

86  
zej



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## "Diseño y Construcción de un Analizador Electrónico de Actividad Neuronal"

### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

ALFREDO ORTIZ MARTTELO

AMBROSIO VEGA MORALES

JOAQUIN ZARCO RABAGO

Asesor: M. EN I. JUAN CARLOS ROA BEIZA

MEXICO, D. F.

1 9 8 7



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E.

1)	DEFINICION DEL PROBLEMA . . . . .	1
	1.1) Sistema nervioso y descripción de una motoneurona . . . . .	1
	1.1.1) El sistema nervioso . . . . .	1
	1.1.2) La neurona . . . . .	1
	1.1.3) Excitación e inhibición . . . . .	4
	1.1.4) Descripción de una motoneurona . . . . .	6
	1.1.5) Funciones individuales de la célula nerviosa . . . . .	7
	1.1.6) Neurona en reposo y potencial de reposo . . . . .	10
	1.1.7) Generación del potencial de acción . . . . .	11
	1.1.8) Sinapsis . . . . .	14
	1.1.9) Morfología y fisiología de la motoneurona . . . . .	16
	1.1.9.1) Descripción de la motoneurona	
	1.1.9.2) Acontecimientos eléctricos en la motoneurona	
	1.1.9.3) Efecto del transmisor excitador sobre la <u>mem</u> brana posináptica.	
	1.1.9.4) Efecto del transmisor inhibitor sobre la <u>mem</u> brana posináptica.	
	1.1.9.5) Sumatoria de potenciales posinápticos.	
	1.2) Tipos de neuronas y funciones que desempeñan . . . . .	21
	1.2.1) Clasificación de las neuronas. . . . .	21
	1.2.2) Ingreso sensorial para las motoneuronas e interneuronas . . . . .	24
	1.3) Comportamiento típico de la neurona. . . . .	25
2)	IMPLEMENTACION DEL EXPERIMENTO . . . . .	32
	2.1) Evaluación y selección del sujeto más adecuado . . . . .	32
	2.2) Selección y caracterización de los transductores más adecuados . . . . .	33
	2.2.1) Microelectrodos . . . . .	35
	2.2.2) Microelectrodos metálicos . . . . .	36
	2.2.3) Electrodos de micropipeta . . . . .	37
	2.2.4) Construcción de un electrodo concéntrico . . . . .	37
	2.3) Técnicas y zonas de implante de electrodos . . . . .	39
3)	ADQUISICION Y TRATAMIENTO DE LA SEÑAL . . . . .	40
	3.1) Blindaje adecuado de la señal. . . . .	40
	3.2) Preamplificación . . . . .	43
	3.3) Filtrado . . . . .	65

4)	MODELADO ELECTRONICO DE UNA MOTONEURONA . . . . .	72
4.1)	Integrador . . . . .	78
4.2)	Detector de cruce por cero . . . . .	82
4.3)	Modelo electrónico . . . . .	84
5)	PROCESAMIENTO DIGITAL . . . . .	88
5.1)	Selección del microprocesador . . . . .	88
5.2)	Características de los dispositivos . . . . .	91
5.3)	Descripción breve de las funciones por PIN . . . . .	93
5.4)	Descripción del programa principal . . . . .	94
5.5)	Decodificación del teclado y manejo del display . . . . .	99
5.6)	Descripción de dispositivos periféricos . . . . .	103
	CONCLUSTONES . . . . .	109
	BIBLIOGRAFIA . . . . .	110

## INTRODUCCION

Considerando que el cerebro humano es una de las partes y estructuras más complejas del universo, que se compone por más de 50 - billones de células nerviosas cada una conectada con miles de -- terminales sensoras, distribuidas en cada uno de los sistemas -- que componen el cuerpo humano; y que alimentan continuamente al cerebro de información, para que éste tome las decisiones necesarias para la preservación de la vida; debido a ésto, se hace necesario desarrollar las neurociencias (es una disciplina que estudia de una forma interdisciplinaria el cerebro y el Sistema -- Nervioso. En forma más específica estudia la actividad eléctrica que se desarrolla en las células nerviosas y analiza las funciones que se llevan a cabo en las diferentes zonas del cerebro y Sistema Nervioso), que nos permitan entender y analizar de una forma científica todas y cada una de las acciones llevadas a cabo por el cerebro y el Sistema Nervioso, particularmente el humano, abarcando los productos finales como el comportamiento y la experiencia.

En México se llevan a cabo investigaciones de actividad cerebral y estudios del Sistema Nervioso, para lo cual se requiere de un equipo de apoyo sofisticado y costoso de origen extranjero, que constituye un problema al limitar la investigación.

En la solución de estos problemas se han avocado ingenieros, físicos, médicos y biólogos, obteniendo resultados satisfactorios en las siguientes áreas: adquisición y procesamiento de señales

biológicas, prótesis, instrumentación, y modelado de señales biológicas. en nuestro caso y atendiendo a la sugerencia de un investigador se nos planteó el problema de adquirir y analizar la actividad del Sistema Nervioso, para lo cual es necesario registrar señales del cerebro y adecuarlas para excitar un modelo previamente desarrollado que simula la respuesta de una motoneurona que es la terminal nerviosa encargada de estimular los músculos, con los datos obtenidos del modelo de la motoneurona se puede inferir la actividad o estado del sujeto.

Para la solución del problema propuesto se necesitan conocimientos de fisiología, electrónica digital y analógica, así como modelado de sistemas físicos. Con tal fin proponemos los siguientes capítulos a desarrollar:

1). Definición del problema.

En este capítulo se dará una descripción de lo que es el -- Sistema Nervioso, así como los elementos que lo constituyen. Se definirá lo que es una neurona, una motoneurona, tipos y funciones que desempeñan cada una. También se mencionarán las localizaciones físicas de las motoneuronas y su comportamiento típico.

2). Implementación del experimento.

En este capítulo se hará una evaluación y selección del sujeto más adecuado. Se caracterizarán los transductores más adecuados para poder hacer una selección de ellos. Se mencionarán las técnicas de implantación y conexión de transductores

en un sujeto vivo.

3). Adquisición y tratamiento de la señal.

Se mencionarán las características de blindaje, preamplificación, amplificación y filtraje de la señal.

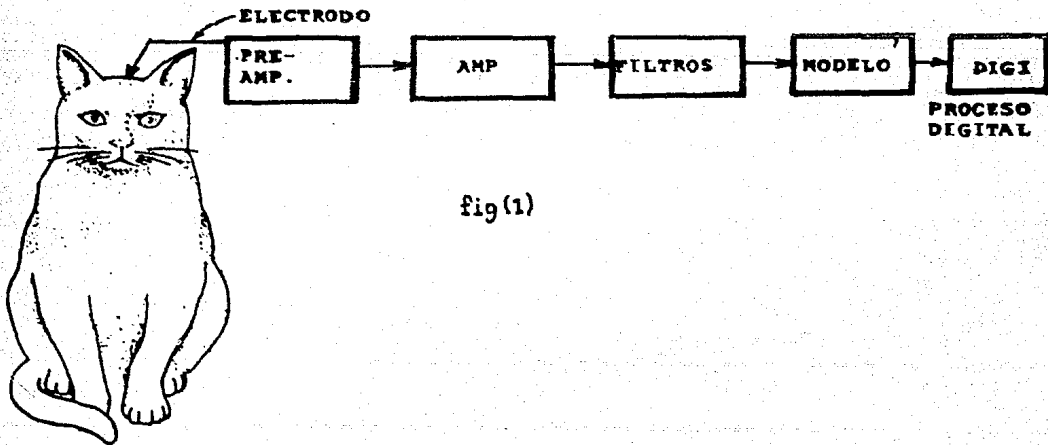
4). Modelado electrónico de una motoneurona.

Se propondrá y analizará el modelo para la motoneurona.

5). Procesamiento digital.

Se llevará a cabo el diseño de la etapa de control del sistema, recopilación y almacenamiento de la información.

En la figura (1) presentamos un diagrama a bloques de las partes que constituyen el proyecto.



fig(1)

## 1. DEFINICION DEL PROBLEMA.

### 1.1). SISTEMA NERVIOSO Y DESCRIPCION DE UNA MOTONEURONA.

#### 1.1.1). EL SISTEMA NERVIOSO.

En los vertebrados el cerebro y la medula espinal funcionan como una estructura continua que se llama Sistema Nervioso Central. - Existen también el Sistema Periférico, que está constituido por numerosos nervios que se encuentran fuera del Sistema Nervioso Central, como los sensores, que son nervios que atrapan la información de los receptores, o los nervios motores que ejecutan las órdenes basados en la información del Sistema Nervioso Central. La principal unidad funcional de este sistema es la neurona llamada también célula nerviosa.

#### 1.1.2). LA NEURONA.

La doctrina de la neurona fue establecida por el neuroanatomista español Ramón y Cajal, el cual fue el primero en asegurar que el Sistema Nervioso está compuesto de un gran número de unidades -- discretas llamadas células nerviosas o neuronas. Estas células están formadas por un cuerpo celular típico con una o más extensiones largas denominadas fibras nerviosas. Estas fibras se intercalan en el cerebro, la medula espinal y los medios periféricos, transmitiendo señales desde las partes periféricas del cuerpo al cerebro, parte de esta información se transmite totalmente a nivel subconsciente, pero es necesaria para controlar funciones corporales como la temperatura, respiración, presión arterial y



otras. Las fibras que se extienden del cuerpo de la célula neuronal pueden llegar a medir un metro en el humano. Muchas sustancias químicas en la neurona son sintetizadas en el cuerpo de la misma y transportadas hasta sus fibras, la fibra principal -- llamada Axon conduce información al órgano terminal como un músculo; o en el cerebro el Axon se subdividirá en pequeñas fibras llamadas Dendritas que se especializan en recibir la información de otras neuronas por medio de conexiones específicas, llamadas Sinapsis, que no es una conexión estrictamente continua, ya que existe un espacio de aproximadamente 20 millonésimas de milímetro entre una terminal de una neurona y la membrana de la otra.

Si una neurona en particular es excitada al mismo tiempo por -- otras neuronas, algunas de éstas se activan o se inhiben. La célula nerviosa transmite la información hasta que la suma de estas entradas o excitaciones son suficientes para activarla, así la información se propaga como una acción eléctrica o potencial.

En el proceso electroquímico una onda de potencial que cruza una región de la membrana, viaja por el Axon a una velocidad que depende del diámetro del mismo y de la temperatura, pudiendo alcanzar velocidades de 10 a 50 metros por segundo. Cuando la acción potencial llega a una terminal presináptica se genera un pequeña cantidad de sustancia química que se llama transmisora difundiendo a lo largo del espacio Sináptico. La Sinapsis utiliza sólo un transmisor químico que produce efectos en la neurona receptora sólo en dos casos; el de excitación o el de inhibición.

La excitación estimula la neurona hasta que ésta genera una ac-

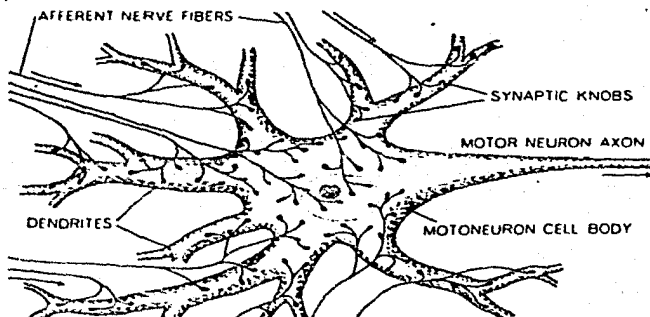
ción potencial que viaja por el Axon para influir en otras neuronas.

La inhibición hace que las neuronas generen una acción potencial en respuesta a excitaciones de otras Sinapsis.

En el caso de las Sinapsis además de la eléctrica, también existe la Sinapsis química, la cual es muy natural y modificable por químicos como Hormonas o Drogas.

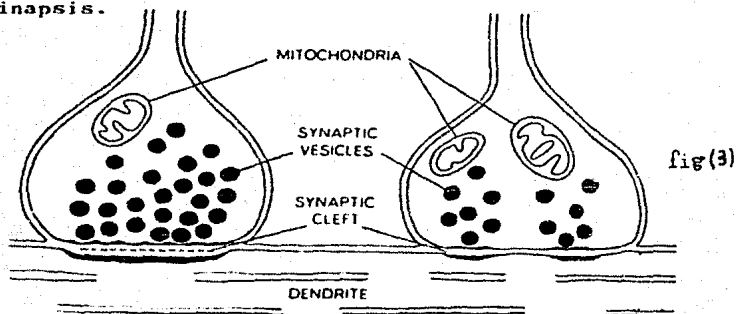
En la figura (2), se muestra el cuerpo celular de una neurona y sus prolongaciones llamadas Dendritas, cubiertas con botones sinápticos, que representan las terminales de axones de otras células nerviosas.

fig (2)



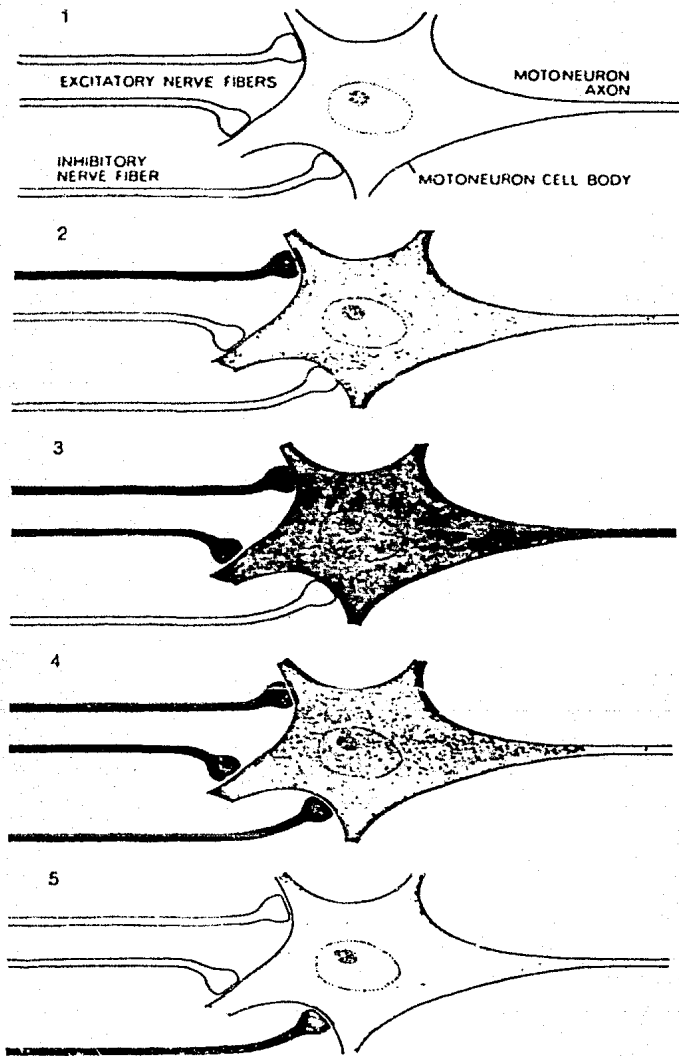
Los botones sinápticos están diseñados para liberar pequeñas cantidades de sustancias transmisoras en el espacio sináptico, donde tiene acción; es decir en la superficie de la membrana de otra célula nerviosa. Antes de liberar las moléculas del transmisor químico son almacenadas en numerosas vesículas junto a las cuales se encuentran las mitocondrias que son estructuras especializadas para ayudar a suministrar energía a la célula. En la fi

gura (3) se muestra con más detalle la forma en que se realiza -  
la Sinapsis.



### 1.1.3). EXCITACION E INHIBICION.

Una célula nervioso se encuentra cubierta en su superficie por -  
botones sinápticos como se muestra en la figura (2), a continua-  
ción en la figura (4.1), se muestra una célula en estado de repo  
so, en la figura (4.2), la célula recibe un impulso de una fibra  
excitadora que es inadecuada para provocar la respuesta de la -  
neurona. En la figura (4.3), un segundo impulso ocasiona que --  
llegue al umbral para tener una respuesta de disparo. En la fi-  
gura (4.4), los impulsos llevados por fibras inhibitoras comien-  
zan a restablecer la condicion anterior y en la figura (4.5), la  
fibra inhibitora es la única que mantiene estímulo. No hay dife-  
rencia entre los impulsos eléctricos de fibras excitadoras e in-  
hibidoras, ellas ejecutan efectos opuestos porque liberan dife-  
rentes sustancias transmisoras o inhibitoras segun sea el caso -  
en las terminaciones sinápticas.



fig(4)

#### 1.1.4). DESCRIPCION DE UNA MOTONEURONA.

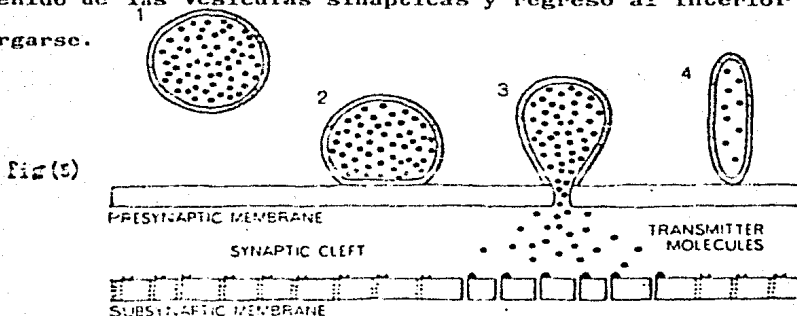
La característica peculiar de las neuronas es que están especializadas para recibir estímulos ya sean excitatorios o inhibitorios y para conducir al impulso nervioso. La parte de la célula que contiene al núcleo se denomina cuerpo celular o pericarion, las dendritas son prolongaciones típicamente cortas y ramificadas que forman la mayor parte del área receptora de la célula. - La mayoría de las neuronas del Sistema Nervioso Central tienen varias dendritas.

La neurona es el elemento fundamental del Sistema Nervioso, ya que constituye la unidad morfológica y funcional del mismo. Desde el punto de vista morfológico cada neurona se encuentra en contacto, es decir, en sinapsis con otras neuronas por medio de sus prolongaciones, de este modo cada neurona constituye un elemento interconector en la red del sistema Nervioso. Funcionalmente cada neurona es un elemento integrador, conductor y transmisor de información codificada, esta afirmación esatá implícita en la teoría celular.

A pesar de que las células nerviosas siguen los principios esbozados en los párrafos anteriores, hay una amplia variedad de estructuras.

Una neurona está formada por dos tipos de prolongaciones; dendritas y Axon. Las dendritas son estructuras sobre las cuales en la superficie de la membrana celular se encuentran los botones sinápticos conteniendo la sustancia transmisora que excitan o inhiben a la célula, cada botón sináptico proviene de terminales -

de Axon o fibras de otras células, en el caso de las motoneuronas el Axon termina generalmente en fibras musculares. Las vesículas sinápticas contienen los transmisores químicos que son distribuidos a través del espacio sináptico, a continuación en la figura (5), se muestra una secuencia probable de descarga del contenido de las vesículas sinápticas y regreso al interior para recargarse.

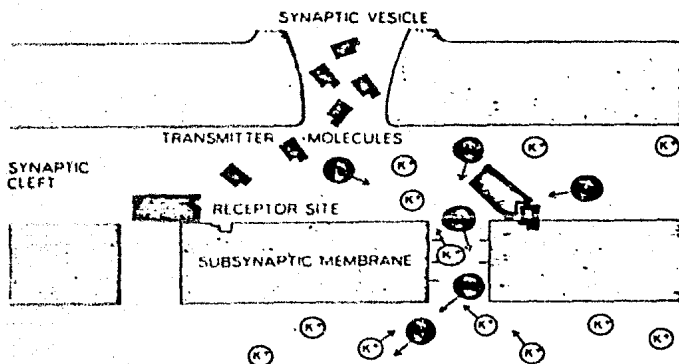


De todo lo anterior se puede concluir que las dendritas forman la porción receptora y el Axon la conductora de la célula nerviosa. La neurona tiene un solo Axon y dependiendo del número de dendritas se llaman uni, bi o multipolar.

#### 1.1.5). FUNCIONES INDIVIDUALES DE LA CELULA NERVIOSA.

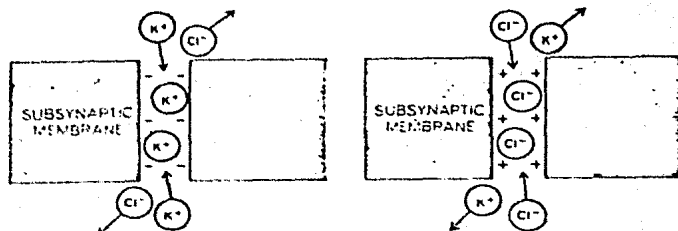
El estudio de la conducción axonal y la transmisión sináptica -- han dependido del desarrollo de aparatos electrónicos, como el microscopio electrónico, así como el análisis de señales eléctricas generadas por neuronas individuales y del uso de microelectrodos con los cuales se puede medir el potencial a lo largo de la membrana celular que es normalmente de 70 Milivolts con el in

terior de la membrana, cargado negativamente. Cuando la excitación sináptica ocurre, el potencial de la membrana de la región afectada comienza a ser más negativo, es decir se despolariza -- hasta que alcanza una descarga requerida, para generar una acción potencial por el Axon. La consecuencia inmediata de la excitación es la apertura del canal iónico en la membrana, permitiendo la entrada de los iones de sodio, el cual de otra manera estaría bloqueado y la difusión al interior de la neurona sería imposible, ésto es seguido por la salida de un menor número de iones potasio a través de los canales. Las figuras (6) y (7.1.2) muestran lo antes mencionado.



fig(6)

fig(7.1)



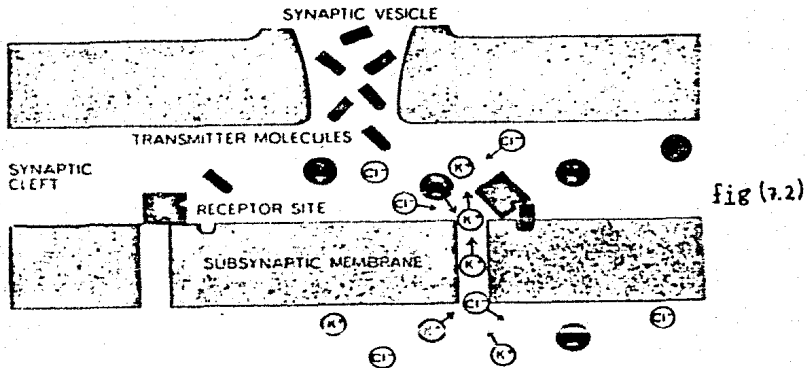
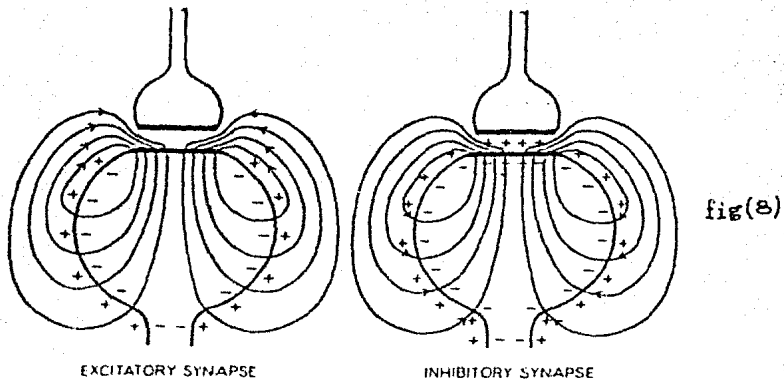


fig (7.2)

La figura (7.2) que muestra las modificaciones a la sinápsis inhibitoria es una sinápsis que emplea otro tipo de moléculas trasmisoras que abre canales más pequeños que permiten el paso de -- iones de sodio. El flujo al exterior de iones de potasio y al -- interior de iones cloro, podría considerarse como la hiperpolarización, de esta forma se inducen flujos debido a la acción de la sinápsis ya sea excitadora o inhibitora. Cuando la célula ner-- viosa está en reposo, el interior de la membrana celular es uniformemente negativo con respecto al exterior, la sinápsis excitadora libera una sustancia química que despolariza la membraba jo el espacio sináptico, de este modo permite un flujo hacia el interior en ese punto de la membrana y en el caso de la sinápsis inhibitora el flujo es en sentido inverso. La información es -- entonces transmitida por polarizaciones y despolarizaciones de -- la membrana hasta alcanzar un umbral y disparar la célula nerviosa. Ver figura (8).





fig(8)

La neurona es una unidad mixta, en ella una doble capa lipida -- fluida aisla el citoplasma del medio y constituye un solvente. -- Las proteinas refuerzan las capas lipidicas, encargándose del intercambio con el medio que es el que mantiene la funcionalidad y la vida celular, requiriendo mucha energia para incorporar la mayoría de los iones en los fluidos adyacentes los cuales en la -- práctica los rechaza constituyéndose así en un dieléctrico, y -- al separar cargas eléctricas en un condensador creando una diferencia de potencial llamada potencial de membrana.

#### 1.1.6). NEURONA EN REPOSO Y POTENCIAL DE REPOSO.

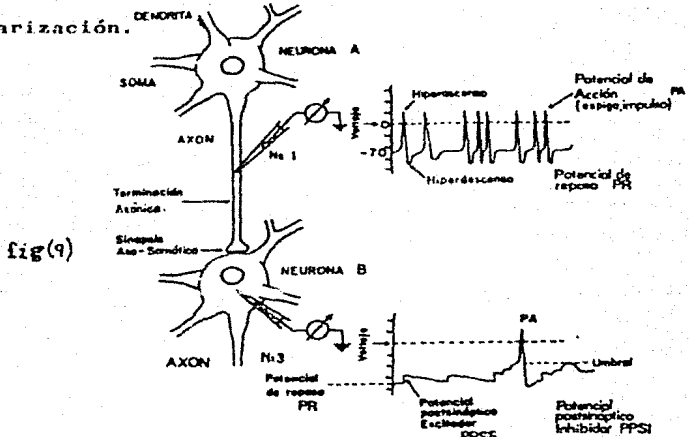
La neurona en reposo es una célula con carga que no conduce en -- ese momento el impulso nervioso. La diferencia de potencial eléctrico entre el líquido que rodea a la neurona y el intracelular -- de la neurona; es importante para mantener el equilibrio dinámico de la neurona en reposo y para la generación y propagación -- del impulso nervioso.

### 1.1.7). GENERACION DEL POTENCIAL DE ACCION.

El impulso nervioso es un fenómeno electroquímico; si un estímulo aplicado a un Axon hace descender el potencial de membrana de un nivel crítico llamado nivel de umbral (30-50 MV) aparece una acción semejante a una explosión y se provoca un breve fenómeno eléctrico llamado potencial de acción, que se propaga a lo largo del Axon sin decremento y en forma continua hacia todas las regiones de la membrana axónica. Después de la estimulación el Axon se comporta no solamente como conductor pasivo, sino que también produce su propia energía para mantener el impulso, cuando el potencial de reposo (-70MV) se convierte en potencial de acción (30MV) ocurre una inversión de polaridad, y cuando la despolarización alcanza el punto crítico se dispara un potencial de acción, es importante destacar que el impulso nervioso no es una corriente eléctrica semejante a la que pasa a través de un alambre, sino más bien una secuencia de cambios iónicos en los que las cargas eléctricas son la indicación de un potencial de acción. Cada neurona es un centro de integración en miniatura donde la confluencia y la suma algebraica de potenciales excitatorios o inhibitorios se lleva a cabo.

Un electrodo o microelectrodo para registrar el llamado potencial de acción que se propaga a lo largo del Axon, se muestra en la figura (9.1) en la porción cilíndrica del Axon de la célula, registrará el potencial de membrana entre el interior y el líquido exterior cuando este potencial permanece constante se llama potencial de reposo, cuando el potencial de reposo tiene un despla-

miento positivo se llama despolarización y cuando es negativo se llama hiperpolarización.



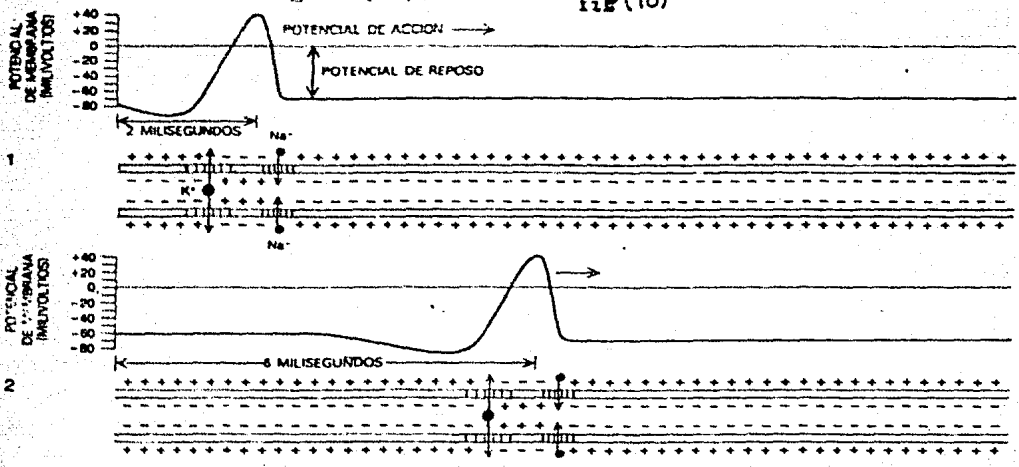
Además del potencial de reposo, el registro interaxónico puede -  
mostrar una secuencia interactiva de ondas positivo-negativas de  
denominadas potencial de acción.

El desplazamiento positivo inicial o despolarización es de apro-  
ximadamente 100 milivolts y la porción por encima del nivel cero  
se llama inversión o hiperascenso. Es evidente que este poten-  
cial implica la entrada de cargas positivas y la salida de nega-  
tivas es una cierta relación temporal, o sea una corriente entran-  
do a través de la membrana. El desplazamiento negativo que si-  
gue restablece el potencial de reposo, antes de hacerlo a veces  
llega a potenciales más negativos en cuyo caso se dice que hay -  
un desplazamiento transitorio hacia el lado positivo del nivel -  
del potencial de reposo. Estos cambios se llaman pospotenciales o

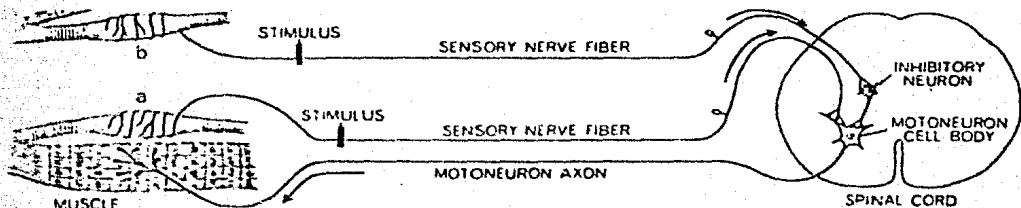
potenciales posteriores, la duración de cada potencial de acción es de aproximadamente 1 milisegundo, esta cifra es sólo representativa y normalmente hay bastante dispersión al rededor suyo.

La aparición de un potencial de acción se llama también disparo o descarga. Los potenciales de acción se repiten en forma más o menos irregular a intervalos de decenas de milisegundos, lo cual implica frecuencias de potenciales de acción de alrededor de -- diez por segundo. Una serie de potenciales de acción se denomina tren. El intervalo entre dos potenciales de acción sucesivos en una neurona se debe a que la célula después de generar un potencial de acción pierde la habilidad de generar otro por un periodo de unos 5 milisegundos, llamado periodo refractorio. Después de la generación de un potencial de acción la estructura es incapaz de responder lo que constituye el periodo refractorio absoluto y después se va recuperando hasta llegar a su capacidad normal o excitabilidad que constituye el periodo refractorio relativo. Ver figura (10).

fig(10)



El tipo más común de neuronas, de los vertebrados al menos es -- el de las llamadas de Axon o cilindroeje largo que se encuentra perfectamente representado por una motoneurona espinal. Las motoneuronas básicas se encuentran en los cuernos grises anteriores de la medula espinal y en los núcleos de los nervios craneales. Se denominan motoneuronas bajas en el sentido de que a -- ella llegan los influjos de la neurona motora, y motoneuronas al tas cuyos cuerpos celulares se encuentren en niveles altos inclu yendo la corteza cerebral. Ver figura (11).

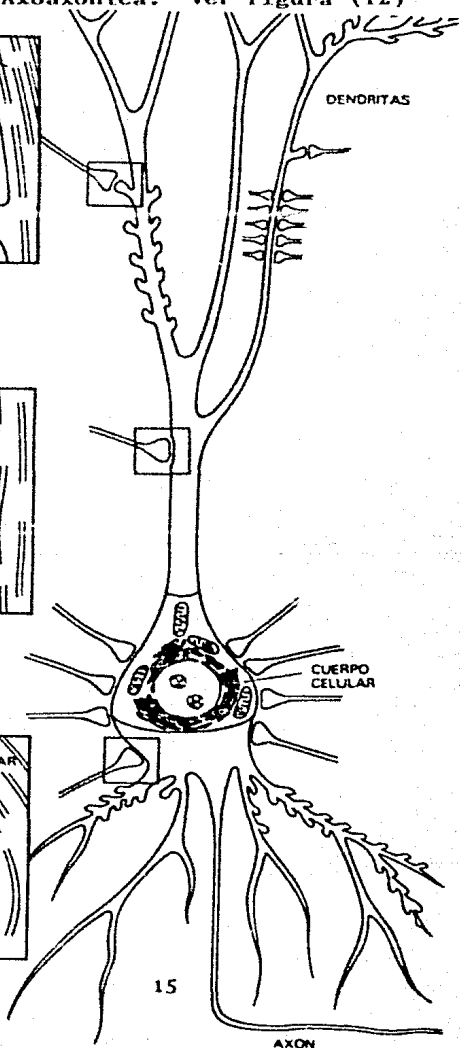
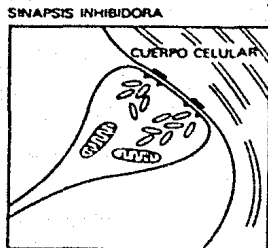
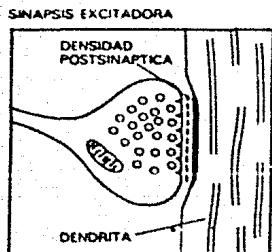
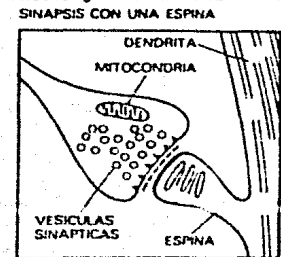


fig(11)

#### 1.1.8). SINAPSIS.

La sinapsis es una separación física o espacial (que constituye la frontera especializada entre las membranas implicadas), entre la terminal axónica de una neurona y la membrana posináptica de las dendritas. Existen diversos tipos de sinapsis; exo dendríticas: se da únicamente sobre las dendritas, las axomá ticas en las cuales el botón terminal axónico llega directamente al soma celular.

A las sinapsis exodendríticas también se les conoce como excitadores y a las axomáticas como inhibidores. Además existe otro tipo de sinapsis que establece una sinapsis sobre la terminal de otro Axon y se llama Axoaxónica. Ver figura (12)



fig(12)

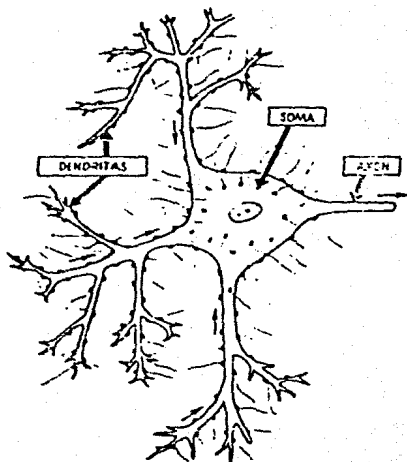
Los estudios y descubrimientos recientes en el campo de la transmisión sináptica han sido muy numerosos e interesantes. Esto se ha debido principalmente al desarrollo de la teoría de los microelectrodos y a la utilización de un sistema sencillo, el reflejo monosináptico de la médula espinal. Para investigar los mecanismos de activación sináptica, es necesario medir el potencial de membrana en una neurona cuando ésta es bombardeada sinápticamente por otras.

### 1.1.9). MORFOLOGIA Y FISIOLÓGIA DE LA MOTONEURONA.

#### 1.1.9.1). DESCRIPCIÓN DE LA MOTONEURONA.

En la figura (13) se ilustra una motoneurona que consta de tres partes principales: soma, que es el cuerpo principal de la neurona; Axon, que son ramificaciones del soma que siguen al nervio periférico; dendritas, que son proyecciones delgadas del soma en zonas vecinas de la motoneurona.

fig(13)



Además se tienen los botones sinápticos que cubren del 80 al 90% de la superficie del soma y de las dendritas. Los botones sinápticos tienen dos estructuras internas importantes para las funciones excitadoras o inhibitorias de la sinapsis que son, las vesículas sinápticas y las mitocondrias, como se mostró anteriormente en la figura (3), las vesículas sinápticas pueden contener a un transmisor excitador o a un transmisor inhibitor. Las mitocondrias proporcionan A.T.P. (Adenosina-trifosfato) necesario para sintetizar la nueva sustancia transmisora.

Cabe aclarar que una neurona en particular sólo sintetiza una sustancia inhibitora o una excitadora, por lo cual solo existen neuronas excitadoras o neuronas inhibitoras.

#### 1.1.9.2). ACONTECIMIENTOS ELECTRICOS EN LA MOTONEURONA.

Se ha encontrado que el potencial de membrana, o potencial de reposo, es de -70 milivolts, si se torna más negativo la neurona se vuelve menos propensa a la excitación, se inhibe, pero si el potencial de membrana de la neurona se vuelve más positivo será más propenso a la excitación.

El potencial de reposo de la neurona se debe a la bomba de sodio. Dicha bomba provoca la salida de iones de sodio con carga eléctrica positiva hacia el exterior, como existe en número elevado de iones con carga eléctrica negativa dentro del soma, que no pueden difundirse a través de la membrana, el resultado es la salida de esos iones positivos de sodio y la permanencia de los iones negativos que ocasionan el potencial de -70 milivolts.



Ver figura (14).

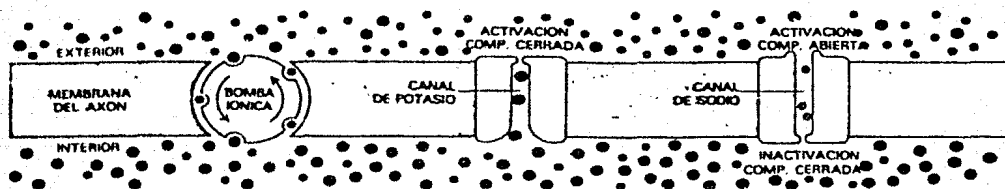


Fig (14)

A continuación se presenta una figura que ilustra en forma más - detallada a una neurona y sus partes constitutivas.

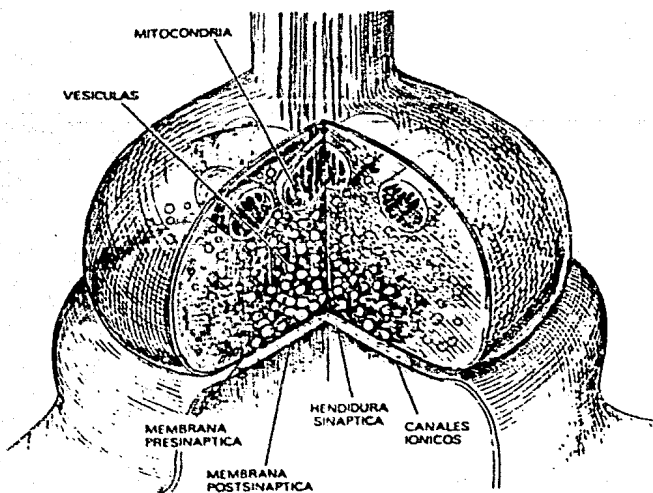
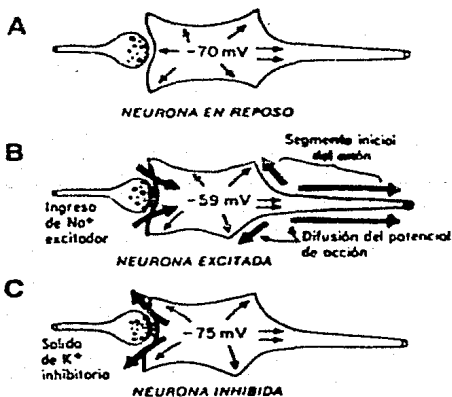


Fig (15)

**1.1.9.3). EFECTO DEL TRANSMISOR EXCITADOR SOBRE LA MEMBRANA POSINAPTICA.**

La figura (16) muestra un boton excitador que ha secretado un -- transmisor excitador, este transmisor excitador actua sobre el -- receptor de la membrana, incrementando la permeabilidad de la -- misma para todos los iones. Esto ocasiona que los iones de so-- dio positivos abundantes en su alrededor fluyan hacia el inte-- rior de la neurona, neutralizando parte de las cargas negativas. El potencial de la membrana pasará de -70 Milivolts a -59 Mili-- volts que es el potencial posinaptico excitador, lo cual ocasio-- na un potencial de acción en la neurona, excitandola.



fig(16)

**1.1.9.4). EFECTO DEL TRANSMISOR INHIBIDOR SOBRE LA MEMBRANA POSINAPTICA.**

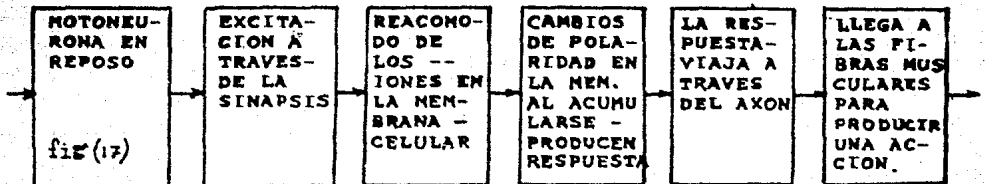
El transmisor inhibidor aumenta la permeabilidad de la membrana posinaptica para los iones de potasio positivos, y de cloro negativos, entonces no se produce un ingreso de iones de sodio po

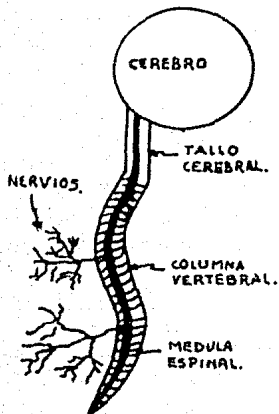
sitivos y si una salida de los iones de potasio. Como efecto total el potencial interno de la neurona se vuelve más negativo -- (-75MV), este potencial se denomina potencial posinaptico inhibitor. La neurona se vuelve menos excitable que cuando está en su potencial de reposo.

#### 1.1.9.5). SUMATORIA DE POTENCIALES POSINAPTICOS.

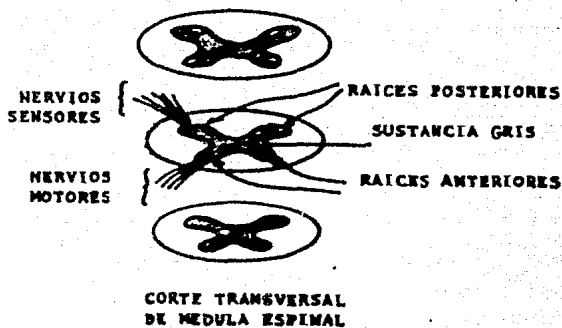
Sumatoria temporal; cuando un transmisor es liberado ocasiona -- que la membrana cambie su permeabilidad durante aproximadamente un milisegundo, el potencial de reposo se vera afectado durante 15 milisegundos, e ira decayendo cada 4 milisegundos a la mitad de su diferencia de valor anterior.

Sumatoria espacial; un sólo boton sinaptico no basta para excitar una motoneurona, por lo que es necesario que se descarguen -- varios botones simultaneamente. Como ya se mencionó el efecto -- de la excitación se sostiene durante 15 milisegundos por lo que es posible que los botones sinapticos vecinos entren en acción -- en una rápida sucesión o avalancha de pocos milisegundos provocan do una sumatoria de potenciales. Esta sumatoria de efectos con-- tiguos se llama sumatoria espacial de potenciales posinapticos. A continuación en la figura (17) mostramos un diagrama de blo-- ques de la forma en que se constituye el proceso nervioso.





(A)



(B)

fig(10)

## 1.2). TIPO DE NEURONAS Y FUNCIONES QUE DESEMPEÑAN.

### 1.2.1). CLASIFICACION DE LAS NEURONAS.

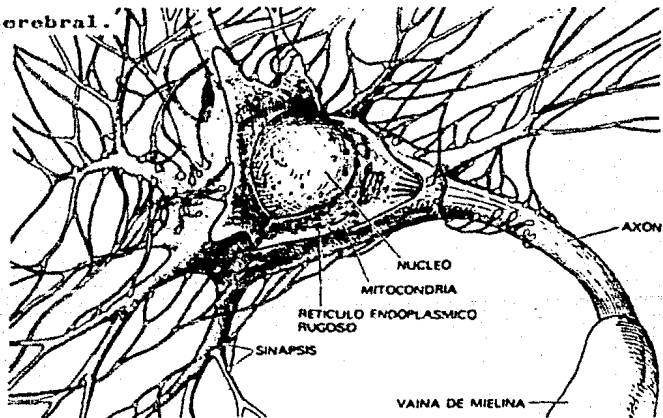
Una forma de clasificar las neuronas es por la función que desempeñan, de ahí que las neuronas que desempeñan funciones motoras se les conoce como motoneuronas y responden a señales motoras -- las cuales provocan efectos musculares.

La información sensorial recibida de diferentes partes del cuerpo humano se integra a todos los niveles del Sistema Nervioso y causa las correspondientes respuestas motoras, comenzando en la medula espinal con reflejos relativamente simples extendiéndose al tallo cerebral con respuestas más complejas y finalmente alcanzando al cerebro donde éstas son procesadas.

La sustancia gris medular es la zona de integración de reflejos

medulares y otras funciones motoras. Las señales sensitivas penetran en la medula por las raíces posteriores. Después de entrar en la medula cada señal sensitiva sigue dos destinos diferentes, primeramente en el mismo segmento medular o en segmentos vecinos, el nervio sensorial y sus colaterales terminan en la sustancia gris de la medula espinal y desencadenan respuestas segmentarias locales. En segundo lugar las señales sensitivas viajan hacia niveles más altos del sistema nervioso, niveles más altos de la propia medula espinal, del tallo e incluso de la corteza cerebral.

fig(19)



Cada segmento de la medula espinal tiene varios cientos de miles de neuronas en su sustancia gris, estas neuronas se dividen en dos tipos separados; las motoneuronas anteriores y las interneuronas.

Las motoneuronas anteriores, se localizan en cada segmento de las raíces anteriores de la sustancia gris medular, estas neuro

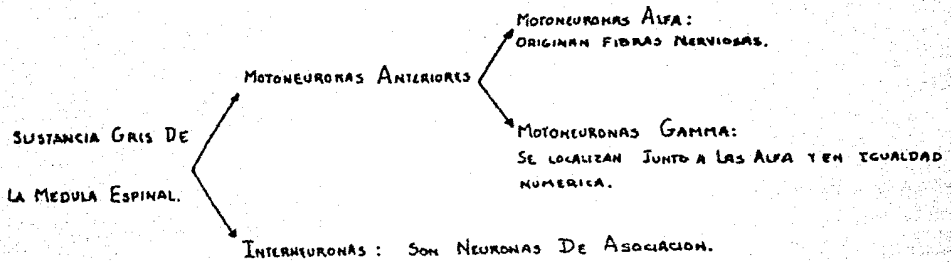
nas forman las fibras nerviosas que abandonan la medula espinal por las raíces anteriores y van a parar a los músculos para --  
enervar las fibras musculares esqueléticas. Las motoneuronas --  
anteriores se subdividen en motoneuronas Alfa y motoneuronas --  
Gamma.

Motoneuronas Alfa; estas motoneuronas originan fibras nerviosas que siguen por los nervios raquídeos hasta enervar las fibras --  
musculares esqueléticas. La estimulación de una sola fibra ner-  
viosa excita de 3 a 2000 fibras musculares esqueléticas, que en  
conjunto se denominan unidad motora, por lo que es en las moto-  
neuronas anteriores donde se controlan las funciones contracti-  
les de las fibras musculares.

Motoneuronas Gamma; además de las motoneuronas que excitan la --  
contracción de las fibras musculares esqueléticas, existe otra  
cantidad similar de motoneuronas de menor tamaño situadas junto  
a las motoneuronas Alfa, y que se denominan motoneuronas Gamma.

Las interneuronas, que son neuronas de asociación existen en to-  
das las zonas de la sustancia gris medular; en las raíces poste-  
riores difundiéndose hacia las anteriores y también en las áreas  
intermedias entre ambas zonas. Estas neuronas son muy numero--  
sas, pequeñas y muy excitables, presentan muchas interconexio--  
nes de unas con otras y muchas enervan directamente en las moto-  
neuronas de la raíz anterior. Estas interconexiones explican mu-  
chas de las funciones integradas de la medula espinal y es a tra-  
vés de estas neuronas que el cerebro transmite la mayor parte de

sus señales para controlar las funciones musculares.



Fig(20)

### 1.2.2). INGRESO SENSORIAL PARA LAS MOTONEURONAS E INTERNEURONAS.

La mayor parte de las fibras sensoriales que penetran en cada segmento de la médula espinal terminan en interneuronas pero un número muy pequeño de grandes fibras sensoriales procedentes de algunos músculos terminan en motoneuronas anteriores, por lo cual existen dos caminos en la médula espinal para los reflejos musculares; uno directamente hasta la propia motoneurona, y en segundo lugar a través de una o de varias neuronas intercaladas. La vía directa representa un sistema retroalimentado y es la base del importante reflejo de distensión muscular.

Todos los demás reflejos musculares utilizan la vía de las neuronas intersticiales en la cual pueden modificarse las señales apareciendo reflejos muy complejos.

### 1.3). COMPORTAMIENTO TIPO DE LA NEURONA.

La actividad de las neuronas se conoce en gran parte en función de los potenciales eléctricos y las corrientes eléctricas desarrolladas a través de las membranas.

Anteriormente ya se mencionó y definió lo que es el potencial de membrana y como se genera. Los potenciales de acción producidos por una neurona determinada son en muchos casos idénticos entre si por lo que se dice que son del tipo todo o nada. En la figura (21) se muestra el barrido del rayo de intensidad luminosa débil, y es iniciado al comienzo del potencial de acción también se ilustra la característica anterior por la superposición casi perfecta de los potenciales de acción que iniciaron los barridos y el periodo refractorio por la ausencia de otros potenciales de acción cerca de ellos.

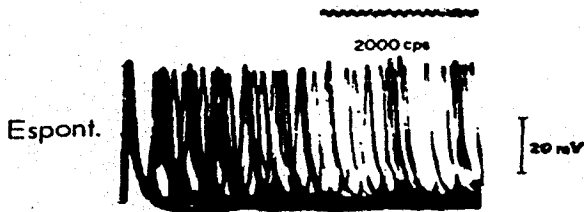


fig (21)



### 1.3). COMPORTAMIENTNO TIPICO DE LA NEURONA.

La actividad de las neuronas se conoce en gran parte en función de los potenciales eléctricos y las corrientes eléctricas desarrolladas a través de las membranas.

Anteriormente ya se mencionó y definió lo que es el potencial de membrana y como se genera. Los potenciales de acción producidos por una neurona determinada son en muchos casos idénticos entre si por lo que se dice que son del tipo todo o nada. En la figura (21) se muestra el barrido del rayo de intensidad luminosa débil, y es iniciado al comienzo del potencial de acción también se ilustra la característica anterior por la superposición casi perfecta de los potenciales de acción que iniciaron los barridos y el periodo refractorio por la ausencia de otros potenciales de acción cerca de ellos.

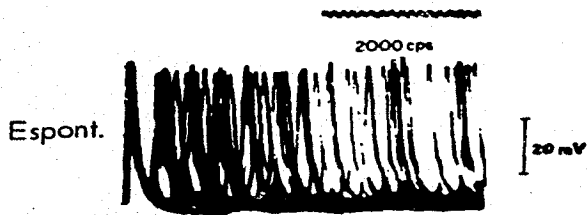
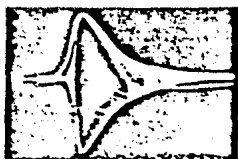


fig (21)

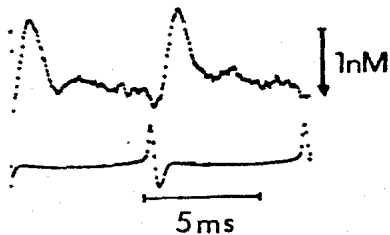
Si se coloca en el Axon de una neurona más de un electrodo, se aprecia que en un instante dado, el cambio eléctrico llamado potencial de acción ocupa una extensión limitada de la membrana, - por ejemplo en el caso del Axon gigante de Calamar ésta es de - dos centímetros. La resistencia eléctrica de la región ocupada disminuye durante el potencial de acción, esta observación se - puede ilustrar en la figura (22), donde se muestran las corrien - tes producidas al presentarse un potencial sinusoidal transversal al Axon gigante. Esta corriente es mayor durante el poten - cial de acción, lo que revela la disminución de la resistencia de la membrana. La fibra nerviosa cambia también de volumen du - rante el potencial de acción, mostrando primero un hinchazón li - gera y luego un encogimiento marcado. Esta respuesta bifásica se reconoce en el trazado superior de la figura (23), en la -- cual el desplazamiento hacia abajo significa el movimiento de - la membrana hacia afuera y hacia arriba al opuesto. El trazado inferior de esta misma figura, muestra los potenciales de acción concomitantes.

fig (22)



Caida de la resistencia eléctrica durante un PA en el axón gigante

fig (23)



En un electrodo colocado en el Axon como se muestra en la figura (9.3), alejado del soma, se observan potenciales de acción similares pero con un pequeño retardo, mostrando que los potenciales de acción se propagan del soma a las terminales en forma de todo o nada y a velocidades de algunos metros por segundo. Esta velocidad se calcula en base a la distancia entre electrodos y el retardo. El mecanismo de acción implica cambios en las propiedades eléctricas de la membrana en reposo y se dice que la propagación del potencial de acción es activa.

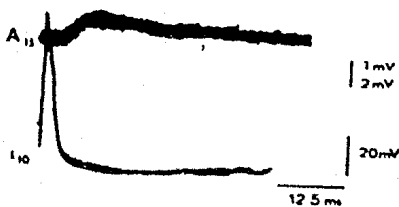
Un electrodo colocado como indica la figura (9.3), introducido en el soma de una célula posináptica a la aludida, también mostrará los diferentes potenciales de membrana, de acción y de reposo con las características ya descritas. Revelarán también otros eventos eléctricos, los conocidos en primer lugar como potenciales posinápticos excitatorios PPSE, con desplazamientos positivos o despolarizaciones cuya amplitud es de unos 5 milivolts. Su curso temporal es asimétrico y prolongado, con una fase inicial rápida, un retraso más lento y duraciones de decenas de milisegundos. Los PPSE aparecen uno por cada potencial de acción presináptico siguiéndolos con una demora breve, por consiguiente ocurre en una forma interativa o repetitiva.

En la figura (24) se han superpuesto varios barridos cada uno de los cuales se inicia con el potencial de acción presináptico que se observa en el registro inferior y muestra los PPSE correspondientes en el registro superior, en esta figura la relación uno a uno es evidente. Por ser prolongados y repetirse los PPSE

provocados por una terminal presináptica, en particular puede --  
 anular sus despolarizaciones en lo que se conoce como suma tempo-  
 ral. Al ocurrir esta suma la despolarización puede llevar al po-  
 tencial de membrana a un valor de 10 a 20 milivolts alejándolo -  
 del potencial de reposo que se conoce como umbral, ya que cuando  
 éste es alcanzado, la neurona produce un potencial de acción.

Los PPSE se deben a corrientes generadas en la región sináptica  
 y su propagación se debe exclusivamente a las propiedades eléc-  
 tricas de la membrana y los medios adyacentes. Esta propagación  
 se denomina pasiva o electrotonica.

fig (14)



fig(15)

Otras terminales presinápticas llegan a la misma célula posináp-  
 tica, diciéndose que convergen sobre ella. Cada terminal genera  
 una clase de PPS con perfil y tamaño característicos, por consi-  
 guiente los PPS en una célula no son todo o nada. Algunas termi-  
 nales provocan PPS en los que el potencial de membrana se hace -  
 más negativo es decir se hiperpolariza por lo tanto se aleja del  
 umbral y tiende a impedir la descarga de potenciales de acción,  
 los PPS de esta categoría se denominan inhibidores PPSI. En la  
 figura (26) se muestra la relación uno a uno entre potenciales  
 de acción presinápticos y los PPSI correspondientes registrados simul  
táneamente.

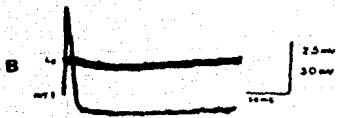


fig (26)

La neurona inmediatamente después de responder al potencial de acción en una primera terminación presináptica, sigue siendo capaz de responder a una segunda, es decir los PPS no son seguidos de periodo refractorio. los PPS provocados por terminales presinápticas diferentes también acumulan sus efectos formando el proceso conocido como suma espacial. En la mayoría de las sinapsis es necesaria la suma de varios PPSE, e sea la llegada de varios potenciales de acción presinápticos para que ocurra un potencial de acción posináptico, sólo algunas sinapsis especiales como la neuromuscular basta con un sólo potencial de acción para que dispare.

Al momento de efectuar un registro se debe tomar en cuenta que si el electrodo de registro activo se encuentra fuera de la membrana, la polaridad del potencial de acción dependera de la posición del electrodo en relación con la porción de la membrana que genera dicho potencial de acción.

En observaciones experimentales, se puede ver que las corrientes

tes despolarizantes estimuladores se originan en dos electrodos; uno intracelular llamado Anodo como se muestra en la figura (27), y otros extracelular denominado Catodo próximo a la membrana, al pasar corriente entre ellos la membrana se despolariza, al invertir los polos la corriente hiperpolariza la membrana alejandola del umbral y dificultando los disparos de potenciales de acción.

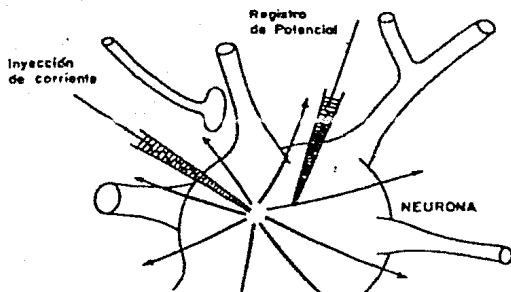
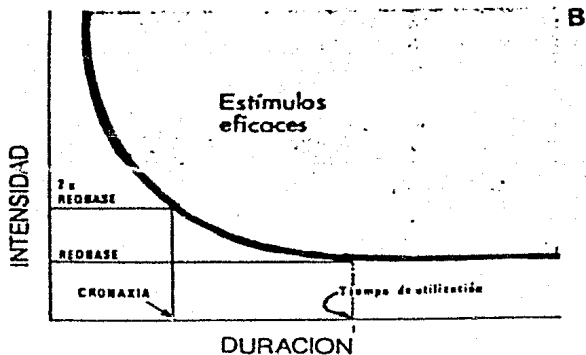


fig (27)

Un estímulo se clasifica de umbral o de subumbral según provoque o no un potencial de acción respectivamente, nosotros nos referimos a estímulos que generan corrientes cuya forma en función del tiempo es un rectángulo en el cual la altura representa la intensidad y el ancho la duración como se puede observar en la figura (28). Sólo los rectángulos con suficiente intensidad y duración provocan potenciales de acción eficaces. Para cada duración de estímulo el valor mínimo de intensidad que provoca un potencial de acción, se clasifica como valor umbral o liminal y se encuentra representado por la gráfica gruesa, el umbral es elevado con corrientes breves pero se reduce al aumentar la duración a otra denominada tiempo de utilización especí - -

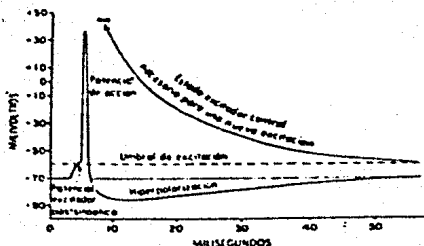
fica para cada estructura y que necesita que la duración mínima o rebase no aumente al incrementar más aún la duración. Asimismo existen para cada intensidad una duración mínima necesaria - para provocar un potencial de acción, la medición de esa duración mínima utilizando una intensidad doble de la del Rebase - se llama Cronaxia.

fig(28)



A continuación se presentan gráficas representativas del comportamiento del cerebro a la aplicación de estímulos.

fig(29)



## 2. IMPLEMENTACION DEL EXPERIMENTO.

### 2.1). EVALUACION Y SELECCION DEL SUJETO MAS ADECUADO.

Nuestro proyecto se utilizará dentro de una investigación sobre la depresión. La depresión será estudiada a través de diferentes sujetos como son: pacientes psiquiátricos, mujeres sanas, gatos, y ratas. La finalidad de esta investigación será adquirir un mejor conocimiento de la depresión y los mecanismos de acción de los antidepresivos.

En las mujeres sanas se estudiará la depresión y la ansiedad previa a la menstruación. En los pacientes psiquiátricos se estudiará a aquellos que sufren esquizofrenia. A las ratas se administraran antidepresivos en diferentes dosis y se estudiará sus reacciones. En el caso de los gatos se aprovecharan experiencias previas que demuestran la similitud de efectos ocasionados en el hombre y en los gatos por algunos compuestos que distorsionan las percepciones, estos efectos serán analizados a través de patrones electrofisiológicos que permitan asociarse antidepresivos a la acción de fármacos.

Tenemos especial interes en los gatos pues una gran parte de los experimentos del proyecto se llevan a cabo con ellos y es por ésto que forman la parte más importante de la investigación. Los gatos se emplean por varios motivos; uno, el gato es un mamífero evolucionado cuyo costo de adquisición y mantenimiento es menor a monos y perros, segundo, los gatos tienen el tamaño y forma de cabeza muy similar entre ellos, lo cual permite cons



truir un atlas único donde se indique la colocación exacta de los electrodos, tercero, la conducta de los gatos es más caracterizable que en otros animales, por último, los gatos son más resistentes a tratamientos crónicos y su tamaño los hace más adecuados que las ratas.

## 2.2). SELECCION Y CARACTERIZACION DE LOS TRANSDUCTORES MAS ADECUADOS.

Para poder registrar actividad en un organismo tales como temperatura, presiones y potenciales, es necesario contar con una interfase o medio de comunicación entre el cuerpo y el aparato de medición. Esta interfase la constituyen los electrodos. En una medición práctica de potenciales existen corrientes que fluyen en el circuito de medición, pero éstas son muy pequeñas, los electrodos son los que tienen la capacidad de conducir estas corrientes desde el lugar que se está censando hasta el circuito de medición.

Se considera al electrodo como un transductor ya que en un organismo las corrientes que fluyen son provocadas por iones, mientras que en el electrodo se establece un flujo de electrones. Es por esta razón que el electrodo sirve como transductor al transformar una corriente ionica en una corriente eléctrica.

Existen diversas clases de electrodos, internos, externos, etc., pero su clasificación es en base a su uso y a su diseño. Nosotros describiremos los electrodos internos y sus diferentes tipos ya que en los experimentos realizados fueron los que se em-

plearon.

Electrodos internos; existen electrodos que pueden ser usados -- dentro de un cuerpo para detectar biopotenciales, estos electrodos pueden ser transcutáneos que son aquellos que cruzan la piel o internos en los cuales no existe conexión física con el circuito exterior sino que se emplea un sistema de radio transmisión. Estos electrodos difieren de los de superficie en que no tienen una interfase electrolítica con la piel.

Existen diferentes diseños de electrodos internos dependiendo del propósito para el cual sean usados, a continuación explicaremos algunos de ellos.

El electrodo básico de aguja consiste de una aguja sólida con -- punta, generalmente el material utilizado en éstas es acero inoxidable. La aguja es aislada y sólo la punta queda expuesta, -- posteriormente un cable es unido al otro extremo de la aguja y -- la unión es encapsulada en plástico para protegerla.

Un electrodo transcutáneo aislado como el que se muestra en la figura (30), está constituido por una aguja hipodermica que tiene que ser modificada por un cable fino que corre por su centro y que es aislado de las paredes de la aguja por alguna resina -- epoxica. La punta tiene una sección transversal, y el cuerpo de la aguja se conecta a tierra a través de un cable coaxial. También pueden existir arreglos de varios electrodos utilizando dos cables dentro de una misma aguja y pueden ser conectados diferencialmente para tener una gran sensibilidad a la actividad eléc--

trica sólo en la vecindad del electrodo.

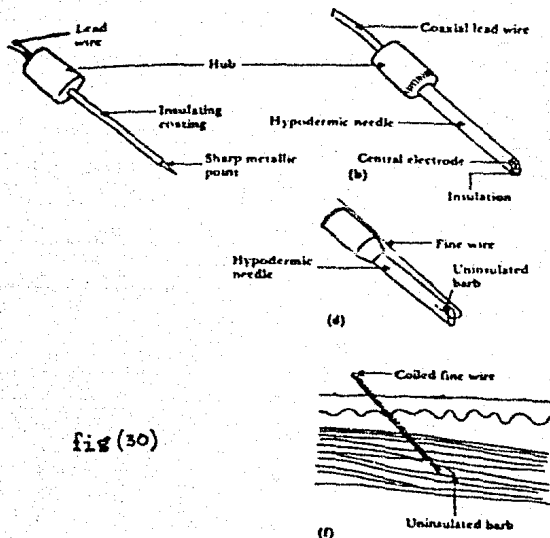


fig (30)

Los electrodos de aguja son principalmente para realizar lecturas crónicas, este tipo de electrodos es el usado para ser implementados en gatos. Existen diferentes tipos de electrodos con esquemas diferentes para introducirlos dentro de la piel, para este tipo de electrodos se utilizan cables de acero inoxidable con diámetros entre 25 y 125 micras.

### 2.2.1) MICROELECTRODOS.

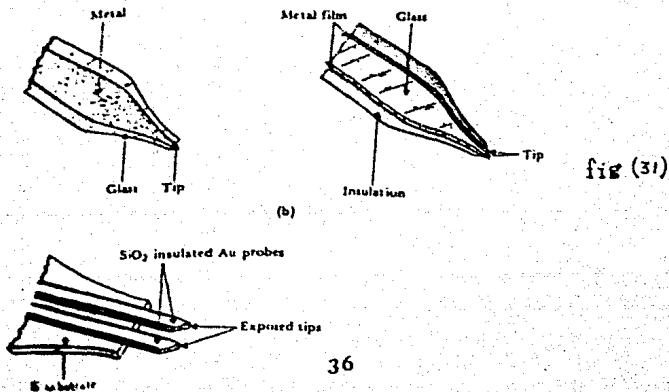
Estos electrodos son importantes para el estudio de la electrofisiología de las células excitables, para medir diferencias de potencial a lo largo de la membrana celular, para lo cual debemos

insertar el electrodo dentro de la célula. Estos electrodos de una dimensión menor comparada con las dimensiones de la célula, ya que pueden causar daños y serias lesiones celulares o incluso afectar el comportamiento de la célula. El electrodo usado para medir el potencial intracelular debe ser consistente, para poder penetrar la membrana y mantenerse mecánicamente estable.

Los microelectrodos tienen un tamaño de punta (de extremos) de 0.05 a 10 micras y pueden ser constituidos de agujas sólidas de metal contenido dentro o en la superficie de una aguja de vidrio o micropipeta que contiene una solución electrolítica.

### 2.2.2) MICROELECTRODOS METÁLICOS.

Esta clase de electrodos son esencialmente una fina aguja de un duro metal que está aislado, el metal usado es generalmente acero inoxidable, aleaciones de platino e iridio y tungsteno. La estructura para tener soportes metálicos en el electrodo pueden ser desarrolladas usando técnicas empleadas en la industria de los semiconductores, la estructura básica se muestra en la figura (31).



### 2.2.3) ELECTRODOS DE MICROPIPETA.

Son electrodos de vidrio fabricados de tubo capilar con puntas a un tubo capilar se le aplica calor y se estira hasta obtener un estrechamiento deseado, posteriormente es roto produciendo una estructura de pipeta con un diámetro aproximado en el extremo de una micra. Dentro de la pipeta es colocado un electrodo con una solución electrolítica que frecuentemente es utilizada, el electrodo generalmente es de cable de plata, en la figura (32) se muestra un electrodo de micropipeta.

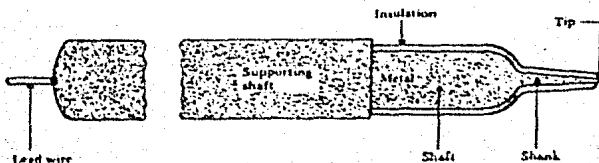


fig (32)

### 2.2.4) CONSTRUCCION DE UN ELECTRODO CONCENTRICO. (USADO EN LA IMPLANTACION).

- 1.- Con una aguja de acero inoxidable templado de calibre 26 y con una longitud deseada, haciendolo 3.5 mm. más corto que la longitud del implante deseado y dejando que sobresalgan unos 30mm. sobre el craneo después del implante. Los extremos se deben alinear y los bordes se deben emparejar utili--

zando para esto una aguja hipodérmica.

- 2.- Se inserta un segmento del alambre de acero inoxidable de -- unos 6 mm. de diámetro dentro de la cánula, determinando el largo por la longitud del implante permitiéndose exactamente que 3.5 mm. de este alambre interior sobresalga del extremo de la cánula. Se dobla la parte superior del alambre inte--rior en el punto en que sobresale de la cánula para que se -- mantenga en su sitio.
- 3.- Se sumerje todo el tubo y el alambre en epoxilite sacandolo lentamente y se hornea 10 minutos a 150 grados centigrados. Posteriormente se aplica una segunda capa de aislante y se -- hornea cuando menos durante unos 30 minutos.
- 4.- Se raspan unos 0.5 mm. del aislante de la punta del alambre interior.
- 5.- Se raspa unos 0.5 mm. del aislante de la punta de la cánula.
- 6.- Se quita el aislante del borde superior de la cánula y se -- solda un alambre de derivación de la cánula.
- 7.- Se cortan los alambres de la derivación a una longitud de -- seada y.
- 8.- Se le adhiere un poste para electrodo.

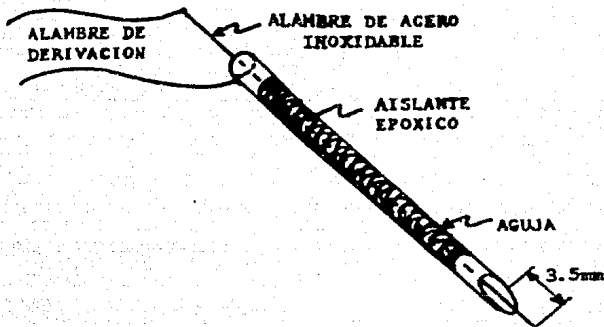


fig (35)

### 2.3) TECNICA Y ZONAS DE IMPLANTACION DE ELECTRODOS.

Los electrodos se pueden implantar en todas las partes del cuerpo, pero en nuestro caso se implantaran en el cerebro del gato, para alcanzar estas estructuras es necesario anestesiarse al gato, efectuarle un corte de piel y tejido sobre el cráneo y posteriormente hacer una trepanación del hueso e implantar los electrodos en la zona que se desea una vez implantados los electrodos se coloca un conector en la cavidad formada por la trepanación del hueso y se sella con un cemento acrílico.

Las características que se esperan obtener del electrodo con este proceso de fabricación e implantación son; una impedancia menor a 150 mega ohms pues de lo contrario ocasionaria problemas en cuanto a que bloquearía la señal que se desea medir y además no es muy fácil de acoplar a un circuito de amplificación.

El tratamiento anestésico que se usa para la implantación de los electrodos es con sulfato de atropina y anestesia de pentobarbital.

tal sódico.

Todos los electrodos para el registro de la actividad cerebral - se colocan de acuerdo con las coordenadas del atlas estereotáxico que es el que marca las distintas zonas del cerebro del gato.

Se dejan transcurrir por lo menos 15 días entre la implantación de los electrodos y el inicio de las sesiones de habituación a la situación experimental.

### 3.- ADQUISICION Y TRATAMIENTO DE LA SEÑAL.

#### 3.1). BLINDAJE ADECUADO DE LA SEÑAL A TRATAR.

Como ya es por todos conocido las interferencias electromagnéticas son un tipo de ruido el cual está presente en todas partes y que para el manejo de señales tan pequeñas como las que nosotros vamos a manejar es muy importante tomar en cuenta.

Existen diferentes formas de proteger una señal contra este tipo de ruido y una de las más eficaces, comunes y económicas es el - blindaje electromagnético o caja farádica.

Este tipo de blindaje aprovecha la propiedad que tienen los con ductores de absorber todas las señales electromagnéticas que pre tendan atravesarlo, es por eso que una caja de algún material me tállico no contendrá señales electromagnéticas en su interior. En muchas ocasiones no es necesario poner una caja metálico de mate rialmacizo, basta con una tela de alambre para rechazar algunas de las frecuencias del ruido electromagnético. Se recomienda --



utilizar una tela de alambre lo más fina posible para así asemejar lo más posible su comportamiento al de un material macizo y poder rechazar en su totalidad las frecuencias de ruido electromagnético.

El sistema con el que se cuenta y al cual se desea proteger de este tipo de ruido consta principalmente de tres etapas, las cuales se esquematizan en la siguiente figura.

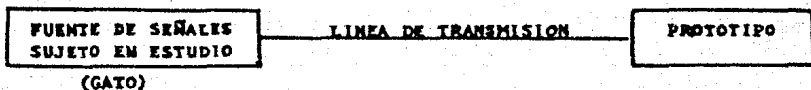
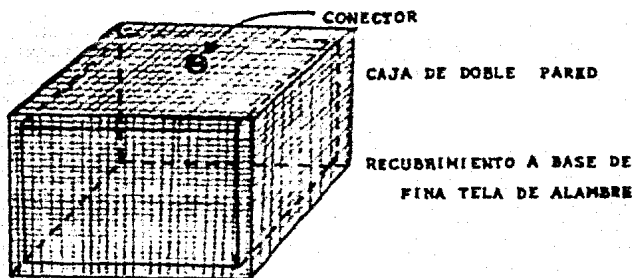


Fig (34)

La primera parte (fuente de señales) consta de un sujeto que en este caso es un gato el cual se encuentra en un lugar aislado de ruido audible para evitar estímulos auditivos, y también de preferencia que no tenga visibilidad con el exterior para evitar -- excitaciones ópticas que pudieran alterar los registros obtenidos.

Debido a las características anteriores se utiliza una caja de madera de amplias dimensiones con doble pared y un hueco intermedio para tratar de aislar el ruido lo más posible, las conexiones dentro de la caja se harán de un conector colocado en la parte central de la tapa superior al conector colocado en el cráneo

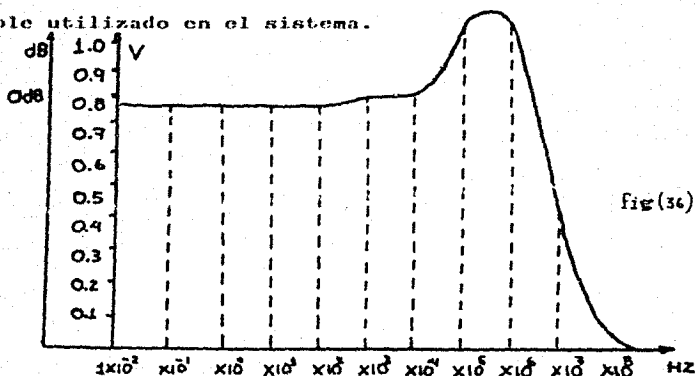
del gato. Para poder lograr un blindaje efectivo de toda esta -  
área y del gato mismo, se recubrirá la caja con una capa de tela  
de alambre y conectada a tierra en uno de los cables del conec-  
tor de la caja, lo cual proporcionará un blindaje seguro. La si-  
guiente figura muestra en una forma practica la construcción de  
la caja.



Una vez logrado el blindaje de la primera etapa que es la fuente  
de señales procedemos a proteger la línea de transmisión que es  
una de las más importantes para la obtención de resultados correc-  
tos.

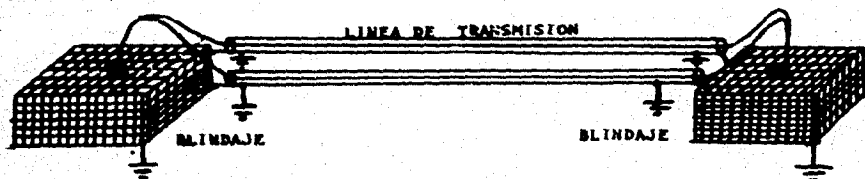
En la línea de transmisión que no es larga pues a lo sumo llega  
a tener 3 metros de longitud utilizaremos un cable coaxial de -  
un polo pues se encontró que es una de las formas más fáciles, -  
económicas y efectivas de tener un buen blindaje de la señal. Es  
muy importante hacer experimentalmente un análisis en frecuencia  
del cable a utilizar para estar seguros de que éste no va a defor-  
mar ni atenuar considerablemente la señal que por él pase, es --

por eso que a continuación presentamos los resultados experimentales de la prueba de análisis en frecuencia realizado con el cable utilizado en el sistema.



En el caso del prototipo para eliminar el ruido producido por interferencias electromagnéticas se construirá un blindaje semejante al realizado en la fuente de señales.

El siguiente diagrama da una idea general del sistema completo - que se está utilizando y protegiendo.



### 3.2). PREAMPLIFICACION.

fig(57)

La etapa de preamplificación es una de las más importantes de todas pues es la que sirve de enlace entre los electrodos y la señal que en ellos se generan con el resto del sistema. Por es-

to es de vital importancia que el preamplificador que se construya tenga muy buenas características, como las que a continuación se mencionan.

1) Como la impedancia de los electrodos es en promedio de 10 megohms entonces la impedancia de entrada de el preamplificador debe ser mucho mayor que ésta para poder lograr un buen acoplamiento y evitar atenuaciones o distorsión. Es decir -- que el preamplificador debe tener una alta impedancia de entrada.

2) El amplificador debe tener una muy alta relación de rechazo en modo comun RRMC, para asegurar que lo que se está registrando sea exactamente lo que se quiera así de este modo eliminar el ruido de modo comun que es muy difícil de eliminar.

En este punto queda implícito que la impedancia de entrada del amplificador además de ser muy alta debe ser balanceada para obtener una alta RRMC.

Debido a las dos características principales mencionadas anteriormente se decidió utilizar un amplificador de instrumentación pues este tipo de amplificadores es el único que cumple con las especificaciones requeridas.

El amplificador de instrumentación con entrada diferencial y salida sencilla es uno de los amplificadores más versátiles para el procesamiento de señales con que se dispone en la actualidad. Este es usado en aplicaciones de amplificaciones precisas de señales diferenciales de AC o de DC teniendo una gran relación de

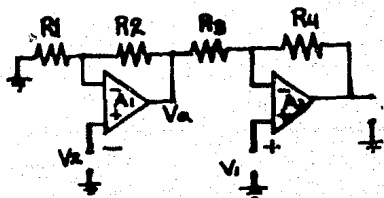
rechazo en modo comun. Con el uso de circuitos integrados es fá-  
cil de implementar un amplificador de este tipo a bajo costo.

Un amplificador de instrumentación sencillo frecuentemente acep-  
ta más de 100 señales multiplexadas con un rango de niveles de -  
unos pocos microvolts hasta algunos volts, rechazando señales de  
ruido desde cero hasta unos cientos de megahertz.

El ruido externo a un amplificador puede ser clasificado en dos  
tipos, el de modo comun y normal, o el de modo diferencial. El  
ruido de modo diferencial es muy fácil de rechazar al ser filtra-  
do por una red pasiva paso-bajas. El ruido de modo comun es más  
difícil de rechazar, sin embargo el amplificador de instrumenta-  
ción es capaz de rechazar el ruido de modo comun sobre un gran -  
ancho de banda.

Después de hacer investigaciones se encontró que hay tres posi-  
bles configuraciones de amplificadores de instrumentación. Esta  
selección se hizo teniendo en cuenta que los componentes que se  
utilizan sean comerciales en el mercado electrónico nacional pa-  
ra así lograr un prototipo con el mayor porcentaje posible de in-  
tegración nacional, así como para facilitar la compra de refac-  
ciones en caso de fallas. Las tres configuraciones factibles fue-  
ron las siguientes.

fig (59)



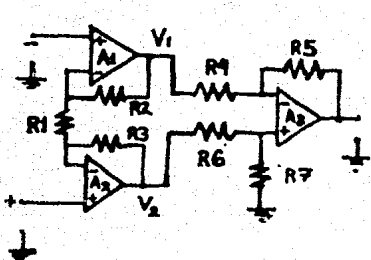
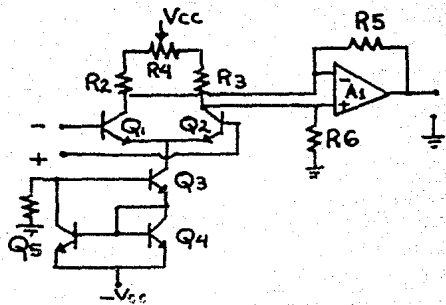


Fig (36)



Fig(40)

El amplificador de instrumentación de la figura (38) es un amplificador completamente diferencial, con una alta impedancia de entrada con respecto a tierra, y su principio de operación es el siguiente; los amplificadores A1 y A2 dan una cierta ganancia a sus respectivas señales de entrada y éstas están dadas por:

$$G1 = (R1 + R2) / R1, \quad G2 = (R1 + R3) / R1$$

pero si hacemos que  $R1 = R3$  Entonces tendremos:

$$G1 = G2 = (R1 + R2) / R1$$

En esta configuración hay que tomar en cuenta que el paralelo de las resistencias  $R1$  y  $R2$  es igual a la resistencia fuente, la cual ayuda a minimizar los errores debidos a corrientes de entrada de polarización.

Las expresiones anteriores son válidas únicamente en el caso de una configuración no inversora sencilla, pero al estar acopladas ambas configuraciones no inversoras en una sola configuración no inversora diferenciadora la expresión para la ganancia se con

vierte en:

$$G = |R_1 + 2(R_2)| / R_1 \dots\dots(1)$$

Algunos se preguntaran la razón por la cual se utiliza una configuración no inversora es decir con realimentación positiva y no una configuración no inversora con realimentación negativa dado que ésta última por su tipo de realimentación es más estable. La razón es porque la configuración inversora presenta una menor impedancia de entrada en comparación con la configuración no inversora, y como ya se mencionó anteriormente se necesita una configuración con una muy alta impedancia de entrada cosa que con la configuración inversora es imposible alcanzar.

Después de la etapa anterior, que se podría mencionar como seguidora tenemos una configuración diferenciadora cuya ganancia está dada por la siguiente expresión: (ver página 57, referencia 8).

$$V_{OUT} = |(R_4 + R_5) / (R_6 + R_7)| / |(R_7/R_4)V_2 - (R_5/R_4)V_1|$$

Pero si  $R_4 = R_6$  y  $R_5 = R_7$  Entonces

$$V_{OUT} = (R_5/R_4) (V_2 = V_1) \dots(2)$$

Utilizando la ecuación (1) se puede obtener que:

$$(V_2 - V_1) = |R_1 + 2(R_2)| / R_1 |V_A - V_B| \dots(3)$$

Sustituyendo (3) en (2) tenemos:

$$V_{OUT} = (R_5/R_4) |R_1 + 2(R_2)| / R_1 (V_A - V_B)$$

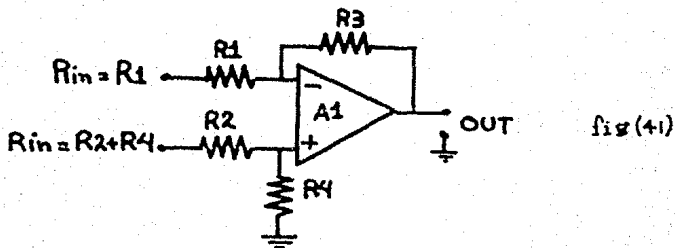
Dedonde se puede facilmente obtener que:

$$G = (R_5/R_4) |1 + 2(R_2)/R_1|$$

En esta configuración se tiene la etapa más importante que es la

diferenciadora y que a continuación presentamos.

La figura (41) muestra la etapa diferenciadora en la cual si se utilizara el amplificador operacional sólo, sus características de entrada serían suficientes para obtener los resultados deseados, pero es necesario a este amplificador operacional agregarle una realimentación para así poder obtener una ganancia efectiva finita. La adición de esta realimentación puede drásticamente reducir la resistencia de entrada y por consiguiente degradar la capacidad de rechazo de modo común.



El circuito de la figura (41) es una etapa diferencial por lo cual podría ser acoplada directamente a los electrodos, pero esta configuración tiene algunos problemas que se lo impiden y que a continuación mencionamos:

Primero, la resistencia de entrada de la terminal inversora es relativamente baja e igual a  $R1$ .

Segundo, hay una gran diferencia en las impedancias de entrada de ambas terminales, es decir la configuración implementada no tiene impedancias de entrada balanceadas.



Tercero, el rechazo en modo comun se ve gravemente afectado por el apareamiento de resistencias, por ejemplo en esta configuración una desviación del uno por ciento en alguna resistencia reduce el rechazo de modo comun a 46 dB (decibeles) para una ganancia de 1, a 60 dB para una ganancia de 10 y a 80dB para una ganancia de 100.

De todo lo anterior es claro que el único camino para obtener una alta impedancia de entrada como se requiere es usar resistencias de muy alto valor en las entradas (R1 y R2), pero algunos amplificadores operacionales que operan con valores de resistencia muy altos producen voltajes de offset y derivas cuando operan con resistencias de muy alto valor. Con grandes valores de resistencias de entrada entonces las resistencias de realimentación (R3 y R4) deben ser de un valor más alto todavía para así cerrar la malla y obtener una ganancia efectiva, por ejemplo si R1 y R2 son de 1 megaohm entonces R3 y R4 deben ser de 100 megaohms para obtener una ganancia de 100, esto es muy difícil pues obtener resistencias de estos valores y que además estén muy aparcadas para que no se reduzca el rechazo de modo comun es practicamente imposible.

El otro problema causado por los grandes valores de resistencias utilizados en la realimentación, es que se generan capacitancias parásitas que pueden seriamente afectar el rechazo de modo comun a altas frecuencias, por ejemplo una resistencia de entrada de 1 megaohm produce una capacitancia parásita de 1 picofarad entre la terminal de entrada y tierra pudiendo reducir el rechazo de

modo común a 40 dB a una frecuencia de 1500 Hertz.

Por lo tanto se ve que es necesario para poder acoplar esta configuración a los electrodos una etapa intermedia, para así poder aumentar la impedancia de entrada, Balanccarla y aumentar por con siguiente el rechazo en modo común. La configuración intermedia requerida se mostró anteriormente en la figura (38) con la configuración completa.

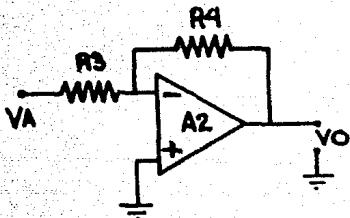
El amplificador mostrado en la figura (39) es un amplificador de instrumentación verdadero completamente diferencial que tiene alguno de los problemas mencionados anteriormente, y que cuenta -- con una alta impedancia de entrada y que no necesita grandes valores de resistencias en las redes de realimentación.

El principio de operación de esta configuración es el siguiente:

El amplificador operacional A1 tiene una configuración no inversora cuya ganancia está dada por:

$$G = (R1+R2)/R1 \quad \text{Entonces} \quad VA = |(R1+R2)/R1| (V2) \dots (4)$$

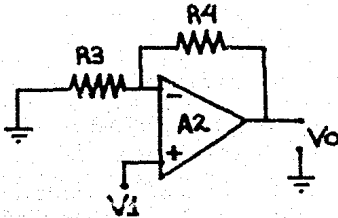
Ahora para el amplificador operacional A2, si aplicamos el principio de superposición y hacemos  $V1=0$  entonces tenemos que A2 -- queda en una configuración inversora como se muestra en la figura (42) y cuya ganancia está dada por:



$$V_{OUT} = -(R4/R3) V_A \quad \dots \quad (5)$$

fig (42)

Ahora si hacemos que  $V_A=0$  obtenemos para  $A_2$  una configuración no inversora como se muestra en la figura (43) y cuya ganancia está dada por:



$$V_O = |(R_3 + R_4) / R_3| |V_1| \dots (6)$$

fig(43)

Si sumamos los efectos de (5) y (6) obtendremos el voltaje a la salida total que es:

$$V_{OUT} = -(R_4/R_3)V_A + |(R_3 + R_4) / R_3| V_1 \dots (7)$$

Sustituyendo (4) en (7) tenemos:

$$V_{OUT} = -|R_4/R_3| |(R_1 + R_2)/R_1| V_2 + V_1(R_3 + R_4)/R_3$$

$$V_{OUT} = V_1(1 + R_4/R_3) - V_2(R_4/R_3)(1 + R_2/R_1)$$

Si hacemos  $R_4 = R_1$  y  $R_2 = R_3$  Entonces;

$$V_{OUT} = V_1(1 + R_4/R_3) - (R_4/R_3 + R_4 R_2 / R_3 R_1) V_2$$

$$V_{OUT} = V_1(1 + R_1/R_2) - (R_1/R_2 + R_1 R_2 / R_2 R_1) V_2$$

$V_{OUT} = (V_1 - V_2)(1 + R_1/R_2)$  Así entonces la ganancia está dada por

$$G = 1 + R_1/R_2$$

En esta configuración se puede observar que el apareamiento de resistencias tiene un gran efecto sobre el rechazo de modo común además de esto si las resistencias no están bien apareadas surge

otro problema, el de la distorsión pues como se puede observar - en las expresiones anteriores una diferencia en las resistencias R4 con R1 y R3 con R2 provoca que la señal en la terminal (-) - de la figura (39) no sea amplificada con la misma ganancia que - la señal aplicada a la terminal (+) lo que causa un problema de distorsión que en algunas ocasiones llega a ser muy acentuado.

Esta configuración tiene la ventaja de que no necesita resistencias de realimentación muy grandes para lograr buenas ganancias y altas impedancias de entrada a la vez, a diferencia de la configuración anterior. Esta característica hace que no se formen capacitancias parásitas las cuales afectan el rechazo de modo común a altas frecuencias, además el hecho de que no se necesiten - resistencias de muy alto valor hace más fácil su selección y compra.

Una característica importante de esta configuración y que para algunos pasaría desapercibida es su costo, pues requiere un menor - número de elementos activos y pasivos lo cual en una producción a gran escala ahorraría mucho dinero.

Una última desventaja de esta configuración es que aunque tiene - muy alta impedancia de entrada, las impedancias a tierra de cada una de las terminales de entrada no son iguales, es decir está - desbalanceada con lo que se reduce considerablemente la capacidad de rechazar señales de modo común. Esta configuración tiene la - misma sensibilidad que la configuración anterior en cuanto a la - reducción de RRMC debido al apareamiento de resistencias.

El amplificador de instrumentación de la figura (40) es un amplificador completamente diferencial que consta de dos etapas, una diferencial discreta y otra integrada.

La primera etapa, que es la diferencial discreta es la más importante pues es de ésta de la que dependen las características del amplificador.

Para lograr una alta impedancia de entrada como se requiere, se debe hacer las corrientes de polarización de los transistores lo más pequeñas posibles, con lo cual la fuente de corriente a diseñar debe ser de muy bajo valor y muy alta impedancia.

En este aplicador debe tenerse muy en cuenta que para lograr un rechazo en modo común alto los transistores Q1 y Q2 deben estar muy bien, apareados al igual que Q3, Q4 y Q5, pues sus diferencias en ganancias estáticas y dinámicas (BETAS) ocasionan muy serios problemas de OFFSET y de modo común. También se debe mencionar que debido a que las corrientes de polarización de los transistores son muy bajas se deben tomar en cuenta las capacitancias parásitas en los mismos. Si consideramos que todos los transistores tienen iguales características estáticas y dinámicas entonces se puede obtener una expresión aproximada para la RRMC que es:

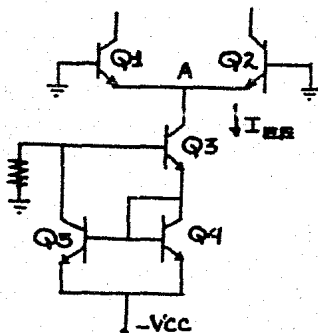
$$CMRR = 20 \text{ LOG } ( IEE \text{ REE } / VT ) \text{ Ver pag. 172 y 173 Referencia 8}$$

En donde se observa que VT es el voltaje térmico y que a temperatura ambiente es constante e igual a 26 MV, REE es la impedancia que presenta la fuente de corriente, e IEE es la corriente de la

misma.

Se puede ver de la figura (44) que  $I_{EE} R_{EE}$  es el voltaje en el nodo (A) y este voltaje nunca puede llegar a ser mayor que la fuente de polarización es decir  $(I_{EE}) (R_{EE})$  debe ser menor o igual a  $V_{CC} - 0.7$  Volts.

fig(44)



Podemos decir que la relación de rechazo en modo común depende de la fuente de polarización y que a medida que ésta crezca o disminuya, también lo hará la RRMCM.

En México es un problema conseguir transistores perfectamente apareados por lo que se hicieron pruebas con arreglos de transistores. Las diferencias en las características de los transistores ocasionaban además de los problemas de Offset y de modo común, desbalances en las impedancias de entrada a tierra, y cuando el desbalance era considerable se generaban voltajes de Offset a la salida tan grande que era imposible reducirlos a un valor aceptable.

La fuente de corriente para esta configuración es muy importante

que sea lo más estable posible, es por eso que se escogió la -- configuración que se mostró en la figura (40) la cual cuenta -- con un transistor Q3 que además de incrementar considerablemente la impedancia de la configuración introduce una compensación a -- variaciones de temperatura. Esta fuente de corriente es una de las más estables, confiables y de fácil construcción con elementos discretos.

En la figura (40) se puede observar que la siguiente etapa es -- simplemente una etapa diferencial la cual aprovecha la impedan-- cia de salida de la primera etapa para dar una ganancia a las se-- ñales que recibe es decir un convertidor de corriente a voltaje, y es aquí donde surge un problema muy serio en cuanto a acopla-- miento de señales, pues en la primera etapa para lograr una lige-- ra ganancia y una corriente de polarización muy pequeña, se nece-- sita que las resistencias R2 y R3 sean de muy alto valor, lo -- cual obliga a la segunda etapa a tener resistencias de entrada -- considerablemente altas para poder dar una ganancia a la señal -- por lo que el valor de R5 y R6 se convierte en un valor sumamen-- te grande que no existe comercialmente, además al colocar una re-- sistencia de muy alto valor en la configuración provoca que exis-- tan capacitancias parásitas y voltajes de Offset a la salida del amplificador lo cual no es muy recomendable.

Estas tres configuraciones anteriores fueron analizadas por se-- parado y probadas experimentalmente lográndose un mejor resulta-- do con la configuración de la figura (38) salvo algunas modifica-- ciones.

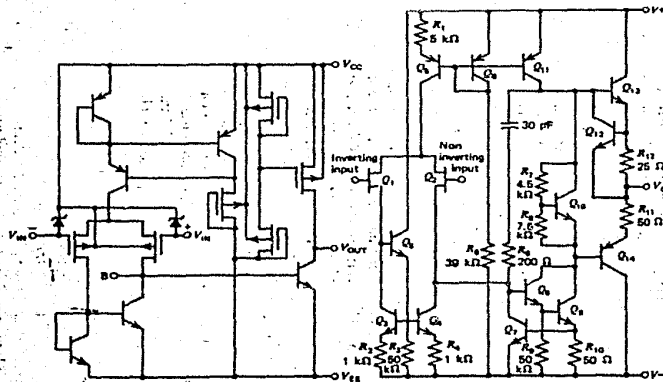
En esta configuración se observó que el apareamiento de resistencias era un factor muy importante para obtener una relación de rechazo en modo común muy alta, como en México no se consiguen resistencias de precisión, por lo tanto se decidió construir una configuración con el menor número de resistencias posibles.

Para la selección del amplificador operacional a usar se tomó en cuenta que tuviera una alta impedancia de entrada, un SLEW RATE no muy rápido pues las señales a amplificar no son de muy alta frecuencia, ni de grandes amplitudes, y tampoco tienen cambios bruscos en su trayectoria.

A continuación se presenta un diagrama donde se dan datos y configuraciones generales de las tres familias más importantes de amplificadores operacionales.



**MOS FET**  
Siliconix L120

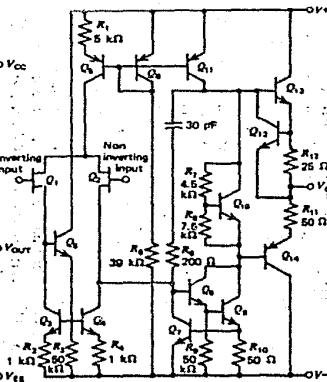


**L120 Schematic Diagram**

**L120 Specifications:**

Input-leakage current: 50 pA  
 Input resistance:  $2 \times 10^{11} \Omega$   
 Slew rate: 15 V/ $\mu$ sec (typ)  
 CMRR: 50 dB (min)

**J FET**  
 $\mu$ A740A



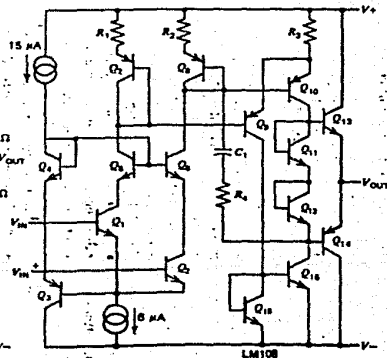
**$\mu$ A740A Schematic Diagram**

**$\mu$ A740A Specifications:**

Input-bias current: 200 pA (max)  
 Input-offset current: 100 pA (max)  
 Input resistance: 1,000,000 M $\Omega$  (typ)  
 Slew rate: 6 V/ $\mu$ sec (typ)  
 CMRR: 80 dB (min)

**Bipolars**

*Super Beta*  
 LM 108/108A • LM 110  
 LM 112  
 LM 216  
 MC 1556

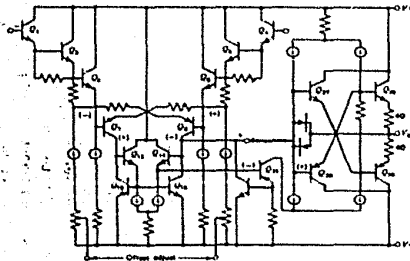


**LM 108 Schematic Diagram**

**LM 108 Specifications:**

Input-bias current: 2.0 nA (max)  
 Input-offset current: 0.2 nA (max)  
 Input resistance: 70 M $\Omega$  (typ)  
 Slew rate: 0.3 V/ $\mu$ sec (typ)  
 CMRR: 85 dB (min)

Darlington  
LM 118  
SE 531



NE531

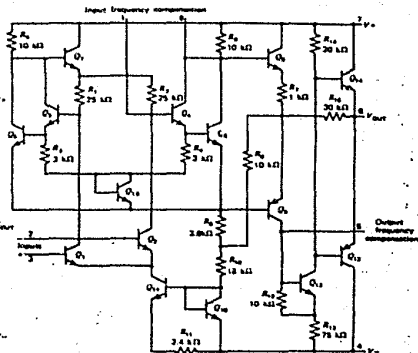
NE531 Schematic Diagram

## NE531 Specifications

Input-bias current: 500 nA (max)  
 Input-offset current: 200 nA (max)  
 Input resistance: 20 MΩ (typ)  
 Slew rate: 30–35 V/μs (typ)  
 CMRR: 70 dB (min)

Bipolars

Regular  
4250  $\mu$ A747  
 $\mu$ A709 MC 1558  
 $\mu$ A725 LM 101/101A  
 $\mu$ A741 LM 107

 $\mu$ A709 $\mu$ A709 Schematic Diagram $\mu$ A709 Specifications

Input-bias current: 500 nA (max)  
 Input-offset current: 200 nA (max)  
 Input resistance: 400 kΩ (typ)  
 Slew rate: 0.25 V/μs (typ)  
 CMRR: 70 dB (min)

Como ya se dijo se necesitan amplificadores operacionales con alta RRMIC, alta impedancia de entrada, bajas corrientes de polarización y un SLEW-RATE de valor medio.

De lo anterior y con las características que se muestran en la tabla de la figura (45) las cuales comprobamos con las hojas de datos de diferentes amplificadores operacionales, se decidió que los OP AMPS J-JET eran los más adecuados para realizar el circuito que deseábamos implementar pues las características de éstos eran las que más se apegaban a nuestras necesidades.

Para la selección de los amplificadores A1 y A2 de la figura -- (46) que forman la etapa seguidora y cuyas características serán las de más importancia para obtener buenas características de la configuración completa, se buscó un amplificador con entrada J-FET dual e internamente compensado en frecuencia y Offset, que además no fuera difícil su compra en el mercado nacional. Para estos fines se escogió el amplificador TL082 cuyas hojas de datos se anexan al final.

Para la etapa diferenciadora es decir el A3 de la figura (46) se utilizó un amplificador con características semejantes a las anteriores pero que tuviera compensación externa de Offset, para así poder ajustar el Offset de la configuración total con un solo control. Para esto se seleccionó el amplificador LF 351 cuyas hojas de datos se anexan al final.

A continuación en la figura (46) se presenta la configuración resultante de los análisis experimentales que mejores resultados -

proporcionó.

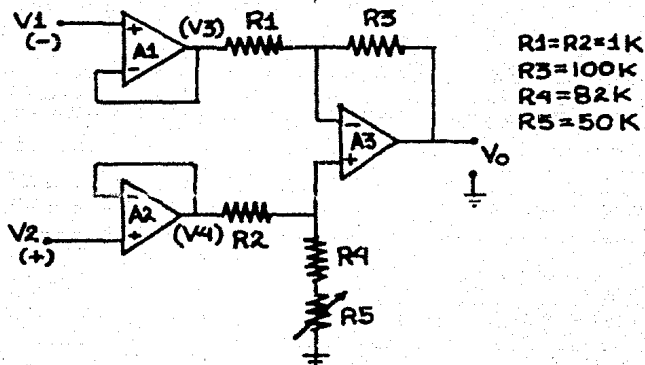


fig (46)

Las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  deben estar lo más apareadas posible para obtener una mayor RRMC. con  $R_5$  se ajusta la relación que hay entre las resistencias a fin de obtener la RRMC lo más alta posible, así de esta manera tenemos:

$$R_3/R_1=(R_4+R_5)/R_2=100$$

La resistencia  $R_6$  sirve para anular el efecto de Offset a la salida de la configuración total.

A continuación se presenta un análisis matemático completo de esta configuración a fin de calcular sus parámetros más importantes y hacer una comparación con los resultados experimentales obtenidos.

En la figura (46) se muestra la configuración resultante de la cual se van a calcular sus parámetros.

Primero determinaremos la ganancia de modo diferencial. Para esto se puede observar que  $V_3=V_1$  y que  $V_2=V_4$  puesto que los amplificadores  $A_1$  y  $A_2$  están implementados en una configuración seguidora de voltaje.

Para la siguiente etapa que es una configuración diferenciadora se tiene la expresión de ganancia;

$$V_0 = \left| \frac{(R_1+R_3)}{(R_2+R_4)} \right| / \left| V_4(R_4/R_1) - V_3(R_3/R_1) \right| \dots (A)$$

Pero si  $R_1=R_2$  y  $R_3=R_4$  que es la condición ideal entonces

$$V_0 = (R_3/R_1)(V_4 - V_3) = (R_3/R_1)(V_2 - V_1)$$

Así entonces la ganancia total de la configuración está dada por

$$G = V_0 / (V_2 - V_1) = V_0 / V_i = R_3 / R_1 \dots (B)$$

Ahora determinaremos la ganancia de modo común para esto se hace  $V_1=V_2=V_{CM}$ .

De esta configuración se puede deducir que;

$$V_0 = \left| R_4(1+R_3/R_1)V_4 / (R_2+R_4) \right| - \left| (R_3/R_1)V_3 \right|$$

Pero como  $V_4=V_3=V_{CM}$  Entonces;

$$V_0/V_{CM} = \left| R_4(1+R_3/R_1)/R_2+R_4 \right| - \left| R_3/R_1 \right| \dots (C)$$

Pero si consideramos la condición ideal es decir  $R_1=R_2$  y  $R_3=R_4$  entonces;

$$V_0/V_{CM} = 0$$

Por definición la RRMC está dada por;

$$\text{RRMC} = 20 \text{ Log } (G_d/G_{cm}), \quad \begin{array}{l} G_d = \text{Ganancia diferencial.} \\ G_{cm} = \text{Ganancia modo común.} \end{array}$$

Entonces en nuestro caso tendremos;

$$G_d = R_3/R_1 = 100 \quad ; \quad G_{cm} = 0$$

Entonces RRMC Tiende a infinito.

Este resultado es puramente teórico y es considerando que las resistencias están perfectamente apareadas, pero como esto es prácticamente imposible entonces se introducirá una resistencia variable a la configuración para así absorber estas diferencias y poder ajustar a un valor máximo la RRMC quedando la configuración que se mostró en la figura (46).

Al introducir este potenciómetro en serie con  $R_4$  podemos hacer  $R_1 + R_3$  sea igual a  $R_2 + R_4$  y de esta manera de la ecuación (C) obtenemos:

$$V_o/V_{cm} = (R_4 - R_3)/R_1$$

De esta expresión anterior se observa que una diferencia en las resistencias  $R_4$  y  $R_3$  ocasiona que la ganancia de modo común ya no sea igual a cero sino que tenga un cierto valor, por ejemplo una diferencia de 10 por ciento en las resistencias, da como resultado que;

$$V_o/V_{cm} = 10$$

Entonces RRMC = 20 dB

Si ahora la diferencia es de 1 por ciento obtenemos que;

$V_o/V_{cm}=1$  y entonces  $RRMC=40$  dB

De aquí se comprueba que las resistencias deben estar lo más apu-  
readas posibles para poder obtener una alta RRMC.

Experimentalmente se procura que R1 y R2 sean iguales en la ma-  
yor medida que se pueda y de igual manera se hace con R3 y R4.

A continuación presentamos los resultados obtenidos experimetal-  
mente con esta configuración para poder compararlos con los que  
se esperaban teóricamente.

AIMD TL082-LF351

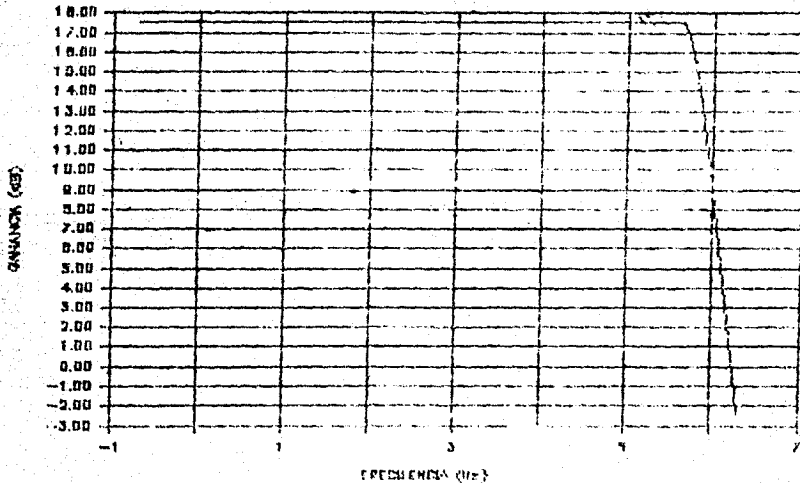
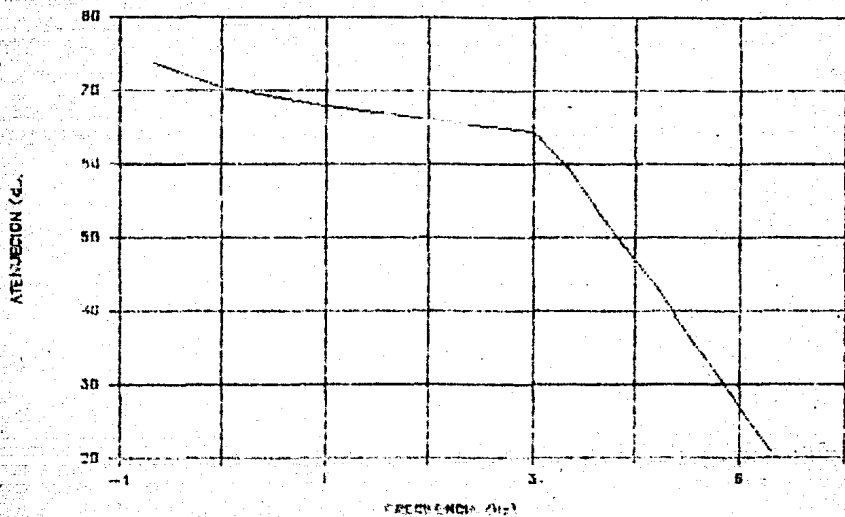


fig (+)

# AIMC TL082--LF351





### 3.3) FILTRAJE.

Una vez que la señal ha sido amplificada es necesario reducir la gran cantidad de señales que se registran en los electrodos, para lo cual se emplean filtros paso banda con límites superior e inferior de frecuencias de corte variables. Para implementar un filtro de este tipo se utilizó una configuración compuesta por dos filtros independientes conectados en cascada, uno pasó bajas y otro pasó altas para así, de esta manera poder seleccionar la ventana o ancho de banda que se desea el cual depende de la zona de registro y el tipo de experimento a realizar.

Es muy común encontrar en la literatura y en algunos otros equipos los siguientes rangos de frecuencias:

Paso bajas: 3, 15, 30, 75, 1000 Hertz.

Paso altas: 0.5, 1, 3, 10, 30 Hertz.

Se hicieron visitas a otras dependencias para observar los equipos con que se contaban y se observó que los filtros que se utilizaban en estos equipos eran filtros pasivos de primer orden -- con muy poca selectividad, por lo cual nosotros decidimos implementar filtros activos de segundo orden con ganancia unitaria, -- los cuales son más selectivos y cumplen con las especificaciones requeridas para este tipo de aparatos.

Se buscaron y analizaron varias configuraciones de filtros de segundo orden para así poder seleccionar la más adecuada, para esto se buscó la configuración que empleara un menor número de --

componentes y que no perdiera selectividad por ésto.

En la figura (48) se muestra la configuración del filtro de segundo orden que se seleccionó.

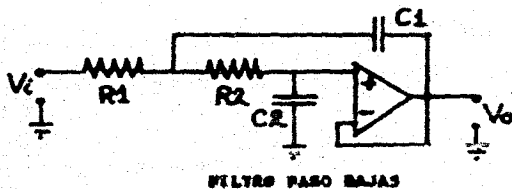
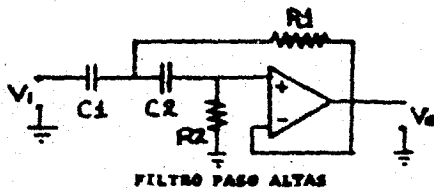


fig (48)



Una vez seleccionada la configuración a utilizar surgió el problema de cómo se puede en una sola configuración, cambiar las frecuencias de corte como se requiere. Para resolver este problema se pensó primeramente en un interruptor selector giratorio, el cual cambiará las resistencias de la configuración, y así de esta manera también cambiar la frecuencia de corte. Se puede observar en la figura (48) que para cambiar de una frecuencia a otra hay necesidad de alterar el valor de dos componentes ya sean los dos capacitores o las dos resistencias, en nuestro caso decidimos que era más fácil variar los valores de resisten-

cias.

Puesto que se pensaba utilizar un microprocesador para controlar todo el sistema, entonces se pensó que en lugar de un interruptor selector se utilizaran interruptores analógicos integrados y controlados por el microprocesador para la selección de las resistencias que dieran una cierta frecuencia de corte.

Así de esta manera se utilizaron multiplexores analógicos CD4051 que son de 8 líneas a 1 para realizar el cambio requerido. Un parámetro muy importante que hay que considerar es la impedancia del interruptor cuando éste está cerrado, pues si es de un valor muy alto, puede interferir y alterar la frecuencia de corte que se está seleccionando. En este multiplexor la impedancia es de 300 OHMS máximo según el fabricante por lo que se tratará de escoger valores de resistencia que sean mucho mayores que este valor y así poder disminuir en forma considerable la deriva que se pudiera tener en la frecuencia de corte seleccionada.

Para la implementación de los filtros se decidió usar el amplificador operacional TL 082 que es uno de los utilizados en la etapa de amplificación, pues sus características son muy buenas también para esta aplicación, además si este proyecto se llegara a fabricar en serie, su costo se disminuye al tener un mayor número de componentes iguales.

A continuación <sup>se</sup> presentamos el análisis matemático de los filtros de segundo orden utilizados.

### Filtro paso bajas.

El filtro paso bajas como se muestra en la figura (48) es un filtro VCVS (Voltage controlled - Voltage source), cuya función de transferencia está dada por:

$$H(S) = 1/S^2 [(C1)(C2)(R1)(R2) + S[(C2)(R1+R2)] + 1$$

Para que este filtro fuera del tipo Butterworth se realizaron -- las siguientes simplificaciones:

$$R1=R2 \text{ y } C1=2C2$$

Así de esta manera tenemos que:

$$H(S) = 1/(2S^2)(R1^2)(C2^2) + (2S)(R1)(C2) + 1$$

De donde se obtiene que la frecuencia de corte es:

$$FC = 1/(8.8858)(R1)(C2)$$

De la ecuación anterior si se despejan los valores resistivos se tendrá

$$R1=R2 = 1/(8.8858)(C2)(FC)$$

Si se seleccionan los valores de capacitores y se conocen las diferentes frecuencias de corte, se pueden calcular los valores de R1 y R2 de la ecuación anterior.

Si escogemos C1=0.22 micro-farads, y C2=0.1 Micro-farads, entonces obtendremos los valores de resistencias que se muestran en la tabla de la figura (49).

$F_c$ (Hz)	$R_1 = R_2$ (CALCULADOS)	$R_1 = R_2$ (EMPLEADOS)
3	357.7 k $\Omega$	330K + 27K = 357 k $\Omega$
15	71.53 k $\Omega$	39K + 33K = 72 k $\Omega$
30	35.77 k $\Omega$	33K + 2.7K + 0.2K* = 35.9 k $\Omega$
75	14.31 k $\Omega$	10K + 3.9K + 0.2K* = 14.1 k $\Omega$
1000	1.073 k $\Omega$	0.82K + 0.2K* = 1.02K $\Omega$

$C_1 = 0.22 \mu\text{f}$  ; # RESISTENCIA DEL MULTIPLEXOR EN ESTADO DE ENCENDIDO.  
 $C_2 = 0.1 \mu\text{f}$

fig (49)

Filtro paso altas.

El filtro paso altas es el que se muestra en la figura (48) y su función de transferencia es la siguiente:

$$H(S) = S^2 / [S^2 + S \{ 1/(R_2)(C_1) + 1/(R_2)(C_2) \} + 1/(R_1)(R_2)(C_1)(C_2)]$$

Su frecuencia de corte está dada por:

$$FC = 1 / (6.2832) \{ (R_3)(R_4)(C_1)(C_2) \}^{\frac{1}{2}}$$

Si  $C_1 = C_2 = C$  entonces

$$H(S) = S^2 / [S^2 + 2S / (R_2)(C) + 1 / (R_1)(R_2) (C)^2]$$

Donde  $C = 1 / (6.2832)(FC)$ ;  $K = C / C_1 = C / C_2$ ;

$$R_1 = KR_1' ; \quad R_2 = KR_2'$$

Los valores de  $R_1$  y  $R_2$  primas estarán dados por la tabla de la figura (50)

	$\varphi$	$R_1'$	$R_2'$
BESSEL	0.8659	1.103	1.471
BUTTERWORTH	0.7072	0.7072	1.414
CHEBISHEV (0.1dB)	0.6516	0.6105	1.438
(0.25dB)	0.6179	0.5624	1.473
(0.5dB)	0.5789	0.5131	1.531
(1.0dB)	0.5228	0.4509	1.650
(2.0dB)	0.4431	0.3743	1.906
(3.0dB)	0.3833	0.3223	2.194

fig(50)

Una vez realizado el cálculo de todas las frecuencias con todos los diferentes amortiguamientos se seleccionan los que más se ajustan a valores comerciales de resistencias ya sea una sola o la suma de varias.

En la tabla de la figura (51) se muestran los valores de resistencias obtenidos y el tipo que se utilizó.

FRECUENCIA	TIPO	$R_1$ (CALCULADOS) $R_2$		$R_1$ (EMPLEADOS) $R_2$	
0.5 HZ	CHEBISHEV 0.5dB	347 K	1.037 M	330K+15K=345 K	1M+33 K=1.033
2.0 HZ	BUTTERWORTH	240 K	479 K	220K+22K=242 K	470K+10K=480K
3.0 HZ	BESSEL	125 K	166 K	120K+4.7K=124.7K	150K+15K=165 K
10.0 HZ	CHEBISHEV 1.0dB	15 K	56 K	15 K	56 K
30.0 HZ	BESSEL	12.45K	16.6 K	12K+.22 K+.2K=12.42K	15K+1.5K

\* RESISTENCIA DEL MULTIPLEXOR EN ESTADO DE ENCENDIDO.

fig(51)

A continuación en la figura (52) se muestra el diagrama de la --  
 etapa de filtrado completa.

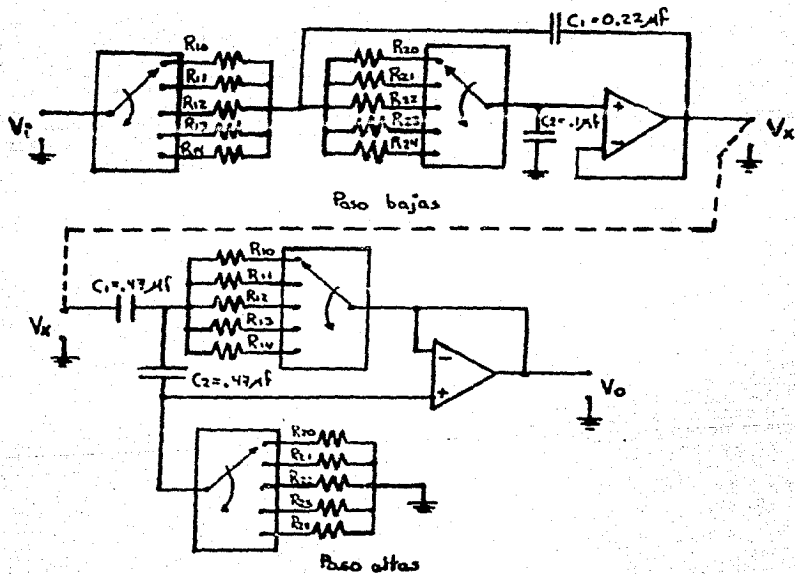


fig (52)

#### 4.- MODELADO ELECTRONICO DE UNA MOTONEURONA.

En la implementación del sistema analizador de actividad neuronal se utilizó un modelo analógico probado con anterioridad, el cual se encarga de simular la actividad de una motoneurona considerando sus propiedades como es la sumatoria de estímulos que se realiza en el cuerpo celular y la descarga o respuesta a esta sumatoria que se lleva a cabo a través del Axon.

La información que recibe el modelo es adquirida primeramente -- por los electrodos metálicos implantados en el cerebro, los cuales reciben impulsos de gran cantidad de células y fibras nerviosas que se encuentran a su alrededor, una vez que toda esta información es filtrada y adecuada, se recibe una actividad multiunitaria (MUA) que es congruente con el estado de actividad cerebral en animales. En la MUA se pueden analizar cambios en la frecuencia, en la amplitud o también en ambos parámetros, es por ésto que el MUA puede permitir el estudio de procesos fisiológicos como sueño, vigilia y efecto de drogas u hormonas. Para poder -- analizar estos procesos es necesario tener una técnica de medición de los cambios del MUA en la cual no sólo la amplitud y frecuencia de la actividad sea considerada, sino que se tome en -- cuenta también el patrón de disparo del MUA.

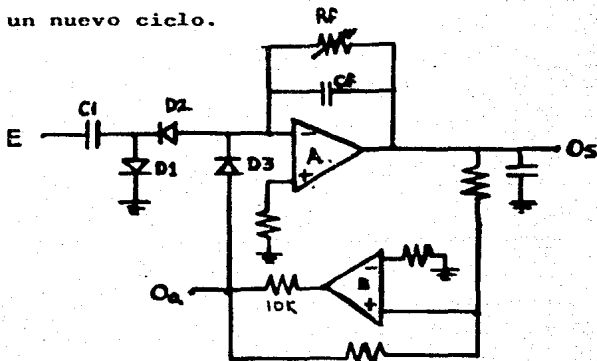
En una motoneurona el MUA produce una respuesta cuando la información está constituida por trenes de espigas con frecuencias -- progresivamente crecientes, causando el disparo de la célula nerviosa por lo cual, si se usa el modelo de la motoneurona se analiza el MUA detectando el patrón de disparo que es de gran impor



tancia para conocer la actividad nerviosa.

El modelo de la motoneurona mostrado en la figura (53) se encarga de simular el proceso de ocurrencia en una motoneurona cuando la actividad de gran cantidad de neuronas interactúan en esa célula nerviosa y como es que ésta procesa la información proporcionándonos a la vez una medida de la actividad nerviosa. Este modelo está constituido por dos bloques que se encargan de simular las propiedades de la célula nerviosa. En el primero se lleva a cabo la sumatoria de estímulos hasta alcanzar un nivel crítico y en el segundo bloque se lleva a cabo el disparo y la re-inicialización del proceso, para esto cuenta primeramente con un integrador en el cual se tiene un control que nos permite alcanzar el nivel crítico cuando se tienen trenes de tres espigas con frecuencias progresivamente crecientes en un intervalo menor de 10 milisegundos en concordancia con las propiedades de sumatoria del potencial excitador posináptico. También se cuenta con un detector de nivel el cual genera un pulso cada vez que la salida del integrador alcanza el nivel crítico que a su vez restablece el sistema comenzando un nuevo ciclo.

Fig (53)



El primer bloque del modelo que se presenta en la figura (54) -- está constituido por un amplificador operacional implementado como un integrador. En esta configuración la entrada está constituida por dos diodos D1 y D2 y un capacitor C1 los cuales aseguran que los pulsos aplicados a la entrada se inviertan para que al ser integrados negativamente nos permita obtener una salida positiva en la simulación de la sumatoria, después de que la señal a pasado por el bloque inicial.

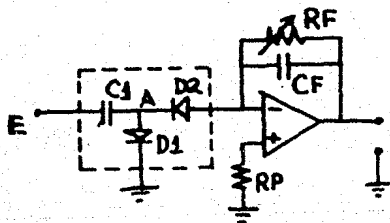


fig (54)

En el integrador el capacitor CF y el potenciómetro RF nos dan -- la posibilidad de ajustar el tiempo de decaimiento del potencial de salida en un rango de 4 a 13 milisegundos.

El segundo bloque también constituido por un amplificador operacional configurado como un detector de nivel en la figura (55) -- proporciona el disparo y reestablecimiento del sistema por debajo del nivel cero, lo cual produce la hiperpolarización que si--

que a la respuesta de la motoneurona.

Se puede considerar que con trenes de tres pulsos en un tiempo de 10 milisegundos se logrará de acuerdo a la duración entre ellos y al ajuste en la constante de tiempo del integrador una respuesta que llegue al nivel crítico cuando las espigas tienen un intervalo de tiempo decreciente, o sea que la frecuencia aumenta ya que el patrón más efectivo de bombardeo polisináptico es aquel en que progresivamente aumenta la frecuencia.

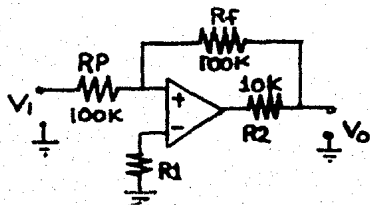


fig (55)

En la figura (53) se observan dos salidas; la salida "OS" que es la salida del integrador que simula las propiedades de suma y la salida "OA" que es la salida del generador de pulsos y que simula la descarga de la célula nerviosa.

A continuación en la figura (56) se muestra como se observan las señales registradas por los electrodos y como se observan des--

pués de ser adecuadas por la etapa de amplificación y filtrado -- para convertirse en una actividad multiunitaria que es la que -- excita al modelo de la motoneurona.

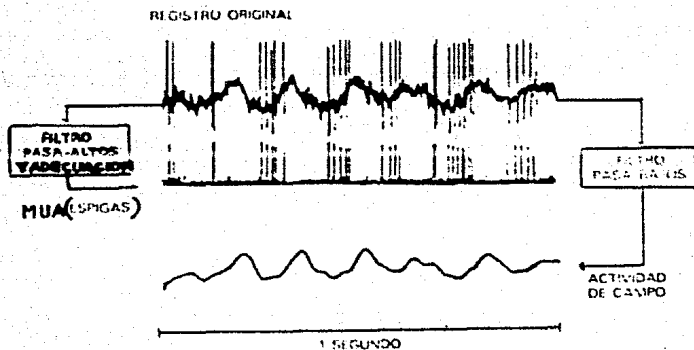
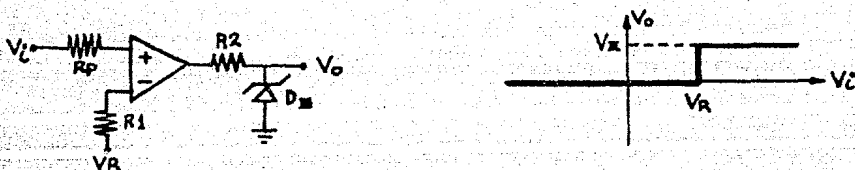


fig (56)

Se puede observar en la figura (56) que la actividad multi-unitaria está constituida por espigas de diferentes amplitudes, con lo cual la respuesta a esta señal por el modelo de la motoneurona no se comportará adecuadamente. Para corregir ésto, se introduce una etapa intermedia entre el filtrado y el modelo electrónico de la motoneurona, esta etapa está constituida por un comparador el cual da pulsos de una amplitud uniforme, únicamente -- cuando la espiga de entrada tiene una cierta amplitud necesaria para excitar al modelo.

En la figura (57) se muestra la configuración y comportamiento del comparador seleccionado.



fig(57)

Los parámetros más importantes tomados en cuenta para el diseño de este amplificador fueron:

- IB Input Bias Current.
- II0 Input Offset Current.
- R1 Resistencia de la entrada inversora.
- R2 Resistencia que limita la corriente del diodo zener.
- RP Resistencia utilizada para nulificar los efectos de IB.
- VI Voltaje de entrada.
- VR Voltaje de referencia.
- VIO Input Offset Voltage.

El optimo valor de  $R_1$  para minimizar los errores debidos a  $V_{IO}$  y a  $I_B$  con respecto a variaciones en la temperatura está dado por:

$$R_1 = (AV_{IO}/AT)/(AIB/AT)$$

El circuito comparador se comporta de la siguiente manera; cuando la espiga que se aplica en VI es de una amplitud inferior al voltaje aplicado en VR (voltaje de referencia) el amplificador - siempre tenderá a saturarse hacia su fuente negativa, pero como se está polarizando con una fuente sencilla entonces la salida - se mantendrá en cero. Cuando el voltaje aplicado en la terminal VI es ligeramente mayor que el voltaje de referencia, el amplificador tiende a saturarse hacia su fuente positiva, ésto es debido a que la ganancia de malla abierta del amplificador operacional es muy grande y tiende a infinito. Así de esta manera pasaran unicamente aquellas espigas que sobrepasen cierta amplitud y pasaran con una amplitud uniforme e igual al voltaje del diodo - zener que se seleccione.

#### 4.1). INTEGRADOR.

El circuito integrador de la figura (54) primeramente consta de un bloque de entrada que se encarga de invertir la señal y al mismo tiempo realizar la hiperpolarización en cuanto se reinicialice el sistema.

En el inicio cuando tenemos un impulso de valor "E" positivo, el capacitor C1 comienza a cargarse hasta un valor de 0.7 volts menor que "E" puesto que 0.7 es el voltaje de polarización en directa del Diodo D1. Cuando la entrada se convierte en cero y el capacitor está cargado entonces aparece un pulso negativo de amplitud E-.7 V en el nodo "A" quedando polarizado en inversa el Diodo D1 y en directa el Diodo D2. Este pulso negativo entra di-

rectamente al integrador y tendrá una salida positiva sólo cuando lleguen tres espigas con frecuencias progresivamente crecientes en un lapso de 10milisegundos, indicando que se llegó al nivel crítico. Para alcanzar el nivel crítico bajo las condiciones anteriores, se hace ajustando la constante de tiempo con el potenciómetro RF y considerando que las espigas tienen un nivel constante de voltaje.

El circuito integrador utiliza un amplificador operacional en una configuración inversora y sus ecuaciones se derivan asumiendo un amplificador ideal con una ganancia de malla abierta que tiende a infinito. En este sistema existen errores debidos al voltaje de OFFSET y la corriente de polarización, estos se pueden reducir agregando una resistencia entre la terminal inversora y tierra o aumentando la capacitancia de realimentación y decrementando la resistencia de entrada. También se debe tomar en cuenta el tipo de capacitor usado en la realimentación, pues para tener una mayor exactitud en la integración se recomienda usar capacitores de poliestireno o teflón.

Los parámetros más importantes para el diseño del integrador fueron los siguientes:

CF Capacitancia de Realimentación.

F<sub>CP1</sub> Frecuencia del primer polo del Sistema.

F<sub>CP2</sub> Frecuencia del Segundo Polo del Sistema.

F<sub>I</sub> Frecuencia característica del integrador.

F<sub>OP1</sub> Primer polo del Amplificador operacional.

F<sub>U</sub> Frecuencia del amplificador operacional a ganancia unitaria es decir frecuencia de Crossover.

- RI Resistencia de entrada.
- RF Resistencia para inicializar el integrador descargando al capacitor CF.
- RP Resistencia para nulificar el efecto de IB.
- AV0 Ganancia del amplificador operacional en malla abierta.
- TS Tiempo para reinicializar el sistema.
- VIO Voltaje de Offset a la entrada del amplificador.

A continuación en la figura (58) muestra las características de frecuencia de un integrador típico con un típico amplificador operacional.

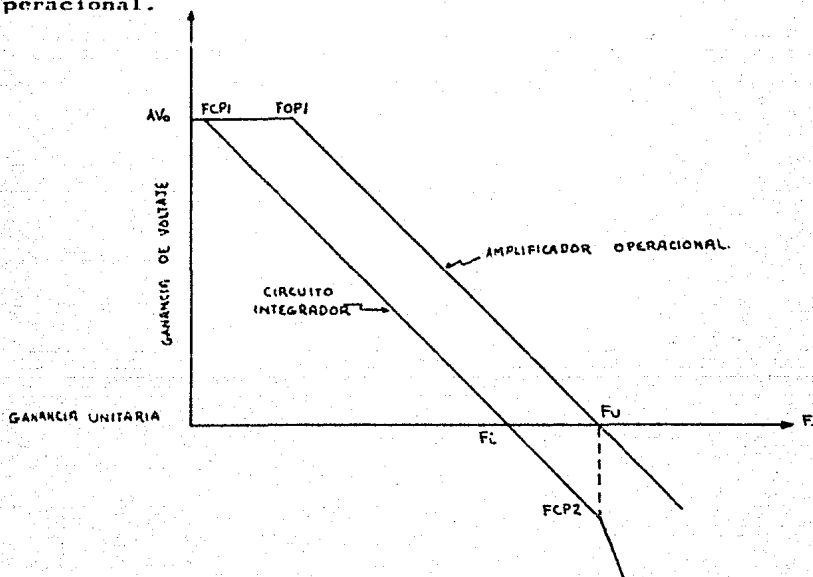


fig (58)

A continuación presentamos la deducción de la función de transferencia del integrador.

Primeramente considerando una configuración sin resistencia de -



entrada con lo cual nos queda la configuración siguiente:

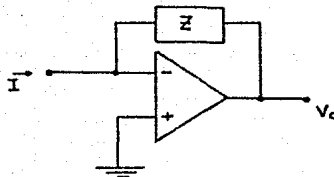


fig (59)

Donde  $Z = R_F / 1 + S(R_F)(C_F)$  ;  $V_o / I = Z$

Si ahora consideramos la resistencia de entrada tenemos la siguiente configuración.

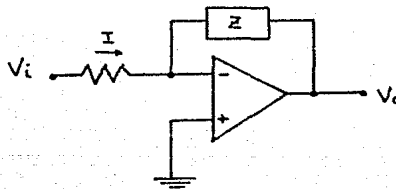


fig (60)

Donde  $I = V_i / R_i$  ;  $V_o / V_i = R_F / |R_i(1 + S(R_F)(C_F))|$

Entonces  $R_1 = V_{IO} / I_{IB}$  Tamaño óptimo de  $R_1$  para minimizar el efecto de corrientes y voltajes de Offset si  $R_1 = R_P$ .

$R_1 = V_{IO} / I_{IB}$  Tamaño óptimo de  $R_1$  para minimizar el efecto anterior si  $R_P = 0$ .

**RF-TS/Z CF** Tamaño óptimo de RF para tener 0.1 porciento de precisión requerido en el punto de inicio.

**FCP1=F1/AVO** Frecuencia del primer polo.

**F1=1/(6.2832) (R1)(CF):**

Frecuencia característica del integrador.

Como se puede observar los resultados por ambos métodos dieron el mismo resultado.

#### 4.2). DETECTOR DE CRUCE POR CERO.

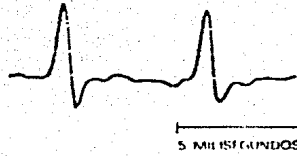
En la figura (55) se muestra el detector de cruce por cero, el cual es una configuración no inversora con Histeresis.

Los parámetros de diseño más importantes para esta configuración se mencionan a continuación:

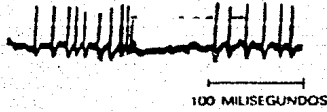
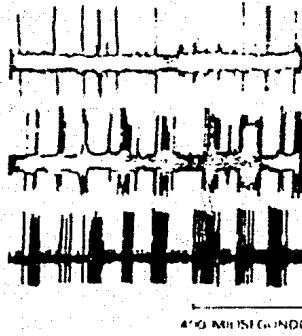
**RP** Parte del circuito de realimentación de Histeresis.  
**VI** Voltaje de entrada.  
**VIO** Voltaje de entrada de Offset del amplificador.  
**VU** Máximo Trip Voltage.  
**VL** Mínimo Trip Voltage.

A continuación presentamos un diagrama de bloques en el que se ilustra las funciones de cada uno de los circuitos descritos hasta este momento.

ESPIGAS



TIPOS DE ESPARGAS HIPOCAMPICAS



TRANSFORMACION EN PROCESOS PUNTALES

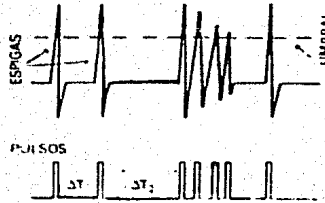


fig (61)

#### 4.3). MODELO ELECTRONICO.

En la siguiente figura se muestra el diagrama completo del modelo electrónico de la motoneurona, y se analizará su comportamiento.

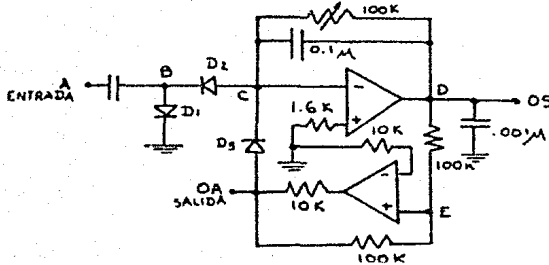


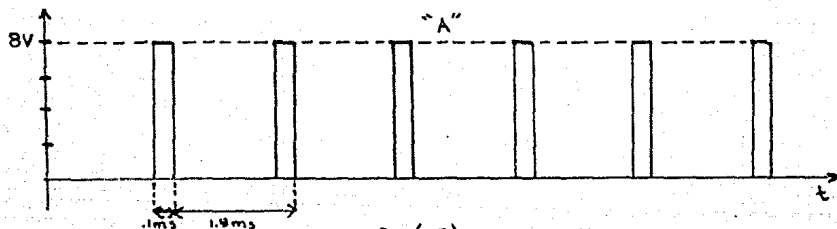
fig (62)

En el modelo anterior se registran las siguientes señales al -- aplicar trenes de pulsos en la entrada "A", simulando la actividad multiunitaria que entraría al modelo al conectarlo al sistema analizador de actividad nerviosa.

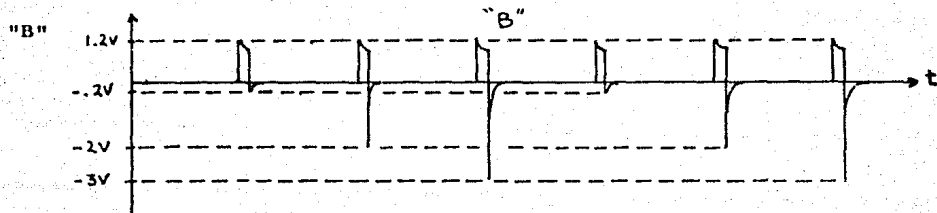
Para tener una respuesta correcta en el modelo se deben de considerar varios parámetros en la señal de entrada y en el modelo como son la amplitud de la señal, su frecuencia, la constante de tiempo del integrador y la polarización del sistema. Para tener un funcionamiento como el presentado en los registros intracelulares de motoneuronas la amplitud de los pulsos debe de ser de 6 a 10 volts con un rango de frecuencia de 300 a 600 Hz, una constante de tiempo del sistema integrador de 3 a 5 mseg. y una polarización de +12 y -12 volts. Considerando lo anterior se realizaron pruebas en el modelo obteniendo los siguientes resultados.

En la entrada "A" se aplicaron pulsos con una amplitud de 8 volts

y una frecuencia de 560 Hz que a pesar de que no es una frecuencia progresivamente creciente en trenes de 3 pulsos, se logró al canzar una buena respuesta para un valor de 6 Mseg. en la constante de tiempo del circuito integrador. Los pulsos alimentados simulan los trenes de espigas que se presentan en la actividad multiunitaria. Estos pulsos son obtenidos de un generador modulador de ondas con una frecuencia de 560 Hz que se encuentra en el rango de frecuencias de respuesta en dicha actividad, permitiendo que se lleve a cabo la suma de estímulos en unos cuantos milisegundos. A continuación se presenta la figura correspondiente a esta forma de onda.

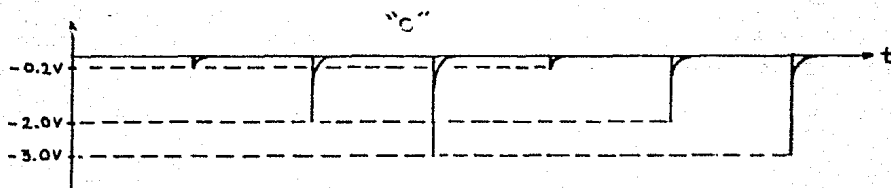


En el punto "B" del sistema se comienza a realizar la adecuación de la señal que posteriormente entrará al circuito integrador. En la siguiente figura se muestra la forma de onda obtenida en -

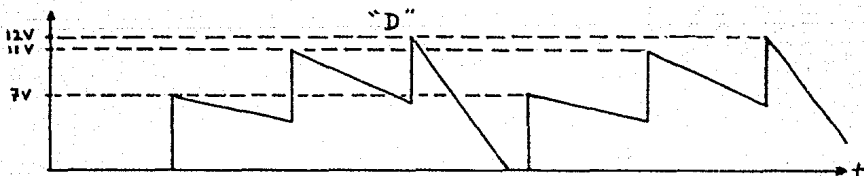


Fig(64)  
85

En el punto "C" del sistema se termina de adecuar la señal, obteniéndose otra de polaridad negativa, la cual es sometida a una integración dando como resultado una señal que simula la propiedad de sumatoria de los estímulos, esta señal alcanza un nivel crítico dependiendo de la frecuencia de las espigas, de su amplitud y de la constante de tiempo del circuito integrador. A continuación se presentan las formas de ondas obtenidas en los puntos -- "C" y "D".



fig(65)



fig(66)

En el punto "E", la señal entra a un circuito comparador el cual detecta el cruce por cero de la señal obteniéndose un voltaje de cero volts como máximo, de esta forma se logra que el circuito se reinicialice desde un nivel menor que cero, tal y como se efec--

tua en la célula nerviosa. La señal obtenida en la salida "B", es sometida posteriormente a una comparación para proporcionar una señal compatible TTL, que es manejada posteriormente en un sistema de procesamiento digital.

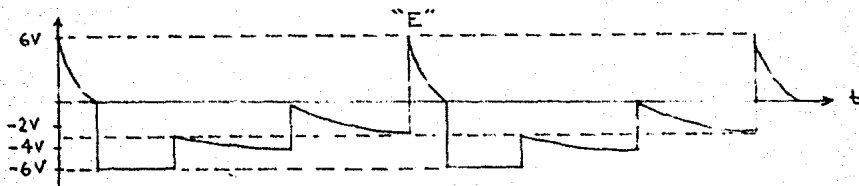


fig (67)

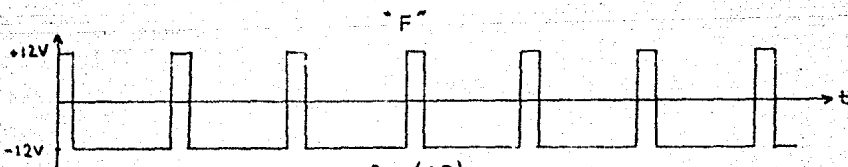


fig (68)

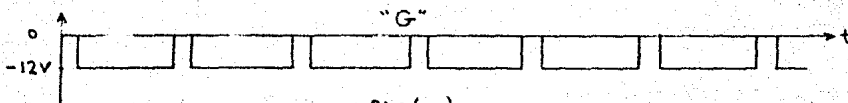


fig (69)

## 5. PROCESAMIENTO DIGITAL.

### 5.1). SELECCION DEL MICROPROCESADOR.

En el proyecto es necesario solucionar los siguientes puntos:

1.- Lectura de pulsos del modelo de la motoneurona con dos opciones;

A) Contarlos y compararlos contra una base de tiempo, esta base puede ser del rango de 30 segundos a minutos.

B) Medir ancho de pulsos, tanto el tiempo de duración alta, como el tiempo de duración baja.

2.- Almacenar estos datos para poder analizarlos posteriormente.

3.- Seleccionar el filtro paso bajas y paso altas adecuado.

Para realizar la lectura del pulso es necesario la utilización de dos contadores programables (PTM) con el fin de almacenar los datos para poder procesarlos, dado que para realizar esto, se requiere una gran cantidad de datos y un procesamiento estadístico, consideramos que la mejor opción sería incluir memoria RAM y una vez almacenada la información, es ésta transmitida en serie hacia una computadora donde fuera más sencillo procesarla.

Para seleccionar los filtros basta con una localidad de memoria de 8 bits.

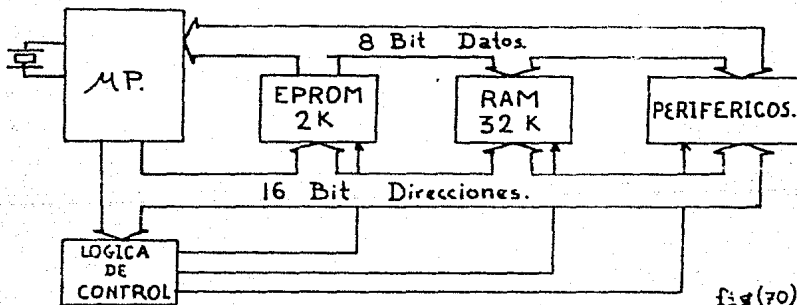
Por lo anterior se consideraron como soluciones la utilización de microprocesadores de 8 bits o microcomputadores de un solo chip. La opción del microcomputador sería la de el MC7805, con las siguientes características 112 bytes de RAM, 3.8K EPROM, --



puertos de entrada y salida (24 líneas), timer, puerto serie. - Esta opción aunque se veía demasiado buena, se desechó dado que el timer era insuficiente al igual que las localidades de memoria.

Se prefirió el microprocesador MC6809, dado que se puede obtener mucha más información de este chip, a diferencia de los de intel, además se tiene al alcance un sistema de desarrollo con el 6809 realizado en el centro de instrumentos.

La arquitectura del sistema es la siguiente.



fig(70)

En este sistema se cuenta con un microprocesador 6809, memoria - EPROM con una longitud de 2K bytes (2716), memoria RAM estática de 8K bytes por cada chip.

La lógica de control, está dada por un circuito de 2 compuertas nand y dos decodificadores de 3 a 8 líneas.

Los periféricos son dos timers, un puerto paralelo y un puerto - serie.

El puerto paralelo es el encargado del teclado y de el display. Los timers realizan las cuentas y generan interrupciones cuando tienen el dato listo.

El puerto serie se encargará de transmitir los datos hacia una microcomputadora que es la que se encarga de procesarla.

El bus de direcciones cuenta con buffers, para proporcionar el fan-out adecuado y además para proteger el microprocesador contra fallas de otros dispositivos.

El bus de datos tiene buffers bidireccionales encargados de controlar el sentido de la información y además para dar consumo de corriente adecuado.

La lógica de control se efectúa para la sincronización adecuada, del microprocesador y el resto del sistema. También se encarga de lograr el correcto direccionamiento del mapa de memoria, seleccionando el dispositivo deseado, en el momento adecuado y la localidad precisa.

Una interrupción es la suspensión momentánea del programa en curso, para lo cual se guardan los registros que nos permitan regresar al punto en que se interrumpió el programa, una vez realizada la tarea por la cual se interrumpió. Las interrupciones las generan los periféricos, dado que son los que están encargados de verificar funciones aleatorias y sólo requieren atención del microprocesador durante cortos intervalos de tiempo.

En el caso que nos ocupa es a través de interrupciones vectoriza

das como se ejecutará la atención a los periféricos, esta vectorización, se logra debido a que el microprocesador cuenta con diferentes terminales para diferentes tipos y prioridades en las interrupciones generando cada una su propio vector de interrupción.

Se establece una prioridad de interrupciones con la finalidad de guardar un orden, aún cuando se presentan interrupciones simultáneas, en este orden se atenderá primero a la de mayor importancia y cuando termine regresará a atender a las menos importantes. - Lo mismo ocurre cuando está atendiendo una interrupción y se presenta otra de menor importancia, pero si primero se presenta una de menor importancia y mientras se está ejecutando ésta se presenta una mayor importancia, entonces interrumpirá la ejecución de la primera, para atender a la más prioritaria y en cuanto termine regresará a concluir la primera interrupción que se generó.

## 5.2). CARACTERISTICAS DE LOS DISPOSITIVOS.

### Microprocesador 6809.

Es un microprocesador de 8 bits, con capacidad para direccionar 65536 localidades de memoria (64K bytes), cuenta con cuatro interrupciones por hardware y tres por software, tiene oscilador interno al cual sólo hay que conectarle un cristal.

Tipos de Direccionamientos:

- |                        |              |                   |
|------------------------|--------------|-------------------|
| 1) Inherente           | 2) Inmediato | 3) Extendido      |
| 4) Extendido Indirecto | 5) Directo   | 6) Sobre Registro |
| 7) Indexado            | 8) Relativo  |                   |

Dentro de los direccionamientos indexados, existen las de despla

zamiento nulo, de desplazamiento fijo, de desplazamiento variable por acumulador, de autoincremento y de indice directo.

Dentro de los direccionamientos relativos existen los de brinco corto, largo, relativo y las de direccionamiento general relativo.

#### Registros Internos.

Se cuenta con dos aculadores de 8 bits "A" y "B", los cuales se pueden unir y formar un acumulador de 16 bits "D".

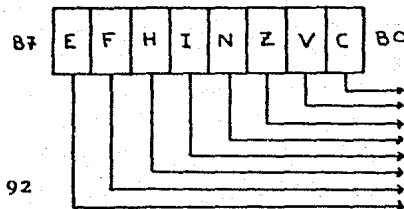
Un registro de página directa "DP" que contiene el valor de las direcciones A8-A15, cuando se usa una instrucción de direccionamiento directo.

Dos registros indices "X" y "Y" de 16 bits cada uno y que se utilizan para instrucciones de direccionamiento indexado.

Registros de Stack los cuales son usados automáticamente por el microprocesador durante las interrupciones, pero que también pueden ser usados por el usuario.

Un registro contador de programa "PC" en el cual se almacena la dirección de la siguiente línea a ejecutar.

Por último se cuenta con un registro de condiciones el cual tiene la siguiente configuración.



fig(71)

### 5.3). DESCRIPCION BREVE DE LAS FUNCIONES POR PIN.

#### 5.3.1). MICROPROCESADOR 6809.

Vcc	5 Volts DC
Vss	0 volts DC
A0-A15	Bus de direcciones.
D0-D7	Bus de datos.
R/W	Read/Write indica el sentido del flujo de información, ya sea de lectura o de escritura.
RESET	Interrupción inicial.
HALT	Deja al microprocesador en espera de una interrupción de DMA/BREQ, mientras que NMI y RESET quedan en espera.
BA/BS	Señales que indican la situación de bus de datos.
NMI	Interrupción no mascarable.
FIRQ	Interrupción rápida.
IRQ	Interrupción.
XTAL y EXTAL.	Entradas del cristal para el oscilador.
E,Q	Señales de salida del oscilador para sincronía de los dispositivos.
MRDY	Entrada que sirve para controlar E y Q.
DMA/BREQ	Permite la sincronización para el refresco automático de memoria Ram dinámica.

#### 5.3.2). MEMORIAS.

##### A). Memoria fija.

La memoria fija en nuestro sistema la constituyen un CI 2716, -- con capacidad de 16 K bits organizado en 2 K bytes, que puede -- ser borrada con luz ultravioleta y programada eléctricamente. Ade más puede ser puesta en stanby y consumir 75% de energía. Tiene decodificador interno y control sobre sus buffers de salida.

## B). Memoria Temporal.

Esta memoria mejor conocida como memoria RAM en nuestro caso está constituida por un CI estático HM 6264, con capacidad de 8K - bytes la cual por su tamaño permite un gran ahorro de circuitería de lógica de control. También es posible ponerla en stanby y ahorrar un 99% de energía.

### 5.4). DESCRIPCION DEL PROGRAMA PRINCIPAL.

Al encender la máquina se ejecutará un power-on reset lo cual dará inicio al programa, debido a que con un reset, los periféricos deshabilitan sus interrupciones por lo que no hay posibilidad de que alguno de ellos quiera interrumpir y cause errores en el programa.

Primeramente se inicializará el "ACIA", para que esté listo en el momento que se requiera transmitir datos en serie hacia una computadora. Después se inicializará el "PIA", pues es a través de el que se llevarán a cabo las comunicaciones entre el operador y la máquina. Una vez que el "PIA" ha sido inicializado se está listo para poder hacer la programación del resto del sistema para que pueda funcionar.

A continuación se ejecuta la rutina de DISPLAY, la cual toma los contenidos de los registros llamados de display y los presenta para su verificación, unida a esta subrutina, existe otra de retardo de un milisegundo, para permitir que la intensidad luminosa del display sea visible. El programa permanecerá en un loop

a este nivel hasta que alguno de los periféricos que con la programación ya fueron habilitados interrumpen al programa. En este punto el único periférico que puede interrumpir es el "PIA", es decir que se genera una interrupción al oprimir alguna tecla y por consiguiente se cambia el curso del programa, para ejecutar una rutina de 20 milisegundos para evitar los rebotes en el teclado y así poder asegurar que el dato es válido.

Después de que esta rutina de retardo se ejecuta se decodifica - la de la tecla que se presionó para saber cual es el código en 7 segmentos de la tecla que se presionó y así almacenarla en algún registro especial. Una vez que se sabe que tecla fue la que se presionó se ejecuta una rutina que pregunta si la tecla presionada fue alguna de las funciones NEXT, START o STOP, si no fue ninguna, - quiere decir que lo que se tecleo fue un dato o alguna tecla de función por lo que a continuación se efectúa el almacenamiento - del dato teclado en el registro correspondiente para pasar nuevamente a la rutina de display que muestra este registro y lo mantiene en espera de otro.

Si la tecla que se presionó fue "NEXT" quiere decir que el microprocesador debe ejecutar la función que se le indica, con los datos de los registros de display. Para esto, se cuenta con un display de 5 dígitos y por consiguiente cinco localidades como registros de display. El primer dígito mas significativo del display indicará la función que se quiere ejecutar y los otros cuatro -- restantes indican el dato con el que se quiere trabajar. Así se

tendrá que ir completando la programación total del sistema para estar listo a arrancar.

Cuando se presionó la tecla "START", quiere decir que se quiere arrancar y es en este momento cuando se hace la programación de los relojes "PTM S" habilitando las interrupciones para que estén listas cuando se requieran. Después de inicializar los relojes, se inicializan los registros direccionadores de las localidades de memoria destinados al almacenamiento de los datos provenientes de los relojes. Una vez hecho ésto, se regresará a la subrutina de display hasta que se genere una interrupción, lo cual indica, que ya hay un dato listo para almacenar en memoria. Esto sucede cuando el microprocesador detecta una "IRQ" y entonces lo que ha ce es almacenar el dato generado en la localidad de memoria más alta disponible, para después preguntar y verificar cuantas loca lidades se tienen disponibles y si todavía hay memoria suficiente, se regresará al programa en la rutina de display hasta que - se genere otro dato. Si las localidades de memoria ya no son su ficientes entonces antes de que se genere un dato nuevo y éste - se pierda se deshabilitará la interrupción "IRQ" y se enviarán - los datos en serie a través del "ACIA" con la norma "RS-232" has ta alguna otra terminal que será la encargada de procesar esta-- dísticamente los datos.

Una vez que los datos ya fueron enviados se efectua la verificación de si la bandera "STOP" está activada, para este caso la ve rificación de la bandera no es útil pero posteriormente se verá



su utilidad. Si resulta que la bandera está desactivada, entonces hay que seguir con la secuencia del programa y para ésto, se habilita nuevamente la interrupción "IRQ", se inicializan los registros direccionadores de memoria y se cae en la rutina de display en espera de la generación de nuevos datos.

El sistema seguirá trabajando así ininterrumpidamente, hasta que se presione la tecla "STOP", con lo cual se habilitará la bandera del mismo nombre. Una vez que se habilitó la bandera, se deshabilitará "IRQ", se enviarán todos los datos que hasta el momento se tenían en memoria hacia la terminal y después al preguntar por la bandera "STOP" y ésta estará activada ya no se habilitará "IRQ" y se pasa a la rutina de display directamente, donde se -- quedará hasta que se le indique lo contrario por medio de la tecla "START", para reinicializar el sistema, o de todas las demás teclas por si se quiere reprogramar el sistema.

En la siguiente figura se muestra un diagrama de flujo esquemático del funcionamiento del sistema antes descrito.

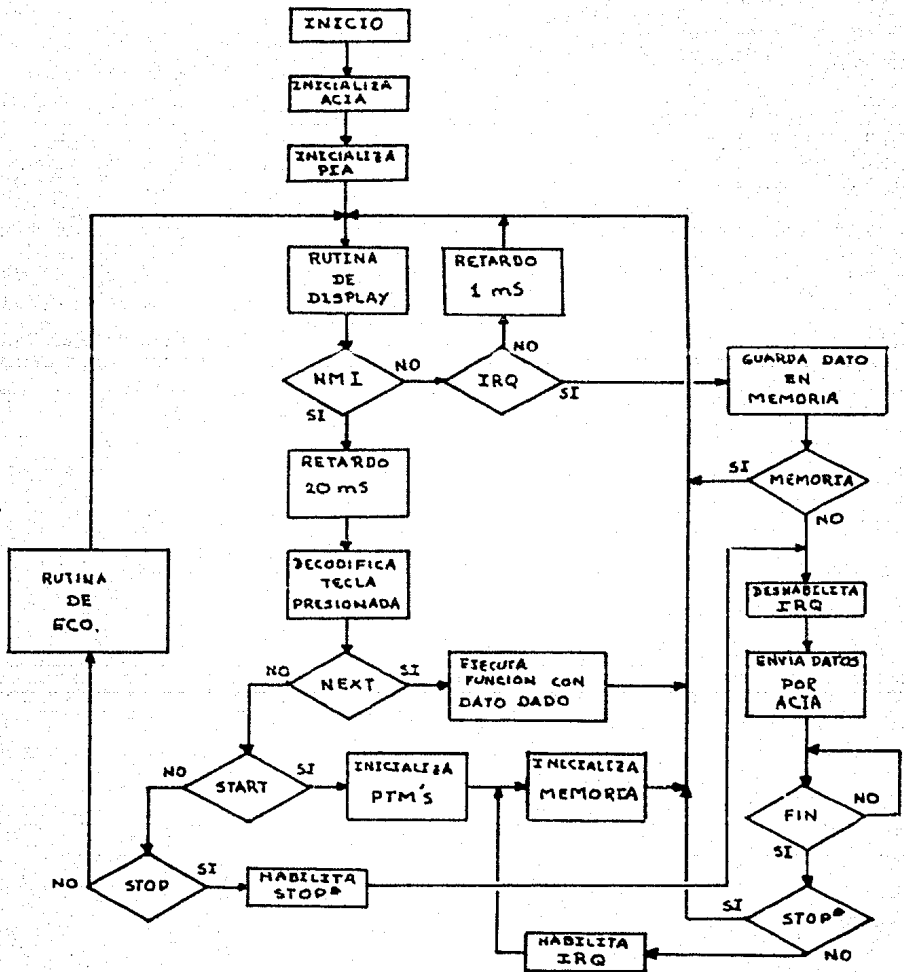


fig (72)

### 5.5). DECODIFICACION DEL TECLADO Y MANEJO DEL DISPLAY.

En la siguiente figura se muestra un diagrama de bloques de las conexiones realizadas para efectuar la decodificación del teclado y el manejo del display.

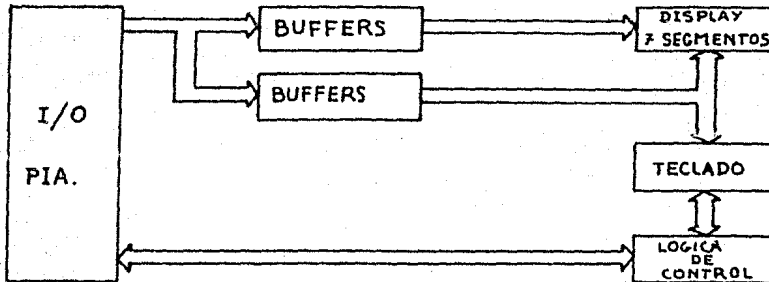


fig (73)

El teclado y el display son conectados al bus de datos a través del CI MC6821 "PIA" (Peripheral Interface Adapter). Una técnica de barrido es usada tanto en el teclado, como en el display, para poder reducir el hardware, potencia y costo.

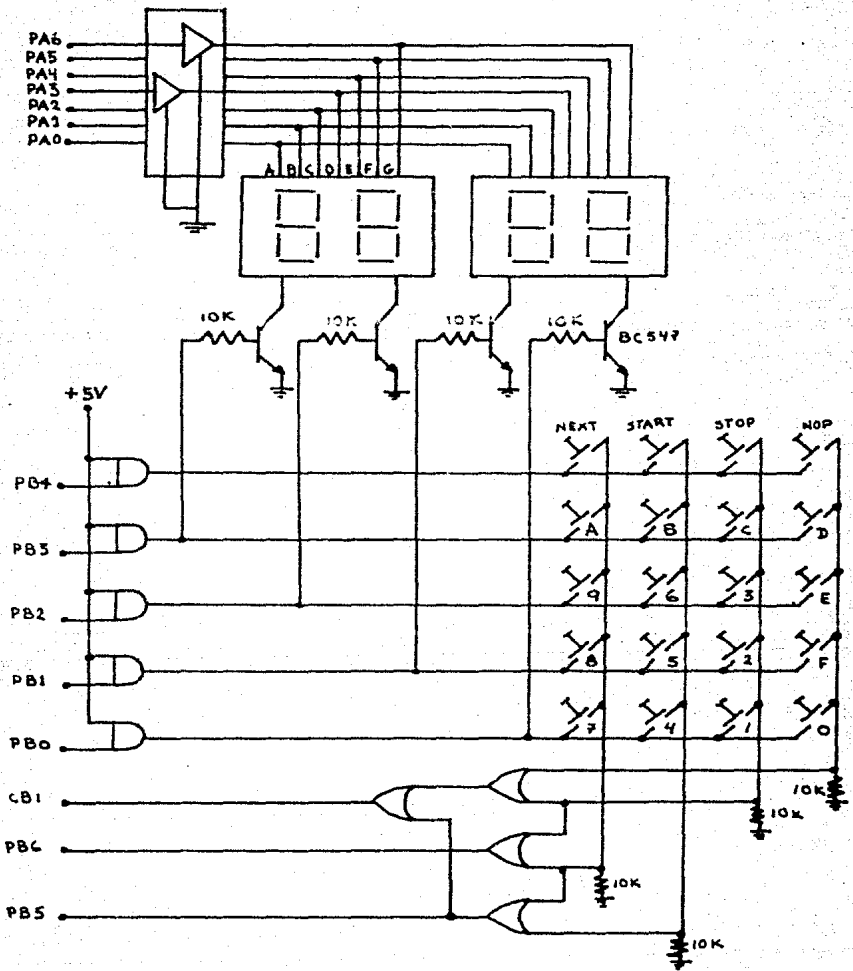
#### 5.5.1). DISPLAY.

El procedimiento de barrido usa las líneas de barrido PB0 a PB6 y el patrón de 7 segmentos a ser desplegados que es controlado por las líneas PA0 a PA6. La rutina de display controla la lógica de la siguiente manera; primero se selecciona cual de los 5 displays exhibirá el dato deseado haciendo alta alguna de las líneas PB0 a PB4. En seguida la rutina manda el código de 7 segmen

tos correspondientes a esta línea que está activada. En seguida la rutina ejecuta un retardo de un milisegundo para que el dígito permanezca encendido y de una buena luminosidad.

A continuación la rutina selecciona el patrón de 7 segmentos a ser desplegado por el siguiente dígito, por lo cual se apagará la línea que estaba activada de PB0 a PB4 y se encenderá otra. Esta secuencia continua hasta que el dígito más significativo sea seleccionado y se repite indefinidamente.

En la siguiente figura se puede observar que las líneas PA0 a PA6 y PB0 a PB4 son pasadas a través de buffers para suministrar la corriente que se necesita para los led's de los displays.



fig(7+)

### 5.5.2). TECLADO.

El teclado tiene 20 teclas que están eléctricamente arregladas - en 5 columnas por 4 renglones. Las columnas de la matriz del teclado son manejadas por las líneas PB0 a PB4, mismas que también seleccionan el dígito a ser encendido en el display. La rutina secuencialmente selecciona uno de los 5 displays y por consiguiente también selecciona una de las 5 columnas de la matriz del teclado.

La lógica de encendido y apagado o activado y desactivado es positiva, es decir uno es encendido y cero es apagado.

Cuando una de las teclas de la matriz es presionada, esto hace - que alguna de las cuatro líneas de renglones del teclado se encienda, lo que ocasiona que la salida "I" de la compuerta or se encienda y por lo tanto que el "PIA" solicite una interrupción - "NMI" al microprocesador. Cuando la interrupción del teclado es reconocida, todos los displays son apagados al colocar un 00 en las líneas del código 7 segmentos de éstos. A continuación se - usa una rutina para determinar qué tecla se presionó, primero se lee el dato en el puerto B del PIA y esto nos indica en los dos bits más significativos PB6 y PB5 en binario el número de renglon que se activó y en los 5 restantes bits nos da la columna que se activó, con lo cual se puede manejar esta información y genera - un código, para buscar en una tabla su correspondiente en 7 segmentos y cargarlo en el acumulador para así poder regresar el control al programa normal.

Como se pudo observar anteriormente todo el manejo del teclado y el display se hace por medio del PIA, por lo cual a continuación presentamos una descripción de este circuito integrado, para comprender más ampliamente como funciona esta parte del sistema.

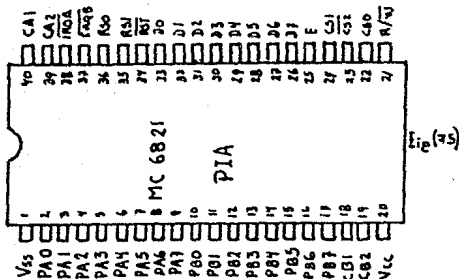
## 5.6). DESCRIPCION DE DISPOSITIVOS PERIFERICOS.

### 5.6.1). PIA (PERIPHERAL INTERFACE ADAPTER).

El Peripheral Interface Adapter MC6821 provee un medio universal de interfase con microprocesadores de la familia motorola. Este dispositivo es capaz de ejecutar la interfase entre el microprocesador y los periféricos a través de dos canales de datos bidireccionales periféricos y cuatro líneas de control.

La configuración funcional del PIA es programada por el microprocesador durante la inicialización del sistema. Cada una de las líneas periféricas de datos puede ser programada para actuar como entrada o salida y ésto permite un alto grado de flexibilidad en la interfase.

A continuación en la figura se muestra el diagrama de la configuración del PIA, para poder comprender mejor su funcionamiento.



El PIA se conecta con el microprocesador a través de un bus de datos bidireccional de 8 bits, tres líneas chip select, dos líneas para selección de registro, dos líneas para solicitar interrupción, una línea de lectura escritura, una línea de habilitación y una línea de reset. Estas líneas permiten al microprocesador tener un perfecto control sobre el PIA.

Para mayor información se puede consultar las hojas de datos del circuito integrado MC6821 publicadas por Motorola.

#### 5.6.2). PTM (PROGRAMABLE TIMER MODULE).

El propósito del uso del circuito integrado MC6840 (PTM), es el de permitir al microprocesador y a la memoria RAM quedar libres de la necesidad de calcular bases de tiempo.

El PTM es un miembro 100% compatible de la familia M6800 de periféricos. Los 8 registros de sólo escritura y los 7 de sólo lectura del PTM, aparecen como 8 localidades de memoria del microprocesador.

El PTM es un circuito integrado que cuenta con tres contadores de 16 bits cada uno independientes totalmente y que tienen 4 modos básicos de operación; modo continuo, modo de disparo sencillo, modo de medición de periodo y modo de medición de ancho de pulso. En nuestro caso debido a las características de funcionamiento que necesitamos utilizaremos las tres de los modos de operación a excepción del modo de disparo sencillo.

El modo continuo de operación se utilizará para generar una base



de tiempo variable según se programe en base a la frecuencia del reloj del microprocesador.

El modo medición de priodo se utilizará para cuantificar el número de eventos ocurridos en un periodo de tiempo determinado por el contador en modo continuo.

El modo medición ancho de pulso se utilizará para determinar el tiempo transcurrido entre cada evento.

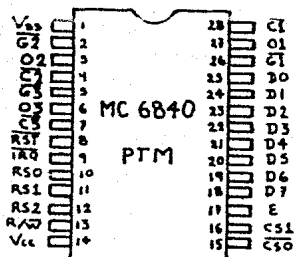


fig (76)

### 5.6.3). ACIA (ADAPTADOR DE INTERFASE PARA COMUNICACION ASINCRONA).

El CI MC6850 ACIA proporciona el formato de los datos y el control de una interfase de comunicación asincrona con un sistema de organización en bus como en la unidad de microprocesamiento MC6809.

En el MC6850 se incluyen las señales de select, enable, read/write, interrupt y bus interface logic para poder realizar una

transferencia de datos sobre un bus de datos bidireccional. El dato en paralelo del bus es transmitido y recibido en forma serie con un formato apropiado y un chequeo de error.

Durante la inicialización del sistema el funcionamiento del ACIA es programado vía el bus de datos. Un registro de control programable nos permite el control en la transmisión, en la recepción, en la división del reloj, el control de interrupciones y 3 líneas de control para operación con periféricos.

#### 5.6.3.1). OPERACION.

Para el sistema de bus el ACIA aparece como dos localidades de memoria bidireccionales. Internamente existen 4 registros, 2 para lectura solamente y 2 para escritura. Los registros de sólo lectura son el de status y dato recibido; los registros de escritura, solamente son el de control y transmisión de datos. La comunicación consiste en una entrada serie y líneas de salida con relojes independientes y 3 líneas de control para periféricos.

#### 5.6.3.2). TRANSMISION.

Una secuencia típica de transmisión consiste de una lectura del registro de status que puede ser resultado de una interrupción. Un carácter puede ser escrito dentro del registro de transmisión de datos si el status de la operación de lectura tiene indicado que el registro está vacío. Este carácter es transferido al registro de corrimiento donde es serializado y transmitido en la salida de dato transmitido precedido por un bit de inicio y fina

lizado por 1 o 2 bits de fin. La paridad interna puede ser opcional y puede ocurrir entre el último bit de datos y el primer bit de fin.

Después que el primer carácter es escrito en el registro de datos, el registro de status puede ser leído otra vez para chequear que el registro de datos se encuentre vacío y otro carácter pueda ser cargado para transmisión aun cuando el primer carácter está en proceso de transmisión, de esta forma el segundo carácter puede ser automáticamente transmitido al registro de corrimiento cuando la transmisión del primer carácter ha sido completada.

Esta secuencia continúa hasta que todos los caracteres han sido transmitidos.

#### 5.6.3.3). RECEPCION.

Un dato es recibido de un periférico por medio de la entrada de datos. Un reloj con una relación por uno es proporcionado para una sincronización externa de los datos mientras que internamente se tiene una relación de 16 o 64 para poder tener 8 o 32 muestras.

La paridad puede ser chequeada y la indicación de error puede ser leída en el registro de status.

En una secuencia típica de recepción el registro de status es leído para determinar si un carácter ha sido recibido de un periférico. Si el registro de recepción de datos está lleno, el ca-

rácter es puesto en el bus del ACIA cuando el comando de dato -- leído es recibido del microprocesador. En la recepción también tenemos la capacidad de que un carácter puede ser leído del registro de datos cuando otro esté siendo recibido en el registro de corrimiento, la secuencia continúa hasta que todos los caracteres han sido recibidos.

Relacionado con el MC6850 se tiene también el circuito integrado MC14411 que es un bit rate generator. Este CI utiliza un sistema divisor de frecuencia que proporciona un amplio rango de frecuencias. Un cristal es utilizado como fuente de reloj para el sistema y dos direcciones son proporcionadas para seleccionar una de cuatro múltiples de salida del reloj.

La utilidad de este chip es la de tener un control de velocidad para la transmisión de datos serie, el cual se puede ajustar para la comunicación con diferentes tipos de microcomputadores.

La norma RS232 consta de 25 señales con un rango de 15 a 3 V y -15 a -3 V. de estas señales se utilizan sólo recepción, transmisión, clear to send, request to send, y data carrier detect.

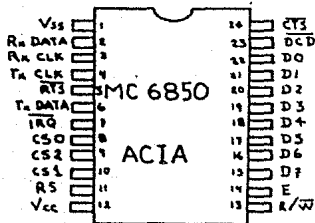


fig (77)

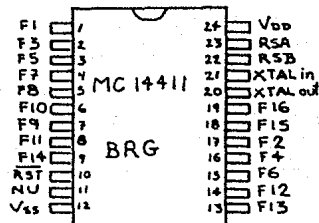


fig (78)

## C O N C L U S I O N E S.

Una vez que los datos son transmitidos a una terminal de computadora por nuestro sistema, éstos son analizados estadísticamente para poder obtener información, sobre el estado del paciente en estudio.

Creemos que los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto, -- son muy satisfactorios, pues se ha creado un sistema de captura de información cerebral, a un costo mucho menor que otros sistemas de importación, -- con lo cual se contribuye a la investigación nacional.

## B I B L I O G R A F I A .

1. Facultad de Medicina (UNAM),  
La Neurofisiología, algunos supuestos y bases, recovejos e implicaciones.
2. Guython Arthur,  
Anatomía y Fisiología del Sistema Nervioso.
3. Ruch Patton,  
Neurofisiología.
4. Charles R Novak; Robert J. Demarest,  
Sistema Nervioso Humano.
5. John G. Webster,  
Medical Instrumentation.
6. Facultad de Psicología (UNAM),  
Tesis: Alteraciones en el patron de sueño provocadas por la inhalación crónica de tolueno.
7. Universidad Iberoamericana,  
Tesis: Estudio del Patron de descarga del Núcleo Rojo Durante la Actividad convulsiva.
8. Paul R. Gray; Roberto G. Meyer,  
Analysis and Design of Analog Integrated Circuits.
9. David G. Fleming,  
Handbook of Engieneering in medicine and Biology.
10. L. A. Geddes,  
Electrodes and the Measurement of Bioelectric Events.

11. Rodney Zaks; William Labiak,  
Programming the 6809
12. Lance A. Leventhal,  
6809 Assembly Language Programming.
13. GERALD G. GREAME; GENE E. TOBEY,  
Operational Amplifiers Design and Applications.
14. David F STOUT; Milton Kaufman,  
Handbook of Operational Amplifiers Circuits Design.
15. Motorola Semiconductors,  
MC 6809 Advance Information.
16. Motorola Semiconductors,  
MC 6821 PIA (Peripheral Interface Adapter).
17. Motorola Semiconductors.  
MC 6850 ACIA (Asynchronous Communications Interface Adapter).
18. Motorola Semiconductors,  
MC 6840 PTM.
19. Motorola Semiconductors,  
MC 14411 Bit Rate Generator.
20. Eugene R. Hnatek,  
Applications of Linear Integrated Circuits.