



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**ANALISIS DE POTENCIALES PROVOCADOS  
MEDIANTE EL USO DE UNA COMPUTADORA**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**A C T U A R I O**

P R E S E N T A

**MIGUEL ANGEL BARRIENTOS MARTINEZ**

México, D. F.

1986



## **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

## INTRODUCCION

### CAPITULO 1 INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL SISTEMA NERVIOSO

1.1	ESTRUCTURA DE LA CELULA NERVIOSA. . . . .	1-1
1.2	POTENCIAL DE MEMBRANA. . . . .	1-4
1.3	POTENCIAL DE ACCION. . . . .	1-8
1.4	SINAPSIS. . . . .	1-11
1.5	ORGANIZACION DEL SISTEMA NERVIOSO. . . . .	1-13
1.6	ACTIVIDAD ELECTRICA DE POBLACIONES NEURONALES. .	1-19
1.6.1	Actividad Eléctrica Espontánea. . . . .	1-20
1.6.2	Potenciales Provocados. . . . .	1-20

### CAPITULO 2 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE COMPUTO UTILIZADO

2.1	DESCRIPCION DE LA MICROCOMPUTADORA LSI-11. . . . .	2-1
2.2	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA OPERATIVO RT-11. . .	2-32
2.2.1	INTRODUCCION. . . . .	2-32
2.2.1.1	SISTEMAS OPERATIVOS. . . . .	2-32
2.2.1.2	LENGUAJES DE PROGRAMACION. . . . .	2-37
2.2.2	SISTEMA OPERATIVO RT-11. . . . .	2-40
2.2.2.1	CARACTERISTICAS GENERALES. . . . .	2-40
2.2.2.2	ORGANIZACION DEL MONITOR O EJECUTIVO. . . . .	2-46
2.2.2.3	COMPONENTES DEL MONITOR. . . . .	2-48
2.2.2.4	PROGRAMAS UTILITARIOS. . . . .	2-49

### CAPITULO 3 ANALISIS DE POTENCIALES PROVOCADOS

3.1	SENALES BIOLÓGICAS. . . . .	3-1
3.2	PROMEDIACION. . . . .	3-7
3.3	FILTRADO. . . . .	3-14
3.4	CARACTERIZACION DEL POTENCIAL PROVOCADO. . . . .	3-22
3.4.1	Algoritmo Para La Detección De 'Picos'. . . . .	3-24
3.4.2	Algoritmo Para El Cálculo Del Área Bajo La Curva. . . . .	3-26

### CAPITULO 4 DESARROLLO Y DESCRIPCION DE PROGRAMAS

4.1	CARACTERISTICAS GENERALES. . . . .	4-1
4.2	DESCRIPCION FUNCIONAL. . . . .	4-3
4.2.1	Toma Datos. . . . .	4-3
4.2.2	Filtra Promedios. . . . .	4-5
4.2.3	Recibe Voltaje De Calibración. . . . .	4-7
4.2.4	Analiza Formas. . . . .	4-9
4.2.5	Presenta Resultados Y Promedios. . . . .	4-11
4.2.6	Grafica Promedios En El HP7220A. . . . .	4-11

### APENDICE A

A.1	SERIES DE FOURIER. . . . .	A-1
A.2	TRANSFORMADA DE FOURIER. . . . .	A-3
A.3	TRANSFORMADA DE FOURIER FINITA. . . . .	A-5
A.4	ALGUNAS PROPIEDADES DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER. . . . .	A-7
A.4.1	Linealidad. . . . .	A-7
A.4.2	Simetría. . . . .	A-7

A.4.3	Escalamiento En El Tiempo. . . . .	A-7
A.4.4	Escalamiento En Frecuencia. . . . .	A-8
A.4.5	Corrimiento En El Tiempo. . . . .	A-8
A.4.6	Corrimiento En Frecuencia. . . . .	A-8
A.4.7	Teorema De Convolution. . . . .	A-8
A.4.8	Teorema De Correlacion. . . . .	A-9

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

## INTRODUCCION

El desarrollo impresionante de las computadoras ha despertado el interés de su uso en diferentes campos de la investigación biomédica; y ha provocado verdaderos cambios en la concepción de nuevos experimentos o en la aplicación de técnicas matemáticas que, hasta hace algunos años, eran difíciles de utilizar. El alcance de las computadoras en el área biomédica, como en el caso de la neurofisiología y la electrofisiología, es enorme; abarca desde los estudios realizados en investigación básica -vías neuronales, percepción, sensibilidad, etc.- hasta los proyectos de aplicación clínica -detección de padecimientos neuronales, ayuda para el diagnóstico médico, caracterización de las fases del electroencefalograma, etc.-.

Por otro lado, el deseo de conocer los mecanismos neuronales que intervienen en una serie de procesos, tales como la percepción y el comportamiento humano, ha propiciado el desarrollo de técnicas experimentales que estudian, mediante la colocación de microelectrodos en las vecindades de las células, la respuesta de una neurona (actividad unitaria) a una serie de estímulos sensoriales o eléctricos. Sin embargo, también es necesario obtener mediciones de poblaciones o conjuntos de neuronas durante la realización de actividades perceptuales o de comportamiento. Estas mediciones se obtienen a partir de registrar, mediante el

uso de macroelectrodos, la actividad eléctrica de porciones grandes del sistema nervioso central ante una estimulación constante.

Esta actividad recibe el nombre de potencial provocado y difiere de la que se obtiene en un electroencefalograma (EEG), donde la actividad de las neuronas es irrelevante a un estímulo determinado. El registro mediante el EEG proporciona poca información sobre la percepción sensorial; esto se debe a que, ésta actividad, no está correlacionada con un estímulo perceptual específico.

Para mejorar el registro de los potenciales se han desarrollado diferentes metodologías, de las cuales sobresalen dos: (i) promediar señales transitorias, motivo de este trabajo; y (ii) generar potenciales provocados de estado cambiante. La primera consiste en repetir un estímulo -el sonido de un timbre, el destello de una luz, una descarga eléctrica, etc.- un número determinado de veces; entre cada estímulo hay un intervalo de espera. Cada respuesta recibe el nombre de potencial provocado transitorio. Al calcular el promedio de todos ellos, partiendo del supuesto que son idénticos y ocurren al mismo tiempo, se obtiene el potencial provocado. En la segunda metodología se presenta continuamente una serie de estímulos, para obtener un conjunto de señales que se repiten a la misma frecuencia en la cual son aplicados los estímulos. Bajo ésta forma, se supone que, las neuronas no cuentan con el tiempo suficiente para recuperarse del estado de excitación.

En 1951, George Dawson construyó un dispositivo para sobreponer una serie de registros de la actividad eléctrica, y en forma visual, determinar el potencial provocado característico. Posteriormente se desarrollaron máquinas analógicas para recibir los potenciales e irlos promediando. Y desde hace algunos años, con el advenimiento de la computación, se hace uso de las computadoras de propósito general para realizar la toma, promediación y análisis de los potenciales provocados.

El presente trabajo es la culminación de toda una etapa de preparación profesional, que pretende cubrir algunos aspectos del análisis de señales biológicas, fundamentalmente aquellos relacionados con el análisis cuantitativo de los potenciales provocados.

El trabajo incluye tres grandes partes:

1. Una breve introducción al funcionamiento del sistema nervioso, dando énfasis, a los conceptos relacionados con la transmisión neuronal.
2. La descripción de un sistema de cómputo, incluyendo los componentes físicos y lo relacionado con su sistema operativo.
3. Las diferentes etapas para realizar el análisis de señales mediante el uso de una computadora.

Estas partes convergen al motivo fundamental del presente trabajo: el desarrollo de un conjunto de programas para el análisis automatizado de los potenciales provocados, los cuales son descritos, desde el punto de vista de su funcionamiento, en la

parte final.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL SISTEMA NERVIOSO

#### 1.1 ESTRUCTURA DE LA CELULA NERVIOSA.

El Sistema nervioso central está formado por 2 tipos de células, las células nerviosas o neuronas y las células neurogliales o gliales. Las neuronas realizan la conducción de los impulsos nerviosos, la elaboración de la información sensitiva, y calculan y señalan los patrones de respuesta apropiados; las células neurogliales transportan sustancias esenciales para el metabolismo de las neuronas y retiran los productos de desecho, regulando la composición química del líquido extracelular.

Nuestro interés está puesto en la conducción de los impulsos nerviosos y sus interacciones tiempo-espaciales, que dan lugar a los potenciales provocados; pero antes se hablará de la estructura y funcionamiento de las células nerviosas.

La neurona o célula nerviosa está formada por un cuerpo celular o soma del cual se desprenden 2 tipos de prolongaciones: dendritas y axones. Las dendritas son extensiones con ramificaciones arborescentes; los axones son extensiones

filiformes denominadas también fibras nerviosas, que transmiten señales desde las partes periféricas del cuerpo al cerebro, o llevan señales del cerebro a los músculos para producir movimientos corporales. El cuerpo celular de la neurona está formado por un núcleo esferoide, el cual contiene un nucleolo rodeado por citoplasma, substancia envuelta por una delicada membrana. Además del nucleolo, la célula nerviosa contiene mitocondrias, aparato de Golgi, granulos o substancia de Nissl, y neurofibrillas. (fis. 1.1)

La principal actividad de la neurona es conducir impulsos nerviosos que se pueden propagar por la membrana de la neurona en cualquier sentido, o entre neuronas (interneuronal). Si la transmisión es hacia el cuerpo celular, la neurona recibe el impulso nervioso por medio de las dendritas, si es alejándose de él, el impulso nervioso se envía a través del axón. El axón es un tubo alargado lleno de un fluido viscoso llamado axoplasma, cuyas paredes están formadas por membranas de moléculas lipoproteicas. Hay dos tipos de axones, los axones cortos y los axones largos. Los axones largos conducen impulsos más rápidamente que los axones cortos gracias a un recubrimiento lipoproteico llamado vaina de mielina, que actúa como aislante dejando descubiertas ciertas partes del axón, conocidas como nódulos de Ranvier, por los cuales el impulso nervioso se conduce. (fis. 1.2)

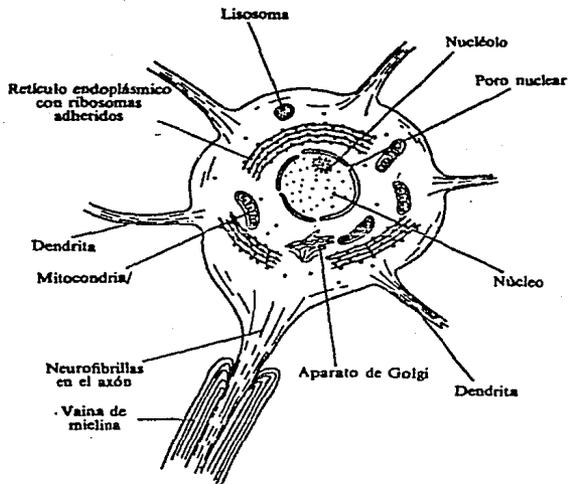


fig. 1.1 Estructura de la célula nerviosa.

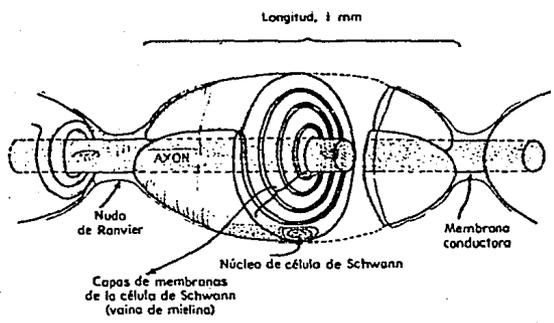


fig. 1.2 Axón y Vaina de Mielina.

El axoplasma es una sustancia en estado gel situada en el centro del axón; la membrana separa al líquido intersticial del axoplasma y está adaptada para transmitir impulsos electroquímicos. El axón comienza en el soma o cuerpo celular, y puede terminar en una sinapsis con otra neurona o con una fibra muscular. Cuando termina en otra neurona, puede hacerlo en el soma, en otro axón, o en una dendrita, formando sinapsis axo-somáticas, axo-axónicas, o axo-dendríticas. Al punto de unión entre un axón y una fibra muscular se le conoce como unión mio-neural.

La sinapsis es una estructura más que unir físicamente dos células permite la contigüidad funcional, al menos por lo que toca al impulso nervioso. Entre una célula y otra hay un espacio sináptico a través del cual fluyen neurotransmisores que provienen de unas vesículas sinápticas. Estos neurotransmisores interaccionan con sitios específicos en la región sináptica de la célula receptora, y con ello se transmite la información proveniente de la célula generadora del mensaje. (fig. 1.3)

## 1.2 POTENCIAL DE MEMBRANA.

Una característica importante de la membrana del axón y de

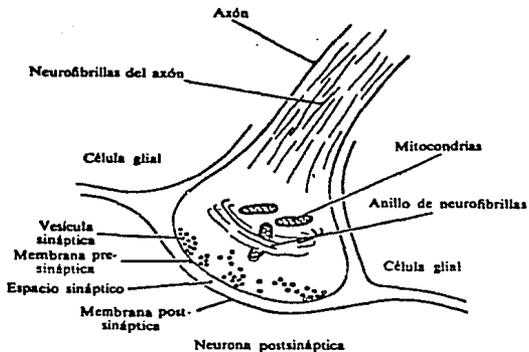


fig. 1.3 Diagrama esquemático de la ultraestructura de una sinapsis.

todas las células es su permeabilidad selectiva para ciertos iones. La permeabilidad para el potasio es mayor que para el cloro y más aún que para el sodio. Esta permeabilidad provoca una distribución asimétrica de iones en ambos lados de la membrana. El axoplasma es abundante en iones proteicos y de potasio, y es pobre en iones de sodio y de cloro; el líquido intersticial, por su parte, es abundante en iones de sodio y de cloro, y es pobre en iones proteicos y de potasio.

La distribución asimétrica de iones origina la polarización de la membrana, que se caracteriza porque la superficie externa es relativamente positiva con respecto a la interna, lo cual genera

el potencial de membrana o de reposo. (fig. 1.4)

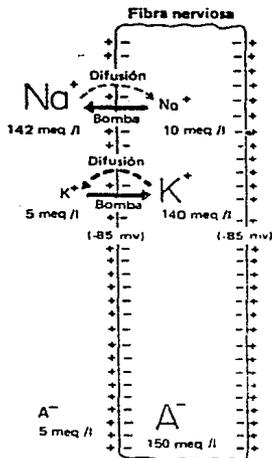


fig. 1.4 Establecimiento de un potencial de membrana.

La escasa permeabilidad de la membrana para el sodio y la gran facilidad con que el potasio la atraviesa, determina que el potencial de membrana dependa principalmente de los iones de potasio. La concentración interna de los iones de potasio es mayor que la externa, los iones tienden a salir de la célula por simple difusión. Siendo los iones de potasio positivos, el paso del interior al exterior de estos iones determina una negatividad interna (el interior pierde iones positivos) y una positividad

externa (el exterior gana iones positivos), así se establece un campo eléctrico, debido a una diferencia de potencial entre ambas superficies, que se incrementa a medida que los cationes (iones positivos) emigran hacia afuera de la membrana. Esta diferencia de potencial, por su misma negatividad interna, tiende a impedir la migración de los cationes hacia afuera. La dinámica de fuerzas opuestas, difusional y eléctrica, llega a un punto de equilibrio, en el cual el proceso de difusión se interrumpe. En este punto, a pesar de su diferencia de concentración, puede decirse que el potasio se encuentra en un equilibrio electroquímico. El potencial así alcanzado, llamado potencial de equilibrio, está dado por la ecuación de Nernst; que relaciona la distribución de los iones a través de una membrana con el potencial de la membrana. Sólo es válida cuando la membrana es completamente permeable al ion considerado. Por ejemplo, para el ion potasio (K), la ecuación de Nernst será:

$$E_K = \frac{RT}{FZ_K} \ln \frac{[K]_e}{[K]_i}$$

donde:

$E_K$  = Potencial de equilibrio para el ion K.

R = Constante de los gases.

(8.2 Joules / mol-grados Kelvin)

T = Temperatura absoluta. (grados Kelvin)

F = Número de Faraday. (96500 coulombs / mol)

Z<sub>K</sub> = Valencia del ion K. (+1)

[K]<sub>e</sub> y [K]<sub>i</sub> = Concentración del ion K dentro  
y fuera de la membrana.  
(micromoles / milimetro de agua)

La ecuación de Nernst representa las fuerzas de difusión debidas a una diferencia en la concentración molar del ion de potasio dentro y fuera de la membrana; estas fuerzas estan exactamente compensadas por la fuerza electrostática debida a la diferencia del potencial en ambos lados de la membrana.

### 1.3 POTENCIAL DE ACCION.

La célula nerviosa es muy excitable, tiene la propiedad de responder con un cambio en su polaridad a una variación energética de su ambiente. La variación energética del medio es todo aquello capaz de excitar el tejido y recibe el nombre de estímulo. Los estímulos pueden ser de varios tipos: mecánico, térmico, luminoso, sonoro, químico, eléctrico, etc.. De estos estímulos, el más fácil de registrar y controlar es el eléctrico. Si el estímulo es lo suficientemente intenso como para provocar una

respuesta, se le llama estímulo umbral o liminal. La respuesta de la célula es siempre la misma, aunque el estímulo sea mayor que el de intensidad umbral. Esto se conoce como la ley del todo o nada, ya que ante un estímulo igual o mayor que el de intensidad umbral, la fibra nerviosa siempre responde; si el estímulo es menor que éste, la célula no responde.

Cuando se estimula la fibra nerviosa, el potencial de reposo puede alterarse para convertirse en un potencial de acción, que se caracteriza por un cambio de permeabilidad de la membrana a los iones de sodio, permitiéndoles el paso hacia el interior de la célula, lo cual origina una despolarización de la membrana. El flujo de iones de sodio hacia el interior de la célula provoca una reducción de la concentración de sodio en el exterior de la membrana. En el momento que el flujo de sodio hacia el interior alcanza su nivel máximo, se incrementa el flujo de potasio hacia el exterior. Este movimiento de iones de potasio siguiendo su gradiente electroquímico continuará hasta que la membrana llegue al potencial de potasio  $E_k$ , en cuyo instante el movimiento de los iones de potasio hacia afuera del axón se detiene. Mediante este proceso se alcanza un punto crítico, en el cual la entrada de iones de sodio puede compensar exactamente la corriente de potasio, siempre que la despolarización adquiera niveles mayores a los que se obtienen en el punto crítico. Cuando la permeabilidad para el sodio sobrepasa la capacidad de la membrana para volver a su estado primitivo, la despolarización estalla en una

repolarización a gran escala, que se conoce como potencial de acción. Una vez originado el potencial de acción en un punto de la fibra nerviosa, se propaga a lo largo de ella en ambas direcciones, constituyendo el impulso nervioso. (fig. 1.5)

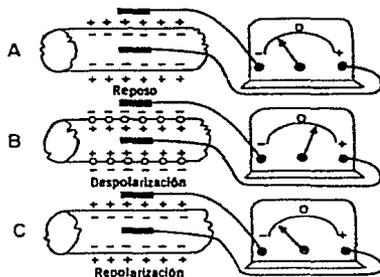


fig. 1.5 Sucesión de acontecimientos en un potencial de acción.

Mientras la membrana recupera su potencial de reposo, es incapaz de conducir otro potencial de acción. El tiempo requerido para recargar la membrana constituye el periodo refractario absoluto, durante el cual la membrana no es excitable. Después de este periodo, viene el periodo refractario relativo, en el que la excitabilidad de la membrana se recupera gradualmente.

La gráfica de la fig. 1.6 constituye el registro

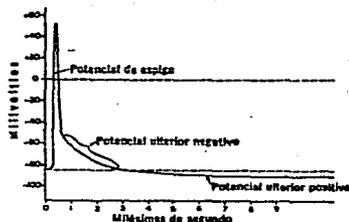


fig. 1.6 Potencial de acción teórico.

intracelular de una sola unidad (actividad unitaria), el cual ha sido utilizado para estudiar las propiedades biofísicas de las células nerviosas, los mecanismos de percepción sensorial, y los detalles de las conexiones neuroanatómicas. Este tipo de registro se realiza con un microelectrodo (el diámetro en la punta es de menos de una micra) que penetra la membrana de la célula nerviosa, y mide la diferencia de potencial existente entre la parte interna y externa de la membrana.

#### 1.4 SINAPSIS.

Dada la importancia que tiene la sinapsis, mencionaremos algunas características más de este proceso. Las funciones sinápticas de las neuronas son tres: regular la transmisión del

impulso nervioso de una neurona a otra y crear tipos muy complejos de impulsos en neuronas sucesivas.

Existe una gran cantidad de botones pequeños llamados botones sinápticos o terminaciones presinápticas, que se encuentran en las dendritas o en el soma de una neurona. Los botones sinápticos segregan a través de las vesículas sustancias que excitan a la neurona (botones excitadores), o la inhiben (botones inhibidores). Alrededor del cuerpo de la célula excitada se crea un potencial eléctrico, llamado potencial postsináptico excitador, el cual al tener la magnitud suficiente, iniciará en el axón un potencial de acción, que se desplazará sobre la fibra nerviosa que sale de la neurona. Por lo general, la estimulación de un botón sináptico no genera un impulso en el axón, pero al sumarse mas y mas terminales, el potencial crece hasta desencadenar un impulso nervioso. En la sinapsis hay dos tipos de sumas: la suma espacial, en la que dos o mas terminaciones presinápticas descargan simultaneamente, sumandose los efectos de cada una en el potencial postsináptico; y la suma temporal, en la cual la misma terminación se descarga varias veces en rápida sucesión, acumulandose el efecto.

El sistema nervioso central está constituido por neuronas excitatorias e inhibitorias. El efecto del transmisor inhibitor en la sinapsis, es un potencial negativo llamado potencial postsináptico inhibitor. Los impulsos nerviosos no pueden transmitirse en sentido retrogrado por la sinapsis a las

terminales presinápticas; por lo tanto, la conducción en la sinapsis es unidireccional.

Hay que descargar un gran número de botones de una misma neurona, simultáneamente o en rápida sucesión, para causar la excitación. Existen dos tipos de estímulos que penetran en un fondo común neuronal: los estímulos de umbral y los subliminales. Un estímulo de umbral origina una excitación; un estímulo subliminal no excita a la neurona, pero la hace más propensa a ser excitada por otras fibras nerviosas, en cuyo caso se dice que la neurona está facilitada. La zona donde se encuentra el mayor número de terminaciones nerviosas, se conoce como zona umbral o liminal; la zona situada a los lados o en la periferia de esta zona, se llama zona facilitada o subliminal. En la zona umbral cada neurona recibe muchas terminaciones, situación que no sucede en la periferia o en la zona facilitada, donde las neuronas reciben un menor número de terminaciones que no hacen posible su excitación, pero sí permite que las neuronas sean facilitadas.

#### 1.5 ORGANIZACION DEL SISTEMA NERVIOSO.

Los tres niveles más importantes de la organización del sistema nervioso son: la médula espinal, que controla muchos de los reflejos básicos del cuerpo; las regiones basales del encéfalo, que controlan la mayor parte de las funciones vegetativas, como equilibrio, hambre, movimientos corporales mayores, etc.; y la corteza cerebral, donde residen los procesos

mentales más elevados, y el control de la actividad motora voluntaria.

El sistema nervioso, Junto con el sistema endócrino, realiza las funciones de control del organismo. El sistema nervioso recibe grandes cantidades de información procedente de los diferentes órganos sensoriales y la procesa para efectuar las actividades corporales requeridas. Para el sistema nervioso es información todo aquello que se refiera a los diferentes aspectos del organismo o de su ambiente inmediato, y que tenga cierto significado. El sistema nervioso está formado por tres partes principales: el sistema sensitivo, el sistema motor y el sistema integrador.

Debido a que la mayor parte de las actividades del sistema nervioso provienen de la experiencia sensorial, los nervios sensitivos transmiten esta información desde los receptores del cuerpo a la médula espinal o todos sus niveles, de allí pasa a las regiones basales del encéfalo, incluyendo bulbo y protuberancia, y de estas áreas hacia las regiones más altas del cerebro, incluyendo el tálamo y la corteza cerebral. (fig. 1.7)

El sistema motor regula las actividades corporales o funciones motoras mediante el control de la contracción de los músculos esqueléticos, del músculo liso en los órganos internos, y la secreción de glándulas exócrinas y endócrinas en diversas partes del cuerpo. Las señales están formadas por el conjunto de

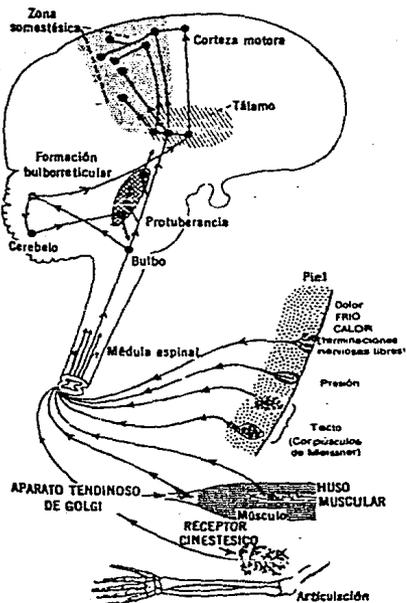


fig. 1.7 Eje sensorial somático del sistema nervioso.

impulsos nerviosos que son transmitidos por las fibras nerviosas.

El sistema integrador almacena y procesa la información para establecer la acción motora correcta y adecuada, y para proporcionar pensamiento abstracto.

Varias funciones del sistema nervioso resultan de reflejos. Un reflejo es una respuesta motora que se produce después de un estímulo sensitivo; la respuesta tiene lugar gracias a un arco reflejo que incluye un receptor, una vía aferente, un centro integrador, una vía eferente y un efector. Un receptor es cualquier terminación nerviosa sensitiva que detecte las sensaciones corporales como tacto, presión, gusto, vista, etc.. Una vez captada la sensación, se transmite la señal por la vía aferente al centro integrador, de donde, a través de la vía eferente se envía al efector. El efector puede ser un músculo esquelético o un órgano interno como corazón, intestinos, glándulas, etc.. (fig. 1.8)

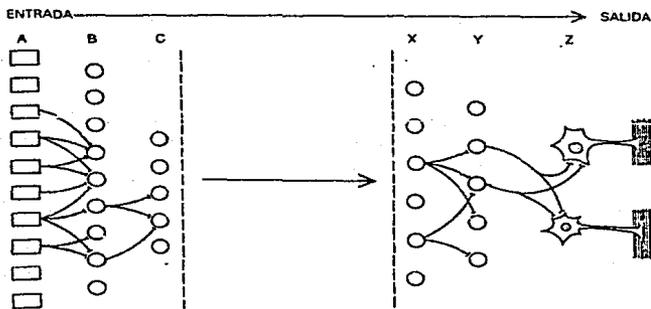


fig. 1.8 Flujo de información desde la entrada de señales sensoriales a través de las células receptoras (A) hasta la salida eventual a través de las neuronas motoras (Z).

El sistema nervioso central está dividido en muchas porciones anatómicas, en cada una de las cuales hay grandes concentraciones de neuronas llamadas centros neuronales. Cada centro tiene un patrón de organización diferente de los demás, que determina su especificidad funcional. Llegan a cada centro neuronal una cantidad considerable de fibras nerviosas, llamadas fibras aferentes, y salen otras, denominadas fibras eferentes. Cada fibra aferente se divide un número considerable de veces, y da lugar a una gran cantidad de fibrillas terminales que se extienden sobre una extensa superficie del centro neuronal, estableciendo sinapsis con las dendritas o cuerpos celulares de las neuronas del fondo común. La zona de distribución de las terminaciones de las fibras nerviosas aferentes se llama campo estimulador.

En un centro o grupo común neuronal, las interconexiones de las fibras nerviosas forman circuitos neuronales; ejemplos de estos circuitos son los que funcionan como una estación de relevo, donde una fibra nerviosa aferente estimula a una eferente. Existen circuitos más complicados, llamados circuitos divergentes y circuitos convergentes. En los circuitos divergentes, una señal de entrada que proviene de una sola fibra nerviosa genera una señal de salida en diferentes fibras nerviosas; es decir, las señales procedentes de una fibra aferente se transmiten simultáneamente por fibras separadas en etapas sucesivas y en direcciones diferentes. En los circuitos convergentes, las fibras de ingreso procedentes de distintas fuentes se concentran en una

misma neurona de salida, reuniendo impulsos de origen variable que causan respuestas sincronizadas. Los circuitos convergentes pueden realizar funciones de integración mucho más complejas que las de las neuronas únicas, porque el circuito puede incluir neuronas que respondan al impulso aferente de diversas maneras al mismo tiempo.

Existen muchos casos en los que una señal, al penetrar al centro neuronal, origina una descarga de salida prolongada, denominada descarga ulterior, la cual se mantiene aún después de que la señal aferente haya terminado. Existen tres mecanismos que pueden dar lugar a una descarga ulterior:

1.- Descarga ulterior sináptica: Cuando las terminales presinápticas descargan en la superficie de las dendritas, o en el soma de la neurona, desarrollando un potencial postsináptico en la membrana. Mientras dura este potencial, puede excitar a la neurona, obligándola a transmitir impulsos de salida durante un período prolongado.

2.- Circuito oscilatorio o resonante: Se establece un proceso de retroalimentación, el cual permite, a un impulso aferente, suscitar una respuesta con una duración más larga. El impulso es conducido repetidamente por la cadena de neuronas y en forma continua hasta que una de las células no descargue.

3.- Circuito paralelo: Un sólo impulso aferente estimula una sucesión de neuronas que envían fibras separadas directamente a una neurona final común.

Las señales que penetran al centro neuronal, divergen, convergen, o se cambian por señales repetitivas, las cuales permanecen un tiempo después que la señal de ingreso ya terminó. También ocurre que varios estímulos de ingreso no excitan el centro neuronal, sino por el contrario, lo inhiben. Una característica importante de los centros neuronales comunes es cuando la curva de reacción, debida a señales aferentes de un origen determinado, puede modificarse por las señales provenientes de fuentes secundarias.

#### 1.6 ACTIVIDAD ELÉCTRICA DE POBLACIONES NEURONALES.

Es la actividad registrada en más de una neurona o fibra nerviosa mediante el uso de macroelectrodos. La actividad eléctrica o diferencia de potencial puede registrarse mediante el uso de dos macroelectrodos situados en una misma área (registro bipolar); o entre una área activa y otra inactiva (registro monopolar).

Las fluctuaciones de los potenciales registrados mediante macroelectrodos, se presupone, que son el resultado de la suma espacial y temporal de la actividad de muchas células; y probablemente también, influyan otros factores como el gradiente

de concentración en los fluidos intercelulares, el flujo sanguíneo, el movimiento de las diferentes estructuras (por ejem. los ojos), causas extracelulares, etc.

#### 1.6.1 Actividad Eléctrica Espontánea.

Es la actividad registrada en la superficie del cerebro, o en la superficie externa de la cabeza, como una manifestación de la actividad eléctrica continua del encéfalo. Las oscilaciones, de dicha actividad eléctrica, reciben el nombre de ondas cerebrales, y su registro completo constituye el electroencefalograma (EEG). Las características de estas oscilaciones dependen estrechamente del grado de actividad de la corteza cerebral, y difieren considerablemente según haya vigilia o sueño. La mayor parte del tiempo, las ondas cerebrales son asincrónicas, y es difícil distinguir algún patrón general. Sin embargo, otras veces aparecen patrones característicos y algunos de ellos, son asociados con anomalías específicas del cerebro como la epilepsia; o simplemente suelen clasificarse en alfa, beta, theta y delta.

#### 1.6.2 Potenciales Provocados.

Un potencial provocado es el cambio eléctrico detectado en cualquier parte del cerebro en respuesta a una estimulación deliberada de algún lugar del sistema nervioso. Los potenciales provocados no son cambios eléctricos espontáneos, porque un potencial provocado tiene una relación temporal bien definida con

el inicio del estímulo, es decir, tiene un período de latencia que está determinado por muchos factores, como la velocidad de conducción del impulso nervioso, la distancia entre el punto de estimulación y el punto de registro, el retraso sináptico, y el número de sinapsis requeridas; además posee un patrón definido por las características de respuesta del sistema específico, y por lo general, aparece en un área circunscrita del sistema nervioso central donde se realizó la estimulación.

La importancia del análisis de los potenciales provocados reside en obtener un patrón característico que permita diferenciar posibles vías sensoriales, y además, encontrar alguna posible significación fisiológica a las diferentes fases o cambios de polaridad del potencial. (fig. 1.9)

En general, la interpretación de las diferentes fases del potencial provocado, en términos de la actividad neuronal, es difícil de realizar. Anteriormente se suponía que la primera fase positiva del potencial estaba compuesta por mensajes aferentes (presinápticos), y la segunda, la fase de superficie negativa, por actividades eferentes (postsinápticas); pero, se ha demostrado que esta hipótesis no es completamente cierta. La primera fase es muy compleja, incluye impulsos aferentes axónicos y la activación postsináptica de varios grupos de neuronas intermedias o eferentes, así como, potenciales de acción que ocurren en forma local y posterior.

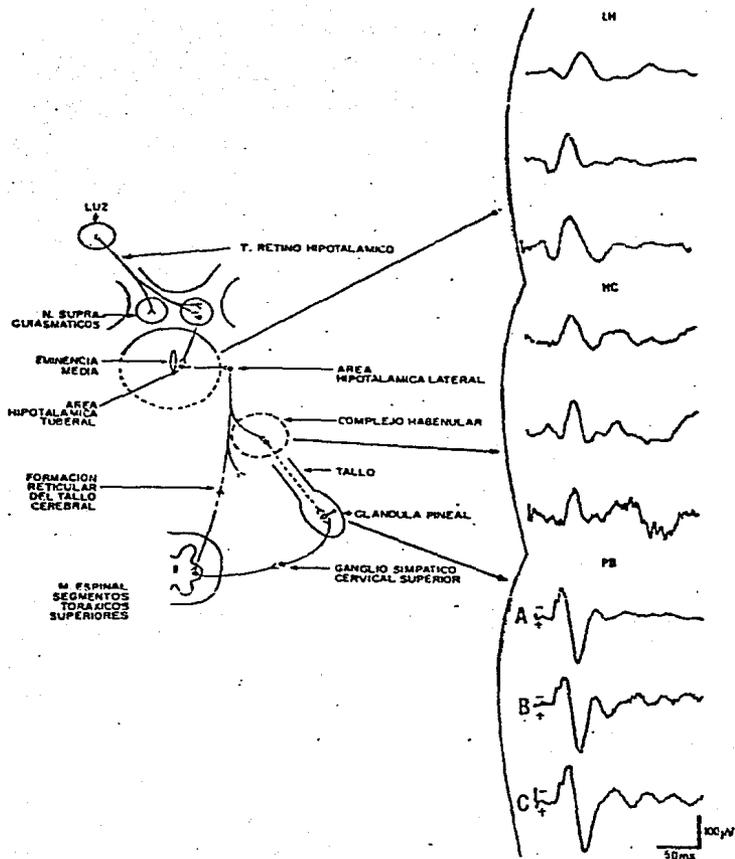


fig. 1-9 Potenciales provocados registrados en diferentes sitios, y bajo distintas condiciones experimentales.

Para caracterizar al potencial, se obtiene una serie de parámetros como es la amplitud y la latencia del valor máximo de la fase positiva o negativa, donde la latencia se mide a partir del momento en que se aplica el estímulo; además, se calcula el área ocupada por alguna de estas fases, con el fin de obtener una mejor representación del potencial.

El potencial provocado proporciona una manera sencilla de estudiar la actividad completa de una población de células nerviosas organizadas y dinámicas, con respecto a los parámetros de cualquier estímulo ya sea natural o artificial. Algunos ejemplos de su aplicación pueden ser los siguientes:

a) Detectar la actividad cerebral específica para los diferentes tipos de información que son manejados simultáneamente por canales separados.

b) Señalar las posibles vías sensoriales.

c) Identificar problemas de tipo orgánico.

## CAPITULO 2

### DESCRIPCION DEL SISTEMA DE COMPUTO UTILIZADO

Para la realización, en una computadora, de las diferentes fases del análisis de los potenciales provocados (control del experimento, adquisición y almacenamiento de datos, y procesamiento y análisis de los mismos), es importante conocer cada uno de los elementos que intervienen, como son: el procesador, la memoria, los dispositivos de entrada y salida, en especial, aquéllos que intervienen en la toma de datos; esto en cuanto a la parte física, y con respecto a la parte lógica, todo lo referente al sistema operativo, el lenguaje ensamblador y los lenguajes de alto nivel.

El motivo fundamental de este capítulo es describir, en forma detallada, cada uno de estos componentes con la idea de mostrar lo que hay detrás de una computadora y, por consiguiente, aprovechar su potencialidad en una aplicación específica.

#### 2.1 DESCRIPCION DE LA MICROCOMPUTADORA LSI-11.

La microcomputadora LSI-11/2 forma parte de una familia de microprocesadores hechos a base de la tecnología de integración a gran escala o "LSI" y son totalmente compatibles con la filosofía

de las computadoras PDP-11. La mayoría de las computadoras están formadas por una unidad de procesamiento central o "CPU", una unidad de memoria, y una serie de equipos periféricos. El procesador es quizás el componente más importante, ya que en él se llevan a cabo las operaciones aritméticas, las lógicas, y las de control. En la memoria se almacena la secuencia de instrucciones con las que se indica al procesador que acciones tomar, que datos procesar, y como hacerlo. A través del equipo periférico, el procesador toma datos o instrucciones que almacena en memoria, o transfiere información de un dispositivo a otro; recibe y manda mensajes al exterior; y comunica resultados, diagnósticos, etc. Conectados a una computadora encontramos cintas y discos magnéticos, lectoras de tarjetas, terminales, lectoras de papel perforado, dispositivos especiales de captación de datos de laboratorio, controladores de tiro industrial, etc.

El procesador central LSI-11 maneja palabras de 16 bits paralelos, divididas en dos "bytes" de 8 bits cada uno. Desde el punto de vista operativo, el procesador se subdivide en una parte que realiza el proceso aritmético y lógico, y otra que controla el flujo de información entre los elementos conectados al sistema. Para este propósito, existe un sendero único de comunicación conocido como el UNIRUS :

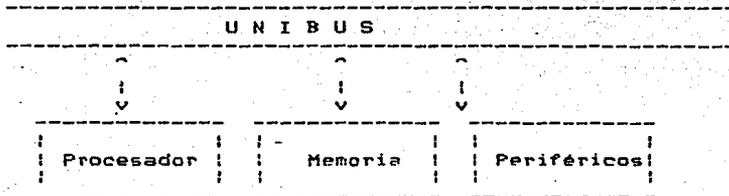


FIG. 2.1 Conexión al UNIBUS

Este esquema de comunicación tan sencillo, permite que dispositivos de casi cualquier tipo sean fácilmente conectados al sistema. El intercambio de información entre un par dado de dispositivos conectados al UNIBUS es asincrónico, lo que significa que la velocidad de transmisión está limitada por la velocidad del dispositivo más lento. La parte de control de comunicación del CPU, conocida como el Arbitro, se encarga de conceder el UNIBUS a los dispositivos que con mayor prioridad lo soliciten, mientras que en forma independiente, el resto del procesador atiende a sus tareas de cálculo lógico-aritmético. Al concederse el UNIBUS a cualquier par de dispositivos ( incluso al procesador ) se establece un diálogo en el que uno de los dispositivos actúa de "maestro" y el otro de "esclavo". Cada mensaje de un dispositivo debe ser contestado por el otro. De esta manera se define como ha de ser la comunicación, a que velocidad, de que parte proviene, adonde va, cuanta información se transfiere, etc.

Todos los dispositivos pueden ser esclavos, pero no todos pueden ser maestros. Cada posible maestro tiene una prioridad asignada, con la que puede solicitar el UNIBUS, o causar una "interrupción" al procesador. La prioridad está determinada por la posición eléctrica de cada dispositivo en el BUS de datos, de tal modo que, el dispositivo más cercano al procesador es el de más alta prioridad. Si por ejemplo, un disco con prioridad 4 y una terminal con prioridad 2 solicitan simultáneamente el UNIBUS, el árbitro lo concederá al disco.

Gracias al concepto de UNIBUS, se diseñó un procesador que con el mismo repertorio de instrucciones realiza operaciones lógico-aritméticas en el procesador, y maneja información en la memoria y en los periféricos.

El concepto clásico era que el procesador, la memoria, y los periféricos, tuvieran repertorios distintos de instrucciones, haciendo la tarea de programación más difícil. Además, en algunas computadoras, el procesador participaba activamente durante la transferencia de información entre dispositivos, perdiendo tiempo que podría emplearse en la realización de trabajos diferentes; otras en cambio, disponían de procesadores especiales de entrada/salida, con su respectivo juego de instrucciones.

El procesador cuenta además con un registro de instrucción (IR), un registro para las direcciones de memoria (MAR), un registro para los datos almacenados en memoria (MDR), una unidad

aritmética y lógica (ALU), 8 registros de propósito general ( R0 a R7, llamados también GPR de "General Purpose Register" ), una palabra de 16 bits llamada Palabra de Estado del Procesador ( "Processor Status Word" o PSW ) dedicada a mantener el estado en que quedo el procesador tras la última operación, y un dispositivo de control, que se encarga de sincronizar las operaciones del procesador.

El procesador ejecuta cada una de las instrucciones almacenadas en memoria siguiendo una serie de etapas que reciben el nombre de ciclo de máquina. Las etapas son las siguientes:

1. Obtener la instrucción y reubicar el apuntador a la siguiente instrucción.
2. Descifrar la instrucción.
3. Ejecutar la instrucción.

La LSI-11 usa uno de los registros de propósito general, el R7, para almacenar la dirección de la localidad de memoria donde se encuentra el código de la siguiente instrucción que será ejecutada; a este registro se le conoce con el nombre de contador de programas ( "Program Counter" o PC ). Para obtener la instrucción, el contenido del PC se transfiere al MAR, con lo cual se obtiene la posición en memoria de la instrucción, se toma la instrucción de la dirección señalada y se manda al MDR, y de allí, al IR, donde se descifra. Simultáneamente se reubica el PC, para que señale la dirección de la siguiente instrucción que será ejecutada.

La siguiente etapa consiste en interpretar el código binario de la operación y obtener los operandos, que dependiendo del tipo de instrucción, pueden o no existir. Como se mencionará más adelante, el repertorio de instrucciones de la LSI-11 puede ser clasificado por el número de operandos asociados. De esta manera, tendremos instrucciones de un operando, de dos operandos, de salto y de control.

Cuando la instrucción no involucra operandos, pasa directamente a la etapa de ejecución; cuando tiene uno o dos operandos, se localiza la dirección del operando, que pasa al MAR, y de allí al MDR. Si la instrucción tiene dos operandos y es aritmética, los operandos pasan a la unidad aritmética donde se procesan, para regresar el resultado al MDR y de allí almacenarlo en la dirección señalada en el MAR. Si la instrucción no es aritmética ( por ej. MOV R0, R1 ), se realiza la operación directamente en el MDR, y se pasa el resultado a la dirección señalada por MAR.

Cuando se descifra la cadena binaria que representa a la instrucción, y el código de operación no es reconocido, o se ha hecho referencia a una dirección inválida, se produce un mecanismo de trampa que permite interrumpir la secuencia de instrucciones para tomar otras y corregir el error, o avisen de su existencia. De no haber error, se ejecuta la instrucción.

Los procesos arriba descritos son automáticos, un programa no tiene acceso a ninguno de los mecanismos internos. En cambio los 8 registros de propósito general y la "PSW", son utilizados para ejecutar cada instrucción de los programas. Por esta razón, algunos autores sólo mencionan a los registros de propósito general y a la "PSW" cuando describen el procesador de la LSI-11. [Soucek,1976]

Al especificar los operandos de las instrucciones, los 8 registros de propósito general intervienen como acumuladores, apuntadores, apuntadores indirectos, índices, e índices indirectos. El R6 es además utilizado como apuntador a un área especial de almacenamiento conocida como el "STACK", por lo que R6 es llamado el apuntador al "STACK", o SP.

Después de ejecutar cada instrucción se altera el estado del procesador, ya sea porque la operación tuvo un resultado negativo, porque se saturó la palabra, se cayó en una trampa, etc.

Con el objeto de tomar ciertas decisiones que dependen del resultado de la última operación, en la PSW se guarda la siguiente información:

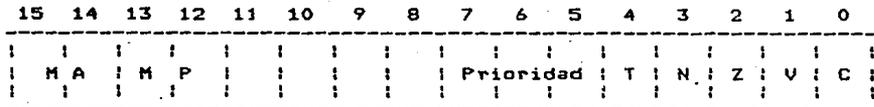


FIG. 2.2 Palabra de estado del procesador.

DONDE:

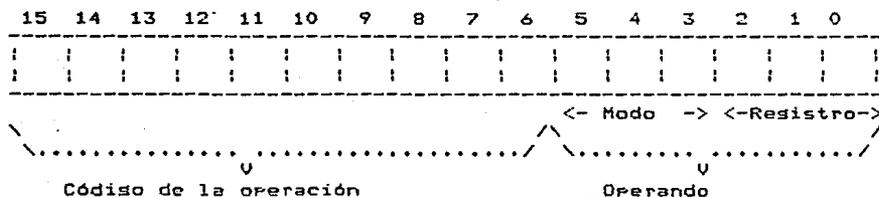
- MA            ->    Modo actual
- MP            ->    Modo previo
- Prioridad   ->    Nivel de prioridad del procesador (0-7). El procesador puede trabajar en cualquiera de 8 prioridades (0 a 7). Cuando trabaja en prioridad 0, cualquier dispositivo con prioridad de 1 a 6 puede causar una "interrupción" al procesador. Por otro lado, el procesador puede ponerse en prioridad 7 y no atender a ningún periférico mientras permanezca en esa prioridad.
- T             ->    Trampa. Si T=1, automáticamente se pasa a una dirección en la que debe estar una rutina de manejo de trampas. De no haber tal rutina, el sistema se detiene.
- N             ->    Negación. Si N=1, la última operación fue negativa. Si N=0, fue positiva.
- Z             ->    Cero. Si Z=1, la última operación fue cero. Si Z=0, la última operación no fue cero.
- V             ->    Saturación( overflow ). Si V=1, se produjo un número mayor que + 32767. Si V=0, el número es menor que + 32767.
- C             ->    Carga ( carry ). Si en la operación se "lleva" 1 del bit 15 de la palabra, el bit C de la PSW se pone en 1. Si no se "lleva" nada, C=0.

Hay 2 modos de operación: modo supervisor o kernel, y modo usuario. Bajo el modo supervisor se pueden realizar todas las instrucciones reconocidas por el procesador, mientras que en el modo usuario, ciertas operaciones como el manejo de trampas, acceso a ciertas áreas de memoria, etc., quedan restringidas. Estos modos son de gran utilidad en la implementación de sistemas operativos de tiempo compartido y de multiprogramación, porque además de facilitar la programación de monitores o ejecutivos con acceso ilimitado a todos los recursos del sistema, permiten establecer de una manera sencilla los mecanismos de protección a los distintos usuarios, a sus archivos, a sus programas, etc.

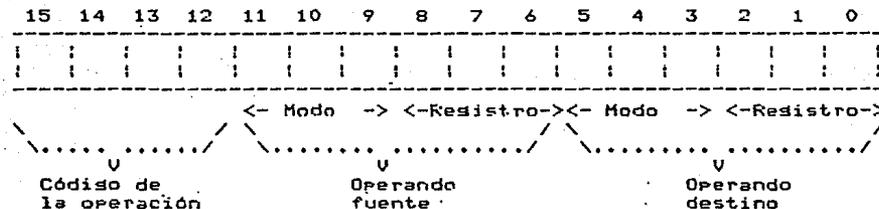
Como se mencionó anteriormente, la palabra de la LSI-11 es de 16 bits paralelos. Esto significa que los datos y las instrucciones deben especificarse tomando en cuenta el tamaño de la palabra. Una instrucción debe definir que operación se va a efectuar, y el o los operandos que afectara. El repertorio de instrucciones de la LSI-11 se divide en instrucciones de un operando, de dos operandos, de control y de salto. En las instrucciones de un operando se especifica la operación en los bits del 6 al 15, y el operando en los bits 0 al 5. En las instrucciones de doble operando, la operación se especifica en los bits 12 al 15, y el primer operando, conocido como el operando fuente, en los bits 6 al 11, y el segundo operando, llamado

operando destino, en los bits 0 al 5. Algunas instrucciones de control conservan el formato de las instrucciones de un sólo operando, pero en general, no tienen un formato específico. Las instrucciones de salto, especifican el código de operación en los últimos 8 bits, y el operando en los primeros 8 bits.

#### INSTRUCCION DE UN OPERANDO



#### INSTRUCCION DE DOS OPERANDOS



### INSTRUCCION DE SALTO

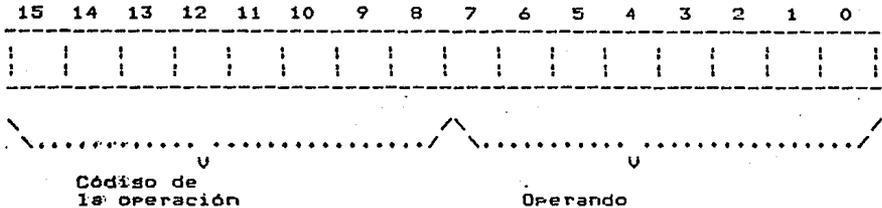


FIG. 2.3 FORMATO DE INSTRUCCIONES DE LA LSI-11.

En cada instrucción, es necesario especificar el operando en términos de la dirección en la que se encuentra, y como se llega a esa dirección. El campo operando se subdivide en dos subcampos que son el modo de direccionamiento y el registro con el que se direcciona (R0 a R7).

Existen 12 modos de direccionamiento con los que se determina la forma en que se usan los registros de propósito general para traer operandos al procesador. Estos modos permiten usar los registros como acumuladores, como apuntadores, como apuntadores autoincrementables o autodecrementables, y como índices directos e índices indirectos.

Las instrucciones para que sean ejecutadas por el procesador necesitan estar en términos de ceros y unos, es decir, en código binario. Sin embargo, se utilizará una representación simbólica

de éstas, para dar una idea del manejo de los modos de direccionamiento y del código binario generado por cada una de las instrucciones. Se utilizarán las instrucciones de un operando INC OP (incrementa operando) y CLR OP (limpia operando), y las instrucciones de doble operando MOV F,D (mueve F a D, F no se altera), y ADD F,D ( $D=D+F$ , F no se altera).

### E J E M P L O # 1

INC R4

Esta instrucción genera el siguiente código binario:

000	000	101	010	000	100
-----	-----	-----	-----	-----	-----

La instrucción es más fácil de comprender si se agrupan cada 3 bits para obtener su representación octal.

Código en octal: 005204

Donde:

0052 Código de la operación INC.

04 Es el operando, desdoblado de la sig. forma:

0 modo de direccionamiento tipo registro.

4 registro R4.

El modo de direccionamiento 0 causa que la operación se realice en el registro mismo, y por lo tanto, el contenido

del registro R4 se incrementará en 1.

E J E M P L O # 2

CLR (R3)+

Código binario generado:

000	000	101	000	010	011
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Código en octal: 005023

Donde:

- 0050 Corresponde al código de la operación CLR.
- 2 Modo de direccionamiento autoincrementable.
- 3 Registro utilizado, R3.

El contenido del registro R3 es usado para encontrar la dirección del operando. El operando se hace igual a cero, y el registro R3 se incrementa en dos para apuntar a la siguiente dirección.

E J E M P L O # 3

INC -(R2)

Código binario:

000	000	101	010	100	010
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Código octal: 005242

Donde:

- 0052 Es el código de la operación INC.  
4 Modo de direccionamiento autodecrementable.  
2 Registro utilizado, el R2.

El contenido de R2 es utilizado como apuntador. La dirección del operando se encuentra restando dos al contenido de R2. Hecho esto, al operando se le suma 1.

E J E M P L O # 4

CLR 100(R5)

Código binario:

000	000	101	000	110	101
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Código octal: 005065

Donde:

0056 Código de la operación CLR.  
6 Modo de direccionamiento indice.  
5 Registro utilizado, R5.

Con el modo de direccionamiento 6, el indice (en este caso 100) se suma al contenido de R5 para encontrar la dirección del operando, al que se hace igual a cero. El indice se guarda en la palabra que sigue a la instrucción:

005065  
000100

#### E J E M P L O # 5

MOV R2, (R3)

Código binario:

```
-----  
| 000 | 001 | 000 | 010 | 001 | 011 |  
-----
```

Código octal: 010213

Donde:

01 Es el código de la operación MOV.  
02 Indica que el operando fuente se encontrará con el modo de direccionamiento 0, en el registro R2. El operando será el mismo registro R2.  
13 Para encontrar el operando destino, se utiliza el modo direccionamiento 1, y el registro R3. Este modo hace que el contenido de R3 sea la dirección del operando. MOV R2,(R3) pasara el contenido de R2 a la dirección que apunta R3.

E J E M P L O # 6

ADD (R4), @(R2)+

Código binario:

000	110	001	100	011	010
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Código octal: 061432

Donde:

06 Código de la operación ADD  
14 Modo de direccionamiento 1 con el registro R4.  
32 Modo de direccionamiento 3 con el registro R2.  
El modo de direccionamiento 3 causa que el contenido del registro R2 sea la dirección de la dirección del operando, o sea:

(R2) -> dirección de la dirección -> dirección -> operando  
(R2)+2

La operación consiste en sumar el operando fuente (que se encuentra en la dirección contenida en R4) al operando destino. El resultado se guarda en el operando destino; el operando fuente no se afecta. Después de la operación el contenido del R2 se incrementa en dos.

E J E M P L O # 7

MOV R0, @-(R6)

Código binario:

000	001	000	000	101	110
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Código octal: 010056

Donde:

01 Código de la operación MOV  
00 Se utiliza el modo de direccionamiento 0 con R0.  
56 Se utiliza el modo de direccionamiento 5 con R6.  
El operando se encuentra restando dos al contenido de R6, y el resultado sirve como la dirección de la dirección del operando:

(R6)-2

(R6) -> dirección de la dirección -> dirección -> operando

La operación hará que el contenido de R0 pase al operando destino, que se localiza de acuerdo a lo descrito previamente.

E J E M P L O # 8

ADD R1, @20(R2)

Código binario:

000	110	000	001	111	010
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Código octal: 060172

Donde:

06 Código de la operación ADD.  
01 Se utiliza el modo 0 con el R1  
72 Se utiliza el modo 7 con el R2. La suma del contenido de R2 y el número 20 constituye la dirección de la dirección del operando. La operación causará que lo que hay en R1 se suma al operando destino. R1 queda intacto, la suma queda en el operando destino.

(R2)+20 -> dirección de la dirección -> dirección -> operando

Al igual que en el ejemplo 4, el índice se guarda en la palabra que sigue a la instrucción:

061072  
000020

Si se utiliza el R7 para direccionar, se dispone de otros cuatro modos de direccionamiento que son:

1.-	INMEDIATO	OPR #NNN
2.-	ABSOLUTO	OPR @#DD
3.-	RELATIVO	OPR AAA
4.-	RELATIVO INDIRECTO	OPR @AAA

El uso de estos modos se ilustra con 4 ejemplos más:

#### E J E M P L O # 9

MOV #100, R0

Código binario:

```
-----  
| 000 | 001 | 010 | 111 | 000 | 000 |  
-----
```

Código octal: 012700

Donde:

01      Códiso de la operación MOV.  
27      Modo inmediato. El operando se pone en la  
         palabra que sigue a la instrucción:

         012700  
         000100

De allí, la instrucción MOV pasa el número 100  
a R0.

00      Modo de direccionamiento 0, con R0.

#### E J E M P L O # 10

INC @#1000

Códiso binario:

```
-----  
| 000 | 000 | 101 | 010 | 011 | 111 |  
-----
```

Códiso octal:                    005237

Donde:

0052: Códiso de la operación INC.  
37    Modo absoluto. El número 1000 se pone después  
      de la instrucción:

         005237  
         001000

Este modo hace que el número que sigue  
de la instrucción sea la dirección del operando.  
El contenido de la dirección 1000 será  
incrementado en 1.

(R7+2) -> dirección -> operando

E J E M P L O # 11

CLR DDD

Código binario: -

```

-----
| 000 | 000 | 101 | 000 | 110 | 111 |
|-----|

```

Código octal:           005067

Donde:

0050    Código de la operación CLR.  
67       Modo relativo con el registro R7. Con este modo se guarda en la siguiente palabra un número que sumado al contenido de R7+4 nos dará la dirección del operando:

$(R7+4)+DDD \rightarrow$  dirección  $\rightarrow$  operando  
 $DDD = ((R7+2))$

```

R7 -> 1000 -> 005067
     1002 -> 000102
     1004 -> .
           .
           .
     1106 -> operando

```

$(R7+4)+((R7+2))=1004+102=1106$

El contenido de la dirección. 1106 se hará igual a cero, y el R7 apuntará a la dirección 004, que tiene la instrucción que sigue.

E J E M P L O # 12

CLR @DDD

Código binario:

```

-----
| 000 | 000 | 101 | 000 | 111 | 111 |
-----

```

Código octal:           005077

Donde:

0050  
77

Código de la operación CLR.  
Modo relativo indirecto. Este modo es similar al modo relativo, en la siguiente palabra se guarda un número que sumado al contenido de R7+4 da una dirección. La diferencia es que esa dirección es la dirección de la dirección del operando:

```

5000 -> 005077   PC ->5000 5004+102=5106
5002 -> 000102
5004 ->       .
5006 ->       .
      .
5106 -> 006000
      .
6000-> operando

```

Estos 12 modos de direccionamiento permiten utilizar fácilmente diversas técnicas de programación como el manejo de "STACK", subrutinas, programas de código reentrante, corrutinas y programas independientes de su posición en memoria.

Una última característica de la arquitectura de la LSI-11 que conviene mencionar es su manejo de interrupciones. Es frecuente que por diversas razones, algún periférico necesite ser atendido por el procesador. Sin embargo, cuando se trata de periféricos que responden a eventos externos al sistema (un cartador de datos de laboratorio o un controlador industrial) no hay manera de saber cuando será necesaria la atención del procesador. Hay dos posibles soluciones al problema: que el procesador esté revisando periódicamente las necesidades de sus periféricos, o que ellos le avisen cuando lo necesiten. La primera solución tiene dos desventajas, aunque el periférico no necesite al procesador en un momento dado, se le dará atención de acuerdo al itinerario fijado. Además, puede suceder que el periférico necesite atención del procesador en el momento en que se atiende a otro periférico o a un programa. Esta solución es posible teniendo preprocesadores que se encarguen de atender las demandas de los distintos dispositivos, y le pasen al procesador la información cuando sean atendidos. La segunda solución es más económica. Consiste en asignar a cada periférico una prioridad con la que puede causar una interrupción al procesador cuando lo necesite. De esta manera, se puede manejar la información en el momento en que llega al periférico; y para ello, se requiere solamente la prioridad de cada periférico, y como se han de manejar las interrupciones.

Como se dijo anteriormente, en la PSW se guarda, entre otras cosas, la prioridad a la que trabaja el procesador. Cuando un dispositivo con prioridad más alta que la que tiene el procesador en ese momento solicita una interrupción, el contenido de la PSW y del contador de programa (PC) son empujados al "STACK". Luego, una nueva PSW y una dirección de la rutina de manejo de la interrupción se toman de dos direcciones específicas del periférico conocidas como los vectores de interrupción. El procesador ejecuta las instrucciones que forman la rutina, y al terminar, el contenido de la PSW y del PC que se guardaron en el "STACK", regresan para que el procesador continúe trabajando en el punto donde fue interrumpido.

Cada dispositivo conectado al UNIBUS tiene un par de vectores de interrupción, en los que se guarda la PSW que tendrá el procesador al atender la interrupción, y la dirección de la rutina a la que tiene que ir a procesar la interrupción. Este mecanismo de manejo de interrupciones permite que al atender a un dispositivo, otro de mayor prioridad interrumpa para ser atendido. Se puede interrumpir a tantas rutinas como sea necesario. Si un dispositivo de baja prioridad solicita una interrupción, se le coloca igual o menor que la del dispositivo.

Además de los vectores de interrupción, cada dispositivo tiene cuando menos dos registros más, uno de estado, y otro de datos.

Por ejemplo, la terminal de consola tiene asignadas en el mapa de memoria las siguientes direcciones:

60	Vector 1 de interrupción
62	Vector 2 de interrupción
177560	Res. de estado del teclado
177562	Res. de datos del teclado
177564	Res. de estado del mecanismo de escritura
177566	Res. de datos del mecanismo de escritura

Las terminales trabajan como si el teclado y el mecanismo de escritura en pantalla o en papel fueran 2 dispositivos independientes. Por cada uno de estos dispositivos existe un registro de estado en el que se especifica la forma en que se va a mandar algún carácter al mecanismo de escritura o como se ha de tomar el carácter del teclado. El carácter que se lee o se escribe se manda o recibe a través del registro de datos correspondiente.

En la mayor parte de los registros de control, la asignación de bits es como se indica:

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
E								H	I						0

**DONDE:**

- O**      **ORDEN.** Cuando este bit se pone en 1, se ordena al dispositivo leer o escribir en el registro de datos.
- I**      **INTERRUPCION.** Si este bit está en 1, el dispositivo puede causar una interrupción cuando ERROR u ORDEN se pongan en 1.
- H**      **HECHO.** Este bit se pone en 1 cuando el dispositivo termina de leer o mandar él o los datos.
- E**      **ERROR.** Se pone en 1 este bit si sucede algún error.

Por supuesto, hay periféricos como los discos magnéticos, cuyo manejo es mucho más complicado, y que no se describe aquí. Una descripción detallada de los periféricos disponibles para el sistema LSI-11, y su programación se encontrará en *Microcomputer Interfaces Handbook (1981)*.

Dentro de los dispositivos especiales de la computadora LSI-11, se encuentra el sistema periférico para la captación de datos de laboratorio; el cual está formado por un convertidor analógico-digital "ADV11" con 16 canales de entrada, un reloj de tiempo real "KWV11", un convertidor digital-analógico "AAV11" con 4 canales de salida y una interfase de 16 bits paralelos "DRV11".

Además el reloj cuenta con dos disparadores de "Schmitt", dispositivos que se accionan cuando un voltaje excede un determinado nivel, en una dirección (pendiente positiva o negativa).

El convertidor analógico-digital (ADC) muestrea información analógica a las velocidades especificadas y almacena su valor equivalente en la representación de 12 bits. Por lo tanto, el rango de representación numérica varía de 0 a 4095 para un nivel de -5 a +5 volts.

Como los demás periféricos, el ADC tiene dos registros, uno de estado y otro de datos, el de estado tiene el siguiente formato:

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
E						N		H	I	R	S				D

**DONDE:**

- O**      **ORDEN.** Cuando este bit se pone en 1, se ordena el inicio de la conversión A/D.
- S**      **"SCHMITT".** Si este bit está en 1, el inicio de la conversión A/D es controlada por una señal externa o por el encendido del "schmitt" del reloj.
- R**      **RELOJ.** Cuando este bit está en 1, la conversión A/D empieza cada vez que se sature el registro contador del reloj de tiempo real.
- I**      **INTERRUPCION.** Si está en 1, el dispositivo puede causar una interrupción cuando la conversión A/D finalice.

- H HECHO. Este bit se pone en 1 cuando el dispositivo termina la conversión A/D y se pone en 0 cuando la interrupción es completada o cuando el registro de datos es leído.
- N NUMERO. Número del canal por donde entra la señal.
- E ERROR. Se pone en 1, si ocurre un error.

El registro de datos del convertidor A/D sirve para almacenar en los primeros 12 bits el último resultado de la conversión.

El reloj de tiempo real puede ser usado para sincronizar el procesador central con la realización de eventos externos, contabilizar el número de eventos externos que se llevan a cabo, medir intervalos de tiempo entre eventos, o proporcionar interrupciones o intervalos programados. También puede ser usado para iniciar la conversión A/D cada vez que se sature el registro contador del reloj o mediante el encendido del disparador de "Schmitt". El reloj cuenta con tres registros: el registro de estado, el de datos y un registro contador. El registro de estado tiene el siguiente formato:

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
F2	I2	S2	F	M	ST2	ST2	ST1	H	I	V			R	O	

DONDE:

- 0 ORDEN. Cuando este bit se pone en 1, se ordena el inicio de la actividad del reloj.

- V VELOCIDAD. Permite seleccionar la velocidad del reloj en el rango de 60 hz. a 1 mhz.
- I INTERRUPCION. Si este bit está en 1 y el bit de HECHO está prendido, se origina una interrupción.
- H HECHO. Este bit se pone en 1 cuando el registro contador se satura.
- R RELOJ. Diferentes modos de operación del reloj:
- 00 Un sólo intervalo. El registro contador toma el valor que está almacenado en el registro de datos e incrementa este valor hasta exceder el tamaño del registro (se pone en 0), momento en que se prende el bit de HECHO, y se detiene.
- 01 Intervalo repetido. Difiere del anterior que cada vez que se satura el registro contador, transfiere el valor almacenado en el registro de datos al contador e inicia de nuevo la cuenta.
- 10 Evento externo. El contador es libre de correr, y un pulso de ST2 transfiere el contenido del contador al registro de datos, prende el bit de HECHO, y continúa contando.
- 11 Base cero. Es lo mismo que el anterior, excepto que después de prender el bit de HECHO, el contador es limpiado y la cuenta empieza desde cero.
- ST2 "SCHMITT 2". Si se pone este bit en 1, se puede simular el encendido del "schmitt 2" (ST2).
- M MANTENIMIENTO. Sirve para las labores de mantenimiento, inhibe el funcionamiento del oscilador de cristal interno.
- S1 "SCHMITT 1". Sirve para simular el disparo del ST1, provocando que el reloj trabaje en el modo 00 o en el 01.
- I2 INT ST2. Si éste bit está prendido, el encendido del ST2 origina una interrupción.
- B2 BANDERA. Este bit se prende cuando es accionado el ST2.

El registro de datos del reloj es un registro que el usuario puede acceder libremente y sirve para almacenar el número T de 16 bits que es igual al complemento a 2 del número de tics del reloj. En los modos 00 y 01 el valor T se transfiere al registro contador y se incrementa hasta saturar el registro, momento en que automáticamente se prende el bit de HECHO.

Para que el reloj pueda iniciar la conversión A/D, el bit de INTERRUPCION del reloj debe estar en 0, y el bit de HECHO del reloj y el bit RELOJ del registro de estado del convertidor A/D deben estar en 1. La conversión se realizará después que el reloj efectue T tics.

El ADV11 tiene asignadas en el mapa de memoria las siguientes direcciones:

177000	Res. de estado del convertidor
177002	Res. de datos del convertidor
170420	Res. de estado del reloj
170422	Res. de datos del reloj

En terminos generales, se considera a una computadora digital como una máquina que pueda resolver cualquier tipo de problema mediante la ejecución de un conjunto de instrucciones; al conjunto de instrucciones que describen la forma de realizar determinada actividad se le llama programa. Como un ejemplo de la elaboración de un programa en lenguaje de máquina, se tiene el siguiente código octal de un conjunto de instrucciones que mediante el uso

del convertidor A/D captan 10 datos, un dato por cada segundo:

CODIGO OCTAL	SIGNIFICADO
005067	Limpiar el registro de datos del convertidor A/D.
177402	
012701	Mover a R1 la dirección a partir de donde se almacenaran los datos.
010000	Mover a R0 el número de datos que se captaran ( 10 datos ).
012700	Mover el #1000 al registro de datos del reloj ( número de tics del reloj )
000012	
012767	
001750	
170422	
005467	Complemento a 2 del número 1000.
170422	
012767	Mover el #40 al registro de estado del convertidor, para que el reloj inicie la conversión A/D.
000040	
177000	Mover el #411 al registro de estado del reloj, para que la velocidad sea de 1 khz y el modo de operación sea de intervalo repetido.
012767	
000411	Prueba si ya se puso en 1 el bit de HECHO del res. de estado del reloj. Si no, respesa a la instrucción anterior.
170420	
100375	Mueve el contenido del res. de datos del convertidor a la posición señalada por R1; se autoincrementa R1.
077006	Decrementa R0; y prueba si es 0 para terminar; si es falso respesa a captar otro dato.
000000	Se detiene el procesador.

Elaborar y leer un programa en código de máquina son tareas difíciles, es necesario recordar el código que le corresponde a cada una de las instrucciones, y la direcciones de los operandos. Si se usara una representación simbólica para las instrucciones y las direcciones o valores de los operandos, la programación se facilitaría; mediante simbolos mnemónicos es posible recordar el

tipo de actividad que realiza cada instrucción, y tener la idea del uso y valor que se le da a los operandos. A manera de ejemplo se presenta el Programa de captación de datos en su representación simbólica:

```

;---
; Declaración de Datos.
;---
ADSTAT =177000      ; Cada una de las direcciones de los
ADBUF   =177402     ; registros del convertidor y del
CLSTAT  =170420     ; reloj son representados por un
CLKBUF  =170422     ; simbolo, para ser referidos de esta
                    ; forma en el código ejecutable del
                    ; programa.

;---
; Código ejecutable.
;---
AD: CLR  ADBUF      ; Limpia el registro de datos
    MOV  #10000,R1 ; Mueve a R1 la dirección donde serán
                    ; almacenados los datos. (10000 octal)
    MOV  #10., R0   ; Mueve a R0 el número de datos que se
                    ; captaran. (10 decimal)
    MOV  #1000.,CLKBUF ; Mueve el número de tics del reloj al
                    ; registro de datos. ( 1000 decimal )
    NEG  CLKBUF     ; Complemento a 2 del número de tics.
    MOV  #40, ADSTAT ; Mueve 40 (octal) al res. de estado,
                    ; para iniciar la conversión A/D.
    MOV  #411, CLSTAT ; Mueve 411 (octal) al res. de estado
                    ; del reloj, para elegir la velocidad
                    ; de muestreo de 1 Khz. y el modo de
                    ; intervalos repetidos.
L1: TSTB CLSTAT     ; Prueba si el bit de HECHO del res.
                    ; de estado del reloj está en 1.
    BPL  L1         ; Falso --> regresa a la etiqueta L1.
                    ; Verdadero --> continua.
    MOV  ADBUF, (R1)+ ; ADBUF tiene el dato convertido y lo
                    ; mueve a la dirección que apunta R1,
                    ; y después se autoincrementa R1.
    SOB  R0, L1     ; Decrementa R0 y prueba si es cero,
                    ; falso --> regresa y toma otro dato
                    ; verdadero --> continua.
    HALT           ; Se detiene el procesador.
.END              AD ; Fin del código ejecutable.

```

## 2.2 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA OPERATIVO RT-11.

### 2.2.1 INTRODUCCION.

#### 2.2.1.1 SISTEMAS OPERATIVOS. -

Un sistema de cómputo requiere para su funcionamiento, además de los componentes físicos, de un conjunto de programas que administren o controlen la actividad de cada uno de ellos, facilitando el acceso a toda aquella persona (usuario) que desee resolver un problema mediante el uso de una computadora. Este conjunto de programas recibe el nombre de sistema operativo.

Los sistemas operativos controlan la utilización y asignación de los recursos de una computadora (procesador, memoria, unidades de disco, cinta, terminales, etc.) y manejan las estructuras básicas de información como son programas y datos.

Los sistemas operativos están diseñados para facilitar el acceso y utilización de un sistema de cómputo, son el enlace entre las necesidades del usuario y las características físicas de la computadora. Ayudan al usuario a resolver sus problemas, proporcionándoles una programación simplificada y una operación más eficiente de la computadora.

En general, el usuario tiene la idea de un sistema operativo en base a las facilidades que éste le proporciona: edición, traducción, ejecución de programas y manejo de información. Por eso, el sistema operativo suele definirse como el conjunto de

Programas que facilitan el uso de los recursos de una computadora.  
(fig. 2.4)

Algunas de las actividades fundamentales del sistema operativo son las siguientes:

(a) Controla y facilita las operaciones de entrada y salida.

(b) Interviene en condiciones excepcionales durante la ejecución de una tarea, por ejem.: errores aritméticos, interrupciones por ejecución de instrucciones ilegales o privilegiadas, violación de protecciones de memoria, etc.

(c) Asigna a cada una de las tareas los componentes físicos necesarios en el momento preciso: procesador, memoria, unidades de entrada/salida, etc.

(d) Proporciona el acceso a los diferentes recursos de programación del sistema operativo: editores, compiladores, ensambladores, bibliotecas del sistema, programas utilitarios, etc.

(e) Da protección, seguridad y controla el acceso a la información.

(f) Facilita la interacción del usuario con la computadora mediante una serie de comandos o instrucciones establecidas por el sistema operativo.

Existen diferentes tipos de sistemas operativos, de los cuales solo se mencionan los siguientes:

- A. Sistemas de tiempo real.
- B. Sistemas de procesamiento por lotes. (Batch System).
- C. Sistemas de tiempo compartido.
- D. Sistemas de programación múltiple o multiprogramación.

En los sistemas de tiempo real, el procesador atiende los eventos externos en el momento exacto en que ocurren, y permite el acceso a todos los recursos del sistema. Un ejemplo de su aplicación es cuando en una fábrica se requiere que una tarea controle, en el momento preciso, la operación de un dispositivo. Mientras el procesador espera que ocurra un evento, éste no realiza ninguna otra actividad, originando el llamado tiempo muerto del procesador. El sistema de tiempo real garantiza que aquellos dispositivos que necesitan atención inmediata la recibirán en el momento, a costa por supuesto de tiempos muertos del procesador. Por lo tanto, es frecuente encontrar sistemas de tiempo real "dedicado", en los cuales existe un procesador simple (usualmente un microprocesador), memoria de solo lectura, y muchos dispositivos sensores y activadores, que requieren acciones inmediatas, pero a la vez relativamente simples.

En los sistemas de procesamiento por lotes se sigue un procedimiento completamente secuencial, en el que cada uno de los trabajos de los usuarios son introducidos en una lista de espera,

que el procesador atenderá dependiendo de ciertas características como son: los niveles de prioridad de los trabajos, los recursos disponibles del sistema, etc. Cada uno de los trabajos constituye un lote, porque junto con el programa y los datos se adjuntan instrucciones o comandos del sistema, que le indican el tipo de actividades por ejecutar, el lenguaje en que está escrito el programa, el inicio y final de los datos, el nivel de prioridad, etc. Por lo general, esta información es introducida a la computadora mediante tarjetas perforadas, por eso a los comandos del sistema se les conoce con el nombre de tarjetas de control. Esta forma de operar una computadora es sencilla pero muy poco eficiente. Durante las operaciones de entrada/salida, el procesador no realiza ninguna actividad y mientras ejecuta los trabajos se desperdicia una gran cantidad de recursos del sistema, porque es casi imposible que un sólo trabajo ocupe todos los recursos cuando es atendido por el procesador.

En los sistemas de tiempo compartido el procesador atiende las diferentes peticiones de los usuarios concediéndoles a cada uno de ellos una fracción del tiempo de procesamiento, de acuerdo al número de peticiones, de recursos disponibles, etc., tratando de que cada petición reciba el mismo intervalo. Esto permite la interacción de varios usuarios con la computadora, porque el sistema operativo distribuye la atención del procesador, sitúa un programa en memoria, lo atiende el tiempo asignado, lo retira de memoria, y coloca otro en memoria; repitiendo el proceso para cada

petición. Aunque estos sistemas utilizan más optimamente el tiempo del procesador que los sistemas de tiempo real y de lotes, no deja de tener algunos inconvenientes: a medida que el número de peticiones y el tamaño de las tareas aumentan, el tiempo de procesamiento asignado a cada tarea disminuye considerablemente. Esto se debe a que una parte del tiempo asignado a la petición es utilizado por el sistema operativo, para colocar y retirar de memoria al programa.

Los sistemas de multiprogramación operan por prioridades que se asignan de acuerdo a la importancia del proceso o del periférico involucrado. En general, tienen alta prioridad los procesos que garantizan una fluida operación del sistema y los asociados a periféricos muy veloces. Los sistemas de multiprogramación están formados por un gran número de programas supervisores que cumplen funciones tales como revisar tablas de prioridades, reubicar programas de acuerdo a estas tablas, asignar recursos a las tareas, atender los tareas residentes en memoria, desalojar tareas inactivas de memoria a periféricos, compactar memoria, etc. Estos programas forman una compleja red de acciones, supervisadas por un programa ejecutivo, que trata de mantener una rapidez de respuesta razonable a todas las peticiones. Los sistemas de multiprogramación utilizan al máximo los recursos de la computadora (procesador, memoria, memoria auxiliar, etc.) a costa de una gran complejidad en su diseño y una relativa complejidad en su operación. Sin embargo, el

advenimiento de procesadores cada vez más capaces, y la reducción en costo de los componentes de computadoras, han propiciado la rentabilidad de estos sistemas. En los sistemas de multiprogramación, varias tareas pueden ser almacenadas simultáneamente en memoria, para distribuir de una manera dinámica el tiempo del procesador. Cuando el procesador atiende a una de estas tareas, puede interrumpirse su ejecución si en algún momento se requiere una operación, que puede ser de entrada/salida, o atender un proceso de prioridad más alta. Después de atender la operación que causó la interrupción, se reanuda inmediatamente a la tarea original, que se procesa hasta terminarla, o se interrumpe por algún otro evento de mayor prioridad. La facilidad de que en algunas computadoras se puedan realizar simultáneamente las operaciones de entrada/salida y la actividad del procesador, permite utilizar más óptimamente los tiempos muertos del procesador.

#### 2.2.1.2 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN. -

Un lenguaje de programación es un conjunto de expresiones y reglas para especificar una secuencia de acciones a realizar a un conjunto de datos.

Los lenguajes de programación se clasifican en base a niveles, dependiendo de su grado de cercanía a la arquitectura de la computadora. En el nivel más cercano se encuentra el lenguaje de máquina, único lenguaje que la computadora reconoce. La

elaboración de programas mediante este lenguaje, como se vió en la sección anterior, es bastante complicada, porque la representación de las operaciones y de los datos se realiza en forma numérica. Para resolver este problema se diseñaron los lenguajes simbólicos o ensambladores, mediante los cuales se utilizan nombres mnemotécnicos para especificar el código de operación y la posición en memoria que ocupan los operandos. Estos lenguajes son difíciles de dominar, porque se necesita; para manejar sus registros, sus modos de direccionamiento, sus dispositivos periféricos, etc.; un íntimo conocimiento de la arquitectura de la computadora.

Para mejorar la productividad de los programadores, se diseñaron lenguajes de programación más generales e independientes de la computadora en que se instalaban. Así, el programador sólo tenía que concentrarse en codificar el problema usando las reglas del lenguaje y olvidándose de las complejidades específicas de la computadora. Esta familia de lenguajes de programación se conoce como lenguajes de alto nivel.

Los programas elaborados en un lenguaje simbólico o de alto nivel necesitan, para ser ejecutados, traducirse al lenguaje que la máquina reconoce. Este proceso lo realiza un programa traductor que tiene como entrada un programa escrito en algún lenguaje (programa fuente) y produce como salida un programa equivalente en otro lenguaje (programa objeto). Cuando el programa fuente está escrito en algún lenguaje simbólico, el

traductor recibe el nombre de ENSAMBLADOR, y cuando se trata de un lenguaje de alto nivel, se le llama COMPILADOR.



El ensamblador traduce cada representación simbólica de las expresiones a su correspondiente código de máquina. El compilador, primero realiza el análisis del programa fuente para hacer una síntesis del programa objeto. En el análisis, el compilador usa el explorador o analizador lexicográfico, el cual lee los caracteres del programa fuente y construye las tablas de símbolos; luego, el analizador sintáctico y semántico, fragmenta el programa fuente en sus partes básicas, construyendo la forma interna del programa y situando información en la tabla de símbolos, tras lo cual realiza la comprobación sintáctica y semántica. En la síntesis del programa objeto se realiza, a partir de la información generada en el análisis, la preparación y generación del código definitivo.

Existe un gran número de lenguajes de programación, entre los cuales destacan:

- a) Fortran, Basic.
- b) Algol, Pascal, C, PL-1, Modula.
- c) Cobol.

d) Lisp, Prolog.

e) Ada.

Además de los traductores, existen programas llamados intérpretes que efectúan un proceso de traducción del lenguaje fuente sin generar un programa en código objeto; sino que, a medida que identifican cada un de las expresiones la ejecutan. Las expresiones no se traducen, solo se analizan en su sintaxis y semántica para generar su ejecución. Al intérprete se le da el programa escrito en un lenguaje de alto nivel y los datos sobre los cuales opera el programa. Los intérpretes más comunes son los de Basic y Lisp.

Algunos traductores transforman el lenguaje de programación de alto nivel en un lenguaje simplificado o código intermedio, el cual para su ejecución necesita ser interpretado. En algunos casos el mismo lenguaje fuente es un lenguaje intermedio, como por ejemplo Basic.

## 2.2.2 SISTEMA OPERATIVO RT-11.

### 2.2.2.1 CARACTERISTICAS GENERALES. -

RT-11 es un pequeño sistema de tiempo real, diseñado para utilizarse en forma interactiva, local, por un solo usuario en la microcomputadora LSI-11.

El sistema operativo RT-11 comprende un monitor o ejecutivo para el control y supervisión del sistema, una serie de programas para el manejo de los dispositivos periféricos ('handlers'), un conjunto de programas utilitarios para la creación y manipulación de programas o datos, así como para apoyar los diferentes lenguajes de programación.

#### 2.1.2.2 ESTRUCTURA DE ARCHIVOS.

Una de las funciones importantes de todo sistema operativo es el manejo de sus unidades de información, las cuales suelen clasificarse en físicas y lógicas.

Las unidades físicas son los elementos utilizados por los dispositivos de entrada y salida para almacenar, transferir y recuperar información. Las más usuales son:

- Registro. Es una colección de bytes o palabras y es la unidad más pequeña que un dispositivo periférico (terminal, impresor, lectora de tarjetas, etc.) puede transmitir.

- Bloque. Es la unidad de información utilizada en los medios de almacenamiento magnético (discos, cintas) y está formado por un conjunto de registros físicos.

- Volumen. Es el conjunto de bloques físicos almacenados en un dispositivo de entrada y salida.

Las unidades lógicas son los elementos utilizados por los usuarios o por los diferentes programas para almacenar, transferir y recuperar información. Las más comunes son:

- Campo. Es la unidad más pequeña de información y está constituido por uno o varios bytes.

- Registro. Es el conjunto de campos cuyas características no dependen del dispositivo periférico; sin embargo, éstas pueden definirse físicamente al determinar el número de bloques que ocupan.

- Archivo. Es una colección de unidades de información similares en propósito, forma y contenido; es el conjunto de registros lógicos o la colección lógica de información que ocupa uno o más bytes en un medio de almacenamiento magnético (cinta, discos, etc.). Es la unidad de información reconocida por el sistema operativo, y sus características son determinadas por el sistema o el suario de una computadora.

- Volumen. Es la colección de archivos localizados en un medio de almacenamiento magnético.

El sistema operativo transforma las características físicas del dispositivo periférico (espacio físico) en organizaciones lógicas de información (espacio lógico). La transformación, por lo general, se realiza mediante el uso de una estructura de archivos, la cual consiste en registrar, listar y catalogar

información en forma de archivos. La estructura determina la manera de organizar y acceder un conjunto de unidades de información.

Existen diferentes organizaciones de archivos, entre las cuales se mencionan:

- Asignación contigua. Es la forma más simple y en ella los registros son almacenados en forma continua ( cada registro se identifica mediante la posición relativa que ocupa dentro del archivo ). Es característica de los dispositivos como la cinta magnética.

- Listas ligadas. Cada registro mantiene un apuntador al siguiente registro y/o al anterior. Al conocer la posición de uno de ellos, se conoce la de los predecesores o sucesores.

- Uso de índices. Cada registro posee un índice o llave que permite identificarlo sin necesidad de conocer su posición dentro del archivo.

Los principales métodos de acceso son:

- Secuencial. Es la forma de acceso más usual, y es característica de los dispositivos con organización contigua, como la cinta magnética. Cada registro es referido mediante la posición que ocupa dentro del archivo; para obtener el último registro es necesario recorrer todos los registros precedentes.

- Directo. Consiste en ubicarse en un registro con sólo conocer su llave o índice; el tiempo de acceso es independiente de la posición del registro dentro del archivo. Es común en las unidades de disco.

- Mediante el uso de índices y en forma secuencial. Es una combinación de los dos métodos anteriores; permite acceder un registro mediante el uso de una llave y a partir de ahí, moverse en forma secuencial. Es de utilidad para el manejo de información con diferentes niveles de clasificación; basta conocer la llave de uno de los niveles para acceder toda la información correspondiente.

En RT-11, la transformación del espacio físico al espacio lógico se realiza mediante un conjunto de rutinas; por un lado, para la programación de las operaciones de entrada y salida (E/S), y por el otro, para el manejo de archivos.

Las rutinas que permiten la programación de las operaciones de E/S son el puente de unión entre el espacio físico y el espacio lógico. Para usarlas el programador no necesita conocer las características intrínsecas de los dispositivos periféricos; sólo deberá conocer la operación de cada rutina y los parámetros que reciben y envían. Las rutinas de E/S proporcionan una mejor organización y servicio de E/S mediante operaciones en forma asincrónica y concurrente, programación independiente del dispositivo y mediante la configuración de la información en

bloques. Dentro de estas rutinas se encuentran los manejadores de dispositivos o "device handlers" (DH), los cuales realizan las funciones de:

- Manejar los dispositivos de entrada y salida.
- Proporcionar independencia a los dispositivos.
- Almacenar y recuperar información en forma de bloques.
- Asignar y recuperar el espacio de almacenamiento físico dentro del dispositivo.
- Manejar los espacios en memoria ("buffers") destinados a los dispositivos.

Es importante mencionar que RT-11 realiza la transferencia de información a los dispositivos periféricos (cintas y discos) en bloques de 512 bytes, operación que resulta transparente para el usuario.

Las rutinas para el manejo de archivos proporcionan, al nivel del usuario, los mismos servicios que las rutinas para la programación de las operaciones de E/S. Reciben el nombre de programas para el intercambio entre dispositivos periféricos (PIP); además de manejar todos los formatos de datos y archivos bajo RT-11, permiten realizar las siguientes operaciones:

- Transferir un archivo o un grupo de archivos de un dispositivo a otro.
- Unir varios archivos en uno solo.
- Borrar, actualizar, renombrar o reemplazar archivos.
- Listar el directorio de archivos (tabla con la información referente a la conexión entre los nombres de archivos y su localización física dentro del dispositivo).
- Determina la protección de acceso a los archivos.

#### 2.2.2.2 ORGANIZACION DEL MONITOR O EJECUTIVO. -

El monitor de RT-11 es una colección de rutinas que, en general, coordinan todas las actividades dentro del sistema operativo, controlan la ejecución de programas, organizan la forma como son realizadas las diferentes operaciones, asignan los recursos de la computadora a los usuarios o programas, transmiten las solicitudes de E/S a los manejadores de dispositivos, supervisan el manejo de archivos, y envían los mensajes de error.

El monitor o ejecutivo sirve de interfase entre los componentes físicos de la computadora, los programas del sistema operativo y el usuario. Entre las funciones del monitor está el aceptar, procesar, y ejecutar las instrucciones del usuario; estas instrucciones son proporcionadas mediante un conjunto de comandos.

RT-11 proporciona al usuario tres posibles medios operativos, los cuales varían en tamaño, velocidad y capacidad. RT-11 cuenta con un monitor para supervisar cada medio operativo:

- Un solo trabajo (SJ).
- Dos áreas de trabajo: primaria y secundaria (F/B).
- Uso de memoria extendida (XM).

El monitor SJ ejecuta un trabajo a la vez, ocupa poco espacio en memoria, y utiliza al mínimo los recursos del sistema operativo. El monitor SJ atiende las interrupciones en forma rápida, característica importante para las aplicaciones en tiempo real, donde el tiempo de respuesta es crítico. En éste monitor, los programas pueden direccionar hasta 28 K palabras de memoria física.

El monitor F/B permite que dos programas trabajen en forma concurrente y establezcan comunicación entre sí. El área primaria tiene la mayor prioridad sobre el uso de los recursos del sistema, ahí pueden ejecutarse los programas de aplicación en tiempo real; el área secundaria sirve para los programas con una mayor tolerancia en su tiempo de respuesta. Por ejemplo, mientras en el área secundaria se edita o compila un programa, en la primaria se puede ejecutar un programa para la toma de datos de un experimento. La ventaja de este medio operativo es el aprovechamiento de los tiempos muertos del procesador. Sin

embargo, este monitor ocupa más espacio en memoria que el monitor SJ y tiene un tiempo de respuesta menor.

El monitor XM, además de tener todas las características del F/B, permite que un programa accese hasta 128 K palabras de memoria física. Para incrementar el espacio de direccionamiento lógico, se requiere de más de 32 K palabras de memoria y de una unidad de manejo de memoria (MMU), la cual realiza el mapeo de la memoria virtual a la memoria física.

### 2.2.2.3 COMPONENTES DEL MONITOR. -

El monitor lo forman, básicamente, los siguientes módulos:

1. El monitor residente (RMON), que está siempre en memoria y contiene las funciones de entrada y salida por medio de la consola, el manejo de trampas (secuencia de error provocada por el procesador), y del dispositivo de memoria auxiliar (donde están almacenadas las propias rutinas del sistema operativo), así como algunas tablas que describen la configuración del sistema.
2. El monitor del teclado (KMON), que contiene las funciones de comunicación con el usuario para interpretar los comandos proporcionados desde la terminal. Los comandos son instrucciones que el usuario proporciona para asignar nombres lógicos a los dispositivos, correr programas, cargar los manejadores de los dispositivos, etc.

3. Las rutinas de servicio a usuario (USR), que contienen las funciones para el manejo de archivos.
4. El intérprete de comandos (CSI), que realiza el análisis sintáctico de los comandos para las operaciones a efectuar en archivos (peticiones a USR).

Dentro de RMON se encuentra el cargador del sistema, el cual instala en memoria o retira de ahí los programas propios del sistema que están almacenados en disco, como son los manejadores de cada dispositivo, o los programas para comodidad del usuario (Utilitarios).

#### 2.2.2.4 PROGRAMAS UTILITARIOS. -

El monitor recibe solicitudes de servicio desde dos fuentes: la terminal de consola y los programas cargados en memoria. Los provenientes de la terminal de consola pueden ser comandos procesados directamente por KMON o mediante el CSI. Los de programa son manejados directamente por el monitor residente o a través del CSI.

Además del monitor, RT-11 incluye un conjunto de programas para comodidad del usuario o programas utilitarios, cuya función es proporcionar facilidades para el desarrollo, ejecución y depuración de programas.

Los programas utilitarios cubren un amplio rango de opciones, tales como crear o editar textos, manejar archivos, localizar errores de programación, etc.. Los más usuales son:

- El editor, que permite crear y modificar textos, como programas, escritos, memorandums, etc.

- Los programas para el manejo de archivos, que permiten listar el contenido de un archivo, transferirlo de un dispositivo a otro, borrarlo, etc..

- Un manejador de bibliotecas, que permite crear bibliotecas de rutinas elaboradas por el usuario, o formar bibliotecas que son parte de un lenguaje de programación; o que permite almacenar nuevas rutinas o eliminarlas.

- Un programa lisador, que convierte un programa objeto al formato requerido para cargarlo en memoria y ejecutarlo.

- Un programa para comparar dos archivos en código ASCII.

- Un programa para extraer la información de un archivo en varios formatos como palabra o byte octal, palabra o byte decimal, caracteres ASCII y caracteres RAIIIX-50.

- Un programa depurador, que permite descubrir y corregir errores en los programas elaborados en lenguaje ensamblador.

- El lenguaje ensamblador MACRO-11.

- Los procesadores para los lenguajes de alto nivel como Fortran, Pascal, Prolog, C, Lisp, etc.

## CAPITULO 3

### ANALISIS DE POTENCIALES PROVOCADOS

Para poder describir los aspectos metodológicos del análisis de potenciales provocados primero se establecen algunas definiciones y conceptos relacionados con el análisis de señales.

#### 3.1 SEÑALES BIOLÓGICAS.

La información biológica de interés para este trabajo, como ya se mencionó anteriormente, es la que se obtiene al registrar la actividad eléctrica de un conjunto de neuronas (potencial de campo) en el momento de inducir deliberadamente una serie de estímulos. Dicha actividad recibe el nombre de potencial provocado, y en general, será considerado como una señal biológica. Una señal es la representación del cambio temporal, en cuanto a forma y contenido informativo, de una cantidad física generada por un proceso cuyo mecanismo deseamos comprender.

Las señales exhiben una amplia diversidad de características, por lo que es importante presentar algunas de las clasificaciones existentes. Algunos autores [Bendat, 1967] las clasifican en determinísticas y no-determinísticas. Las señales determinísticas son aquellas que funcionalmente pueden ser definidas en cualquier

instante, y las no-determinísticas son aquellas que no es posible definir inequívocamente; es decir, no existe una representación matemática válida de la señal para todo el tiempo en que ésta ocurre. Las señales biológicas provenientes de la actividad neuronal son consideradas, en general, no-determinísticas y un ejemplo es la actividad eléctrica registrada mediante el electroencefalograma (EEG).

Al clasificar las señales biológicas como no-determinísticas se pone de manifiesto el grado de desconocimiento que se tiene sobre los factores internos o externos que influyen en los mecanismos responsables de la formación de las señales. Dentro de las señales no-determinísticas se encuentran las aleatorias que siguen un comportamiento probabilístico; es decir, son manifestaciones de procesos aleatorios.

La naturaleza probabilística de una señal biológica no se debe completamente al proceso mismo de su generación, sino muchas veces, a que la señal se encuentra inmersa en la actividad producida por otras fuentes distintas al proceso que generó la señal. Esta actividad recibe el nombre de ruido y puede surgir de otras fuentes situadas dentro del mismo sistema nervioso o de los instrumentos de medición utilizados. En cualquier caso su presencia oculta la señal de interés, dificulta su detección y análisis, y le imprime el carácter de aleatoriedad a la señal de interés, porque el ruido es en sí mismo un proceso aleatorio. Este es el caso de los potenciales provocados.

Para los propósitos de analizar las señales mediante el uso de una computadora es conveniente clasificarlas en continuas y discretas. Una señal es continua si está definida en todos los instantes en que ocurre; y una señal es discreta si sólo está definida en una serie de puntos usualmente espaciados. Para poder procesar las señales continuas (potenciales provocados, EEG, etc.) mediante una computadora digital es necesario transformarlas a señales discretas en tiempo y amplitud, para lo cual se utiliza un convertidor analógico-digital (el cual ya fue descrito).

El proceso para transformar una señal continua en discreta recibe el nombre de digitalización e involucra dos grandes aspectos:

- i). El muestreo o cuantificación de la señal en el tiempo.
- ii). La cuantificación de la señal en amplitud.

Digitalizar una señal continua significa muestrear su amplitud en intervalos predefinidos y equidistantes, y cuantificarla mediante una tabla de valores numéricos consecutivos. (fig. 3.1)

Los valores que se obtienen al muestrear una señal están caracterizados por una infinidad de impulsos equidistantes con una ponderación equivalente a la amplitud muestreada. Entonces, el muestreo puede compararse con la modulación de la señal impulso, es decir, con el producto entre la señal continua  $s(t)$  y una serie

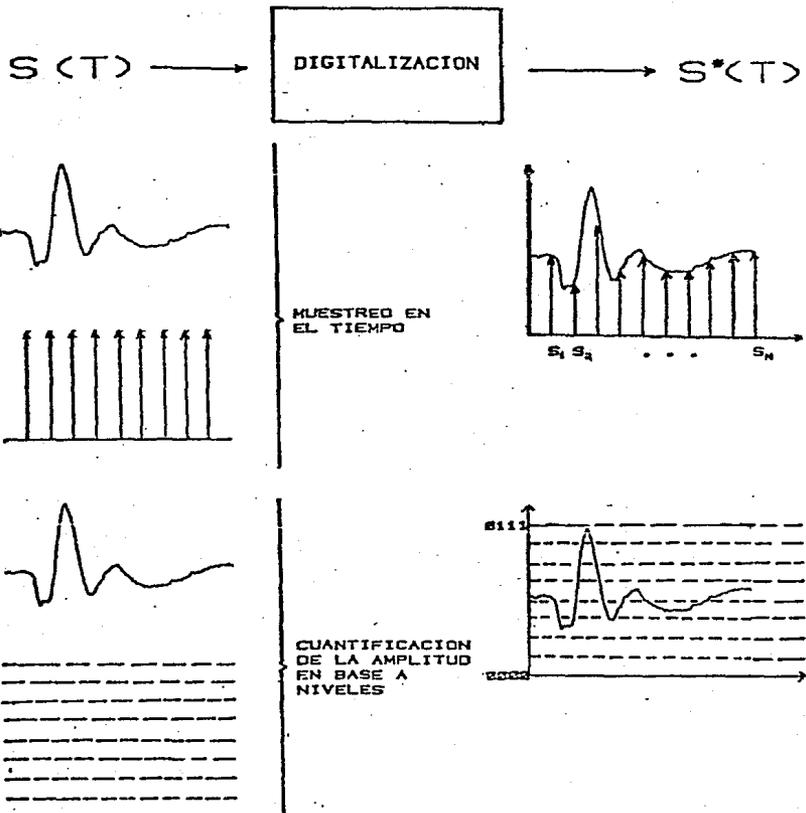


FIG. 3.1 LOS DOS ASPECTOS DEL PROCESO DE DIGITALIZACION.

de impulsos isualmente espaciados  $c(t)$ .

Sea  $s(t)$  la señal original y  $t$  la variable tiempo. Si  $s(t)$  es continua en todo el intervalo  $T$ , entonces una muestra de  $s(t)$  durante este intervalo está dada por:

$$\hat{s}(t) = s(t) c(t - T)$$

donde:

$c(t - T)$  = función impulso

$$c(t - t_0) = 0 \quad \text{si} \quad t \neq t_0 \quad \text{y} \quad \int_{-\infty}^{\infty} c(t - t_0) dt = 1$$

La función impulso al tiempo  $t$  tiene una amplitud igual a la de la señal en el tiempo  $t$ .

Si  $s(t)$  está definida en  $T = mT$ ,  $m = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$

$$\hat{s}(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} s(mT) c(t - mT)$$

representa a la señal  $s(t)$  muestreada durante el intervalo  $T$ .

De esta manera obtenemos una aproximación a la señal original; que tan buena es la aproximación depende de la interrelación de las características de la señal y los parámetros de muestreo. Las características de la señal están en base a su contenido informativo en el dominio de la frecuencia, es decir, se supone que la señal está constituida por un conjunto de sinusoidales de diferente frecuencia y amplitud. Los parámetros de muestreo se refieren fundamentalmente a la velocidad de la toma de datos o frecuencia de muestreo. La interrelación queda perfectamente establecida por el Teorema de Muestreo:

Sea  $S(f)$  la función en el dominio de la frecuencia de  $s(t)$ ,

si  $S(f) = 0$  para  $|f| > f_N = \frac{1}{2} \Delta t$

entonces  $\hat{s}(t) = s(t)$

donde

$\hat{s}(t)$  = señal muestreada a la velocidad de  $1 / \Delta t$ .

En aspectos prácticos, las consecuencias negativas que se desprenden de este teorema son:

i) Si  $S(f) \neq 0$  para  $|f| > f_N = \frac{1}{2} \Delta t$   
entonces  $\hat{s}(t) \neq s(t)$

ii) Si  $f_N < \frac{1}{2} \Delta t$   
entonces  $\hat{s}(t) \neq s(t)$

Esto determina la necesidad de conocer, con anterioridad, la frecuencia máxima de interés en la señal, a fin de eliminar todos los componentes de frecuencia que estén en valor absoluto por encima de ella, y elegir adecuadamente la velocidad de muestreo.

El otro paso importante es la cuantificación en amplitud de la señal, sea  $s_q(t)$  la señal muestreada y  $s_q(t)$  la señal que resulta de la cuantificación. Cuantificar la señal muestreada consiste en asignarle a la amplitud diferentes niveles de voltaje con un determinado valor ( $q$ ). Cada nivel representa un paso de la cuantificación y existe un número limitado de ellos.

$$s_q(t) = \begin{cases} M_q & \text{si } s_a(t) \geq M_q = Q \\ m_q & \text{si } m_q < s_a(t) \leq (m+1)q, \quad |m| \leq M \\ -M_q & \text{si } s_a(t) < -M_q = -Q \end{cases}$$

El nivel máximo y mínimo de voltaje que pueden manejarse sin que exista una saturación son  $Q$  y  $-Q$  (para el convertidor que describimos es de 5 y -5 volts), y el número total de niveles es  $2M$ , el cual es una potencia de dos determinada por el número de bits asignados para su representación ( $L$ ).

$2M = 2^L$

(Para el convertidor de interés,  $L$  es igual a 12 bits)

Cada conversión tiene asociado un error de cuantificación; sea  $z(t)$  el error de cuantificación:

$$s_q(t) = s_a(t) + z_q(t)$$

donde

$$|z_q| \leq \frac{1}{2}q$$

Por todo lo anterior, se puede decir que, el convertidor analógico-digital le agrega información a la señal de interés.

### 3.2 PROMEDIACION.

La actividad eléctrica registrada durante la estimulación deliberada, como ya se dijo, contiene la información de interés (sincronizada con la aplicación del estímulo) y la información no

deseada o ruido. La información de interés, en cierta forma, conserva un carácter determinístico, y por otro lado, el ruido es de carácter aleatorio (la fuente de esta variación no siempre es la misma).

Lo anterior puede representarse como la suma lineal de :

A) Actividad eléctrica del cerebro provocada por la aplicación del estímulo.

B) Actividad del cerebro no relacionada con la aplicación del estímulo.

C) Actividad eléctrica originada fuera del cerebro (ruido originado por la instrumentación, artefactos eléctricos, etc.).

Los incisos (B) y (C) son considerados, en forma genérica, como ruido; por lo tanto se tiene la siguiente expresión:

$$s(t) = p(t) + r(t) \quad 0 \leq t \leq T$$

donde

$s(t)$  = actividad registrada.

$p(t)$  = actividad de interés o provocada por el estímulo.

$r(t)$  = ruido.

La actividad provocada por el estímulo, por lo general, es difícil de diferenciar en un solo ensayo, por ello, es necesario encontrar alguna forma de separar esta actividad del ruido. Bajo condiciones adecuadas, un simple procedimiento de promediación permite diferenciar la señal de interés del ruido. (fig. 3.2)

3-9

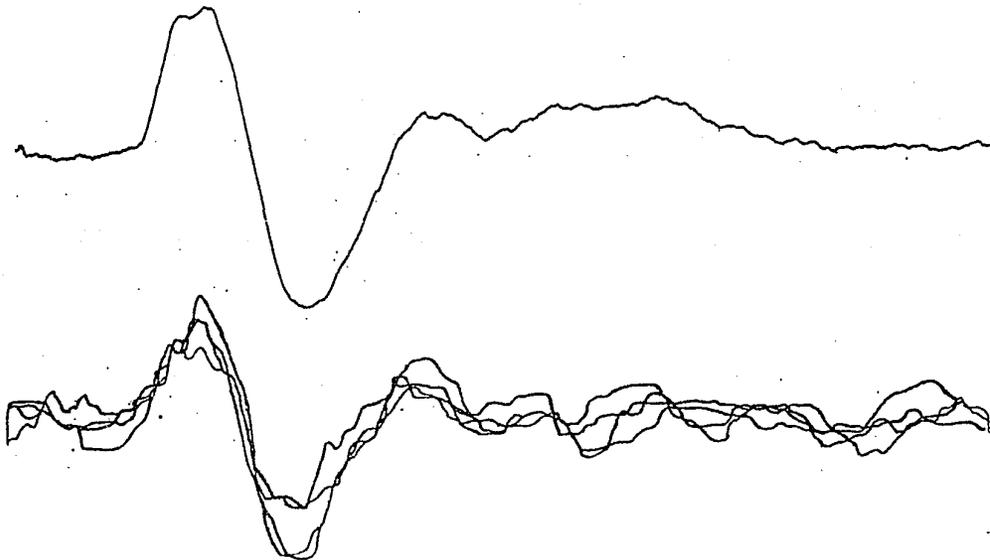


FIG. 3.2 PROMEDIACION.

Con la promediación se atenúa el ruido siempre y cuando se mantengan los siguientes supuestos:

i) La señal registrada es el resultado de la suma lineal entre la señal de interés y el ruido:

$$s(t) = p(t) + r(t) \quad 0 \leq t \leq T$$

ii) La forma de la señal debida a la aplicación del estímulo es la misma en cada repetición del estímulo (homogeneidad):

$$p_i(t) = k(t) \quad \text{para toda } i = \overline{1, N}$$

donde  
N = Número de repeticiones del estímulo.

iii) La diferencia entre las señales registradas se debe al ruido asociado, el cual mantiene una distribución bastante irregular de estímulo a estímulo.

iv) El ruido asociado con cada respuesta es independiente del ruido de cada una de las demás respuestas.

Aunque estos supuestos simplifican el análisis, no siempre se satisfacen. La forma de la señal de interés puede variar si hay alteraciones en los niveles de voltaje o si el tiempo en que ocurren uno o más de sus componentes cambia en forma aleatoria, por lo cual el supuesto de homogeneidad deja de mantenerse. Si la duración del periodo entre la aplicación de cada estímulo es pequeña, existe la posibilidad de que se encimen las respuestas, originando una correlación entre el ruido asociado a cada una de ellas (violación del supuesto de independencia).

Otro supuesto importante es que el ruido asociado satisfice el criterio de estacionariedad de orden dos; es decir, los momentos de orden uno y dos existen y son independientes del origen seleccionado:

$$\mu = E [ r(t) ] = \bar{\phi}$$

$$\gamma_2 = E [ r(t) r(t+l) ] = E [ r(t+h) r(t+h+l) ] = \phi$$

Este supuesto es difícil de mantener, y sin embargo, es importante para satisfacer el efecto de cancelación al calcular el estimador de  $P$ . Si el ruido asociado contiene componentes "atípicos" como puede ser el ruido provocado por un artefacto eléctrico o de movimiento, es difícil que se satisfaga esta restricción.

La promediación de la señal se expresa de la siguiente forma:

Sea  $\{ s_i(t) \}$  el conjunto de señales registradas después de aplicar el  $i$ -ésimo estímulo. Se supone que la señal de interés se mantiene constante durante la aplicación de cada estímulo y que lo único que varía es el ruido, por lo tanto

$$s_i(t) = P(t) + r_i(t) \quad i = 1, \dots, M$$

Estamos interesados en conocer  $P(t)$ , por lo que consideramos la media del  $\{ s_i(t) \}$  como un estimador de  $P(t)$ .

$$\hat{P}(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M s_i(t) = P(t) + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M r_i(t)$$

La varianza del ruido es igual a  $E [r_i^2(t)] = \sigma^2$  y debido al supuesto de independencia sobre las muestras del ruido, se tiene que

$$E [r_i(t) r_j(t)] = \phi \quad \text{para toda } i \neq j$$

Sin pérdida de generalidad, se asume que el valor esperado de  $r_i(t)$  es cero

$$E [r_i(t)] = \phi \quad \text{para toda } i$$

Por lo tanto el valor esperado de  $\hat{p}(t)$  es

$$E [\hat{p}(t)] = E \left[ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M s_i(t) \right] = p(t) + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M E [r_i(t)]$$

$$E [\hat{p}(t)] = p(t)$$

$\hat{p}(t)$  es un estimador insesgado del potencial provocado, es decir, con un número suficientemente grande de estímulos,  $\hat{p}(t)$  debe ser igual a  $p(t)$

$$\lim_{M \rightarrow \infty} E [\hat{p}(t)] = p(t)$$

Para saber como el error residual  $\hat{p}(t) - p(t)$  disminuye, calculamos la desviación estandar del promedio o error estandar (SE) que constituye la magnitud esperada del error residual.

$$\begin{aligned} (SE)^2 &= E [\hat{p}(t) - p(t)]^2 = E \left[ \frac{1}{M} \sum_i r_i(t) \right]^2 \\ &= \frac{1}{M^2} \sum_i \sum_j E [r_i(t) r_j(t)] + \sum_i E [r_i^2(t)] \end{aligned}$$

Con la promediación se atenúa el ruido siempre y cuando se mantengan los siguientes supuestos:

i) La señal registrada es el resultado de la suma lineal entre la señal de interés y el ruido:

$$s(t) = p(t) + r(t) \quad 0 \leq t \leq T$$

ii) La forma de la señal debida a la aplicación del estímulo es la misma en cada repetición del estímulo (homogeneidad):

$$P_i(t) = k(t) \quad \text{para toda } i = \overline{1, N}$$

donde

N = Número de repeticiones del estímulo.

iii) La diferencia entre las señales registradas se debe al ruido asociado, el cual mantiene una distribución bastante irregular de estímulo a estímulo.

iv) El ruido asociado con cada respuesta es independiente del ruido de cada una de las demás respuestas.

Aunque estos supuestos simplifican el análisis, no siempre se satisfacen. La forma de la señal de interés puede variar si hay alteraciones en los niveles de voltaje o si el tiempo en que ocurren uno o más de sus componentes cambia en forma aleatoria, por lo cual el supuesto de homogeneidad deja de mantenerse. Si la duración del periodo entre la aplicación de cada estímulo es pequeña, existe la posibilidad de que se encimen las respuestas, originando una correlación entre el ruido asociado a cada una de ellas (violación del supuesto de independencia).

Otro supuesto importante es que el ruido asociado satisface el criterio de estacionariedad de orden dos; es decir, los momentos de orden uno y dos existen y son independientes del origen seleccionado:

$$\mu = E [r(t)] = \phi$$

$$\gamma_2 = E [r(t) r(t+l)] = E [r(t+h) r(t+h+l)] = \phi$$

Este supuesto es difícil de mantener, y sin embargo, es importante para satisfacer el efecto de cancelación al calcular el estimador de  $P$ . Si el ruido asociado contiene componentes "atípicos" como puede ser el ruido provocado por un artefacto eléctrico o de movimiento, es difícil que se satisfaga esta restricción.

La promediación de la señal se expresa de la siguiente forma:

Sea  $\{s_i(t)\}$  el conjunto de señales registradas después de aplicar el  $i$ -ésimo estímulo. Se supone que la señal de interés se mantiene constante durante la aplicación de cada estímulo y que lo único que varía es el ruido, por lo tanto

$$s_i(t) = p(t) + r_i(t) \quad i = 1, \dots, M$$

Estamos interesados en conocer  $p(t)$ , por lo que consideramos la media del  $\{s_i(t)\}$  como un estimador de  $p(t)$ .

$$\hat{p}(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M s_i(t) = p(t) + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M r_i(t)$$

La varianza del ruido es igual a  $E [r_i^2(t)] = \sigma^2$  y debido al supuesto de independencia sobre las muestras del ruido, se tiene que

$$E [r_i(t) r_j(t)] = \phi \quad \text{para toda } i \neq j$$

Sin pérdida de generalidad, se asume que el valor esperado de  $r_i(t)$  es cero

$$E [r_i(t)] = \phi \quad \text{para toda } i$$

Por lo tanto el valor esperado de  $\hat{p}(t)$  es

$$E [\hat{p}(t)] = E \left[ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M s_i(t) \right] = p(t) + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M E [r_i(t)]$$

$$E [\hat{p}(t)] = p(t)$$

$\hat{p}(t)$  es un estimador insesgado del potencial provocado, es decir, con un número suficientemente grande de estímulos,  $\hat{p}(t)$  debe ser igual a  $p(t)$

$$\lim_{M \rightarrow \infty} E [\hat{p}(t)] = p(t)$$

Para saber como el error residual  $\hat{p}(t) - p(t)$  disminuye, calculamos la desviación estandar del promedio o error estandar (SE) que constituye la magnitud esperada del error residual.

$$\begin{aligned} (SE)^2 &= E [\hat{p}(t) - p(t)]^2 = E \left[ \frac{1}{M} \sum_i r_i(t) \right]^2 \\ &= \frac{1}{M^2} \sum_i \sum_j E [r_i(t) r_j(t)] + \sum_i E [r_i^2(t)] \end{aligned}$$

$$(SE)^2 = \frac{1}{M^2} \sum_{i=1}^M E[r_i^2(t)]$$

$$= \frac{\sigma^2}{M} \quad , \text{ por lo tanto} \quad SE = \frac{\sigma}{\sqrt{M}}$$

La disminución del error residual es directamente proporcional a la magnitud del ruido contenido en la señal e inversamente proporcional a la raíz cuadrada del número de señales registradas.

Como desconocemos la desviación estándar del ruido ( $\sigma$ ), obtenemos una estimación que se expresa como:

$$\hat{\sigma} = \left[ \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M [s_i(t) - \hat{p}(t)]^2 \right]^{1/2}$$

$$\hat{\sigma} = \left[ \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M [s_i(t)]^2 - \frac{M}{M-1} [\hat{p}(t)]^2 \right]^{1/2}$$

La cual mide el grado de variabilidad del conjunto de señales asociado a la aplicación del estímulo.

Si suponemos normalidad, es posible elaborar un intervalo de confianza para  $p$  en base al estadístico t-Student con  $M-1$  grados de libertad:

$$t = (\hat{p} - p) / (\hat{\sigma} / \sqrt{M})$$

donde sustituimos por su estimador y obtenemos

$$P \left\{ -Z_{\alpha/2} \leq t \leq Z_{\alpha/2} \right\} = 1 - \alpha$$

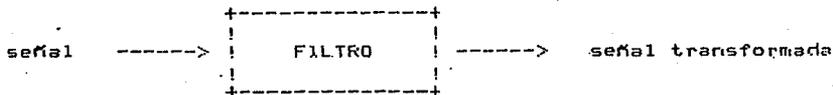
$$P \left\{ \hat{p} - Z_{\alpha/2} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{M}} \leq p \leq \hat{p} + Z_{\alpha/2} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{M}} \right\} = 1 - \alpha$$

Con lo cual se genera una banda de confianza alrededor de la señal promedio.

### 3.3 FILTRADO.

Por lo general, la señal que resulta de la promediación ( s ) contiene componentes de frecuencia que no son de interés o que dificultan su posterior análisis, por lo tanto, se requiere de un procedimiento previo al análisis, el cual consiste en eliminar esos componentes mediante una transformación que recibe el nombre de filtrado.

Un filtro, desde el punto de vista de la Teoría de Sistemas, puede conceptualizarse como una 'caja negra', que recibe la señal a filtrar, ésta sufre, dentro de la caja, una serie de modificaciones y, posteriormente, se presenta en la salida del filtro.



Un filtro puede considerarse en forma lineal y ser descrito, matemáticamente, como:

$$D [ s(t) ] = s' (t)$$

donde

- D = operador lineal.
- s = señal de entrada.
- s' = señal filtrada o transformada.

Para el análisis de señales discretas, que es el caso de interés, la señal puede describirse mediante un vector en un espacio de dimensión N, es decir,  $s_i = (s_1, s_2, \dots, s_N)$ , donde el conjunto  $\{s_n\}$  para  $n=1, 2, \dots, N$  representa las coordenadas del vector respecto a la base  $\xi$  (tiempo). Por lo tanto, el filtro lineal es una transformación activa del espacio de coordenadas en sí mismo.

$$\xi \xrightarrow{D} \xi'$$

$$s d = s'$$

donde

- d = matriz asociada al operador D.
- s = vector de la señal de entrada.
- s' = vector de la señal filtrada.

Para el diseño de un filtro, bajo esta conceptualización, lo único que se requiere es definir la matriz asociada a la transformación, es decir, definir las nuevas ponderaciones que tendrá la señal en el espacio de coordenadas  $\xi'$ .

Por ejemplo, si suponemos que la señal filtrada es  $z(t)$  y que satisface la siguiente condición:

$$z_t = \frac{1}{3} (s_{t-1} + s_t + s_{t+1})$$

y que la dimensión del espacio es 4, la matriz asociada a la transformación (d) es :

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

El filtro lineal también puede expresarse como el conjunto de "pesos" o ponderaciones ( $s_n, s_{n+1}, \dots, s_m$ ), tal que

$$z_t = \sum_{u=n}^m s_u s_{t-u}$$

El conjunto de ponderaciones se obtiene de la matriz asociada a la transformación.

Otra forma de conceptualizar un filtro digital es en términos de la base de Fourier ( $\varphi$ ) para lo cual se recurre al análisis espectral de una señal (el contenido informativo de la señal en el dominio de la frecuencia). Hasta este punto, la señal ha sido definida, únicamente, en el dominio del tiempo; sin embargo, bajo ciertas condiciones, es posible definirla en el dominio de la frecuencia. La transformada de Fourier permite obtener esta representación, al expresar la señal en una serie de componentes sinusoidales de diferente frecuencia y amplitud, los cuales, sumados, constituyen la señal original. (fis. 3.3)

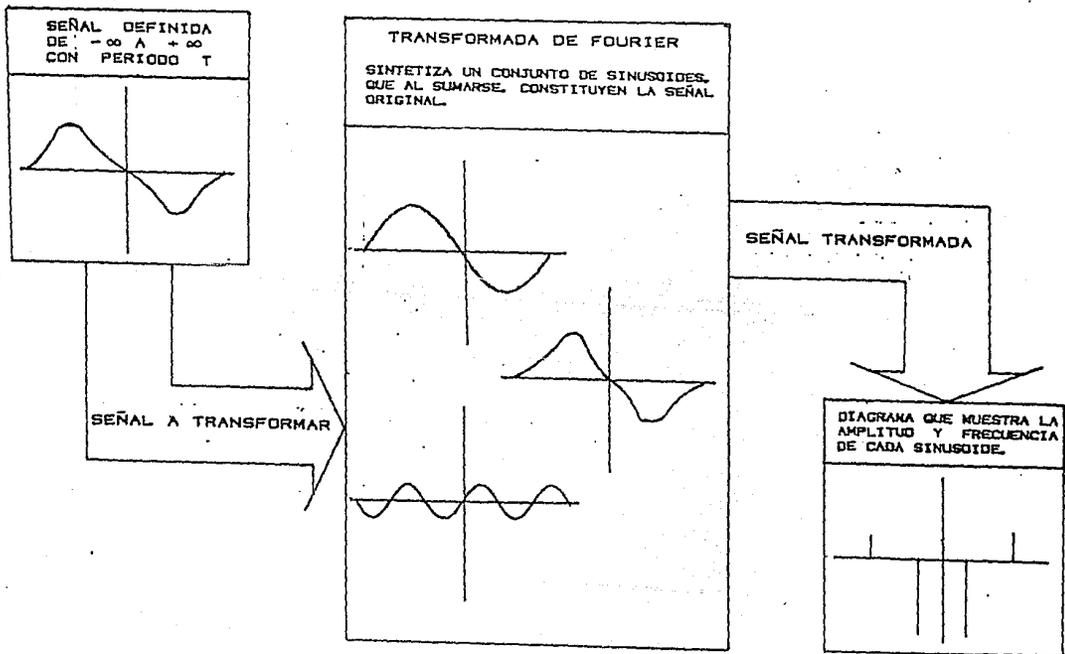


FIG. 3.3 INTERPRETACION DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER.

Si tenemos una señal definida en el dominio del tiempo (base  $\xi$ ), mediante la transformada de Fourier se puede analizar en el dominio de la frecuencia (base  $\varphi$ ), es decir, la transformada de Fourier es una transformación pasiva porque sólo significa un cambio en la representación del vector, de la base a la base de Fourier ( $\varphi$ ). (WOLF)

$$\xi \xrightarrow{F} \varphi$$

La transformada de Fourier, para el caso discreto, tiene la siguiente representación:

$$S\left(\frac{n}{NT}\right) = \sum_{k=0}^{N-1} s(kT) e^{-i2\pi nk/N}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$NT$  = duración del período de muestreo

Y la transformada inversa es igual a:

$$s(kT) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} S\left(\frac{n}{NT}\right) e^{i2\pi nk/N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

La evaluación de la transformada de Fourier, mediante una computadora, requería mucho tiempo de procesamiento, hasta que Cooley y Tukey desarrollaron un algoritmo que reduce considerablemente su tiempo de ejecución. Este procedimiento recibe el nombre de transformada rápida de Fourier (FFT).

Sea  $s = \varphi_n$  la señal de entrada, entonces la señal de salida del filtro es igual a  $s' = \tilde{q}_n \varphi_n$ , para  $n = 1, 2, \dots, N$ , y donde  $\tilde{q}_n$  pertenece al espacio de los números complejos. El conjunto de coeficientes  $\{\tilde{q}_n\}$  recibe el nombre de función de transferencia del filtro. La anterior igualdad, también puede representarse de la siguiente forma:

$$s' = Q s$$

donde  $Q$  está representado en la base  $\varphi$  por una matriz diagonal  $Q = \|\delta_{nm} \tilde{q}_n\|$ , y cualquier señal de entrada produce una salida  $s'$ , tal que

$$s' = \tilde{q}_n \tilde{s}_n \quad n = 1, 2, \dots, N$$

es decir

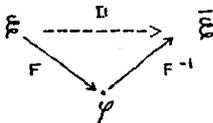
$$s' = \varphi(Q) s$$

Mediante la cual se representa, en la base de Fourier, el producto de la señal con la función de transferencia.

Si  $\tilde{q}_n = 1$ , la señal pasa a través del filtro sin sufrir modificación alguna, mientras si  $|\tilde{q}_n| < 1$  ó  $|\tilde{q}_n| > 1$ , la señal es atenuada o aumentada.

Su aplicación para el diseño del filtro parte del hecho que una señal, en la base  $\xi$ , es transformada a la base de Fourier y es aquí donde se define la función de transferencia del filtro (como es la salida del filtro en una determinada frecuencia).

En la base  $\phi$  se realiza el producto de la señal transformada y la función de transferencia, eliminando las frecuencias fuera de la banda de interés. Para reconstruir la señal en la base  $\mathcal{B}$ , se aplica la transformada inversa de Fourier, con lo cual obtenemos la señal filtrada.



Esto, en muchos casos, facilita el análisis y en el caso del filtrado, permite introducir el concepto de filtro ideal o teórico. El filtro ideal es un elemento de transmisión que, dentro de una banda de frecuencia predefinida, transfiere la señal de entrada sin ningún cambio en su amplitud, y fuera de esa banda, su transmisión es cero (o viceversa, dependiendo si el filtro es del tipo pasa-bandas o detención de bandas).

Los filtros pasa-bajos son elementos que proporcionan una disminución de las frecuencias altas a partir de una determinada frecuencia, también llamada frecuencia de corte ( $f_c$ ). Un filtro ideal pasa-bajos hace que las frecuencias mayores a  $f_c$  sean de transmisión cero o de disminución infinita.

Los filtros pasa-bandas son elementos que maximizan la transmisión de ciertas bandas de frecuencia. En otros rangos de frecuencia, la salida es insignificante comparada con la entrada.

En un filtro ideal pasa-bandas, la transmisión es cero en las otras bandas de frecuencia.

Los filtros para la disminución de bandas son de transferencia cercana a cero en las bandas de frecuencia seleccionadas. Un filtro ideal para la disminución de las bandas de frecuencia es de disminución infinita o de transmisión cero en las bandas de frecuencia predeterminadas.

Estos diferentes tipos de filtros ideales no son físicamente realizables, pero deben considerarse como técnicas analíticas de gran utilidad cuando la contribución hecha a una señal en un cierta banda de frecuencia debe ser determinada sin ninguna distorsión. [Basar,1980]

A manera de conclusión, el filtro lineal puede definirse en cualquiera de las dos formas:

i) Según los "pesos" o valores relativos (respuesta a una función impulso). El filtro se expresa como la convolución de la señal original y la función impulso.

ii) La función de transferencia (respuesta a una función de frecuencia). El filtro es el producto, en la base de Fourier, de la señal original y la función de transferencia.

La relación de estas dos posibles representaciones está apoyada por el Teorema de Convulsión.

#### 3.4 CARACTERIZACION DEL POTENCIAL PROVOCADO.

El interés por el estudio de los potenciales provocados ha originado el desarrollo de metodologías y técnicas de análisis cuantitativo, orientadas a extraer de la actividad registrada, aquella que corresponde a la actividad provocada por estimulación, y a caracterizar dicha actividad, con el fin de establecer niveles comparativos bajo condiciones experimentales distintas (parámetros de estimulación, lugar de registro, condiciones del sujeto, etc.)

La información proveniente del potencial provocado promedio es difícil de analizar por sí sola; es necesario sintetizarla mediante la identificación de una serie de "picos" de polaridad positiva o negativa, localizados dentro de cierto rango de tiempo a partir de la aplicación del estímulo (el tiempo entre la aplicación del estímulo y el momento en que ocurre un "pico" recibe el nombre de latencia). Los efectos de las variables dependientes, de esta forma, se expresan de acuerdo a los cambios que hay en la amplitud entre "pico" y "pico", o del "pico" con respecto a una línea base, y en su latencia.

Dos características son importantes de distinguir de un potencial provocado promedio: su latencia y su morfología; para lo cual se busca la manera de caracterizar la señal.

Los potenciales provocados primarios están caracterizados por una forma de la señal, cuya latencia es corta y con un comportamiento bipolar (por ejemplo: una onda positiva seguida de una negativa). Varios estudios han enfatizado la existencia de actividad tardía, también llamada componentes secundarios, que se presenta después de la forma bipolar. Este último componente es particularmente importante cuando se investiga la relación entre la morfología del potencial provocado y ciertas variables psico-fisiológicas (atención, sueño, somnolencia, manipulación experimental, etc.).

Además de cuantificar la latencia y la morfología, es necesario considerar su distribución espacial. Por lo general los últimos componentes tienen una mayor extensión que los componentes primarios. Experimentos realizados en animales han demostrado que los potenciales provocados bajo un estímulo sensorial determinado pueden registrarse muy lejos del campo correspondiente primario; por eso a los últimos componentes también se les llama "no-específicos". Ellos son distintos de la respuesta primaria en cuanto a su latencia, su forma, la cual es más compleja, y su sensibilidad a varias condiciones intrínsecas (psico-fisiológicas) o extrínsecas (anestesia o manipulación experimental); y al hecho que algunas veces pueden producirse por estímulos bajo diferentes

modalidades. Para obtener la caracterización espacial de los componentes de la señal, se suele obtener el área comprendida entre la señal y la línea base del intervalo donde se localiza el "pico".

#### 3.4.1 Algoritmo Para La Detección De "Picos".

La caracterización del potencial provocado mediante la detección de "picos" reduce la dimensión de los datos, y presenta, de manera sencilla, una descripción de algunas de las características fundamentales del potencial. Una vez detectado el "pico", se cuantifica su amplitud y latencia. La amplitud, por lo general, se mide respecto a una línea base que se obtiene promediando la información previa a la aplicación del estímulo o la información proveniente de un segmento de la señal de interés. De esta forma, es posible hacer comparaciones en base a los cambios en amplitud y latencia de un número seleccionado de "picos".

El algoritmo para la detección de "picos" se basa en el método de los mínimos cuadrados. Este método consiste en aproximar o ajustar un conjunto de datos por medio de una función conocida  $F(x)$ , de tal forma que  $F(x)$  represente la mayor parte de la información contenida en los datos. Para fines prácticos, se selecciona una función que dependa linealmente de una serie de parámetros, de modo que  $F(x)$  adquiera la forma:

$$F(x) = c_0 f_0(x) + c_1 f_1(x) + \dots + c_n f_n(x)$$

donde las  $\{f_j\}$  es un conjunto de funciones seleccionadas previamente, y los  $\{c_j\}$  son los parámetros a determinar. En particular se considera la aproximación polinomial, esto es,  $F(x)$  se convierte en un polinomio de grado  $m$ :

$$P_m(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_mx^m$$

donde  $m$  es menor que el número de datos a ajustar.

El criterio que se sigue para obtener un "buen" ajuste, consiste en minimizar la suma de cuadrados de los errores residuales (diferencia entre el valor estimado y el observado), es decir:

Sea  $e_i = P_m(x_i) - s(x_i)$ , el error residual en el punto  $x_i$ , los coeficientes  $c_j$ , para  $j = 0, 1, 2, \dots, m$ , son elegidos de tal forma que se minimice la siguiente expresión:

$$E = \sum_{i=0}^m e_i^2$$

Este método se utilizó con el propósito de obtener los puntos máximos y mínimos de un polinomio conocido, los cuales, al verificar si se encuentran en el rango de interés, representan los "picos" de la señal.

Para el caso de interés, se eligió un polinomio de segundo grado ( $m=2$ ) y el ajuste se hizo considerando segmentos de 5 puntos. Se escogió este tamaño, porque el ancho o duración mínima del "pico" debe ser de  $0.000X$  segundos (el valor  $X$  depende de la

velocidad de muestreo,  $X = [t_{M+1} - t_i] * 5$ .

El inicio de cada segmento no es fijo, depende de que, en ese segmento, se localice un punto máximo o mínimo. Si esta condición se cumple, el inicio del siguiente segmento se obtiene trasladando el anterior en 5 puntos; de lo contrario, la traslación se realiza al siguiente punto. El proceso se repite en forma iterativa hasta completar el rango de análisis de la señal.

Este procedimiento permite obtener una aproximación de la posición del "pico", la cual, al escalar en las unidades de tiempo utilizadas, determina su valor en latencia. También se obtiene su amplitud, con respecto a la línea base, en las unidades de voltaje determinadas por una señal de calibración.

#### 3.4.2 Algoritmo Para El Cálculo Del Área Bajo La Curva.

Otro parámetro importante para la descripción de una señal es el área comprendida entre la señal y una línea base. Este valor, junto con el de amplitud, determina la importancia del pico dentro de la señal, y establece otro criterio de comparación para un conjunto de señales.

El cálculo del área se realiza mediante el método de integración numérica o cuadratura, en su forma compuesta. Se utilizan tres puntos igualmente espaciados para aproximar un polinomio de grado dos, al cual, mediante la "regla de Simpson", se le calcula el área bajo la curva. Este proceso se repite para

todo el segmento de análisis, obteniéndose la siguiente expresión:

Sea  $s(x)$  la señal y  $[a, b]$  el segmento de interés, entonces

$$a = x_0 < x_1 < \dots < x_m = b$$
$$\int_a^b s(x) dx = (b - a) \left[ s(a) + s(b) + 2 \sum_{\substack{i=1 \\ \Delta i=1}} s(x_i) + 4 \sum_{\substack{i=1 \\ \Delta i=2}} s(x_i) \right]$$

donde  $\Delta i = 1$  señala que el índice  $i$  sólo asume los valores pares, y  $\Delta i = 2$ , los valores impares.

El cálculo del área se hace respecto a una línea base, obteniéndose un valor total para todo el segmento, y valores parciales de la misma, si es que se localiza más de un "pico" en ese segmento. Los valores parciales se calculan para los intervalos comprendidos entre los puntos de inflexión de la señal. Los resultados se presentan en términos de la escala de tiempo y voltaje considerada.

## CAPITULO 4

### DESARROLLO Y DESCRIPCION DE PROGRAMAS

En esta parte se describe cada uno de los programas que comprende este trabajo. Los programas están agrupados en un paquete, cuyo nombre es POTEN, para facilitar la ejecución de cada uno de ellos.

#### 4.1 CARACTERISTICAS GENERALES.

POTEN es un grupo de programas para la toma, filtrado y análisis de potenciales provocados, escritos en los lenguajes de programación Pascal, Fortran y ensamblador Macro-11, bajo el sistema operativo RT-11 (versión 4.0) en la microcomputadora LSI-11. (fig. 4.1)

POTEN controla la ejecución de los seis programas que lo constituyen:

- 1) Toma datos.
- 2) Filtra promedios.
- 3) Recibe voltaje de calibración.
- 4) Analiza formas.
- 5) Presenta resultados y promedios.

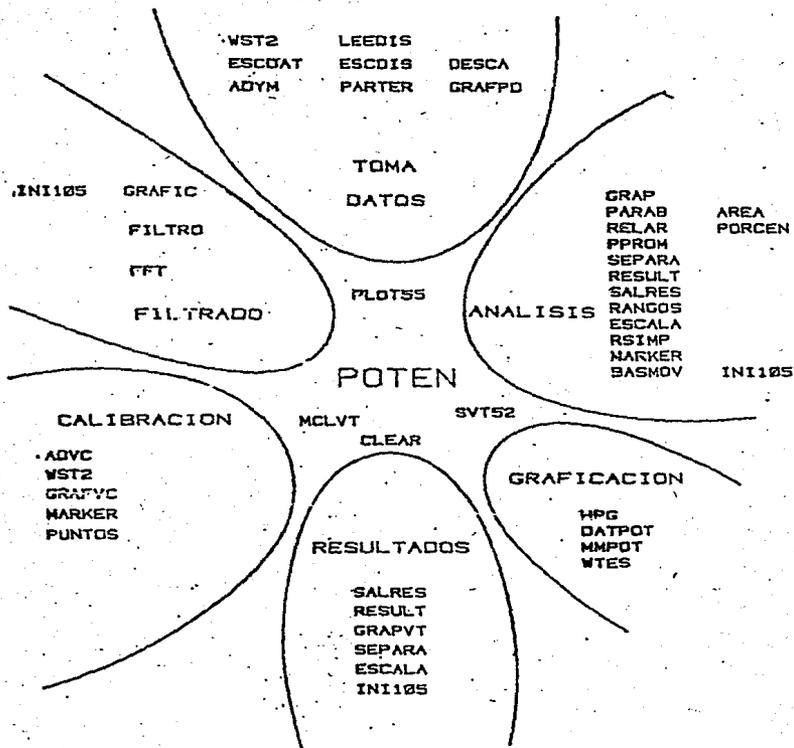


FIG. 4.1 DISTRIBUCION DE LAS RUTINAS QUE CONSTITUYEN POTEN.

## 6) Grafica Promedios en el HP7220A.

### 4.2 DESCRIPCION FUNCIONAL.

En este punto es necesario situar, dentro del desarrollo de un experimento, la parte donde intervienen las rutinas de POTEN. En la fig. 4.2 se presenta una posible secuencia de pasos para el análisis de los potenciales; por un lado está lo relacionado al desarrollo de un experimento que registra potenciales provocados en ratas, y por el otro, lo referente al procesamiento mediante la computadora. En la primera parte se presenta al animal con los electrodos que permiten registrar los potenciales, los cuales son monitoreados en un osciloscopio y grabados en cinta magnética. En la siguiente etapa, el conjunto de señales grabadas se digitalizan mediante el convertidor analógico/digital, y simultáneamente se calcula su promedio y desviación estandar, información que es almacenada en disco y graficada en la terminal de video. Posteriormente, el promedio es filtrado y analizado, y finalmente se obtiene su representación en el graficador de panel. Las rutinas para el procesamiento de los potenciales se describen a continuación.

#### 4.2.1 Toma Datos.

Obtiene el promedio y la desviación estandar de una serie de potenciales provocados que se digitalizan en 1 a 4 canales del

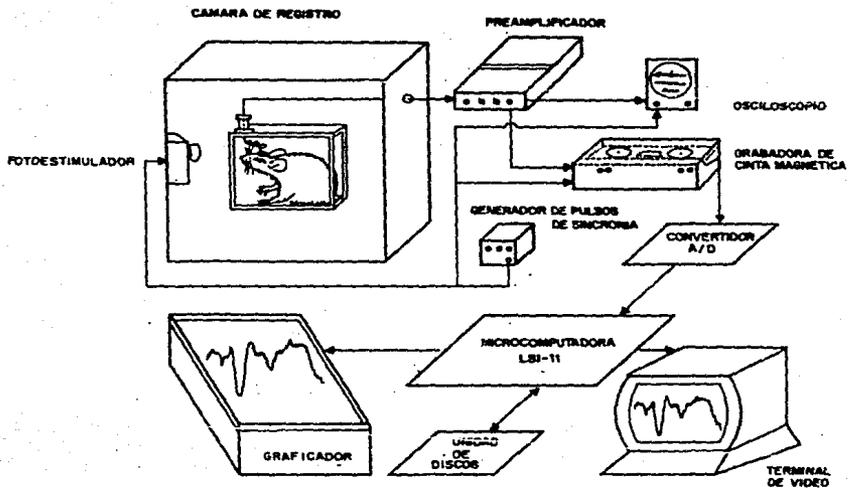


FIG. 4.2 LAS DIFERENTES ETAPAS PARA EL ANALISIS DE LOS POTENCIALES

convertidor analógico-digital.

La toma de datos se realiza por "barridos", donde un "barrido" representa la señal recibida durante un intervalo cuya duración esta determinada por los parámetros de muestreo elegidos por el investigador. El inicio de cada "barrido" se indica mediante un pulso que se introduce por el disparador ST2 del reloj de tiempo real. Los parámetros de muestreo son los siguientes:

- a) Número de "barridos" por promedio (máximo 100).
- b) Número de canales consecutivos (máximo 4).
- c) Canal de inicio (0 - 15).
- d) Velocidad en puntos por segundo (máximo 512).
- e) Duración del "barrido" en segundos.
- f) Número total de promedios (máximo 25).

Esta información forma parte de un archivo de parámetros asociado a la toma de datos, al análisis y a la presentación gráfica.

El promedio se obtiene en el momento de captar los datos y se almacena, junto con la desviación estandar, en un archivo cuyo nombre se proporciona interactivamente. (fig. 4.3)

#### 4.2.2 Filtra Promedios.

Filtra los promedios almacenados en la toma de datos usando

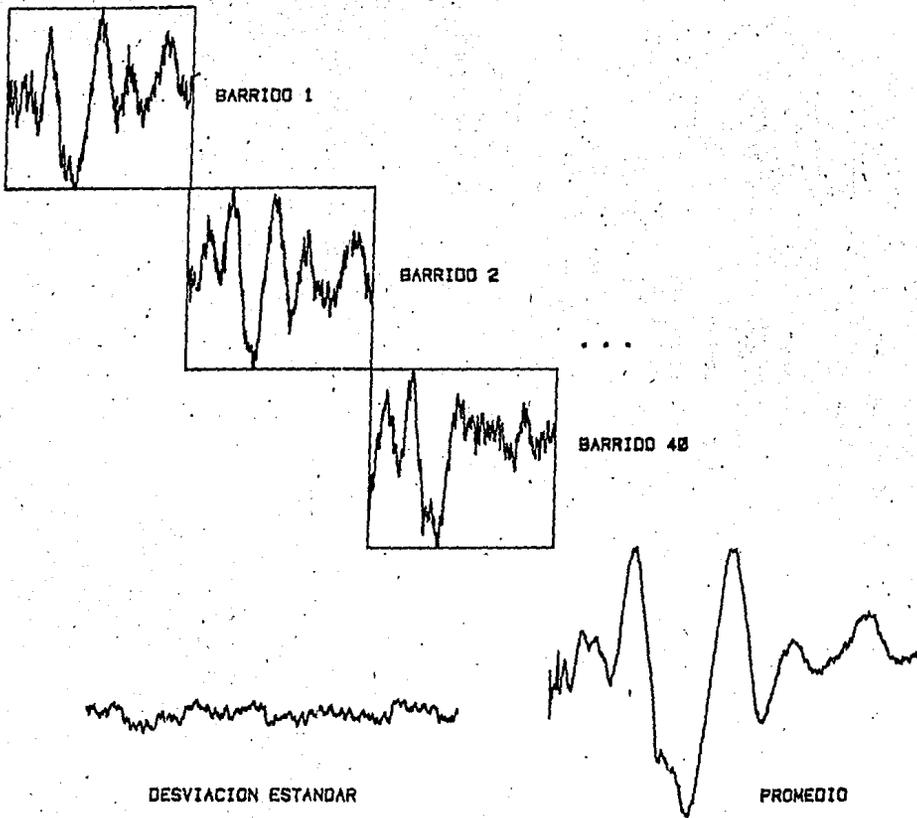


FIG. 4.3 TOMA DATOS.

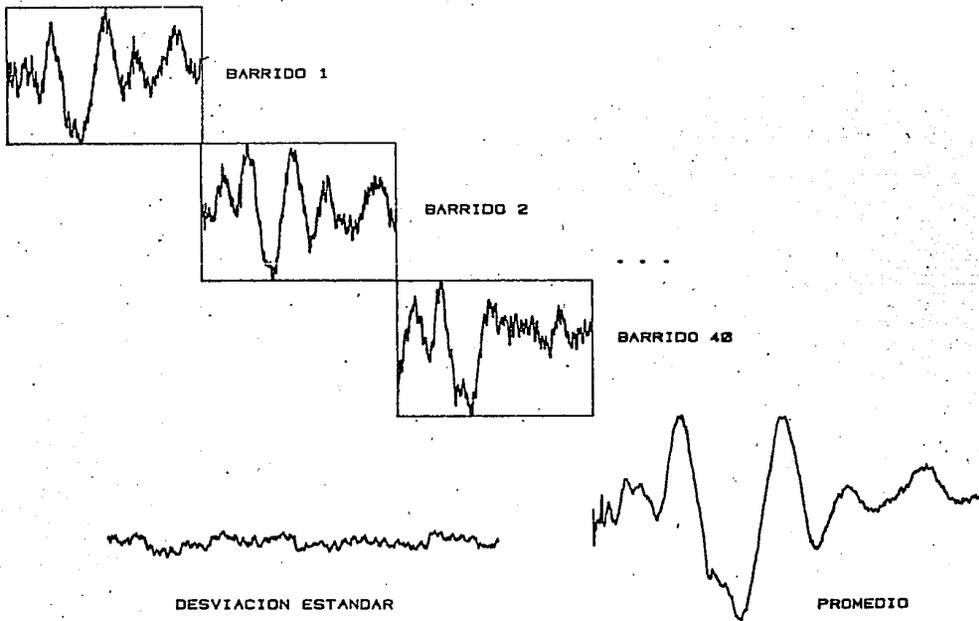


FIG. 4.3 TOMA DATOS.

una tabla de frecuencias proporcionadas por el usuario. El promedio, generalmente, viene acompañado de ondas de alta o baja frecuencia que, en la mayoría de los casos, es deseable eliminar. El filtrado elimina aquellas frecuencias que pueden oscurecer los resultados del análisis.

El filtrado se realiza, calculando y deselejando el espectro de frecuencia de la señal, para que el usuario seleccione las bandas o ransos de frecuencia (tabla de frecuencias) que se conservan despues del filtrado. Tomando el espectro de frecuencia, y usando las bandas que no se eliminaron, se reconstruye el promedio, que se muestra junto con la señal original para comparaciones visuales. Este proceso puede repetirse tantas veces como sea necesario. Por último, los datos filtrados son almacenados en un archivo. (fig. 4.4)

#### 4.2.3 Recibe Voltaje De Calibración.

Mide la amplitud de un pulso de calibración por cada canal analógico-digital y calcula los factores de multiplicación necesarios para escalar todos los valores.

La señal de calibración se puede recibir mediante el convertidor analógico-digital o a través de un archivo de datos. Esta señal se grafica en la pantalla para seleccionar los ransos de interés, de los cuales se obtiene el promedio de sus niveles de voltaje. Este último valor se pone en relación con la

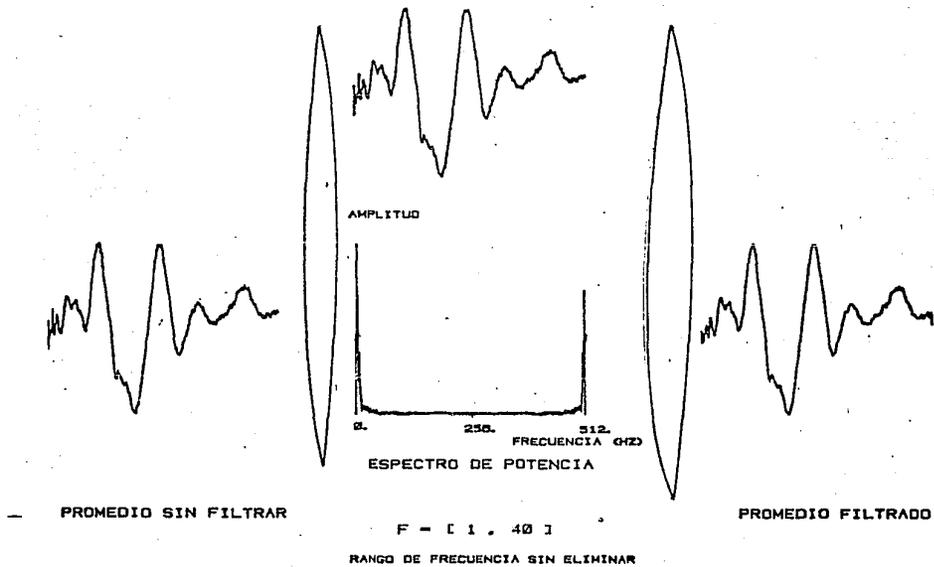


FIG. 4.4 FILTRADO.

equivalencia en unidades de voltaje (microvolts), y se calcula el factor de escala correspondiente. Los pulsos de calibración son almacenados en un archivo, y los factores de multiplicación en el archivo de Parámetros. (fig. 4.5)

#### 4.2.4 Analiza Formas.

Localiza crestas y valles ("picos") en cada uno de los promedios filtrados, para medir su latencia y amplitud, y además, calcula el área bajo la curva.

Para medir la amplitud del "pico" y calcular el área bajo la curva, se necesita obtener una línea base que sirva de referencia. Esta se calcula siguiendo cualquiera de los dos criterios:

i) Posición inicial calculada y altura variable. Se promedian todos los puntos que constituyen la señal, y este valor, determina la altura de la línea base. Su altura no es fija, el usuario puede moverla en forma arbitraria.

ii) Selección de rango. Sólo se promedian los puntos localizados en el intervalo de la señal, seleccionado por el usuario. El promedio constituye la altura definitiva de la línea base.

Para realizar el análisis de todos los promedios filtrados en forma interactiva, se calcula el promedio de todos los promedios almacenados, el cual se grafica en la pantalla de video. Y es a

4-10

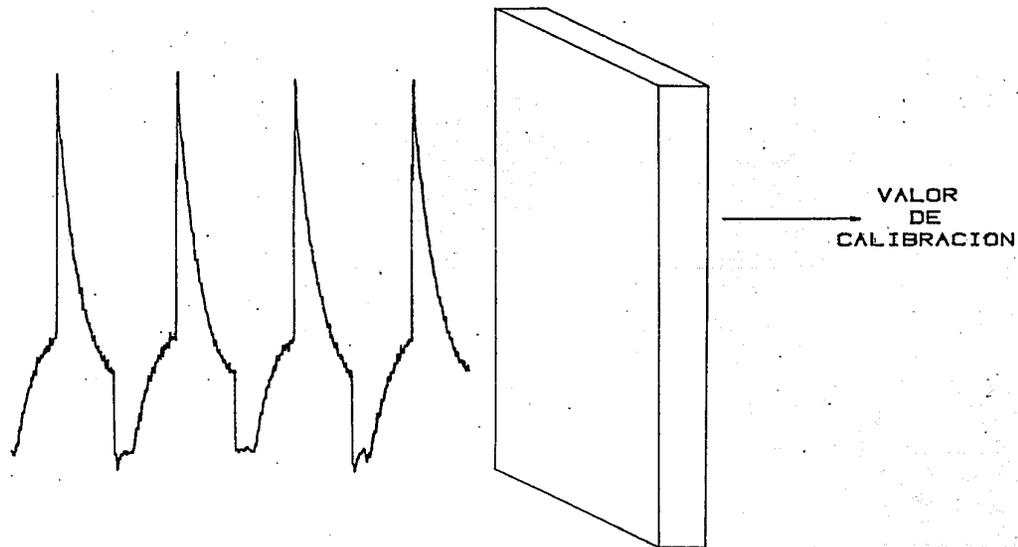


FIG. 4.5 RECIBE VOLTAJE DE CALIBRACION.

Partir de éste, que se selecciona el rango para el cálculo de la línea base y los rangos de interés para el análisis de la señal (buscar "picos", medir su latencia y amplitud, y calcular el área bajo la curva). Los resultados del análisis son almacenados en un archivo para su posterior presentación. (fig. 4.6)

#### 4.2.5 Presenta Resultados Y Promedios.

Muestra los resultados del análisis en la terminal o en el impresor, y grafica cada uno de los promedios filtrados en la terminal, para seleccionar aquellos que se quieren tener en papel. (fig. 4.7)

#### 4.2.6 Grafica Promedios En El HP7220A.

Los promedios seleccionados son trazados en el graficador de papel HP7220A. Cada promedio aparece con sus escalas en unidas de tiempo y de voltaje para facilitar la comparación entre ellos. (fig 4.8)

4-12

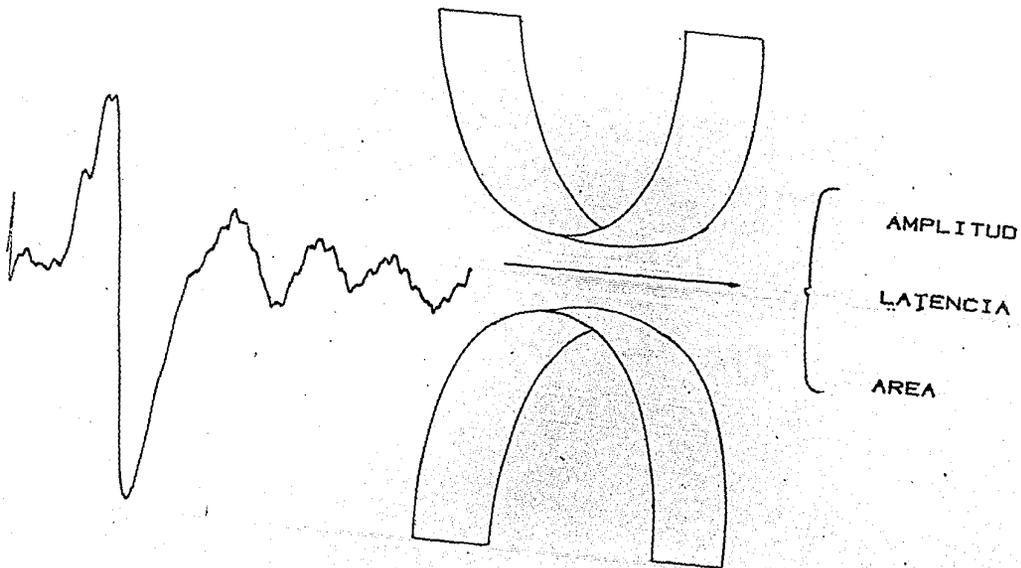
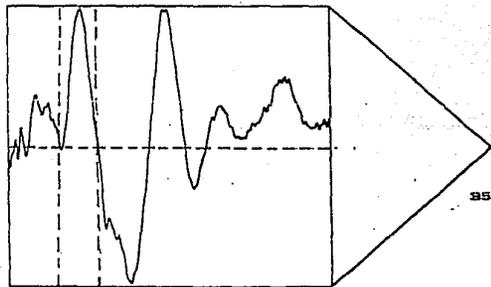


FIG. 4.6 ANALIZA FORMAS.

VOLTAJE (MICROVOLTS)

4-13



0.

200.

TIEMPO (MSEG.)

RANGO (MSEG)	AREA (MSEG*MICV)	LATENCIA (MSEG)	AMPLITUD (MICV)	AREA/PICO (MSEG*MICV)
35.55-54.30	331730.	45.31 45.70	91802.4 91320.1	331730. 198979.

FIG. 4.7 RESULTADOS.

4-14

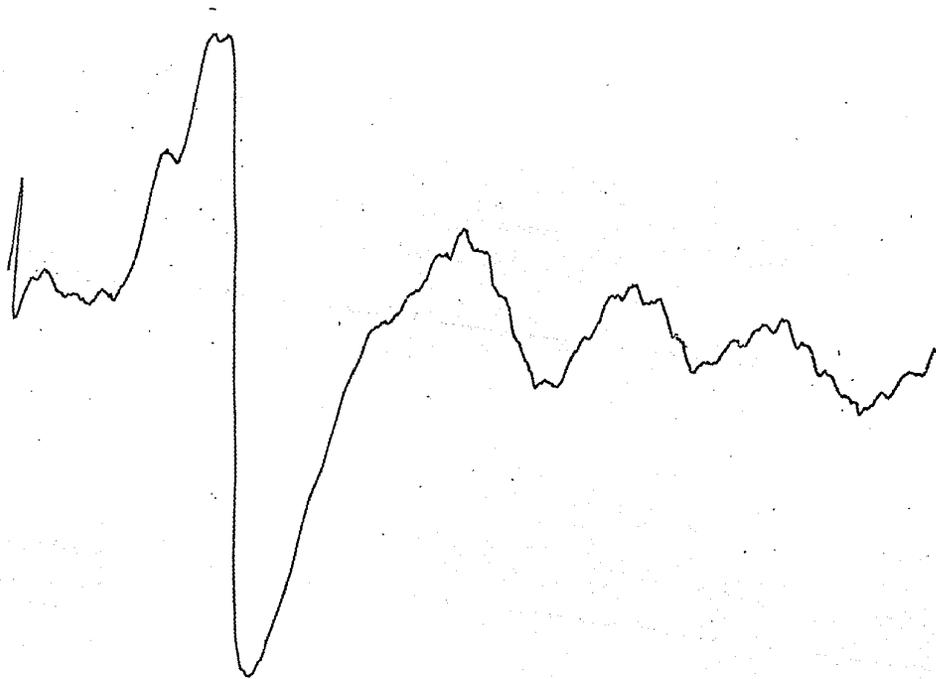


FIG. 4.8 GRAFICA DEL PROMEDIO EN EL HP7220A.

## APENDICE A

La transformada de Fourier es fundamental para el análisis de señales, por lo tanto, se presenta una breve descripción del desarrollo de la misma. Se inicia con las series de Fourier, el paso a la transformada continua, su extensión a la forma discreta y por último, algunas de las propiedades fundamentales.

### A.1 SERIES DE FOURIER.

Sea  $s(t)$  una señal periódica de periodo  $T$ , entonces para cualquier valor de  $t$ :

$$s(t) = s(t \pm kT) \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

La señal periódica puede expresarse, mediante las series de Fourier, de la siguiente forma:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos 2\pi f_k t + b_k \text{sen } 2\pi f_k t) \quad (A.1)$$

donde  $f_k = k f_1 = k/T$   $k = 1, 2, 3, \dots$

$f_1 = 1/T = \text{frecuencia fundamental}$

Así,  $s(t)$  se expresa como la suma infinita de senos y cosenos o componentes espectrales de amplitud finita, y separados por intervalos de frecuencia  $\Delta f = f_1$ . Los coeficientes  $\{a_k\}$  y  $\{b_k\}$  se obtienen integrando sobre todo el periodo  $T$ , disimos de  $(-T/2)$  a  $(T/2)$  o de cero a  $T$ , es decir:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos 2\pi f_k t \cdot dt \quad k=0,1,2,\dots$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \sin 2\pi f_k t \cdot dt \quad k=1,2,\dots$$

Al graficar frecuencia ( $f_k$ ) contra amplitud, donde la amplitud es igual a  $\sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ , se obtiene el espectro de amplitud de  $s(t)$ .

La expresión (A1.1) puede obtenerse en su forma polar, usando los factores de amplitud  $\{s_k\}$  y fase  $\{\theta_k\}$  de las frecuencias discretas  $f$ :

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} S_k \cos(2\pi f_k t - \theta_k) \quad (A1.2)$$

donde

$$S_0 = \frac{a_0}{2}$$

$$S_k = \frac{1}{2} \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

$$\theta_k = \text{Tan}^{-1}(b_k/a_k)$$

Esta expresión, también, puede presentarse en el plano complejo, es decir:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{i2\pi f_k t} \quad (A1.3)$$

donde  $A_k$  es un número complejo:

$$A_k = \frac{1}{2}(a_k - ib_k) = |A_k| e^{-i\theta_k} = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) e^{-i2\pi f_k t} dt$$

$$|A_k| = \frac{1}{2} \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad k = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$$

$$\theta_k = \text{Tan}^{-1}(b_k/a_k)$$

Si  $s(t)$  es real se obtiene lo siguiente:

$$|A_{-k}| = |A_k| \quad \theta_{-k} = -\theta_k$$

$$A_{-k} = |A_{-k}| e^{-i\theta_{-k}} = |A_k| e^{i\theta_k} = A_k^*$$

donde  $A_k^*$  es el conjugado complejo de  $A_k$ .

## A.2 TRANSFORMADA DE FOURIER.

El siguiente paso consiste en extender la representación (A1.3) a las señales no-periódicas. Se hace tender al infinito el periodo fundamental  $T$  y de esta forma, se considera una señal no-periódica como periódica. Esto origina que la serie de Fourier, en el límite, se convierta en la integral de Fourier.

La distancia entre armónicos sucesivos es igual a:

$$\Delta f = f_{k+1} - f_k = 1/T$$

La ecuación (A1.3) puede escribirse como

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{i2\pi f_k t} \Delta f \quad (A1.4)$$

Ahora, se considera el límite cuando  $T \rightarrow \infty$ , entonces  $\Delta f \rightarrow 0$  y se obtiene un espectro de frecuencias continuo. La suma infinita (A1.4) se convierte en la integral de Riemann.  $A_k$  está definida para todas las frecuencias, no únicamente para los múltiplos enteros de  $1/T$ . En el límite, cuando  $T \rightarrow \infty$ , tenemos que  $f_k \rightarrow f$ , y  $A_k$  se convierte en una función continua  $S(f)$ :

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} A_k$$

Por lo tanto, la integral de Fourier de una señal no-periódica es igual a:

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{i2\pi ft} df \quad (A1.5)$$

$$\text{con } S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (A1.6)$$

donde  $S(f)$  existe si  $\int_{-\infty}^{\infty} |s(t)| < \infty$

La integral (A1.6) es la transformada de Fourier y (A1.5) la transformada inversa; ambas representan el par de transformadas de Fourier.

Por lo general,  $S(f)$  es una frecuencia compleja de frecuencias positivas y negativas; su representación, en términos de la parte real e imaginaria, es igual a:

$$S(f) = S_R(f) - i S_I(f)$$

donde

$$S_R(f) = |s(f)| \cos \theta(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cos 2\pi f t \, dt$$

$$S_I(f) = |S(f)| \sin \theta(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \sin 2\pi f t \, dt$$

En base a la notación Polar compleja, la expresión se convierte en:

$$S(f) = |S(f)| e^{-i\theta(f)}$$

donde

$$\begin{aligned} S(f) &= \text{Magnitud del espectro.} \\ \theta(f) &= \text{Fase del espectro.} \end{aligned}$$

### A.3 TRANSFORMADA DE FOURIER FINITA.

La señal  $s(t)$ , debido a restricciones físicas de los instrumentos de medición y almacenamiento, sólo puede medirse sobre un intervalo de tiempo finito  $T$ , por lo que,  $S(f)$  es estimada mediante la transformada de Fourier finita.

$$S_T(f) = \int_0^T s(t) e^{-i2\pi f t} \, dt \quad (A1.7)$$

Las expresiones (A1.3) y (A1.7) demuestran que para las frecuencias discretas  $f_k = k/T$ , la transformada de Fourier finita produce:

$$S_T(f) = T A_k \quad k = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$$

Entonces, si  $f$  es restringida a tomar unicamente valores en las frecuencias discretas, la transformada de Fourier finita produce una serie de Fourier de período  $T$ . En el procesamiento digital de una señal, esto es precisamente lo que sucede.

Cuando  $s(t)$  es muestreada en puntos cuya separación es  $\Delta t$ , la longitud de la señal registrada es  $T = N\Delta t$ , donde  $N$  es el tamaño de muestra. Se supone que la señal  $s(t)$  es periódica de período  $T$  y que la velocidad de muestreo debe ser al menos dos veces el mayor componente de frecuencia contenido en  $s(t)$ , es decir,  $f = (1/2\Delta t)$ .

La frecuencia fundamental es  $f_1 = 1/T$  y los resultados se obtienen en las frecuencias discretas, cuya separación es  $\Delta f = f_1$ . La señal continua  $s(t)$  es sustituida por su representación discreta  $\{s_n\} = \{s(n\Delta t)\}$ , para  $n=1, 2, \dots, N$ , y la transformada de Fourier continua  $S(f)$  es reemplazada por su representación discreta  $\{S_k\} = \{S(k\Delta f)\}$ , para  $k=1, 2, \dots, N$ . El par de transformadas de Fourier se convierte en:

$$S_k = S(k\Delta f) = \Delta t \sum_{n=1}^N s_n \exp(-i 2\pi k n / N) \quad k = 1, 2, \dots, N$$

$$s_n = s(n\Delta t) = \Delta f \sum_{k=1}^N S_k \exp(i 2\pi k n / N) \quad n = 1, 2, \dots, N$$

En el caso de que  $\{s_n\}$  sea real, se obtiene lo siguiente:

Sea  $S_k^*$  el conjugado complejo de  $S_k$ , entonces

$$\begin{array}{ll} S_{-k} = S_k^* & \text{para toda } k \\ S_{N-k} = S_k^* & k = 1, 2, 3, \dots, (N/2) \\ S_{(N/2)+k} = S_k^* & k = 1, 2, 3, \dots, (N/2) \end{array}$$

$$\begin{aligned} S_{k+N} &= S_k \\ S_{n+N} &= S_n \end{aligned}$$

Para toda k  
Para toda n

De esta manera,  $s_n$  es una función que se repite según (n módulo N), y  $S_k$ , también es una función que se repite (k módulo N).

#### A.4 ALGUNAS PROPIEDADES DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER.

Sea  $x(t) \Leftrightarrow X(f)$  el par de transformadas de Fourier.

##### A.4.1 Linealidad.

Si la transformada de Fourier de  $x(t)$  y  $y(t)$  son  $X(f)$  y  $Y(f)$ , respectivamente, entonces:

$$x(t) + y(t) \Leftrightarrow X(f) + Y(f)$$

##### A.4.2 Simetría.

Si  $x(t) \Leftrightarrow X(f)$ , entonces

$$X(t) \Leftrightarrow x(-f)$$

##### A.4.3 Escalamiento En El Tiempo.

Si  $x(t) \Leftrightarrow X(f)$ , entonces

$$x(kt) \Leftrightarrow 1/|k| X(f/k) \quad , k \text{ real}$$

#### A.4.4 Escalamiento En Frecuencia.

Si  $X(f) \Leftrightarrow x(t)$ , entonces  
 $X(kf) \Leftrightarrow 1/|k| x(t/k)$  , k real

#### A.4.5 Corrimiento En El Tiempo.

Si  $x(t) \Leftrightarrow X(f)$ , entonces  
 $x(t-t_0) \Leftrightarrow e^{-i2\pi f t_0} X(f)$

#### A.4.6 Corrimiento En Frecuencia.

Si  $X(f) \Leftrightarrow x(t)$ , entonces  
 $X(f-f_0) \Leftrightarrow e^{i2\pi f_0 t} x(t)$

#### A.4.7 Teorema De Convolución.

La integral de convolución está dada por:

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\lambda) y(t-\lambda) d\lambda = x(t) * y(t)$$

El teorema de convolución dice: si la transformada de Fourier de  $x(t)$  es  $X(f)$  y la de  $y(t)$  es  $Y(f)$ , entonces

(i)  $x(t)*y(t) \Leftrightarrow X(f)Y(f)$

(ii)  $x(t)y(t) \Leftrightarrow X(f)*Y(f)$

#### A.4.8 Teorema De Correlación.

La integral de correlación es:

$$z(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\lambda) y(t+\lambda) d\lambda$$

Si la transformada de Fourier de  $x(t)$  es  $X(f)$  y la de  $y(t)$  es  $Y(f)$ , entonces:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(\lambda) y(t+\lambda) d\lambda \iff X(f) Y^*(f)$$

donde  $Y^*(f)$  es el conjugado de  $Y(f)$ .

## CONCLUSIONES

Este trabajo es la implementación, en una computadora, de una metodología para el análisis descriptivo de un conjunto de señales biológicas, cuyo desarrollo, por sus características intrínsecas, ha sido formativo en áreas de mucho interés: fisiología del sistema nervioso, computación y matemáticas; las cuales fuertemente vinculadas con otras áreas del saber, requieren de un estudio más profundo, a fin de sugerir un camino distinto al que se ha venido recorriendo.

El análisis de potenciales provocados, mediante la metodología aquí presentada, es solo un primer paso, si se quiere un poco rudimentario, para tratar de entender muchos de los procesos complejos que ocurren dentro del cerebro. Algunos autores han propuesto la aplicación de otras metodologías, tales como el análisis de componentes principales, el análisis factorial, el análisis de discriminantes, métodos analíticos y la aproximación mediante el análisis de sistemas; sin embargo, todas oscilan sobre lo mismo: el concepto de caja negra, es decir, se estudia las entradas y las salidas, y a partir de los resultados, se pretende deducir la estructura y funcionamiento de la caja. Tal enfoque no es necesariamente malo; durante muchos años la genética fue como una caja negra, hasta que, gracias a los

experimentos iniciados por Mendel, se logro deducir la estructura y funcionamiento del material genético a base de cruzamientos controlados. En realidad mucha de la biología esta hecha por el método de la caja negra y esto ocurre a todos los niveles. La caja negra de un hombre es el problema de otro.

Por lo anterior, creo que todo lo logrado es de mucha importancia, pero es necesario proponer planteamientos completamente distintos que nos permitan desechar el concepto de caja negra. Una buena forma de lograrlo es teniendo una mayor vinculación con las demás áreas, a fin de profundizar, y a la vez, tener una visión general del problema. El análisis de las funciones neuronales es realmente fascinante y representa todo un reto para la humanidad, que la mente humana conozca el funcionamiento de si misma, es el sueño acariciado por muchos.

Erol Basar [1976] propone el concepto de "caja gris" donde además de considerar el análisis de las entradas y las salidas de un sistema biológico, se involucre su estructura biológica y las investigaciones fisiológicas y anatómicas que se hayan al respecto, con el fin de proponer nuevos puntos de vista o hipótesis de trabajo relativas a la naturaleza física y biológica del fenómeno estudiado. Pero, también se requiere llenar el vacío existente entre las ciencias físicas y biológicas mediante el establecimiento de un lenguaje común que permita relacionar ambas ciencias para un mayor desarrollo. Todo esto conlleva, como menciona el autor, al desarrollo de una nueva fisiología.

## BIBLIOGRAFIA

1. Basar, Erol: Biophysical and Physiological Systems Analysis. Addison-Wesley Publishing Company, 1976.
2. Basar, Erol: EEG-Brain dynamics. Elsevier/North-Holland, Biomedical Press, 1980.
3. Bendat, S.J. and Piersol, G.A.: Measurement and Analysis of Random Data. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA, 1976.
4. Bloomfield, P.: Fourier Analysis of Time Series, An Introduction. John Wiley and Sons, 1976.
5. Brisham, E.O.: The Fast Fourier Transform. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., USA, 1974.
6. Bullock, T.H.: Introduction to nervous systems. W.H. Freeman and Company, San Francisco, USA, 1977.
7. Carnahan, B., Luther, H.A. and Wilkes, J.O.: Applied Numerical Methods. John Wiley and Sons, 1969.
8. Chang, Hsians-Tung: The evoked potentials. Handbook of Physiology: Neurophysiology, I:299-313. American Physiology Society, Washington, D.C., 1959.

9. Conte, S.D. y Boor, Carl de: Análisis Numérico Elemental, un enfoque algorítmico. Mc Graw-Hill, 1974.
10. DEC: Microcomputers and memories handbook. Digital Equipment Corporation, USA, 1981.
11. DEC: Microcomputer interfaces Handbook. Digital Equipment Corporation, USA, 1981.
12. DEC: Introduction to RT-11. Digital Equipment Corporation, USA, 1980.
13. Eckhouse, R.H. and Morris, R.L.: Minicomputer Systems, organization, programming and applications (PDF-11). Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., USA, 1979.
14. Guyton, A.C.: Anatomía y Fisiología del Sistema Nervioso. Editorial Interamericana, Mexico. 1978.
15. Hammins, R.W.: Introduction to applied numerical analysis. Mc. Graw-Hill, USA, 1971.
16. Houssay, B.: Fisiología Humana. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, Argentina, 1969.
17. MacEwen, G.H.: Introduction to Computer Systems using the PDP-11 and PASCAL. Mc Graw-Hill, 1981.
18. McCalla, T.R.: Introduction to Numerical Methods and FORTRAN Programming. John Wiley and Sons, Inc., USA, 1967.

19. Resan, D.: Electrical Responses Evoked from the Human Brain. Scientific American, 6:108-117. New York, N.Y., 1979.
20. Remond, A., et al: Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Antoine Remond editor. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1972.
21. Sinsh, J.: Teoría de la información, del lenguaje y de la cibernética. Alianza Editorial, 1966.
22. Smith, C.U.M.: El Cerebro. Alianza Editorial, España, 1978.
23. Soucek, B.: Microprocessors and Microcomputers. John Wiley and Sons, Inc. USA, 1976.
24. Wolf, K.B.: Integral Transforms in science and engineering. Plenum Press, New York, USA. 1979.