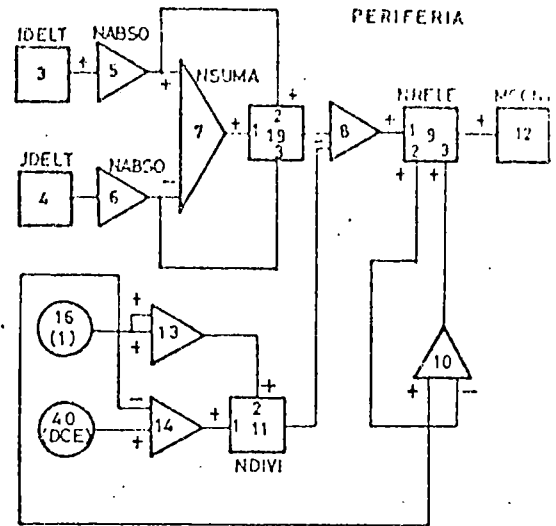
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.000	1.778	1.778	1.778	0.000	
0.000	1.778	1.778	1.778	0.000	KERNE 13
0.000	1.778	1.778	1.778	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	
1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	KERNE 14
1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

MODELO DEL KERNEL 13



MODELO DEL KERNEL 14



MODELO PRINCIPAL

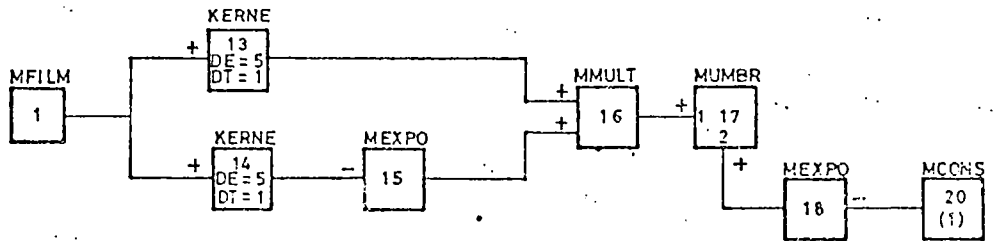


FIGURA (3.4.2-A)

DETECCION DE CONTRASTE POR INHIBICION PRESINAPTICA MULTIPLICATIVA

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIC
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONY	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	13	+1	+0	+0	+1	+5
KERNE	14	+1	+0	+0	+1	+5
MEXPO	15	-14	+0	+0	+0	+0
MMULT	16	+13	+15	+0	+0	+0
MUMBR	17	+16	+18	+0	+0	+0
MEXPO	18	-20	+0	+0	+0	+0
MCDNS	20	+0	+0	+0	+0	+1

MODELO DEL NUCLEO 13

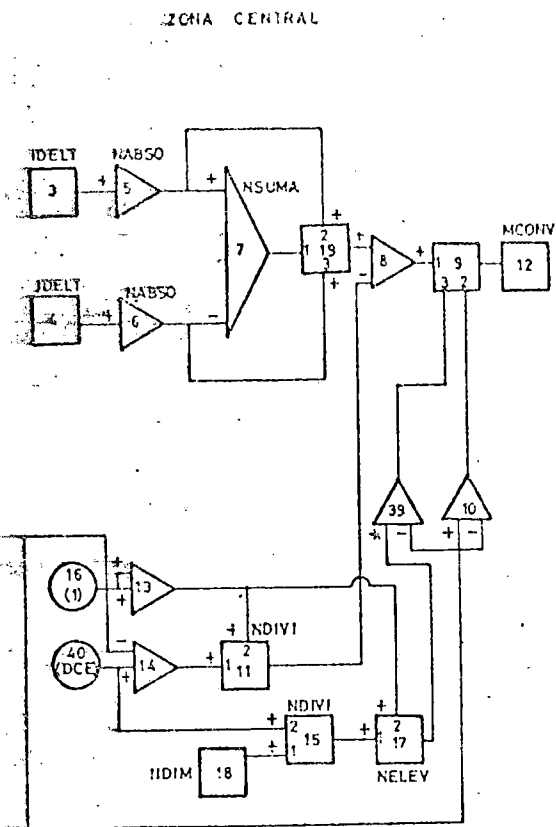
TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+1.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+1.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+1.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+1.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+1.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+1.00
NRELE	9	+8	+10	+39	+1.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+1.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+1.00
MCDNY	12	+9	+0	+0	+1.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+1.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+1.00
NDIVI	15	+18	+40	+0	+1.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NELEY	17	+15	+13	+0	+1.00
IJDIM	18	+0	+0	+0	+5.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+1.00
NSUMA	39	+17	-16	+0	+1.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

MODELO DEL NUCLEO 14

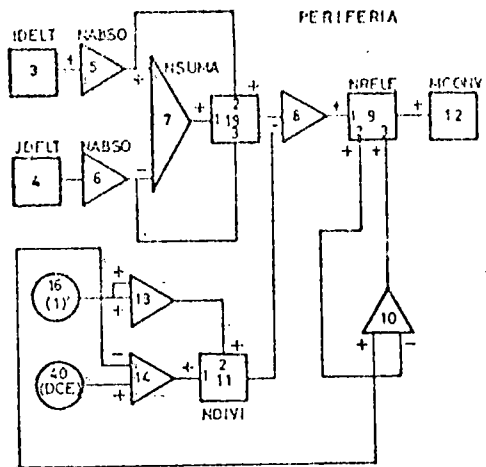
TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+1.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+1.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+1.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+1.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+1.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+1.00
NRELE	9	+8	+16	+10	+1.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+1.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+1.00
MCDNY	12	+9	+0	+0	+1.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+1.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+1.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+1.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

Fig. 3.4.2.-B

MODELO DEL KERNEL 13



MODELO DEL KERNEL 14



MODELO PRINCIPAL

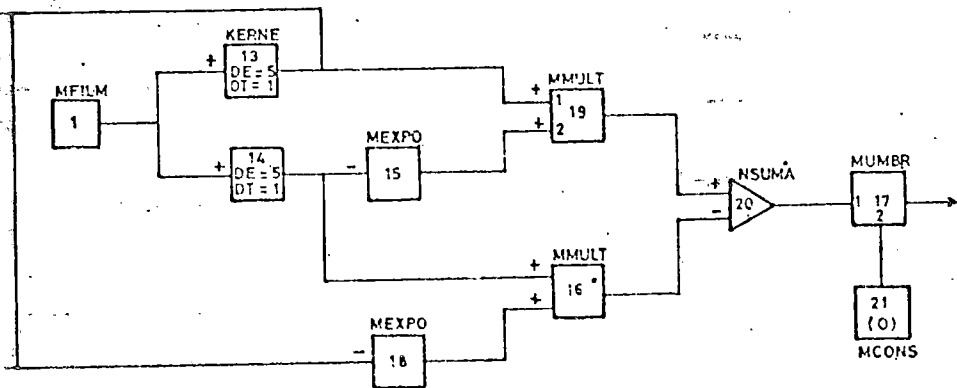


FIGURA (3.4.2-C)

DETECCION DE CONTRASTES POR INHIBICION PRESINAPTICA
MULTIPLICATIVA CON UMBRAL ADAPTIVO

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILH	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	13	+1	+0	+0	+1	+5
KERNE	14	+1	+0	+0	+1	+5
MEXPO	15	-14	+0	+0	+0	+0
MMULT	16	+14	+18	+0	+0	+0
MUMER	17	+20	+21	+0	+0	+0
MEXPO	18	-13	+0	+0	+0	+0
MMULT	19	+13	+15	+0	+0	+0
MSUMA	20	+19	-16	+0	+0	+0
MCONS	21	+0	+0	+0	+0	+0

MODELO DEL NUCLEO 13

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+0.00
NRELE	9	+8	+10	+39	+0.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+0.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+0.00
MCONV	12	+9	+0	+0	+0.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+0.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+0.00
NDIVI	15	+18	+40	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NELEV	17	+15	+13	+0	+0.00
IJDIM	18	+0	+0	+0	+5.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+0.00
NSUMA	39	+17	-16	+0	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

MODELO DEL NUCLEO 14

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+0.00
NRELE	9	+8	+16	+10	+0.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+0.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+0.00
MCONV	12	+9	+0	+0	+0.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+0.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

La película desarrollada para experimentar la detección no lineal de contrastes se muestra en la figura (3.4.2.-E) y corresponde a estímulos estacionarios de barras de distinta anchura y cuadros de diferentes tamaños.

Los resultados de la detección de contrastes por inhibición presináptica multiplicativa se muestran en la figura (3.4.2.-F). Lo drástico del efecto inhibitor y de la acción del umbral se ponen de manifiesto por la existencia de respuesta solo a la barra más estrecha, que corresponde a una selectividad a las frecuencias espaciales altas. La respuesta al cuadro grande es inexistente, mientras que solo los estímulos pequeños son detectados, siendo el estímulo puntual ampliado espacialmente y la primera mancha reducida a un punto.

Los resultados de la detección de contraste por inhibición multiplicativa con umbral adaptivo son los de la figura (3.4.2.-G). La segunda barra es ahora detectada, la respuesta al cuadro grande sigue siendo inexistente, y la respuesta al cuadro de 3 x 3 es superior al caso anterior, en esta respuesta se observa un efecto de esquinas en forma de L que parece ser típico de la detección no lineal de contrastes.

3.4.3.- INHIBICION POSTSINAPTICA DIVISIVA

La acción inhibitoria divisiva ha sido descrita como posible mecanismo postsináptico, ya que la

inhibición parece actuar como una derivación de la excitación. Si "E" es la señal excitadora, e "I" la inhibidora la formación de la inhibición postsináptica se realiza con referencia al simulacro eléctrico de la figura (3.4.3.-A), donde la conductancia en derivación "G" es proporcional a la inhibición. La señal resultante "Y" es

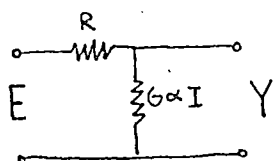


Fig-3.4.3-A

$$Y = \frac{E}{R + \frac{1}{G}} \cdot \frac{1}{G} = \frac{E}{R \cdot G + 1} = \frac{E}{1 + I/I_0}$$

Donde " I_0 " es una constante para asegurar la dimensionalidad del denominador. Si la acción inhibidora postsináptica interviene en la detección de contraste $E(x,y)$ e $Y(x,y)$ viene dados como en la sección anterior, y la señal resultante es:

$$Y(x,y) = \frac{E(x,y)}{1 + I(x,y)/I_0}$$

Ec.3.4.3.-1

Para estimulación uniforme y constante

$$E(x,y) = A_E \cdot X_0 \quad \text{e} \quad I(x,y) = A_I \cdot X_0$$

con lo que la respuesta es:

$$Y = \frac{A_E \cdot X_0}{1 + \frac{A_I \cdot X_0}{I_0}}$$

La ausencia de respuesta para todo valor de "X₀" requiere un umbral no adaptivo

$$\theta = \frac{I_0 \cdot A_E}{A_I}$$

Ec. 3.4.3.-2

La formulación de este proceso se realiza de la forma siguiente:

Los bloques KERNE se describen en la misma manera que los referenciados en la sección (3.4.2). El modelo principal sigue adecuadamente la ecuación (3.4.3.-1) teniendo en cuenta el umbral mencionado en la ecuación (3.4.3.-2)

El esquema del modelo se muestra en la figura (3.4.3.-A) y el listado general del modelo en la figura (3.4.3.-B)

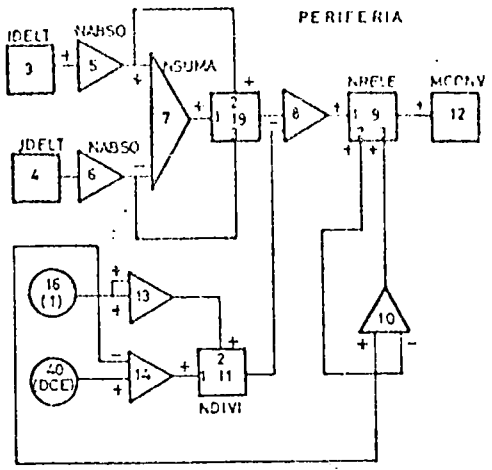
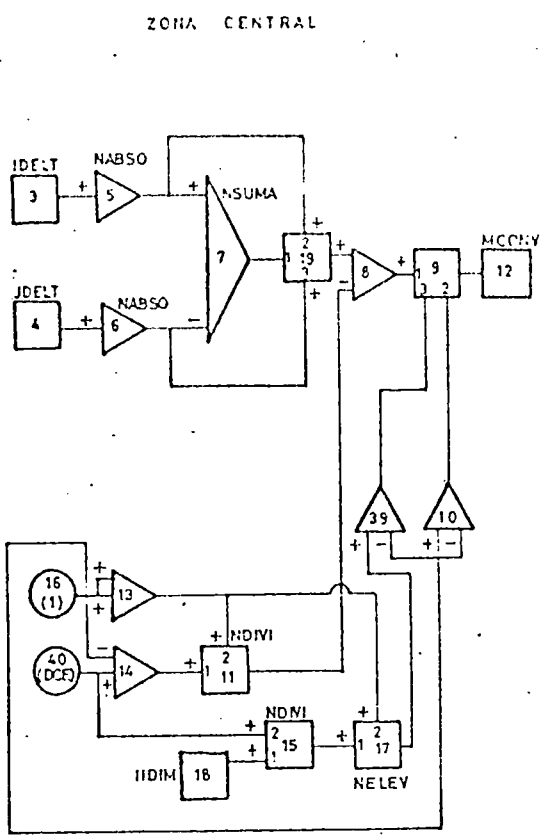
Los resultados de la detección de contrastes por inhibición divisiva se muestran en la figura (3.4.3.-C). Los estímulos son los mismos que en la sección anterior, es decir, los mostrados en la figura (3.4.2.-E)

Existen respuestas a todos los estímulos y estos presentan de forma clara las peculiaridades que hemos encontrado

en la detección no lineal de contrastes: 1) Los estímulos puntuales son ampliados espacialmente, 2) los estímulos de un tamaño igual o mayor que el campo excitador son reducidos espacialmente, aunque, como era de esperar, la respuesta al estímulo de un tamaño igual al del campo receptivo excitador es la más alta numericamente. 3) Para estos estímulos

MODELO DEL KERNEL 13

MODELO DEL KERNEL 14



MODELO PRINCIPAL

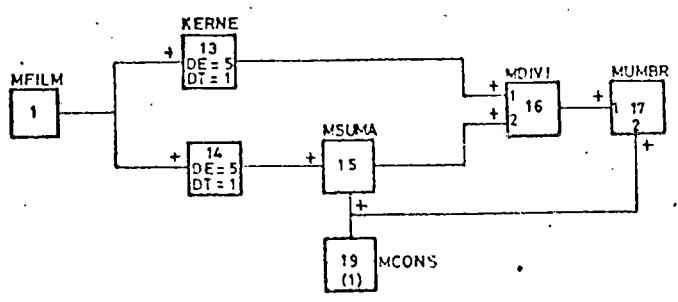


FIGURA (3.4.3-A)
DETECCION DE CONTRASTE POR INHIBICION DIVISIVA

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIG
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	13	+1	+0	+0	+1	+5
KERNE	14	+1	+0	+0	+1	+5
MSUMA	15	+14	+15	+0	+0	+0
MDIVI	16	+13	+15	+0	+0	+0
MUMBR	17	+16	+19	+0	+0	+0
MCONS	19	+0	+0	+0	+0	+1

MODELO DEL NUCLEO 13

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+0.00
NRELE	9	+8	+10	+39	+0.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+0.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+0.00
MCONV	12	+9	+0	+0	+0.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+0.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+0.00
NDIVI	15	+18	+40	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NELEV	17	+15	+13	+0	+0.00
IJDIM	18	+0	+0	+0	+5.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+0.00
NSUMA	39	+17	-16	+0	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

MODELO DEL NUCLEO 14

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+0.00
NRELE	9	+8	+16	+10	+0.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+0.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+0.00
MCONV	12	+9	+0	+0	+0.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+0.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+0.00
NCONS	15	+0	+0	+0	+1.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

Fig. 3.4.3.-B

Table with 70 columns and multiple rows of numerical data for SALIDA 1 BLOQUE 17. The data consists of various integers ranging from 0 to 7, arranged in a grid-like pattern. Notable sequences include a row of 2s followed by a row of 4s, and a row of 3s followed by a row of 7s.

SALIDA 2 BLOQUE 17

Table with 70 columns and multiple rows of numerical data for SALIDA 2 BLOQUE 17. The data is sparse, with most cells containing 0. Non-zero values (1s and 2s) are scattered throughout the grid.

SALIDA 3 BLOQUE 17

Table with 70 columns and multiple rows of numerical data for SALIDA 3 BLOQUE 17. This table contains a higher density of non-zero values, including integers 1, 2, 3, 4, 5, and 6, distributed across the grid.

(iguales o mayores que el campo receptivo excitador) existe un efecto típico en forma de L en las esquinas. Estas peculiaridades se aplican tanto a los cuadros como a las barras.

3.4.4.- EFECTO FACILITADOR Y DESFACILITADOR

El efecto facilitador se produce cuando una señal por sí sola es incapaz de provocar la respuesta neuronal y sin embargo aumenta la capacidad de estímulo de una señal excitadora. El efecto suele formularse con una acción multiplicativa sobre la señal excitadora. Si "E" es la señal excitadora y "F" facilitadora, se obtiene una respuesta "R".

$$\text{Si } R = E \cdot (1 + F/F_0) \quad \text{Ec. 3.4.4.-1}$$

donde F_0 es una constante.

Si la señal "F" es negativa, el efecto es desfacilitador, y corresponde a una inhibición no lineal, de la forma

$$R = E \cdot (1 - I/I_0) \quad \text{Ec. 3.4.4.-2}$$

Donde "I" es la señal facilitadora e " I_0 " una constante.

$$\text{Si } E(x,y) = \int \int_{\text{CENTRO}} K_E(x,y,\alpha,\beta) X(\alpha,\beta) d\alpha d\beta$$

$$I(x,y) = \int \int_{\text{PERIFERIA}} K_I(x,y,\alpha,\beta) X(\alpha,\beta) d\alpha d\beta$$

Siendo $E(x,y)$ e $I(x,y)$ las señales excitadoras y des-

facilitadora respectivamente, de un C.R. centro-periferia
 Para estimulación uniforme y constante, " X_0 " resulta:

$$E = X_0 A_E ; \quad I = X_0 A_I$$

donde

$$A_E = \iint_{\text{CENTRO}} K_E(x,y) dx dy ; \quad A_I = \iint_{\text{PERIFERIA}} K_I(x,y) dx dy$$

es decir

$$R = X_0 A_E (1 - X_0 A_I / I_0)$$

La ausencia de respuesta ante esta estimulación, requiere la existencia de un umbral no adaptivo igual o mayor que el máximo de la función anterior que es

$$\theta = \frac{1}{4} \cdot \frac{A_E}{A_I} \cdot I_0 \quad \text{Ec. 3.4.4.-3}$$

La formulación de los efectos facilitadores y desfacilitadores se realiza de la forma siguiente.

Los bloques KERNE se construyen de la misma manera que los descritos en la sección (3.4.2.-).

Los modelos principales describen las ecuaciones (3.4.4.-1 y 3.4.4.-2) respectivamente, teniendo en cuenta en el efecto desfacilitador el umbral establecido en la ecuación (3.4.4.-3).

Los esquemas y los listados generales, de uno y otro efecto, se muestran en las figuras (3.4.4.-A, 3.4.4.-B, 3.4.4.-C, y 3.4.4.-D) respectivamente.

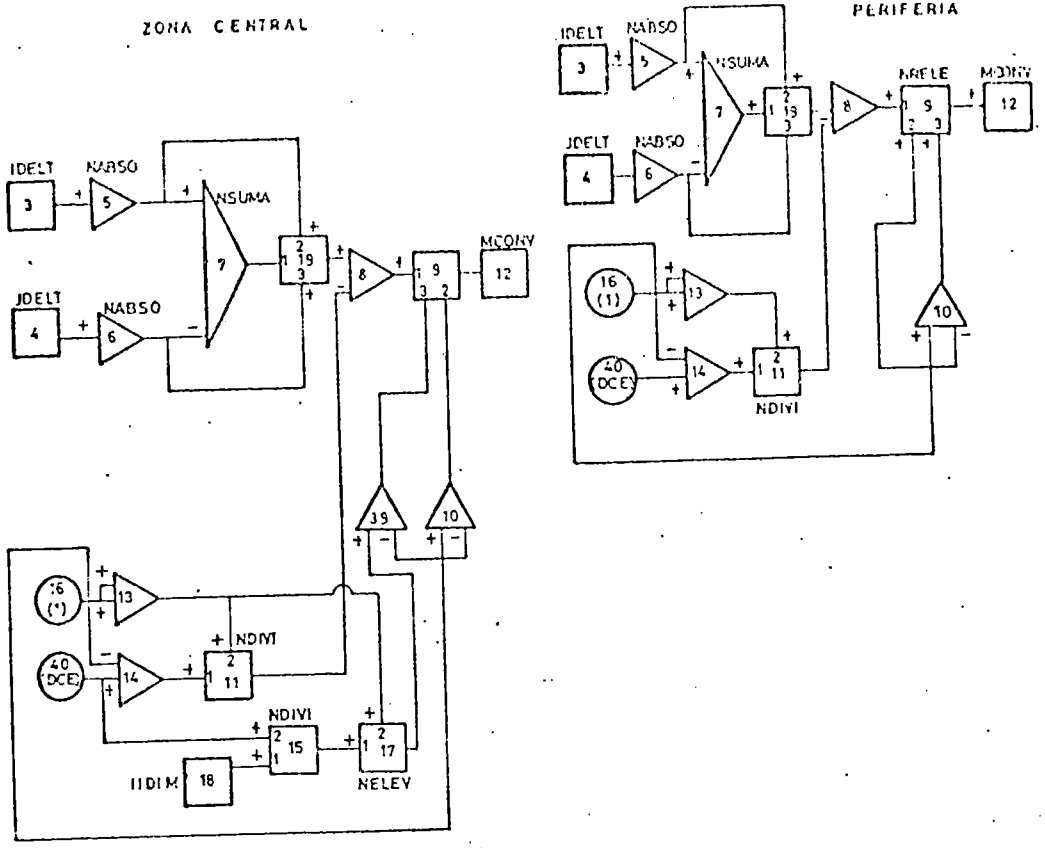
La acción del efecto facilitador sobre los contrastes de la figura (3.4.2.-E) se muestran en la figura (3.4.4.-E). Todos los contrastes son ampliados espacialmente, de acuerdo con las dimensiones de la región central del campo receptor. Así mismo, los centros de los estímulos, donde la acción facilitadora de las proximidades es mayor, proporcionan una respuesta máxima.

Sin embargo, no existe respuesta al estímulo puntual debido a que, al carecer de puntos vecinos que lo faciliten su contribución es muy pequeña, y al aplicar el factor de escala es considerada nula.

La detección de contrastes por efecto desfacilitador es la más drástica de las acciones no lineales, lo cual se debe a que valores relativamente pequeños de la inhibición anulan o hacen negativo al término $(1-I)$, eliminando la respuesta. Ello se muestra en los resultados de la figura (3.4.4.-F). No existen respuestas a ninguna de las barras ni a los cuadros, excepto al de tamaño 3×3 (que ocupa una región igual al área excitadora), que es reducido a un punto, y al estímulo puntual que es ampliado espacialmente sobre una región igual asimismo al tamaño del campo receptor excitador.

MODELO DEL KERNEL 13

MODELO DEL KERNEL 14



MODELO PRINCIPAL

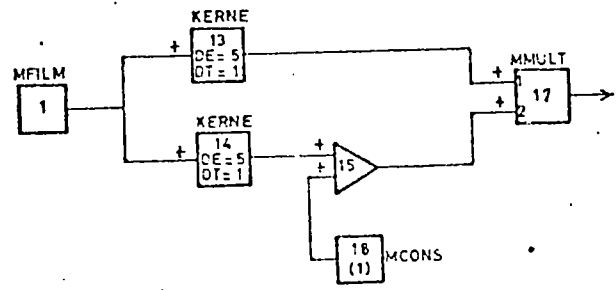
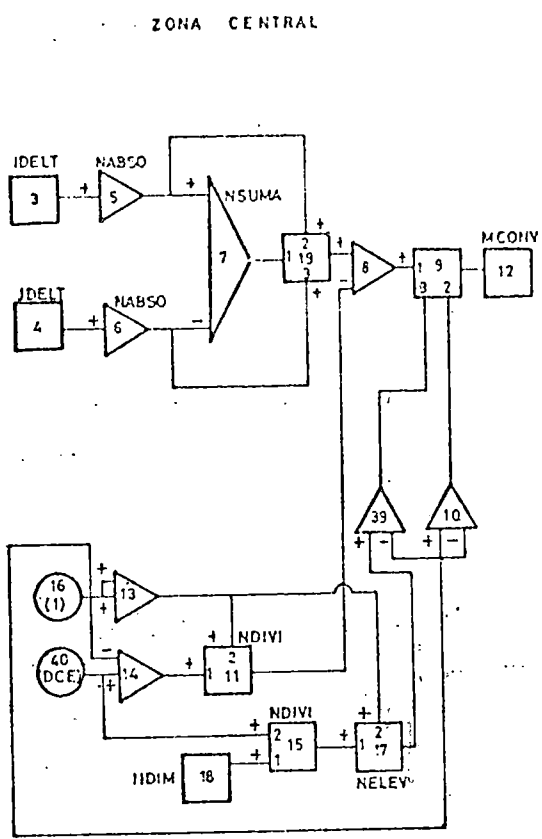
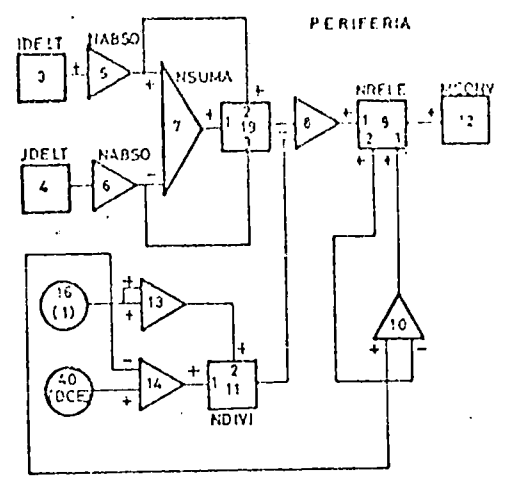


FIGURA (3.4.4-A)
EFECTO FACILITADOR

MODELO DEL KERNEL 13



MODELO DEL KERNEL 14



MODELO PRINCIPAL

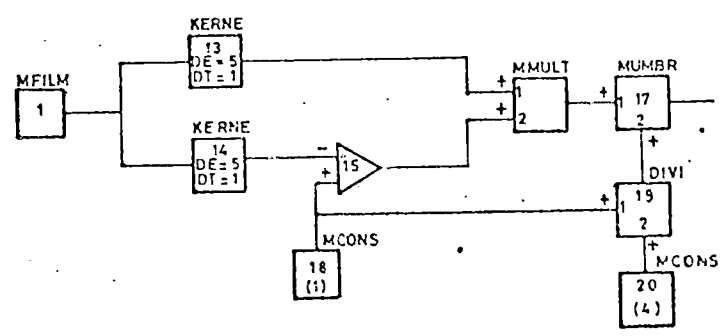


FIGURA (3.4.4-B)
 DETECCION DE CONTRASTES POR EFECTO DESFACILITADOR

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	PETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	13	+1	+0	+0	+1	+5
KERKE	14	+1	+0	+0	+1	+5
NSUMA	15	+14	+18	+0	+0	+0
NMULT	17	+13	+15	+0	+0	+0
NCONS	18	+0	+0	+0	+0	+1

MODELO DEL NUCLEO 13

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+0.00
NRELE	9	+8	+10	+39	+0.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+0.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+0.00
MCONV	12	+9	+0	+0	+0.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+0.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+0.00
NDIVI	15	+18	+40	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NELEV	17	+15	+13	+0	+0.00
IJDIM	18	+0	+0	+0	+5.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+0.00
NSUMA	39	+17	-16	+0	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

MODELO DEL NUCLEO 14

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+0.00
NRELE	9	+8	+16	+10	+0.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+0.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+0.00
MCONV	12	+9	+0	+0	+0.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+0.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

Fig. 3.4.4.-C

MODELO PRINCIPAL

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	RETR	DIM
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	CONV	VALOR
MFILM	1	+0	+0	+0	+0	+0
KERNE	13	+1	+0	+0	+1	+5
KERNE	14	+1	+0	+0	+1	+5
MSUMA	15	-14	+18	+0	+0	+0
MMULT	16	+13	+15	+0	+0	+0
MUMBR	17	+16	+19	+0	+0	+0
MCDNS	18	+0	+0	+0	+0	+1
MCDIVI	19	+18	+20	+0	+0	+0
MCDNS	20	+0	+0	+0	+0	+4

MODELO DEL NUCLEO 13

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+0.00
NRELE	9	+8	+10	+39	+0.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+0.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+0.00
MCONV	12	+9	+0	+0	+0.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+0.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+0.00
NDIVI	15	+18	+40	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NELEV	17	+15	+13	+0	+0.00
IJDIM	18	+0	+0	+0	+5.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+0.00
NSUMA	39	+17	-16	+0	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

MODELO DEL NUCLEO 14

TIPO	NUM	ENTR	ENTR	ENTR	VALOR
ELEMEN	BLOQ	1	2	3	
IDELT	3	+0	+0	+0	+0.00
JDELT	4	+0	+0	+0	+0.00
NABSO	5	+3	+0	+0	+0.00
NABSO	6	+4	+0	+0	+0.00
NSUMA	7	+5	-6	+0	+0.00
NSUMA	8	+19	-11	+0	+0.00
NRELE	9	+8	+16	+10	+0.00
NSUMA	10	+16	-16	+0	+0.00
NDIVI	11	+14	+13	+0	+0.00
MCONV	12	+9	+0	+0	+0.00
NSUMA	13	+16	+16	+0	+0.00
NSUMA	14	+40	-16	+0	+0.00
NCONS	16	+0	+0	+0	+1.00
NRELE	19	+7	+5	+6	+0.00
NCONS	40	+0	+0	+0	+3.00

Fig. 3.4.4.-D

CONCLUSIONES Y PRINCIPALES APORTACIONES

1.- Se ha realizado el análisis de un conjunto representativo de modelos retinales, considerándolos como sistemas de proceso de datos espacio-temporales y, a partir de las funciones básicas adjudicables neurofisiológicamente, se ha concluido que su caracterización desde este punto de vista, corresponde a la acción de transformaciones espacio-temporales representables por núcleos de transformación, a la acción de operaciones locales en el espacio (lineales o nó) y a la acción de funciones sobre propiedades de los datos iniciales.

2.- Aún en los modelos retinales relativamente sencillos, las dificultades para caracterizar analíticamente la gama de estímulos aplicable en la experimentación, llevan a la necesidad de realizar el modelo en ordenador, forma práctica de obtener las consecuencias del modelo y de hacer uso de su potencial poder predictivo.

3.- Como consecuencia del análisis anterior, se ha concluido que es posible el desarrollo de un lenguaje de propósito especial, transparente y flexible, con el

cual pueda construirse cualquier modelo retinal y además, que pueda experimentarse en él toda una gama de estímulos. El desarrollo de este lenguaje es la aportación central de nuestro trabajo.

4.- La estructura del lenguaje se conforma de manera tal que sea posible el diseño de un modelo por medio de la interconexión de unos bloques operativos básicos elegidos de entre una gama de ellos, y que realizan operaciones neurofisiológicamente plausibles sobre los datos espacio-temporales. Asimismo, de forma natural, la computación en el modelo resultante aparece como una computación por capas, concepto que es central según los conocimientos actuales del comportamiento de la retina.

5.- Del estudio de los modelos retinales y de las propiedades asociables a las neuronas, se han deducido las funciones que son adjudicables a los bloques principales, tanto para la elaboración de los núcleos de transformación (que corresponden a una capa del modelo total) como para la confección de un modelo completo, donde las señales procedentes de distintas capas pueden interactuar.

Aunque la naturaleza de los datos a manejar es distinta

(numeros en la confección de los núcleos y matrices en la confección del modelo), las operaciones lineales y no lineales son semejantes. Hemos encontrado que unas doce operaciones básicas bastan para cubrir prácticamente todas las posibilidades de acuerdo con los resultados actuales de la neurofisiología, siendo, sin embargo, factible su ampliación. La potencialidad de los bloques funcionales y de la estructura del lenguaje se pone de manifiesto por la sencillez en la incorporación de todas las operaciones sinápticas y presinápticas de un modelo, así como la inclusión de umbrales adaptivos locales, globales, lineales o no lineales que suele constituir la dificultad analítica más seria en la formulación de modelos retinales.

- 6.- En el desarrollo de los tipos de estímulo para la prueba de los modelos, aunque son ampliables, hemos incluido aquellos que son típicamente usados en la experimentación neurofisiológica, correspondiendo a estímulos estacionarios, estímulos variables en el tiempo y estímulos móviles. Para conseguir las necesarias películas de entrada basta especificar unos cuantos parámetros correspondientes a los estímulos a emplear en una determinada prueba.

7.- Hemos llevado a cabo la aplicación de la estructura desarrollada a los casos de operaciones retinales fundamentales, encontrando que la clasificación adecuada de las mismas es la siguiente: 1) operaciones con nucleos espaciales puros; 2) operaciones con nucleos espacio-temporales factorizables y suma de factorizables; 3) operaciones con nucleos no factorizables y 4) operaciones no lineales.

Como conclusion general de las aplicaciones hemos visto que la interpretación de las respuestas, tanto desde el punto de vista neurofisiológico como de proceso de datos, ofrece un potencial de considerable interés en el desarrollo de nuevos modelos que expliquen el comportamiento de las celulas retinales, en particular de las celulas ganglionares especializadas. Estas conclusiones se derivan de los resultados obtenidos con nucleos de interacción poco frecuente en la literatura de modelos, debido a su complejidad analitica, como son algunos nucleos factorizables, los nucleos no factorizables y las operaciones no lineales. En todos los casos, la extensión del nucleo espacio-temporal en unas pocas unidades de tiempo es suficiente para poner de manifiesto las peculiaridades de su acción.

8.- De las aplicaciones de las transformaciones con nucleos factorizables y no factorizables se ha concluido que

merecen una investigación especial por su posible relevancia neurofisiológica, el nucleo centro-excitador, periferia-inhibidora, factorizable en el tiempo que tiene un comportamiento global ON-OFF; los nucleos no factorizables que reflejan la acción del retardo en las fibras aferentes, por su efecto sobre estímulos en movimiento y, especialmente, los nucleos no factorizables definidos como volúmenes excitadores e inhibidores dentro del espacio de señales, que tienen naturaleza local ON-OFF.

9.- La aplicación de las operaciones no lineales típicas a la detección de contrastes estacionarios a permitido deducir lo drástico que es, por lo general la acción inhibidora no lineal, con la consiguiente repercusión en la selectividad de las respuestas a las frecuencias espaciales, así como los peculiares efectos de los bordes y esquinas. Nuevamente, las propiedades encontradas se aproximan bastante a las descritas para las células ganglionares de la retina de los vertebrados inferiores, lo que indica que la revisión de los modelos de dichas células a la vista de estos resultados, puede proporcionar consecuencias neurofisiológicas relevantes.

10.- Puesto que las aplicaciones del lenguaje desarrollado y la interpretación de las respuestas han sido inicia-

...das, queda por delante la investigación correspondiente a su utilización mas profunda, tanto en los procesos retinales como en la elaboración de datos espacio-temporales en general. Esta tarea requiere, como parte esencial, la adecuada introducción a los estímulos e interpretación de los resultados y ha de ser llevada a cabo en estrecha colaboración con especialistas en los otros campos.

En todo caso, se dispone de una herramienta eficaz para verificar hipótesis en los modelos y obtener resultados de forma rápida.

A P E N D I C E I

P R O G R A M A S

```

0 REM REPETI. TD
0 REM BLOQUES MAXIMO, B9
0 LET B9=50
0 REM ENTRADAS MAXIMAS, J9
0050 LET J9=3
0060 DIM I (B9, J9+1), FLB9), DCB9), FCB9), KCB9), LCB9), VCB9), RCB9)
0070 DIM ILB1
0080 DIM MCB91
0090 DIM HCB120)
0100 PRINT "<26>"
0110 PRINT "1) DENOMINACION DE LA PELICULA DE ESTIMULOS"
0120 PRINT "0) FIN"
0130 PRINT "1) DEFINICION DEL MODELO PRINCIPAL"
0140 PRINT "2) LISTADO DEL MODELO PRINCIPAL"
0150 PRINT "3) CORRECCION DEL MODELO PRINCIPAL"
0160 PRINT "4) DEFINICION DEL MODELO DE UN NUCLEO"
0170 PRINT "5) LISTADO DEL MODELO DE UN NUCLEO"
0180 PRINT "6) CORRECCION DEL MODELO DE UN NUCLEO"
0190 PRINT "7) LISTADO GENERAL DEL MODELO"
0200 PRINT "8) EVALUACION DE LAS MATRICES DE CONVOLUCION"
0210 PRINT "DE LOS NUCLEOS QUE INTERVIENEN EN EL MODELO"
0220 PRINT "9) PROCESAMIENTO DEL MODELO"
0230 INPUT KO
0240 PRINT "<26>"
0250 ON (KO+2) THEN GOTO 0270, 0300, 0280, 0290, 0300, 0310, 0320, 0330, 0340, 0350, 0350
0250 GOTO 0110
0270 CHAIN "REPFIL.TD"
0280 CHAIN "REPECHN.TD" THEN GOTO 0060
0290 CHAIN "REPLIMN.TD" THEN GOTO 0020
0300 CHAIN "REPECHN.TD" THEN GOTO 0080
0310 CHAIN "REPECHN.TD" THEN GOTO 0110
0320 CHAIN "REPLIMN.TD" THEN GOTO 0040
0330 CHAIN "REPECHN.TD" THEN GOTO 0130
0340 CHAIN "REPLIMN.TD" THEN GOTO 0060
0350 LET R5=4*(J9+8)*B9+8)
0360 OPEN FILE(2,0), "REDECHN.TD", R5
0370 MAT READ FILE(2,0), L, F, D, T, K, C, V, R, Z
0380 LET L9=Z(1)
0390 LET K9=Z(2)
0400 IF L9>=1 THEN GOTO 0430
0410 PRINT "NO ESTA DEFINIDO EL MODELO PRINCIPAL"
0420 GOTO 0770
0430 LET I=1
0440 IF L(1,1)<0 THEN GOTO 0500
0450 LET I=I+1
0460 IF I<=L9 THEN GOTO 0440
0470 ON (KO-7) THEN GOTO 0530, 0480
0480 CLOSE FILE(2)
0490 CHAIN "REPPROC.TD"
0500 ON (KO-7) THEN GOTO 0530, 0510
0510 PRINT "FALLO >1< EN MODELO PRINCIPAL"
0520 GOTO 0770
0530 IF K9>=1 THEN GOTO 0560
0540 PRINT "EL MODELO PRINCIPAL NO TIENE BLOQUES DE NUCLEOS"
0550 GOTO 0770
0560 LET M9=K9
0570 MAT M=K
0580 LET KO=0
0590 FOR P=1 TO M9
0600 LET R1=MP1

```

```

0610 MAT READ FILE(2, R1), L, F, D, T, K, C, V, R, Z
0620 LET L9=Z(1)
0630 IF L9>=1 THEN GOTO 0660
0640 PRINT "NO ESTA DEFINIDO EL MODELO DEL NUCLEO ": R1
0650 GOTO 0720
0660 LET I=1
0670 IF L(1,1)<0 THEN GOTO 0710
0680 LET I=I+1
0690 IF I<=L9 THEN GOTO 0670
0700 GOTO 0730
0710 PRINT "FALLO >1< EN EL MODELO DEL NUCLEO ": R1
0720 LET KO=KO+1
0730 NEXT P
0740 IF ABS(KO) > 1 THEN GOTO 0770
0750 CLOSE FILE(2)
0760 CHAIN "REPEVHC.TD"
0770 INPUT "TECLEE RETURN PARA CONTINUAR ": M1
0780 CLOSE FILE(2)
0790 GOTO 0100
0800 STOP

```

```

0010 REM RMPPROC TO
0020 REM PROCESAMIENTO DEL MODELO
0030 DIM P4(80)
0040 REM ENTRADAS MAXIMAS, J9
0050 LET J9=3
0060 DIM J(J9),Z(J9)
0070 LET Q0=5
0080 LET P5=5
0090 DIM M1(1)
0100 LET M1="H"
0110 DIM M14(5)
0120 LET M14="+###"
0130 REM MATRIZ SENAL N9 FILAS DE (N9)
0140 LET N9=33
0150 DIM A(N9),DIN(7),S(N9)
0160 REM BLOQUE MAXIMO, B9
0170 LET B9=50
0180 DIM L(39, J9+1), F(B9), D(B9), T(B9), K(B9), C(B9), V(B9), R(B9)
0190 DIM Z(8)
0200 REM NIVELES, Q9
0210 LET Q9=36
0220 DIM Q4(38)
0230 LET Q4="<0123456789ABCDEFGHIJKLMNPOQRSTUVWXYZ>"
0240 INPUT " NUMERO DEL BLOQUE DE SALIDA ", S9
0250 INPUT " TECLAS: 1 SALIDA VALORES, 2 SALIDA NIVELES ", U4
0260 ON U4 THEN GOTO 0300, 0280
0270 GOTO 0250
0280 INPUT " VALOR MAXIMO, VALOR MINIMO ", Q1, Q2
0290 IF Q2<Q1 THEN GOTO 0250
0300 INPUT " NUMERO DE FOTOGRAFIAS A PROCESAR ", M1
0310 IF M1<0 THEN GOTO 0330
0320 LET M1=1
0330 LET M9=M1
0340 LET P$="MLOGAMULTMDIVIMELEVMSUMAHUMBRMCONGMFILMRETRKERREMUIDMEXPOMABSO"
0341 LET P$=P$, "MSATU"
0350 OPEN FILE(0, 1), "%LPT"
0360 LET R5=4*((J9+9)*29+9)
0370 OPEN FILE(2, 0), "REDECHN. TO", R5
0380 MAT READ FILE(2, 0), L, F, D, T, K, C, V, R, Z
0390 LET L9=Z(1)
0400 LET K9=Z(2)
0410 LET C9=Z(3)
0420 LET G8=Z(4)
0430 LET V9=Z(5)
0440 LET R9=Z(6)
0450 LET D9=Z(7)
0460 LET T9=Z(8)
0470 CLOSE FILE(2)
0480 LET R5=4*M9
0490 OPEN FILE(3, 0), "REDMASA. TO", R5
0500 OPEN FILE(5, 0), "REDMRET. TO", R5
0510 OPEN FILE(6, 0), "REDMEKE. TO", R5
0520 OPEN FILE(4, 0), "REDMCKE. TO", R5
0530 OPEN FILE(1, 0), "REDMFIL. TO", R5
0540 IF ABS(R9)<.1 THEN GOTO 0640
0550 LET B1=0
0560 FOR K=1 TO R9
0570 LET B1=B1+F(L(K))
0580 NEXT K
0590 LET B2=B1*M9

```

```

0600 MAT A=ZER
0610 FOR K=1 TO B2
0620 MAT WRITE FILE(5, K), A
0630 NEXT K
0640 IF ABS(K9)<.1 THEN GOTO 0740
0650 LET B1=0
0660 FOR K1=1 TO K9
0670 LET B1=B1+F(K(K1))
0680 NEXT K1
0690 LET B2=B1*N9
0700 MAT A=ZER
0710 FOR K=1 TO B2
0720 MAT WRITE FILE(6, K), A
0730 NEXT K
0740 FOR M9=1 TO M9
0750 IF ABS(V9)<.1 THEN GOTO 0850
0760 LET X1=M9*(M0-1)+1
0770 FOR F=1 TO N9
0780 LET Z9=X1+F-1
0790 MAT READ FILE(1, Z9), A

```

```

0000   FOR K=1 TO N9
0010     LET R1=NY*(V(K)-1)*F
0020     MAT WRITE FILE(3,R1),A
0030   NEXT K
0040 NEXT F
0050   FOR K=C9+1 TO C9
0060     LET I1=C(K)
0070     LET I9=L(I1,1)
0080     FOR J1=2 TO J9+1
0090       LET J(I1-1)=ABS(L(I1,J1))
0100       LET I(J1-1)=SIGN(L(I1,J1))
0110     NEXT J1
0120     LET IO=GO*(I9-1)+1
0130     LET JO=GO*I9
0140     IF P*(IO,JO) <> "MEXP0" THEN GOTO 1030
0150     FOR F=1 TO N9
0160       COSUB 2910
0170       FOR I=1 TO N9
0180         LET B(I)=EXP(B(I))
0190       NEXT I
0200       MAT WRITE FILE(3,R3),B
0210     NEXT F
0220     GOTO 2480
0230     IF P*(IO,JO) <> "MLOGA" THEN GOTO 1120
0240     FOR F=1 TO N9
0250       COSUB 2910
0260       FOR I=1 TO N9
0270         LET B(I)=LOG(B(I))
0280       NEXT I
0290       MAT WRITE FILE(3,R3),B
0300     NEXT F
0310     GOTO 2480
0320     IF P*(IO,JO) <> "MSUMA" THEN GOTO 1180
0330     FOR F=1 TO N9
0340       COSUB 2910
0350       MAT WRITE FILE(3,R3),B
0360     NEXT F
0370     GOTO 2480
0380     IF P*(IO,JO) <> "MABS0" THEN GOTO 1270
0390     FOR F=1 TO N9

```

```

-----
1200   GOSUB 2910
1210     FOR I=1 TO N9
1220       LET B(I)=ABS(B(I))
1230     NEXT I
1240     MAT WRITE FILE(3,R3),B
1250   NEXT F
1260   GOTO 2480
1270   IF P*(IO,JO) <> "MMULT" THEN GOTO 1350
1280   FOR F=1 TO N9
1290     COSUB 3030
1300     FOR I=1 TO N9
1310       LET B(I)=3(I)*A(I)
1315     NEXT I
1320     MAT WRITE FILE(3,R3),B
1330   NEXT F
1340   GOTO 2480
1350   IF P*(IO,JO) <> "MRUID" THEN GOTO 1450
1360   FOR F=1 TO N9
1370     GOSUB 3030
1380     FOR I=1 TO N9
1390       LET W=2*RND(I)-1
1400       LET B(I)=A(I)*(1+B(I)*W)
1410     NEXT I
1420     MAT WRITE FILE(3,R3),B
1430   NEXT F
1440   GOTO 2480
1450   IF P*(IO,JO) <> "MDIVI" THEN GOTO 1540
1460   FOR F=1 TO N9
1470     COSUB 3030
1480     FOR I=1 TO N9
1490       LET B(I)=A(I)/B(I)
1500     NEXT I
1510     MAT WRITE FILE(3,R3),B
1520   NEXT F
1530   GOTO 2480
1540   IF P*(IO,JO) <> "MELEV" THEN GOTO 1630
1550   FOR F=1 TO N9
1560     COSUB 3030
1570     FOR I=1 TO N9
1580       LET B(I)=A(I)^B(I)

```

```

1590     NEXT I
1600     MAT WRITE FILE(3,R3),B
1610     NEXT F
1620     GOTO 2480
1630     IF P(10,J0) <> "HUMER" THEN GOTO 1722
1640     FOR F=1 TO N9
1650         GOSUB 3030
1660         FOR I=1 TO N9
1670             IF A(I) > B(I) THEN GOTO 1690
1680             LET B(I)=A(I)
1690             LET B(I)=A(I)-B(I)
1700         NEXT I
1710     MAT WRITE FILE(3,R3),B
1720     NEXT F
1721     GOTO 2480
1722     IF P(10,J0) <> "MSATU" THEN GOTO 1740
1723     FOR F=1 TO N9
1724         GOSUB 3030
1725         FOR I=1 TO N9
1726             IF A(I) > B(I) THEN GOTO 1728
1727             LET B(I)=A(I)
1728     NEXT I
1729     MAT WRITE FILE(3,R3),B
1730     NEXT F
1731     GOTO 2480
1740     IF P(10,J0) <> "MRETR" THEN GOTO 1960
1750     LET A0=0
1760     LET A9=0
1770     LET X=1
1780     FOR J=1 TO R9
1790         LET B0=(F(R(J)+1))*N9
1800         LET A0=A0+X
1810         LET A9=A9+B0
1820         LET X=B0
1830         IF ABS(R(J)-11) < .1 THEN GOTO 1870
1840     NEXT J
1850     PRINT "ERROR: BUSQUEDA SECTOR RETR ",I1;R(J);A0;A9
1860     STOP
1870     LET X9=5
1880     GOSUB 3120
1890     FOR F=1 TO N9
1900         LET R5=A0+F-1
1910         MAT READ FILE(5,R5),A
1920         LET R3=N9*(I1-1)+F
1930         MAT WRITE FILE(3,R3),A
1940     NEXT F
1950     GOTO 2480
1960     IF P(10,J0) <> "KERNE" THEN GOTO 2480
1970     LET A0=0
1980     LET A9=0
1990     LET A5=1
2000     LET A1=0
2010     LET A8=0
2020     LET A6=1
2030     FOR I=1 TO K9
2040         LET B0=(F(IK(I)))*N9
2050         LET A0=A0+A5
2060         LET A9=A9+B0
2070         LET A5=B0
2080         LET B1=(F(IK(I)))*N9
2090         LET A1=A1+A6
2100         LET A8=A8+B1
2110         LET A6=B1
2120         IF ABS(K(I)-11) < .1 THEN GOTO 2160
2130     NEXT I
2140     PRINT "ERROR: BUSQUEDA SECTOR CONV ",I1;K(I);A0;A9;A1;A8
2150     STOP
2160     LET K5=1
2170     LET X9=6
2180     GOSUB 3120
2190     LET N1=0(I1)
2200     LET N3=(N1+1)/2
2210     LET H0=0
2220     FOR F=1 TO N9
2230         MAT S=ZFP
2240         FOR A=1 TO F(I1)
2250             FOR I=1 TO N1
2260                 LET I2=F+I-N3
2270                 PRINT "I2=",I2
2280                 IF I2=1 THEN GOTO 2430

```

```

2290     IF I2>N9 THEN GOTO 2430
2300     LET M0=M0+1
2310     LET R5=N9*(A-1)+A1+I-1
2320     MAT READ FILE(4,R5),B
2330     LET R6=N9*A+A0+I2-1
2340     MAT READ FILE(6,R6),A
2350     FOR C=1 TO N9
2360         FOR J=1 TO N1
2370             LET J2=C+J-N3
2380             IF J2<1 THEN GOTO 2410
2390             IF J2>N9 THEN GOTO 2410
2400             LET S(C)=S(C)+B(J)*A(J2)
2410         NEXT J
2420     NEXT C
2430     NEXT I
2440     NEXT A
2450     LET R3=N9*(I1-1)+F
2460     MAT WRITE FILE(3,R3),S
2470     NEXT F
2480     NEXT K
2490     GOSUB 2580
2500     NEXT M0
2510     CLOSE FILE(0)
2520     CLOSE FILE(1)
2530     CLOSE FILE(3)
2540     CLOSE FILE(4)
2550     CLOSE FILE(5)
2560     CLOSE FILE(6)
2570     CHAIN "REPRTI.TO"
2580     REM
2590     PRINT FILE(0)
2600     PRINT FILE(0)
2610     PRINT FILE(0), " SALIDA " ; M0 ; " BLOQUE " ; S9
2620     PRINT FILE(0)
2630     ON U4 THEN GOTO 2650 ; 2640
2640     LET D=(G9-1)/(G2-G1)
2650     FOR F=1 TO N9
2660         LET R3=N9*(S9-1)+F
2670         MAT READ FILE(3,R3),A
2680         ON U4 THEN GOTO 2810 ; 2690
2690         FOR J=1 TO N9
2700             LET G=AC(J)
2710             LET X=D*(G-G1)
2720             IF X<=G9-1 THEN GOTO 2740
2730             LET X=G9
2740             IF X>=0 THEN GOTO 2760
2750             LET X=-1
2760             LET P=X+2
2770             PRINT FILE(0),G$(P),P," " ;
2780         NEXT J
2790         PRINT FILE(0)
2800         GOTO 2850
2810         FOR J=1 TO N9
2820             PRINT FILE(0),USING M1$,AC(J) ;
2830         NEXT J
2840         PRINT FILE(0)
2845         PRINT FILE(0)
2850     NEXT F
2860     IF ABS(M0-M9)>1 THEN GOTO 2900
2870     FOR I=1 TO P5

```

```

2880     PRINT FILE(0)
2890     NEXT I
2900     RETURN
2910     REM
2920     PRINT F
2930     LET R3=N9*(I1-1)+F
2940     MAT READ FILE(3,R3),A
2950     FOR J1=1 TO J9
2960         IF ABS(A(J1))< 1 THEN GOTO 2910
2970         LET R1=N9*(J(J1)-1)+F
2980         MAT READ FILE(3,R1),A
2990         MAT A*(I(J1))*A
3000     NEXT J1
3010     NEXT J1

```



```

3020 RETURN
3030 REM
3040 LET R3=N9*(I1-1)+F
3050 LET R1=N9*(J(1)-1)+F
3060 MAT READ FILE(3,R1),A
3070 MAT A=(I(1))*A
3080 LET R1=N9*(J(2)-1)+F
3090 MAT READ FILE(3,R1),B
3100 MAT B=(I(2))*B
3110 RETURN
3120 REM
3130 FOR I=A0 TO A9-N9
3140 PRINT "I=";I
3150 LET R5=I+N9
3160 MAT READ FILE(X9,R5),B
3170 LET R5=I
3180 MAT WRITE FILE(X9,R5),B
3190 NEXT I
3200 FOR F=1 TO N9
3210 COSUD 2910
3220 LET R5=A9-N9+F
3230 MAT WRITE FILE(X9,R5),B
3240 NEXT F
3250 RETURN

```

```

0010 REM REPECHN. TD
0020 REM K0=1 HACE REFERENCIA AL MODELO PRINCIPAL
0030 REM K0=2 " " " " " " DE UN NUCLEO
0040 REM B5=1 ENTRADA DE DATOS (K0=1,K0=2) MOD. PRINC.,MOD. NUCLEO
0050 REM B5=2 CORRECCION " " " " " "
0060 LET B5=1
0070 GOTO 0090
0080 LET B5=2
0090 LET K0=1
0100 GOTO 0150
0110 LET B5=1
0120 GOTO 0140
0130 LET B5=2
0140 LET K0=2
0150 DIM P$(80)
0160 LET Q0=5
0170 REM ENTRADAS MAXIMAS,J9
0180 LET J9=3
0190 REM DIMENSION DE LA MATRIZ SENAL N9 FILAS DE A(N9)
0200 LET N9=53
0210 DIM A(N9)
0220 LET R5=4*N9
0230 OPEN FILE(3,0), "REDHSA. TD",R5
0240 REM BLOQUE MAXIMO,B9
0250 LET B9=50
0260 DIM L(B9,J9+1),F(B9),D(B9),T(B9),K(B9),C(B9),V(B9),R(B9)
0270 DIM Z(2)
0280 LET R5=4*((J9+8)*27+8)
0290 OPEN FILE(3,0), "REPECHN TD",R5
0300 ON K0 THEN GOTO 0310, 0330
0310 LET C5=0
0320 GOTO 0470
0330 INPUT " NUMERO DEL BLOQUE DEL VERHEL ",C5
0340 LET C5=INT(C5+.5)

```

```

0350 IF C5=0 THEN GOTO 2360
0360 IF C5=9 THEN GOTO 2360
0370 MAT READ FILE(2,0),L,F,D,T,K,C,V,R,Z
0380 GOTO 0470
0390 LET I=ABS(L(C5,1))
0400 IF I=1 THEN GOTO 2360
0410 LET I1=GO*(I-1)+1
0420 LET J1=GO*I
0430 IF P*(I1,J1)="KERNE" THEN GOTO 0450
0440 GOTO 2360
0450 LET P*="IDELTJDELITDELITJDIINTEIDINNSUMANEXPONMULINDIVINCONSNELEVNADSONRAIZNRELEMCONV"
0460 GOTO 0490
0470 LET P*="BLOGANMULITDIVIMELEVNSUMAMUMBRNCONSIFILMMRETRKERNEMRUIDMEXPONABSO"
0471 LET P*="MSATU"
0480 IF C5=0 THEN GOTO 0390
0490 LET PO=LEN(P*)/GO
0500 ON BS THEN GOTO 0580, 0510
0510 MAT READ FILE(2,C5),L,F,D,T,K,C,V,R,Z
0520 LET L9=Z[1]
0530 FOR I=1 TO L9
0540 IF ABS(L(I,1))<.1 THEN GOTO 0560
0550 LET L(I,1)=-1*ABS(L(I,1))
0560 NEXT I
0570 GOTO 0610
0580 MAT L=ZER
0590 MAT F=ZER
-----
0600 MAT D=ZER
0610 MAT K=ZER
0620 MAT C=ZER
0630 MAT V=ZER
0640 MAT R=ZER
0650 INPUT " TIPO DE ELEMENTO ",E$
0660 LET E=LEN(E$)
0670 IF E=GO THEN GOTO 0650
0680 IF E*[1,GO]="GUITA" THEN GOTO 0760
0690 FOR I=1 TO PO
0700 LET I1=GO*(I-1)+1
0710 LET J1=GO*I
0720 IF E*[1,GO]=P*[I1,J1] THEN GOTO 0760
0730 NEXT I
0740 IF E*[1,GO]="ULTIM" THEN GOTO 1260
0750 GOTO 0650
0760 INPUT " NUMERO DEL BLOQUE ",BO
0770 IF BO>B9 THEN GOTO 0650
0780 LET F(BO)=0
0790 LET D(BO)=0
0800 FOR J=1 TO J9+1
0810 LET L(BO,J)=0
0820 NEXT J
0830 IF E*[1,GO]="GUITA" THEN GOTO 0650
0840 LET L(BO,1)=-1
0850 IF E*[1,GO]<>"KERNE" THEN GOTO 0730
0860 INPUT " NUM. MATRICES CONVOLUCION TEMPORAL ",TO
0870 IF TO<=0 THEN GOTO 0960
0880 LET F(BO)=TO
0890 INPUT " DIMENSION ESPACIAL MATRICES DE CONVOLUCION ",N1
0900 IF ABS(INT(N1/2)+2-N1)<.1 THEN GOTO 0890
0910 LET D(BO)=N1
0920 GOTO 1190
0930 IF E*[1,GO]<>"MRETR" THEN GOTO 0970
0940 INPUT " NUM. DE DELT (T) DE RETARDO ",VO
0950 LET F(BO)=VO
0960 GOTO 1190
0970 IF E*[1,GO]="MFILM" THEN GOTO 0650
0980 IF E*[1,GO]<>"MCONS" THEN GOTO 1090
0990 INPUT "VALOR CONSTANTE DE LA MATRIZ ",VO
1000 LET D(BO)=VO
1010 MAT A=CON
1020 MAT A=(VO)*A
1030 LET RO=N*(BO-1)+1
1040 LET R2=N*BO
1050 FOR R=RO TO R2
1060 MAT WRITE FILE(3,R),A
1070 NEXT R
1080 GOTO 0650
1090 REM
1100 IF E*[1,GO]<>"MCONS" THEN GOTO 1140
1110 INPUT " VALOR CONSTANTE ",VO
1120 LET F(BO)=VO
1130 GOTO 0650

```

```

1140 IF E*(I, Q0) = "IDELT" THEN GOTO 0650
1150 IF E*(I, Q0) = "JDEL" THEN GOTO 0650
1160 IF E*(I, Q0) = "TRFI" THEN GOTO 0650
1170 IF E*(I, Q0) = "IJDIM" THEN GOTO 0650
1180 IF E*(I, Q0) = "EDIM" THEN GOTO 0650
1190 FOR J=2 TO J9+1

```

```

1200 PRINT "ENTRADA " J-1
1210 INPUT X
1220 IF ABS(X) < 1 THEN GOTO 0650
1230 LET L(I, J) = X
1240 NEXT J
1250 GOTO 0650
1260 LET LS = 0
1270 FOR I=1 TO B9
1280 IF ABS(L(I, J)) < 1 THEN GOTO 1300
1290 LET L9 = I
1300 NEXT I
1310 IF ABS(C5) > 1 THEN GOTO 1590
1320 LET C9 = 0
1330 LET K9 = 0
1340 LET V9 = 0
1350 LET R9 = 0
1360 FOR I=1 TO L9
1370 LET IO = ABS(L(I, 1))
1380 IF IO < 1 THEN GOTO 1570
1390 LET I1 = GO*(IO-1)+1
1400 LET J1 = GO*IO
1410 IF P*(I1, J1) <> "MFILM" THEN GOTO 1450
1420 LET V9 = V9+1
1430 LET V(V9) = I
1440 GOTO 1460
1450 IF P*(I1, J1) <> "NCONS" THEN GOTO 1500
1460 LET C9 = C9+1
1470 LET C(C9) = I
1480 LET L(I, 1) = -L(I, 1)
1490 GOTO 1570
1500 IF P*(I1, J1) <> "MRETR" THEN GOTO 1540
1510 LET R9 = R9+1
1520 LET R(R9) = I
1530 GOTO 1570
1540 IF P*(I1, J1) <> "KERNE" THEN GOTO 1570
1550 LET K9 = K9+1
1560 LET K(K9) = I
1570 NEXT I
1580 GOTO 1960
1590 LET C9 = 0
1600 LET K9 = 0
1610 LET V9 = 0
1620 LET R9 = 0
1630 LET D9 = 0
1640 LET T5 = 0
1650 FOR I=1 TO L9
1660 LET IO = ABS(L(I, 1))
1670 IF IO < 1 THEN GOTO 1950
1680 LET I1 = GO*(IO-1)+1
1690 LET J1 = GO*IO
1700 IF P*(I1, J1) <> "IJDIM" THEN GOTO 1740
1710 LET D9 = D9+1
1720 LET D(D9) = I
1730 GOTO 1830
1740 IF P*(I1, J1) <> "TEDIM" THEN GOTO 1780
1750 LET T5 = T5+1
1760 LET T(T5) = I
1770 GOTO 1830
1780 IF P*(I1, J1) <> "IDELT" THEN GOTO 1820
1790 LET V9 = V9+1
1800 LET V(V9) = I
1810 GOTO 1830
1820 IF P*(I1, J1) <> "NCONS" THEN GOTO 1870
1830 LET C9 = C9+1
1840 LET C(C9) = I
1850 LET L(I, 1) = -L(I, 1)
1860 GOTO 1950
1870 IF P*(I1, J1) <> "IDELT" THEN GOTO 1910

```

```

1890 LET X9=X9+1
1890 LET K(K9)=I
1900 GOTO 1830
1910 IF P4(I1,J1) <> "JDELTA" THEN GOTO 1950
1920 LET R9=R9+1
1930 LET H(R9)=I
1940 GOTO 1830
1950 NEXT I
1960 LET C8=C9
1970 LET K=1
1980 IF ABS(L(K,I)) < .1 THEN GOTO 2190
1990 IF L(K,I) > 0 THEN GOTO 2190
2000 LET I=2
2010 LET T9=ABS(L(K,I))
2020 IF T9 < .1 THEN GOTO 2150
2030 IF C5 > 0 THEN GOTO 2080
2040 LET J=1
2050 IF ABS(T9-K(J)) < .1 THEN GOTO 2130
2060 LET J=J+1
2070 IF J <= K9 THEN GOTO 2050
2080 LET J=1
2090 IF ABS(T9-C(J)) < .1 THEN GOTO 2130
2100 LET J=J+1
2110 IF J <= C8 THEN GOTO 2090
2120 GOTO 2190
2130 LET I=I+1
2140 IF I <= J9+1 THEN GOTO 2010
2150 LET C8=C8+1
2160 LET C(C8)=K
2170 LET L(K,I)=-L(K,I)
2180 GOTO 1970
2190 LET K=K+1
2200 IF K <= L9 THEN GOTO 1980
2210 LET K=1
2220 IF L(K,1) < 0 THEN GOTO 2260
2230 LET K=K+1
2240 IF K <= L9 THEN GOTO 2220
2250 GOTO 2270
2260 PRINT " FALLO >1< CONSULTE ERRORES"
2270 LET Z(1)=L9
2280 LET Z(2)=K9
2290 LET Z(3)=C9
2300 LET Z(4)=C8
2310 LET Z(5)=V9
2320 LET Z(6)=R9
2330 LET Z(7)=D9
2340 LET Z(8)=T5
2350 MAT WRITE FILE(2,C5),L,F,D,T,K,C,V,R,Z
2360 CLOSE FILE(3)
2370 CLOSE FILE(2)
2380 CHAIN "REPRETI.TO"

```

```

0010 REM REPEVMC.TO
0020 REM EVALUACION DE LAS MATRICES DE CONVOLUCION
0030 REM DE TODOS LOS NUCLEOS DEL MODELO
0040 REM EN DISCO DIMENSION MAT CONV.=4 LA MAT SENAL
0050 DIM MC(20)
0060 LET MC="####.###"
0070 LET Q0=5
0080 REM ENTRADAS MAXIMAS,J9
0090 LET J9=3
0100 DIM JC(J9),IC(J9)
0110 LET P5=8
0120 DIM P4(80)
0130 LET P1="IDELTJDELTTDELTIJDIMTESIMSUMANEXPONMULNDIVINCONSNLEVNABSONRAIZNRELEMCONV"
0140 REM MATRIZ SENAL N9 FILAS DE 2(N9)
0150 LET N9=33
0160 DIM B(N9)
0170 REM BLOQUE MAXIMO,B9
0180 LET B9=50
0190 DIM L(B9,J9+1),F(B9),D(B9),I(B9),K(B9),C(B9),V(B9),R(B9)
0200 DIM Z(B9)
0210 DIM G(B9),A(B9),M(B9)
0220 OPEN FILE(0,1),"LEFT"
0240 LET N3=4+((J9+3)*R9+8)
0250 OPEN FILE(2,0),"REDECMN TO",P5
0260 LET K0=4*N9
0270 OPEN FILE(4,0),"REPMOVC TO",P5
0280 MAT READ FILE(2,0),L,F,D,T,K,C,V,R,Z
0290 LET N4=Z(2)

```

```

0300 MAT D=F
0310 MAT A=D
0320 MAT M=K
0330 LET M9=K9
0340 LET A0=0
0350 LET A5=1
0360 FOR P=1 TO M9
0370 LET R=MCPJ
0380 PRINT FILE(0), "MATRIZ DE CONVOLUCION, KERNEL ", R
0390 MAT READ FILE(2, R), L, F, D, T, K, C, V, R, Z
0400 LET L9=Z(1)
0410 LET K9=Z(2)
0420 LET C9=Z(3)
0430 LET S9=Z(4)
0440 LET V9=Z(5)
0450 LET R9=Z(6)
0460 LET D9=Z(7)
0470 LET T9=Z(8)
0480 IF ABS(T9)<.1 THEN GOTO 0520
0490 FOR I=1 TO T9
0500 LET F(I)=D(R)
0510 NEXT I
0520 IF ABS(D9)<.1 THEN GOTO 0560
0530 FOR I=1 TO D9
0540 LET F(D(I))=A(R)
0550 NEXT I
0560 LET A0=A0+A5
0570 LET A5=D(R)*M9
0580 FOR O=1 TO D(R)
0590 LET O1=D(R)-O
0600 PRINT FILE(0), "DELTA DE T= ", O1
0610 LET I3=(A(R)+1)/2

```

```

0620 LET J3=I3
0630 FOR I4=1 TO N9
0640 MAT B=ZER
0650 IF I4>A(R) THEN GOTO 1220
0660 FOR J4=1 TO N9
0670 IF J4>A(R) THEN GOTO 1220
0680 IF ABS(K9)<.1 THEN GOTO 0720
0690 FOR K0=1 TO K9
0700 LET F(K(K0))=I4-I3
0710 NEXT K0
0720 IF ABS(R9)<.1 THEN GOTO 0760
0730 FOR R0=1 TO R9
0740 LET F(R(R0))=J4-J3
0750 NEXT R0
0760 IF ABS(V9)<.1 THEN GOTO 0800
0770 FOR V0=1 TO V9
0780 LET F(V(V0))=O1
0790 NEXT V0
0800 FOR K=C9+1 TO C8
0810 LET I8=C(K)
0820 LET I7=L(I8, 1)
0830 FOR J=2 TO J9+1
0840 LET J(J-1)=ABS(L(I8, J))
0850 LET I(J-1)=SGN(L(I8, J))
0860 NEXT J
0870 LET I0=Q0*(I7-1)+1
0880 LET J0=Q0*17
0890 IF P(10, J0)<>"NSUMA" THEN GOTO 0920
0900 GOSUB 1440
0910 GOTO 1200
0920 IF P(10, J0)<>"NEXPO" THEN GOTO 0960
0930 GOSUB 1440
0940 LET F(I8)=EXP(F(I8))
0950 GOTO 1200
0960 IF P(10, J0)<>"NMULT" THEN GOTO 1030
0970 LET F(I8)=(F(J(1))*I(1))*(F(J(2))*I(2))
1020 GOTO 1200
1030 IF P(10, J0)<>"NDIVI" THEN GOTO 1060
1040 LET F(I8)=(F(J(1))*I(1))/(F(J(2))*I(2))
1050 GOTO 1200
1060 IF P(10, J0)<>"MLEL/" THEN GOTO 1090
1070 LET F(I8)=(F(J(1))*I(1))/(F(J(2))*I(2))
1080 GOTO 1200
1090 IF P(10, J0)<>"NABS/" THEN GOTO 1130
1100 GOSUB 1440
1110 LET F(I8)=ABS(F(I8))
1120 GOTO 1200
1130 IF P(10, J0)<>"NRA12" THEN GOTO 1162

```

```

1140      GOSUB 1440
1150      LET F[I8]=SGR(ABS(F[I8]))
1160      GOTO 1200
1162      IF P*(I8, J0)<>"NWELE" THEN GOTO 1170
1163      LET F[I8]=F[J(2)]*I(2)
1164      LET Y=F[J(1)]*I(1)
1165      IF ABS(Y)<.1 THEN GOTO 1167
1166      IF Y<0 THEN GOTO 1168
1167      LET F[I8]=F[J(3)]*I(3)
1168      GOTO 1200
1170      IF P*(I8, J0)<>"MCONV" THEN GOTO 1200
1180      GOSUB 1440

```

```

1190      LET B[J4]=F[I8]
1200      NEXT K
1210      NEXT J4
1220      LET R3=A0+(I4-1)+N9*(D-1)
1230      MAT WRITE FILE[4,R3],B
1240      IF I4>A[R] THEN GOTO 1260
1250      GOSUB 1360
1260      NEXT I4
1270      NEXT D
1280      NEXT P
1290      CLOSE FILE[2]
1300      CLOSE FILE[4]
1310      FOR I=1 TO P5
1320          PRINT FILE[0]
1330      NEXT I
1340      CLOSE FILE[0]
1350      CHAIN "REPRESI.TO"
1360      REM
1370      FOR W1=1 TO A[R]
1380          PRINT FILE[0],USING M0$,B[W1]
1390      NEXT W1
1400      PRINT FILE[0]
1410      IF ABS(I4-A[R])>.1 THEN GOTO 1430
1420      PRINT FILE[0]
1430      RETURN
1440      REM
1450      LET F[I8]=0
1460      FOR J=1 TO J9
1470          IF ABS(J[J])<.1 THEN GOTO 1490
1480          LET F[I8]=F[I8]+F[J[J]]*I[J]
1490      NEXT J
1500      RETURN

```

```

0010 REM REPMFIL.TO"
0020 REM GENERACION PELICULA DE ESTIMULOS
0030 REM MATRIZ SENAL,N9 FILAS DE F(N9)
0040 LET N9=33
0050 DIM FCN91
0052 DIM NEN91
0060 REM NUMERO DE ESTIMULO MAXIMO,E9
0070 LET E9=10
0080 DIM L[E9,11],F3[E9],F4[E9],P3[E9],P4[E9],F1[E9],F2[E9],P1[E9],P2[E9]
0090 DIM D[E9],X[E9],I[E9],J[E9],A[E9],E[E9],R[E9],RO[E9],V[E9]
0100 DIM P*[30]
0110 DIM F0*[80]
0120 LET G0=5
0130 LET P5=5
0140 LET P*="DISCOCUADRABARRAANILLMARCOFONDO"
0150 LET P0=LEN(P*)/G0
0160 MAT L=ZER
0170 DIM F*[110]
0180 INPUT " NOMBRE DEL FILM ",F0$
0190 LET L9=0
0200 INPUT " TIPO DE ESTIMULO ".E$
0210 LET F0=LEN(E$)
0220 IF E0=0 THEN GOTO 0200
0230 FOR I=1 TO P0
0240     LET I1=G0*(I-1)+1
0250     LET J1=G0+I
0260     IF F4[I1,G0]+P*(I1, J1) THEN GOTO 0360

```

```

0270 NEXT I
0280 IF E*(1,00)="ULTIM" THEN GOTO 0730
0290 GOTO 0200
0300 INPUT " NIVEL DEL ESTIMULO ",B0
0310 IF B0<L9 THEN GOTO 0330
0320 LET L9=B0
0330 LET L(B0,1)=1
0340 IF E*(1,00)="FONDO" THEN GOTO 0610
0350 INPUT " CENTRO I, J ",L(B0,2),L(B0,3)
0360 IF E*(1,00)<>"DISCO" THEN GOTO 0410
0370 INPUT " DIMENSION ",D0
0380 IF ABS(INT(D0/2)*2-D0)<.1 THEN GOTO 0370
0390 LET L(B0,4)=D0
0400 GOTO 0610
0410 IF E*(1,00)<>"CUADR" THEN GOTO 0450
0420 INPUT " DIMENSION ",D0
0440 GOTO 0380
0450 IF E*(1,00)<>"BARRA" THEN GOTO 0520
0460 INPUT " DIMENSIONES: ALTURA, ANCHURA ",D1,D2
0470 IF ABS(INT(D1/2)*2-D1)<.1 THEN GOTO 0460
0480 IF ABS(INT(D2/2)*2-D2)<.1 THEN GOTO 0460
0490 LET L(B0,4)=D1
0500 LET L(B0,5)=D2
0510 GOTO 0610
0520 IF E*(1,00)<>"ANILL" THEN GOTO 0590
0530 INPUT " DIMENSION EXTERNA, DIMENSION INTERNA ",D3,D4
0540 IF ABS(INT(D3/2)*2-D3)<.1 THEN GOTO 0530
0550 IF ABS(INT(D4/2)*2-D4)<.1 THEN GOTO 0530
0560 LET L(B0,4)=D3
0570 LET L(B0,5)=D4
0580 GOTO 0610
0590 IF E*(1,00)<>"MARCO" THEN GOTO 0610
0600 GOTO 0530

```

```

0610 INPUT " LUMINOSIDAD ",L(B0,6)
0620 INPUT " INTERMITENCIA SI=1, NO=0 ",F
0630 ON (F+1) THEN GOTO 0670, 0650
0640 GOTO 0620
0650 INPUT " NUM. FOT. APAQ., NUM FOT. ENCEN. ",L(B0,7),L(B0,8)
0660 INPUT " LUMINOSIDAD DE ENCENDIDO ",L(B0,9)
0670 IF E*(1,00)="FONDO" THEN GOTO 0720
0680 INPUT " MOVIL 1, FIJO 0 ",M
0690 ON (M+1) THEN GOTO 0720, 0710
0700 GOTO 0680
0710 INPUT " VAR I, VAR J ",L(B0,10),L(B0,11)
0720 GOTO 0200
0730 OPEN FILE(O,1), "#LPT"
0740 GOSUB 2240
0750 MAT A=ZER
0760 MAT E=ZER
0770 FOR H=1 TO L9
0780 LET I8=L(H,1)
0790 IF ABS(I8)<.1 THEN GOTO 0880
0800 LET I1=90*(I8-1)+1
0810 LET J1=90*I8
0820 IF P*(I1,J1)<>"FONDO" THEN GOTO 0860
0830 LET I(H)=(N9+1)/2
0840 LET J(H)=I(H)
0850 GOTO 0880
0860 LET I(H)=L(H,2)
0870 LET J(H)=L(H,3)
0880 NEXT H
0890 INPUT " NUMERO DE FOTOGRAMAS ",M9
0900 LET R5=N9*4
0910 OPEN FILE(1,0), "REDFIL.T0",R5
0920 FOR M=1 TO M9
0930 PRINT FILE(O)
0940 PRINT FILE(O), "FILM : ",F0$, " FOTOGRAMA NUMERO ",M
0950 PRINT FILE(O)
0960 LET D5=0
0970 FOR H=1 TO L9
0980 LET I8=L(H,1)
0990 IF ABS(I8)<.1 THEN GOTO 1400
1000 LET I1=90*(I8-1)+1
1010 LET J1=90*I8
1020 LET N1=L(H,4)
1030 LET N2=L(H,5)
1040 IF P*(I1,J1)<>"FONDO" THEN GOTO 1100
1050 LET N1=N9
1060 LET N2=N1

```

```

1070 LET N3=(N1-1)/2
1080 LET N4=N3
1090 GOTO 1270
1100 IF P*(I1, J1)="CUADR" THEN GOTO 1120
1110 IF P*(I1, J1) > "DISCO" THEN GOTO 1170
1120 LET R(H)=(N1-1)/2
1130 LET N2=N1
1140 LET N3=(N1-1)/2
1150 LET N4=(N2-1)/2
1160 GOTO 1270
1170 IF P*(I1, J1)="BARRA" THEN GOTO 1140
1180 LET N3=(N1-1)/2
1190 LET N4=(N2-1)/2
1200 IF P*(I1, J1) > "MARCO" THEN GOTO 1320

```

```

1210 LET N5=N4
1220 LET N4=N3
1230 LET F3(H)=I(H)-N5
1240 LET F4(H)=I(H)+N5
1250 LET P3(H)=J(H)-N5
1260 LET P4(H)=J(H)+N5
1270 LET F1(H)=I(H)-N3
1280 LET F2(H)=I(H)+N3
1290 LET P1(H)=J(H)-N4
1300 LET P2(H)=J(H)+N4
1310 GOTO 1370
1320 IF D*(I1, J1) > "ANILL" THEN GOTO 1400
1330 LET N4=N3
1340 LET R(H)=(N1-1)/2
1350 LET R(H)=(N2-1)/2
1360 GOTO 1270
1370 LET D9=D9+1
1380 LET D(D9)=F1(H)
1390 LET X(D9)=H
1400 NEXT H
1410 IF ABS(D9-1) < .1 THEN GOTO 1530
1420 FOR I=1 TO D9-1
1430   FOR J=I+1 TO D9
1440     IF D(I)=D(J) THEN GOTO 1510
1450     LET X1=D(I)
1460     LET D(I)=D(J)
1470     LET D(J)=X1
1480     LET X1=X(I)
1490     LET X(I)=X(J)
1500     LET X(J)=X1
1510   NEXT J
1520 NEXT I
1530 MAT D=X
1540 FOR H=1 TO D9
1550   LET H1=D(H)
1560   LET V0=L(H1, 6)
1570   LET ACH1=A(H1)+1
1580   LET V1=V0
1590   IF ACH1 < L(H1, 7) THEN GOTO 1670
1600   LET E(H1)=E(H1)+1
1610   LET V1=L(H1, 9)
1620   IF ABS(E(H1)-L(H1, 8)) < .1 THEN GOTO 1650
1630   IF E(H1) < L(H1, 8) THEN GOTO 1670
1640   LET V1=V0
1650   LET E(H1)=0
1660   LET ACH1=0
1670   LET V(H1)=V1
1680 NEXT H
1690 FOR F=1 TO N9
1700   MAT F=ZER
1702   MAT N=ZER
1710   FOR H=1 TO D9
1720     LET H1=D(H)
1730     LET H0=L(H1, 1)
1740     LET I1=G0*(H0-1)+1
1750     LET J1=G0*H0
1760     IF F1(H1) > F THEN GOTO 1980
1770     IF F2(H1) > F THEN GOTO 1980
1780     FOR P=P1(H1) TO P2(H1)
1790       IF P<1 THEN GOTO 1970

```



```

1800 IF P<N9 THEN GOTO 1970
1810 IF P*(I1, J1) <> "21500" THEN GOTO 1850
1820 LET D=SQR((P-JCH1)**2+(F-I[CH1])**2)
1830 IF D>R[CH1] THEN GOTO 1970
1840 GOTO 1960
1850 IF P*(I1, J1) <> "AVILL" THEN GOTO 1900
1860 LET D=SQR((P-JCH1)**2+(F-I[CH1])**2)
1870 IF D>R[CH1] THEN GOTO 1970
1880 IF D<=R[CH1] THEN GOTO 1970
1890 GOTO 1960
1900 IF P*(I1, J1) <> "MARCO" THEN GOTO 1960
1910 IF F<F3[CH1] THEN GOTO 1960
1920 IF F>F4[CH1] THEN GOTO 1960
1930 IF P<P3[CH1] THEN GOTO 1960
1940 IF F>P4[CH1] THEN GOTO 1960
1950 GOTO 1970
1960 IF NCP] > H1 THEN GOTO 1970
1962 LET NCP]=H1
1963 LET FCP]=V[CH1]
1970 NEXT P
1980 NEXT K
1990 GOSUB 2160
2000 LET RS=N9*(M-1)+F
2010 MAT WRITE FILE[1, R5], F
2020 NEXT F
2030 FOR H=1 TO D9
2040 LET H1=D[CH]
2050 LET I[CH1]=I[CH1]+L[CH1, 10]
2060 LET J[CH1]=J[CH1]+L[CH1, 11]
2070 NEXT H
2080 NEXT M
2090 FOR I=1 TO P5
2100 PRINT FILE[0]
2110 NEXT I
2120 CLOSE FILE[0]
2130 CLOSE FILE[1]
2140 CHAIN "REPRT1.TO"
2150 STOP
2160 LET F#="# "
2170 FOR I=1 TO N9
2180 PRINT FILE[0], USING F#, F[I]
2190 NEXT I
2200 PRINT FILE[0]
2210 IF F<N9 THEN GOTO 2230
2220 PRINT FILE[0]
2230 RETURN
2240 PRINT FILE[0], "ESTI- NIVEL CEN- CEN- DIM. DIM. LUM. NUM. NUM. LUM. VEL. VEL. "
2260 PRINT FILE[0], "MULO HOR. VER. MAY. MEN. BAJA FOT. FOT. ALTA HCR. VER. "
2262 PRINT FILE[0], " BAJA ALTA"
2270 FOR I=1 TO L9
2280 LET I8=L[I, 1]
2290 IF ABS(I8)<.1 THEN GOTO 2380
2300 LET I1=GO*(I8-1)+1
2310 LET J1=GO*I8
2320 PRINT FILE[0], P*(I1, J1); TAB(7); I; TAB(12);
2330 LET F#="+## "
2340 FOR J=2 TO 11
2350 PRINT FILE[0], USING F#, L[I, J]
2360 NEXT J
2370 PRINT FILE[0]
2380 NEXT I
2390 PRINT FILE[0]
2400 PRINT FILE[0]
2410 RETURN

```

APENDICE II.- UMBRALES ADAPTIVOS

Una operación neurofisiológica experimentalmente comprobada pero cuyas consecuencias son en general difíciles de definir en forma analítica para estímulos espacio-temporales es la existencia de umbrales adaptivos.

Una neurona presenta un umbral adaptivo cuando éste es función de las señales incidentes en la misma, o función de las señales resultantes del proceso realizado por ella o por otras neuronas. Dentro de la formulación del proceso de datos por capas, característico de la retina de los vertebrados, es posible realizar la siguiente clasificación de los umbrales adaptivos atendiendo a su naturaleza: a) Umbrales adaptivos recurrentes y no recurrentes, esquematizados en la figura 1. En el umbral recurrente, el valor de este se establece en función de la señal de salida y en el no recurrente, en función de la señal de entrada.

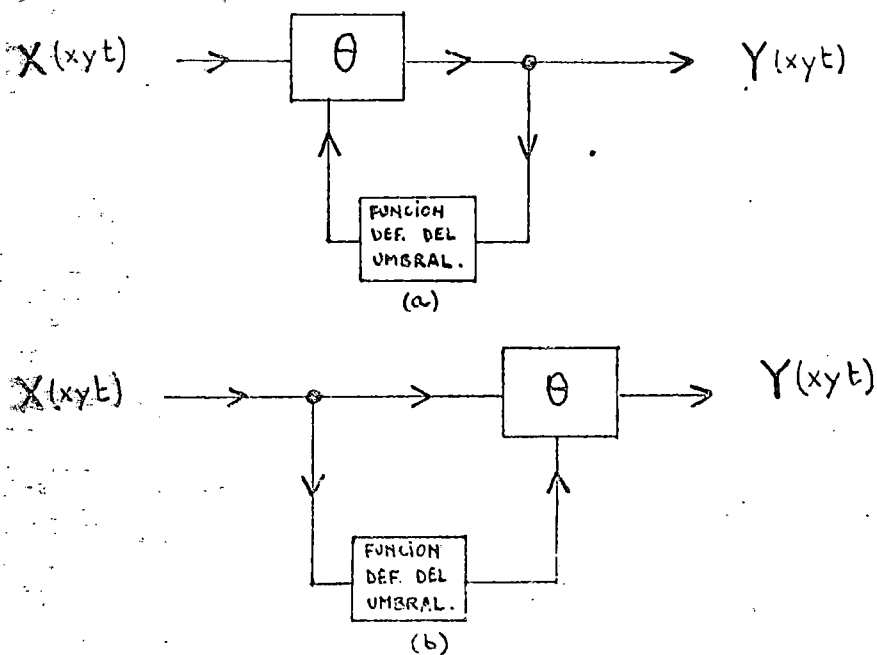


Fig. A.II.1 Umbrales adaptivos recurrente (a) y no recurrentes (b)

El establecimiento de un umbral recurrente puede provocar inestabilidades u oscilaciones en la señal de salida, por lo que ha de ser introducido adecuadamente. La mayoría de las operaciones de interés se logran con umbrales no recurrentes, b) Umbrales adaptivos globales o locales dependiendo de que el valor del umbral en un instante para un punto sea o no función de los valores de las señales en un área y/a en un intervalo de tiempo. c) Umbrales lineales o no lineales, atendiendo a la naturaleza lineal o no lineal de la función definida del valor del umbral.

Un umbral adaptivo sencillo cuya acción es de gran utilidad en la interpretación de las salidas en una capa de proceso tiene una función definidora dada por $\theta = \langle x \rangle$, el valor medio espacial de la señal de entrada. Este valor medio se calcula por la acción de un núcleo plano de extensión igual al campo receptivo. Según lo anterior este umbral adaptivo es no recurrente, lineal y global. El resultado de la acción de este umbral es análogo, desde el punto de vista práctico, al de un escalamiento de las salidas. El escalamiento de las salidas se realiza de acuerdo con:

$$Y(x, y, t) = \frac{Y_1}{X_1(t) - X_0(t)} \left[X(x, y, t) - X_0(t) \right]$$

donde $X_1(t)$ y $X_0(t)$ son los valores máximos y mínimos espaciales de la entrada. La salida varía entre 0 e Y_1 .

La operación anterior puede ser realizada por funciones no lineales de las ya descritas y un umbral adaptivo, pero se

requiere la determinación, en cada instante, de los máximos y mínimos espaciales de la señal de entrada, operación que si bien es sencilla en el ordenador, es prácticamente imposible de justificar neurofisiológicamente.

REFERENCIAS

- Ref. 1.- STONE, J. and FREEMAN, R.B.
"Neurophysiological Mechanisms in the Visual Discrimination of Form". Handbook of Sensory Physiology. Vol. VII/3. Central Visual Information A. Edited by R. Jung. Springer-Verlag (1973)
- Ref. 2.- BOYCOTT, B.B.
(1974) "Aspects of the Comparative Anatomy and Physiology of the Vertebrate Retina". Essays on the Nervous System. Calrendon Press. Oxford.
- Ref. 3.- CLELAND, B.G. and LEVICK, W.R.
"Properties of Rarely Encountered Types of Ganglion Cells in the cat's Retina and Overall Calcification". J. Physiology (1974) 240, pp. 457-492.
- Ref. 4.- CLELAND, B.G. and LEVICK, W.R.
"Brisk and Sluggish Concentrically Organized Ganglion Cells in the Cat's Retina". J. Physiol (1974), 240 pp. 421-456.

- Ref. 5.- MATURANA, H.R.; LETTVIN. J.Y.; MC CULLOCH, W.S.
and PITTS, W.H.
"Anatomy and Physiology of the Vision in the
Frogs (Rana Pipiens)". J. of General Physiology
pp. 129-175 July 1960
- Ref. 6.- MATURANA, H.R. and FRENK, S.
"Synaptic Connections of the Centrifugal Fibers
in the Pigeon Retina" Science, Vol. 150 pp. 359-
361 (1965)
- Ref. 7.- MATURANA, H.R. and FRENK, S.
"Directional Movement and Horizontal Edge Detec-
tors in the Pigeon Retina". Science. Vol 142
(1963) pp. 977-979.
- Ref. 8.- MORENO DIAZ, R. RUBIO ROYO, F., y MIRA MIRA, J.
(1969) "Aplicación de las Transformaciones In-
tegrales al Proceso de Datos en la Retina" Rev.
de Automática 5, 7, 17.
- Ref. 9.- RUBIO ROYO, F.
(1969) "Modelos de procesos Retinales: Simulación
Electronica y en Calculadora" Tesis Doctoral.
Universidad Complutense. Madrid.

Ref. 10.- YASUDA, M.

"A Dynamic Model of the Vertebrate Retina"
Kybernetik (1971); 9, pp 26-30

Ref. 11.- FUKUROTANI, K and HARA, K

"A Dynamic Model of the Receptive Field of L-
Cells in the Carp Retina". Biol. Cybernetics
20, 1.8, (1975)

Ref. 12.- FERNANDEZ ESCARTIN, V.

"Modelos de Procesos de Datos en la Retina"
Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza (1976)

Ref. 13.- FERNANDEZ ESCARTIN, V. y MORENO DIAZ, R.

"A Spatio Temporal Model of Cat's Retinal Cells"
Biol. Cibernetics 30, 15-22 (1978)

Ref. 15.- MARMARELIS, P. and NAKA, K.

"Nonlinear Analysis and Synthesis of Receptive
Field. Responses in the Casthish Retina. II One-
Imput White-Noise Analysis". J. of Neurophysiolo-
gy. Vol. XXXVI, No 4, (1973) pp 619-633

Ref. 16.- MARMARELIS, P. and NAKA, R.

"Nonlinear Analysis and Synthesis of Receptive
Field. Responses in the Catfish Retina. III

Two Input White-Noise Analysis". J. of Neurophysiology, Vol. XXXVI, No 4, (1973) pp 634-648

Ref. 17.- WIENER, N. and al.

" Selected Papers of Norbert Wiener". Published by Society for Industrial and Applied Mathematic and the M.I.T. Press. Massachussetts (1964).

Ref. 18.- MORSE, P. and FESHBACH, H.

"Methods of Theoretical Physics". Part. I Mc.Graw-Hill book Company. (1953)

Ref. 19,- REY PASTOR, J. ; CALLEJA, P. y TREJO, C.

"Análisis matemático. Vol. III. Análisis Funcional y Aplicaciones. Ed. Kapelusz. Buenos Aires. (1965)

Ref. 20,- BRACEWELL, R.M.

"The Fourier Transform and Its Applications". Electrical and Electronic Engineering Series. Mc. Graw Hill. Inc. (1965).

Ref. 21.- HARA, K. and TAKABAYASHI, A.

"A Dynamic Model of Retinal Cells in the Vertebrate Retina". Biol. Cybernetic 20, 61-67. (1975).

Ref. 22.- MORENO DIAZ, R.

"An Analytical Model of the "Bug Detector" Ganglion Cell" In "Cybernetic Problems in Bionics". H.L. Oestreicher and D.R. Moore, Editors. Gordon and Breach Pub. New York (1969); pp. 481-491.

Ref. 23.- MORENO DIAZ, R.

"An Analytical Model of the Group II Ganglion Cell in the Frog's Retina". E-1858. Instrumentation Laboratory. MIT Cambridge Mass. October 1965.

Ref. 24.- MORENO DIAZ, R.

"Models of Retinal Processes". Brain Theory News Letter. Vol. III No. 1 Oct. (1977)

Ref. 25.- MORENO DIAZ, R.

"Neurocybernetic Modelling in Spain" Brain Theory News Letter. Vol. I, No. 4. May (1976)

Ref. 26.- LETTVIN, J.Y.; MATURANA, M.R.; MC. CULLOCH, W.S. and PITTS, W.H.

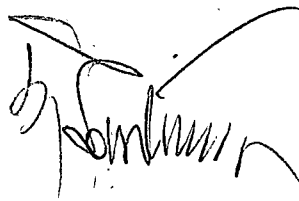
"What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain". Proc. of IRE, November (1959) p. 1940.

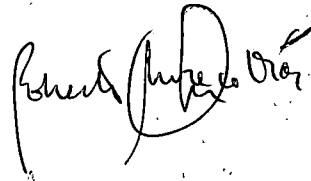
- Ref. 27.- LETTVIN, J.Y.; MATURANA, M.R.; PITTS, W.H. and
MC. CULLOCH, W.S.
"Two Remarks on the Visual System of the Frog".
Sensory Communication, W.Rosenblith, Ed. pp.757-
776 (1961).
- Ref. 28.- RUBIO ROYO, E.
"Modelos Generalizados de Procesos Retinales"
Tesis Doctoral. Universidad de la Laguna (1979).
- Ref. 29.- MORENO DIAZ, R.; RUBIO , E. y RUBIO ROYO, F.
" A Generalized Model for non-linear Retinal
Processing". Proceeding of the fourth Inter-
national Congress of Cybernetics and Systems
Amsterdam, August (1978).
- Ref. 30.- MORENO DIAZ, R.; SANTANA, O.
" A Program Frame Work for Experimenting With
Retinal Models". Proceeding of the Fourth Inter-
national Congress of Cybernetics and Systems,
Amsterdam, August (1978).
- Ref. 31.- ENROTH-CUGELL, C and SHAPLEY, R.M.
"Adaptation and Dynamics of Cat Retinal Ganglion
Cells". J. Physiol. (1973) 233 pp. 271-309

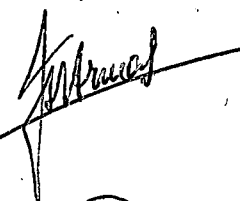
La presente Tesis fué leída en La Laguna ante el Tribunal formado
por D. José Gorcia Santenases; D. Roberto Moreno Diaz; D. Fran-
cisco Rubio Ralfo; D. Arturo Hardisson de la Rosa
y D. José Hernández Armas

mereciendo la calificación de SOBRESALIENTE CUM LAUDE

La Laguna, 29 de octubre de 1979


J. Santenases


Roberto Moreno Diaz


Rubio Ralfo