

41132  
6



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
DE NEUROESTIMULACIÓN ELÉCTRICA PARA  
ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN EPILEPSIA”.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :**

**INGENIERO EN COMPUTACIÓN**

**P R E S E N T A N :**

**ARCELIA BERNAL DÍAZ**

**ARACELI MARTÍNEZ TENORIO**

**ASESOR DE TESIS UNAM:  
BIOL. ADRIÁN MARTÍNEZ CERVANTES**

**ASESOR DE TESIS DEL INP.  
M. EN C. SALVADOR ALMAZÁN ALVARADO**

**MÉXICO**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**2003**

1



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**AGRADECIMIENTOS:****A Dios:**

Por estar siempre conmigo.

**A mis padres:**

Por ser mi punto de apoyo.

**A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la ENEP Aragón:**

Por enseñarme que el conocimiento es parte esencial en la vida.

**Al Instituto Nacional de Psiquiatría:**

Por abrirme las puertas al conocimiento para buscar el bienestar social.

**Al M. en C. Salvador Almazán Alvarado y Rodrigo Fernández Mas:**

Por mostrarme todo un mundo de conocimientos. Gracias por ser un excelente equipo.

**A mi asesor Biol. Adrián Martínez Cervantes:**

Por apoyarme en todo momento en el proyecto.


**A mis Sinodales:**

M. en C. Marcelo Pérez Medel.

Ing. Juan Gastaldi Pérez.

Ing. Silvia Vega Muytoy.

Ing. Donaciano Jiménez Vázquez.

FIRMA:   
 FECHA: 11 Mayo 2010  
 NOMBRE: Arcelia Bernal Díaz  
 Contenido de este archivo electrónico e impreso el  
 Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el

Arcelia Bernal Díaz.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2

**DEDICATORIAS:**

A mis padres: **Leobardo Bernal Hernández y María de los Ángeles Díaz de Bernal**. Por enseñarme a caminar firme desde pequeña mirando siempre de frente, para no declinar en la vida, además de enseñarme lo maravilloso de ser mujer.

Gracias por darme la vida.

A mis hermanos: **Maritza Bernal Díaz y Joaquín Leobardo Bernal Díaz**. Por brindarme su amistad, compañía y saber que los tres somos un excelente equipo.

A mis abuelos (Q.E.P.D) que siempre estarán en mi corazón, en especial a **Joaquín Gutiérrez Saltillo** en quien pienso todos los días y quien me enseñó lo que significa ser un verdadero ser humano.

A **José Arturo Hernández Sánchez**. Por ver las estrellas a mi lado y dar un matiz especial a mi corazón y alma. Gracias por compartir esta vida tan maravillosa.

A **Melesio Contreras Márquez y Angélica Georgina Zuñiga Souverbielle**. Por darme el significado de la verdadera amistad.

Al **M. en C. Martín Flores Juárez, Lic. Esperanza Sánchez Martínez y Alan Enrique Flores Sánchez**. Por mostrarme el camino del trabajo y satisfacción del mismo.

Al **Dr. Daniel Aldama Ávalos y Georgina Ávila de Aldama**. Por enseñarme que la vida es un sin fin de lecciones.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

3

**A Ing. Mónica Gutiérrez Alcántara, Ing. Iván Muñoz Solís, Ing. Javier Alain Morones Camacho, Ing. José Manuel Ramírez Mora, Ing. Fermín Maya Romero e Ing. Fernando Castro Pérez por creer en mi.**

**A Andrés, Edith, Miguel, Germán, Adriana, Mario, Bernardo y Alejandro por mostrarme que en esta tierra existe gente de buen corazón que se entregan con gran amor a su trabajo. Gracias por hacer agradable mi estancia en el Instituto Nacional de Psiquiatría.**

**A Lluvia Angélica, Adriana, Flor, Rodrigo, Ernesto y Gerardo por tener un corazón inquieto igual que el mío.**

**A mi compañera de tesis Araceli Martínez Tenorio, por compartir grandes experiencias. Gracias amiga.**

**Arcelia Bernal Díaz.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

***Agradecimientos:***

*A la ENEP Aragón, UNAM y al Instituto Nacional de Psiquiatría. Por brindarme la oportunidad de lograr un objetivo más en mi vida.*

*A Salvador Almazán Alvarado y Rodrigo Fernández Mas. Por sus enseñanzas y valiosos consejos durante el desarrollo de este trabajo. Fue una grata experiencia trabajar con ustedes.*

*A nuestro asesor Adrián Martínez Cervantes. Por los consejos y el tiempo dedicado para la culminación de este trabajo.*

*A mi compañera de tesis Arcelia Bernal Díaz. Por todas las cosas que hemos vivido.*

*A todas aquellas personas que de alguna manera nos ayudaron con sus comentarios y sus sugerencias durante nuestra estancia en el Instituto Nacional de Psiquiatría.*

***Arcelí Martínez Tenorio.***

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

5

**Dedicatorias:**

*A mis padres:  
Josefina Tenorio Buendía y Andrés Martínez Buendía. Que con paciencia, cariño y dedicación  
hicieron de mí una persona capaz de alcanzar sus metas. Gracias por no dejar de creer.*

*A mis hermanos:  
Jesús, Guillermina, Moisés, Ismael y Alejandra. Porque en cada uno he descubierto un amigo en el  
que puedo confiar mis sueños, anhelos e inquietudes. Mi más sincera admiración para ustedes.*

*A Jonathan Martínez Romero. Por la tranquilidad y firmeza que su cariño ha traído a mi vida  
(y quiero mucho travesura).*

*A mis amigos:  
Mónica Camacho Coronado, Areli Hernández Ayala y Marco Antonio Santisteban.  
Por mostrarme su afecto, apoyo y comprensión para continuar siempre hacia adelante.*

*Y a todas aquellas personas que a lo largo de mi vida han dejado hermosos recuerdos en mi  
mente.*

*Areli Martínez Tenorio.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

5

## ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN

I

## CAPÍTULO 1. ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA COMO MÉTODO ALTERNATIVO EN TERAPIAS MÉDICAS.

1:1 Definición del sistema nervioso.....	1
1.1.1 Características del potencial de reposo.....	7
1.1.2 Características del potencial de acción.....	8
1.1.3 Sinapsis.....	10
1.2 La Epilepsia.....	11
1.2.1 Modelos experimentales de epilepsia.....	12
1.2.2 Técnicas de detección de la epilepsia.....	13
1.2.3 Tratamientos para el control de crisis epilépticas.....	15
1.3 Estimulación eléctrica (para reducción de crisis epilépticas).....	16
1.4 Aplicaciones de la estimulación eléctrica en la medicina.....	20
1.5 Tipos de estimulación eléctrica (voltaje y corriente).....	21

## CAPÍTULO 2. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE NEUROESTIMULACIÓN.

2.1 Microcontroladores.....	23
2.1.1 Ventajas.....	24
2.1.2 Fabricantes.....	26
2.2 Estimulador implantable.....	28
2.3 Sistema de neuroestimulación eléctrica.....	30
2.4 Módulos del sistema de neuroestimulación eléctrica.....	31
2.4.1 Circuito de estimulación (CE).....	31
2.4.2 Circuito Estación base (EB).....	32
2.4.3 PC.....	33

## CAPÍTULO 3. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SERIE VÍA RADIOFRECUENCIA, PARA EL SISTEMA DE NEUROESTIMULACIÓN ELÉCTRICA.

3.1 Comunicación por vía radiofrecuencia (RF).....	36
3.2 Protocolo de comunicación.....	40
3.2.1 Aspectos de transmisión de información.....	40
3.2.2 Tipos de comunicaciones.....	41
3.3 Característica del protocolo de comunicación para el sistema de neuroestimulación eléctrica.....	42
3.3.1 Pruebas de transmisión del sistema de neuroestimulación.....	43

## CAPÍTULO 4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE ESTIMULACIÓN.

4.1 Componentes del circuito estimulador (CE).....	45
4.1.1 Microcontrolador PIC16C84.....	45
4.1.2 El reloj de oscilación.....	48
4.2 Diagrama eléctrico del circuito estimulador.....	49
4.3 Programación del circuito de estimulación.....	51
4.4 Implantación del circuito en el animal de laboratorio.....	59
4.4.1 Implantación en el nervio vago (NV).....	59

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

7



<b>CAPÍTULO 5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO ESTACIÓN BASE.</b>	
5.1 Componentes del circuito eléctrico (EB).....	64
5.1.1 Microcontrolador PIC17C42.....	65
5.1.2 El reloj de oscilación.....	67
5.1.3 Puerto RS-232.....	68
5.2 Diagrama eléctrico del circuito.....	73
5.3 Programación del microcontrolador PIC17C42.....	74
<b>CAPÍTULO 6. SOFTWARE PARA LA NEUROESTIMULACIÓN ELÉCTRICA.</b>	
6.1 Diseño de la interfaz de usuario.....	84
6.1.1 Portabilidad de Java.....	85
6.1.2 Seguridad de Java.....	85
6.2 Requerimiento mínimo para la interfaz de usuario.....	88
6.3 Diagrama de flujo.....	89
6.4 Interfaz de usuario.....	90
6.5 Programa fuente de la interfaz de usuario.....	91
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>104</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

80

---

## INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano esta controlado por células nerviosas que poseen ciertas características de excitabilidad y conductividad. Debido a la interacción de la forma química<sup>1</sup> entre cada una de estas células se generan fenómenos iónicos y eléctricos capaces de inducir potencial de acción que se conduce a uno o varios tejidos excitándolos y provocando un cambio de estado, por la aplicación de un estímulo de naturaleza eléctrica.

El área de la medicina se ha enriquecido de manera significativa por las aportaciones de las ciencias de la computación en el diagnóstico y la terapia de alteraciones del organismo, a través de la aplicación de sistemas de control para pacientes y dispositivos de ayuda en los diagnósticos. El método de la estimulación eléctrica por medio de dispositivos electrónicos ha proporcionado varias aplicaciones, usándose en el diagnóstico, terapia y prótesis; ejemplo de estas aplicaciones son: aliviar el dolor, como auxiliar en la inhibición o el vaciamiento de la vejiga, detener el avance de la escoliosis, mejorar la circulación mejorar la circulación sanguínea en ciertas partes del cuerpo, promover el crecimiento de huesos en fracturas, excitar neuronas espinales, control respiratorio y reducir las crisis epilépticas entre otras.

Tradicionalmente se ha utilizado la estimulación eléctrica en algunas partes del sistema nervioso, para modificar la dinámica de circuitos neuronales específicos, y así estudiar las respuestas o los cambios funcionales de los mismos. Estos modelos han permitido entender y estudiar diversas vías de propagación de señales y ha sido fundamental para el estudio de la conectividad de centros neuronales en el sistema nervioso central (SNC). La estimulación eléctrica, permite además, inyectar una señal conocida a un circuito neuronal, y analizar una respuesta a la misma. Es posible estudiar las características temporales de una vía de propagación eléctrica en el SNC, cuando se estimula un punto y se hacen registros en diferentes lugares del sistema. Se pueden estudiar las latencias y la modificación de las formas de onda desde el estímulo original, hasta el punto de registro.

Otro campo de aplicación de la estimulación eléctrica, ha sido el de la modificación de la plasticidad cerebral por medio de procedimientos o modelos como el *kindling*. Éste es un modelo experimental de epilepsia que se ha utilizado ampliamente en estudios de diversas funciones del sistema nervioso central y periférico. El *kindling* se logra estimulando con muy

---

<sup>1</sup> Compuestos y estructuras químicas e interacciones de éstos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# **PAGINACION DISCONTINUA**

baja intensidad, algunas zonas del sistema límbico. Estos estímulos son muy cortos en duración y pequeños en amplitud. Al principio del *kindling*, estas estimulaciones no producen cambios en el electroencefalograma basal (EEG) ni en la conducta del animal. A medida que el *kindling* progresa, en cada estimulación, se observan cambios más intensos en el EEG y en la conducta del animal. Se dice que el *kindling* está establecido cuando el animal presenta crisis generalizadas. Puede considerarse entonces, que las estimulaciones repetidas de baja intensidad, generaron un cambio en la plasticidad del cerebro y alteraron los umbrales de la zona de estimulación.

Los equipos de estimulación utilizados en experimentos de neurofisiología, tienen que estar aislados eléctricamente del sujeto experimental (animal o humano). Esto con el fin de proteger al sujeto de un posible choque eléctrico, provocado por alguna falla repentina del equipo. Otra característica de estos equipos es que, no están diseñados para ser transportados, mucho menos por el sujeto estimulado. Estos equipos son voluminosos y en el caso de experimentos con animales, se requiere de un sitio especial para colocar al animal y conectarlo al estimulador; provocando un estrés inherente en la manipulación del sujeto experimental; lo cual generalmente interfiere con las mediciones de la conducta asociada con los estímulos. Es por eso que el uso de circuitos electrónicos, comunicaciones inalámbricas (radiofrecuencia<sup>2</sup>) y protocolos de comunicación<sup>3</sup>, han alcanzado un gran desarrollo en el campo de la medicina; con la aplicación de equipos de gran precisión y automatización.

Por lo tanto una solución a los problemas de transporte del equipo, aislamiento eléctrico y estrés generado en los sujetos experimentales, es utilizar un estimulador del tamaño tal, que puede ser implantado de manera subcutánea en el sujeto en cuestión. Esta es la meta principal del proyecto que se plantea. Un estimulador implantado en cada animal para un protocolo específico, permite que dichos animales sean estimulados de manera automática, sin intervención del investigador, además ahorra tiempo y elimina el estrés en los animales, ya que estos son estimulados en sus jaulas de origen, permitiendo un registro conductual más fino. Respecto al aislamiento eléctrico, es inherente, ya que cada estimulador será implantado con sus propias baterías. Actualmente ya se cuenta con un prototipo en el Instituto Nacional de Psiquiatría, que ya ha sido probado en ratas con relativo éxito, pero necesita ser perfeccionado y reducido de tamaño.

<sup>2</sup> permite el envío de información por medio de ondas electromagnéticas que viajan por el aire.

<sup>3</sup> es el conjunto de reglas por medio de las cuales puede establecer comunicación, y en ausencia de ellas no es posible comunicarse.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El proyecto que aquí se propone es el perfeccionamiento de un estimulador eléctrico aproximadamente de 2x2 cm, con una autonomía de 4 meses para el sistema nervioso central, que pueda ser implantado en el sujeto de experimentación; con la finalidad de sustituir los sistemas de estimulación que actualmente se utilizan en experimentación.

Los beneficios que se obtendrán en un futuro con la aplicación de este proyecto, serían: la sustitución de instrumentación costosa, ahorro de tiempo y eliminación de estrés en los animales; ya que estos serían estimulados en las jaulas de bioterio, donde se mantienen, o incluso en algún sitio abierto. Permitiendo con esto obtener un registro conductual más fino.

Por lo tanto la presente tesis consistirá en el diseño y desarrollo de un sistema de neuroestimulación inalámbrico (vía radiofrecuencia), el cual estará integrado por un circuito estimulador, una estación base y una interfaz de usuario. La organización del presente trabajo es la siguiente:

Se hace una breve descripción y funcionamiento del sistema nervioso, además de las diferentes aplicaciones de estimulación eléctrica y terapias alternativas para el control de epilepsia, se hace en el primer capítulo. Los antecedentes que dieron pie al diseño del sistema de neuroestimulación, una descripción de los microcontroladores que son elementales para el control del sistema y finalmente un panorama de los elementos que conforman al sistema, así como la tarea que desempeñan cada uno de ellos, se exponen en el segundo capítulo. El protocolo de comunicación que se utilizó para la comunicación radiofrecuencia en el sistema de neuroestimulación, así como la transmisión de datos entre estación base y estimulador se describe en el tercer capítulo. Se exponen las características y funcionamiento del estimulador así como de su implementación y programación del microcontrolador en el cuarto capítulo. La implementación del circuito estación base, así como las características del microcontrolador que utiliza (PIC17C42) y el programa que contiene se proporciona en el capítulo cinco. El diseño y programación de la interfaz de usuario para establecer los parámetros de estimulación se muestran en el sexto capítulo. Y finalmente se exponen las conclusiones del sistema de neuroestimulación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPITULO 1

## ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA COMO MÉTODO ALTERNATIVO EN TERAPIAS MÉDICAS.

*"La investigación de las enfermedades ha avanzado tanto que cada vez es más difícil encontrar a alguien que esté completamente sano".*  
Aldous Huxley.

Este capítulo contiene un panorama general del funcionamiento del sistema nervioso central, con la finalidad de entender la respuesta del cuerpo humano a estímulos eléctricos externos. También se exponen algunas aplicaciones de la estimulación eléctrica en terapias médicas. Haciendo énfasis al final de éste en su uso para el control de crisis convulsivas en personas que padecen epilepsia.

### 1.1 Definición del sistema nervioso.

El sistema nervioso y el sistema endocrino<sup>1</sup> integran las funciones del organismo; estando compuesto, básicamente por células especializadas, cuya función es recibir estímulos y transmitirlos a los órganos efectores<sup>2</sup>, musculares o glandulares (cualquiera de los numerosos órganos del cuerpo). El sistema nervioso coordina los estímulos sensitivos que se originan fuera y dentro del organismo, así como las respuestas motoras, de modo tal, que los órganos efectores trabajan armoniosamente juntos para la conservación del organismo.

<sup>1</sup> Red de glándulas sin conducto y otras estructuras que elaboran y secretan hormonas directamente en el torrente sanguíneo, influyendo en la función de los órganos diana (órgano más afectado por una hormona específica) específicos.

<sup>2</sup> Órgano que produce un efecto, como resultado de la estimulación nerviosa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El sistema nervioso se divide en dos partes principales: sistema nervioso central y sistema nervioso periférico (Fig. 1-1).

- Sistema nervioso central (SNC), consiste en el encéfalo y la médula espinal, estos son los centros principales donde ocurre la correlación e integración de la información nerviosa. El SNC está compuesto por gran número de células nerviosas excitables y sus prolongaciones, las cuales están sostenidas por tejido especializado denominado neuroglia. Tanto el encéfalo como la médula espinal se encuentran suspendidos en líquido (líquido cefalorraquídeo) y están protegidos por los huesos del cráneo y la columna vertebral (Fig. 1-2). El interior del sistema nervioso central esta organizado en sustancia gris y blanca. La sustancia gris; son los cuerpos de las células nerviosas y las porciones proximales de sus prolongaciones incluidas en la neuroglia; tiene color gris. La sustancia blanca esta formada por fibras nerviosas también incluidas en la neuroglia; son de color blanco debido a la presencia del material lipídico en las vainas de mielina<sup>3</sup> de muchas de las fibras nerviosas.
- Sistema nervioso periférico, son básicamente los nervios craneales y espinales, consisten en haces de fibras nerviosas o axones, que conducen información hacia el sistema nervioso central y desde éste. Aunque se encuentran rodeados por vainas fibrosas a medida que discurren en las diferentes partes del cuerpo, se hallan relativamente desprotegidos y es común que resulten dañados por traumatismos [1](Fig. 1-1).

Las principales divisiones de los sistemas nerviosos central y periférico se muestran en el siguiente cuadro 1-1:

<sup>3</sup> Lámina grasa segmentada por mielina que envuelve los axones de muchos nervios del organismo.

- *Sistema Nervioso central.*
- Encéfalo.
    - Prosencéfalo.
    - Cerebro.
    - Diencéfalo (entre el encéfalo).
  - Mesencéfalo.
  - Romencéfalo.
    - Bulbo raquídeo.
    - Protuberancia.
    - Cerebelo.
  - Médula Espinal.
    - Segmentos cervicales.
      - Torácicos.
      - Lumbrales.
      - Sacros.
      - Coccígeos.

(a).

- *Sistema nervioso Periférico.*
- Nervios craneanos y sus ganglios –12 pares que salen del cráneo a través de los agujeros craneales.
  - Nervios espinales y sus ganglios –31 pares que abandonan la columna vertebral a través de los agujeros intervertebrales.
    - 8 cervicales.
    - 12 torácicos.
    - 5 lumbares.
    - 5 sacros.
    - 1 coccígeo.

(b).

Cuadro 1-1. Divisiones de los sistemas nerviosos central (a) y periférico (b).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



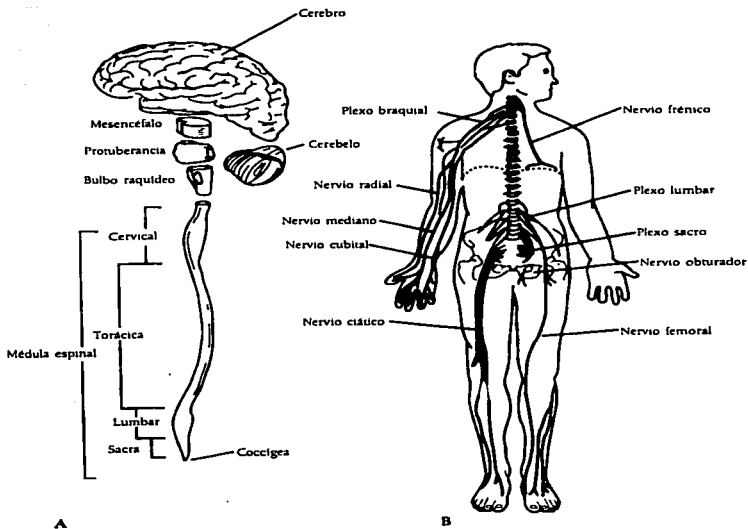


Fig. 1-1. A) principales divisiones del sistema nervioso central. B) Partes del sistema nervioso periférico (se han omitido los pares craneales) [1].

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

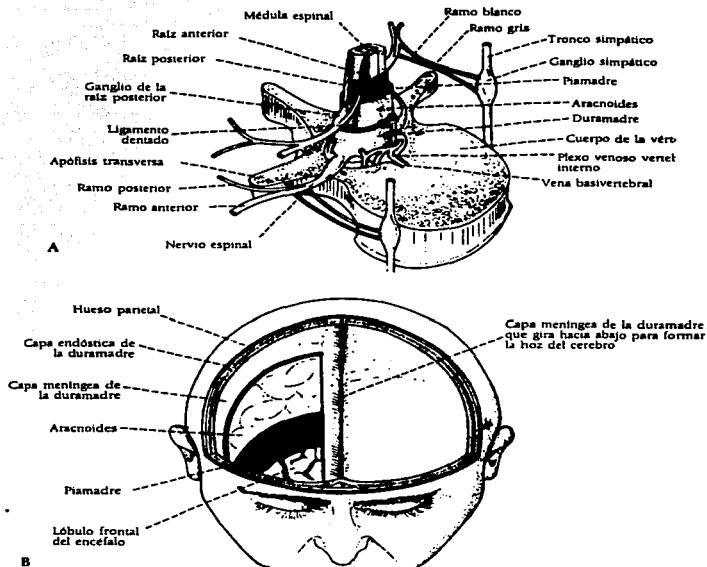


Fig. 1-2 A) Coberturas protectoras de la médula espinal. B) Coberturas protectoras del cerebro [1].

### ¿Qué son las neuronas?

Las unidades estructurales y funcionales del sistema nervioso se llaman neuronas, estas células están estructuralmente organizadas para funcionar como conductoras de información; es decir son células excitables especializadas para la recepción de los estímulos y la conducción en forma de impulso nervioso (Fig. 1-3). Las neuronas pueden

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

captar, transmitir y guardar información, sin importar las distancias que tiene el cuerpo humano[1][2].

Su tamaño y forma varían dependiendo del lugar donde se localicen, pero cada una posee un cuerpo celular desde cuya superficie se proyectan una o más prolongaciones denominadas *neuritas*.

Las neuritas responsables de recibir información y conducirla hacia el cuerpo celular se denominan *dendritas*, son las prolongaciones cortas del cuerpo celular. Su diámetro disminuye a medida que se alejan del cuerpo celular y a menudo se ramifican abundantemente. En muchas neuronas, las ramas más delgadas presentan gran cantidad de pequeñas proyecciones denominadas *espinas dendríticas*. La larga neurita única que conduce impulsos desde el cuerpo celular se denomina *axón* que es la prolongación más larga del cuerpo celular. Se origina en una pequeña elevación cónica del cuerpo celular, denominada *cono axónico*. Los extremos distales de las ramas terminales de los axones a menudo están agrandados: se denominan *terminaciones o botones terminales*; por lo tanto se dice que un axón siempre conduce impulsos desde el cuerpo celular. Las dendritas y los axones a menudo se denominan *fibras nerviosas*.

Al contrario de la mayoría de las otras células del organismo, las neuronas normales en el individuo maduro no se dividen ni reproducen; además de que el sistema nervioso de las especies superiores tienen la capacidad de almacenar información sensitiva recibida durante las experiencias pasadas y esta información, cuando es apropiado, se integra con otros impulsos nerviosos y se canaliza hacia la vía eferente común.

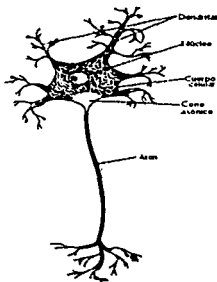


Fig. 1-3 NEURONA [1].

### 1.1.1 Características del potencial de reposo.

La **membrana plasmática** forma el límite externo continuo de la neurona y sus prolongaciones, y en la neurona es el sitio de iniciación y conducción del impulso nervioso. La membrana tiene aproximadamente 8nm de espesor, por lo que es demasiado delgada para ser vista con microscopio óptico.

La membrana plasmática y la cubierta celular juntas forman una membrana semipermeable que permiten la difusión de ciertos iones a través de ella. En estado de reposo (estado no estimulado, Fig. 1-5a), los iones  $K^+$  difunden a través de la membrana plasmática desde el líquido tisular hacia el citoplasma celular. La permeabilidad de la membrana a los iones  $K^+$  (potasio) es mucho mayor que el flujo de  $Na^+$  (sodio). Esto da como resultado una diferencia de potencial estable de alrededor de -80 mV, que pueden medirse a través de la membrana plasmática ya que el interior de la membrana es negativo con respecto al exterior. Este potencial se conoce como **potencial de reposo**.

Cuando la célula nerviosa es excitada (estimulada, Fig. 1-5b) por un medio eléctrico, mecánico o químico, ocurre un rápido cambio en la permeabilidad de la membrana a los iones  $Na^+$ , estos iones difunden desde el líquido tisular a través de la membrana plasmática hacia el citoplasma celular. Esto induce a que la membrana se despolarice progresivamente. La entrada de iones  $Na^+$  seguida por la polaridad alterada produce el denominado **potencial de acción** (Fig. 1-4), que es aproximadamente de +40 mV. Sin embargo, este potencial es muy breve, dura alrededor de 5 ms, ya que muy pronto la mayor permeabilidad de la membrana a los iones  $Na^+$  cesa y aumenta la permeabilidad a los iones  $K^+$ , de modo que éstos comienzan a fluir desde el citoplasma celular y así el área localizada de la célula retorna al estado de reposo. (Fig. 1-5c)

Una vez generado, el potencial de acción se propaga por la membrana plasmática, alejándose del sitio de inicialización, y es conducido a lo largo de las neuritas como **impulso nervioso**. Este impulso se auto propaga y su amplitud y frecuencia no se alteran. Una vez que el impulso nervioso se ha difundido por una región dada de la membrana plasmática, no puede provocarse otro potencial de acción en forma inmediata. La duración de este estado no excitable se denomina *período refractario* [1].

### 1.1.2 Características del potencial de acción.

La primera manifestación de un estímulo es debido a una despolarización inicial de la membrana, después de esta despolarización de 15 mV aumenta la despolarización. El punto en el cual se produce este cambio de polaridad se denomina nivel de descarga o a veces umbral. De ahí en adelante, el potencial alcanza con rapidez la línea isopotencial (potencial 0) y la sobrepasa en alrededor de +35 milivoltios. Entonces, el movimiento se invierte y cae con rapidez hacia el nivel de reposo. Cuando la repolarización alcanza aproximadamente 70%, la velocidad de dicha repolarización disminuye y el trazado se acerca con más lentitud, al nivel de reposo. El ascenso brusco y la caída rápida constituyen el potencial en espiga del axón y la caída final lenta se llama posdespolarización. Después de que alcanza el valor de reposo previo, el trazo se desplaza ligeramente en dirección a la hiperpolarización con lo que forma una poshiperpolarización, pequeña pero prolongada. Cuando se registra con un electrodo dentro de la célula, el potencial de acción se llama monofásico porque se desplaza principalmente en una sola dirección (Fig. 1-4).

Es importante comprender que cuando mayor sea la fuerza del estímulo inicial, mayor será la despolarización inicial y mayor la propagación hacia áreas circundante de la membrana plasmática. Si se aplican múltiples estímulos excitadores a la superficie de una neurona, los efectos pueden sumarse. Por ejemplo, los estímulos subliminales<sup>4</sup> pueden pasar por la superficie del cuerpo celular y sumarse en la raíz del axón e iniciar así un potencial de acción.

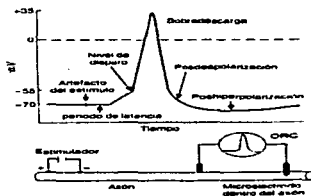


Fig. 1-4 potencial de acción en una neurona registrado con un electrodo intracelular [3].

Una vez que se alcanza la intensidad umbral se produce un potencial de acción completo. Incrementos adicionales en la intensidad del estímulo no producen aumento ni otros cambios en el potencial de acción, siempre que las condiciones experimentales

<sup>4</sup> Que tiene lugar por debajo del umbral de percepción sensorial o fuera de los márgenes del conocimiento

permanezcan constantes. Si el estímulo es de magnitud inferior al umbral no se produce un potencial de acción; éste aparece con una amplitud y forma constantes independientemente de la intensidad del estímulo, siempre y cuando esta última sea igual o mayor al umbral. El potencial de acción es, por tanto de tipo "todo o nada" (Fig. 1-5d) y se dice que obedece a la ley del "todo o nada". [3]

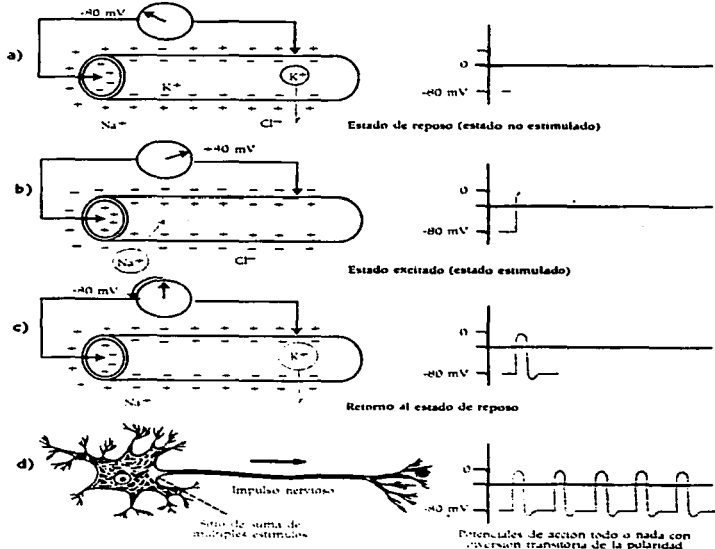


Fig. 1-5 cambios iónicos y registro del potencial que ocurren en una neurona cuando es estimulada [1].

### 1.1.3 Sinapsis.

Cada neurona parece existir como una unidad independiente, sin existir ninguna conexión directa aparente de la membrana con ninguna otra neurona. La comunicación entre neuronas adyacentes se produce a través de las hendiduras contiguas llamadas *sinapsis*. (Fig. 1-6)

Las sinapsis son de dos tipos: *químicas* y *eléctricas*:

- Sinapsis química: consiste en un contacto químico, a través de un espacio físico, cada neurona contiene un neurotransmisor, que a la llegada del potencial, es vaciado hacia el espacio entre las neuronas y se une a una molécula en la membrana postsináptica, denominada receptor.  
Se reconoce actualmente que en la mayoría de las sinapsis químicas puede haber varios neurotransmisores. Por lo general, un neurotransmisor es el principal activador y actúa directamente sobre a membrana postsináptica, mientras que los otros transmisores funcionan como moduladores y modifican la actividad del transmisor principal.
- Sinapsis eléctricas: son uniones en hendidura con canales que se extienden desde el citoplasma de la neurona presináptica hasta el de la neurona postsináptica. Las neuronas se comunican eléctricamente; no hay ningún transmisor químico. Los canales que forman puentes permiten que ocurra el flujo de corriente iónica de una célula a la otra con un mínimo de demora. En las sinapsis eléctricas, la rápida propagación de la actividad de una neurona a otra asegura que un grupo de neuronas que realizan una función idéntica actúen juntas. Las sinapsis eléctricas también poseen la ventaja de que son bidireccionales; las sinapsis químicas no lo son [1].

Hay varias formas en las que se puede alterar la conducción sinápticas; ya sea por algún padecimiento, la administración de fármacos, drogas o presión mecánica.

En la presente tesis se abordará la epilepsia, la cual tiene como origen un desorden de un número de células nerviosas.

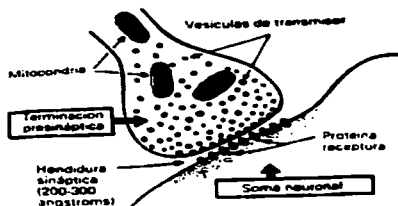


Fig. 1-6 sinapsis.

## 1.2 La epilepsia.

La primer descripción acerca de la *Epilepsia* se data desde hace 3000 años antes de nuestra era, en el transcurso de ese tiempo existieron diversas explicaciones acerca de su origen, considerando a la gente que la padecía como poseídas por fuerzas malignas [17], sin embargo, hoy en día se sabe que es un desorden de un número de células nerviosas que produce una descarga anormal de impulsos nerviosos, recidivantes<sup>5</sup> y paroxísticos<sup>6</sup>, los cuales causan un mal funcionamiento de las otras células, manifestado en la pérdida de conciencia y la aparición de movimientos involuntarios [18].

Etimológicamente la palabra Epilepsia se deriva de una preposición griega y de un verbo irregular, *epilambanein*, que significa "ser sobrecogido bruscamente", "ser atrapado", o algo que cae bruscamente en un individuo [16].

La Epilepsia se manifiesta mediante crisis epilépticas<sup>7</sup>; las cuales se han clasificado de acuerdo a los síntomas que presentan. Aquí se describirán dos tipos de crisis epilépticas. Crisis Parcial o focal, que se manifiesta con una falta de repuesta a estímulos, es decir, la que la persona se queda con la mirada fija, ausente, asociándose en ocasiones movimientos automáticos (como tragar repetidamente o frotarse las manos), o bien, ausencias. Crisis

<sup>5</sup> En medicina es la reaparición de una enfermedad.

<sup>6</sup> Extrema intensidad de una enfermedad.

<sup>7</sup> Crisis Epiléptica: Es el resultado de una descarga neuronal cortical excesiva, produciendo un trastorno autolimitado de la conciencia, comportamiento, emoción o cualquier función cortical, dependiendo de la localización y características de las descargas [16].



generalizadas tónico-clónicas, son caracterizadas por la actividad desordenada de los brazos y piernas acompañada por lo general de mordedura de lengua y emisión de orina.

Algunas causas que originan las crisis epilépticas son: [19]

En los recién nacidos:

- Asfisia durante el parto.
- Problemas metabólicos hereditarios.
- Lesiones craneales.
- Infecciones del sistema nervioso.

En los adultos de mediana edad algunas causas que generan crisis por primera vez, son:

- Tumores cerebrales o problemas vasculares.
- Lesiones cerebrales estructurales: Tumores.
- Abscesos.
- Afecciones inflamatorias.

Los signos y síntomas asociados a crisis epilépticas son: [19]

- Problemas metabólicos<sup>3</sup>.
- Alteraciones del pensamiento y de la coordinación.
- Parálisis rápidamente progresiva.
- Alteraciones fonatorias.

Para entender y llevar a cabo el estudio de la epilepsia, se han creado diversos modelos experimentales, para obtener más conocimiento que pueda ser aplicado en el tratamiento.

### 1.2.1 Modelos experimentales de epilepsia.

El actual estudio de la Epilepsia se realiza en modelos experimentales, como: Modelos de aplicación sistémica de pentilinetetrazol y estricnina en perros [20], pentilinetetrazol en ratas [21], aplicación tópica de penicilina en la corteza sensoriomotora [22], electrochoques en ratas, fotocortical en el gyrus coronal de estricnina en ratas [23], crisis inducidas por el

<sup>3</sup> Por ejemplo: la pérdida de sales, proteínas (por mal funcionamiento de riñones) o descalcificación.

módelo *Kindling* eléctrico amigdalinico en gatos [24]. A continuación se describe el modelo *Kindling*, ya que es utilizado en esta tesis.

*Kindling*. Fenómeno descrito por Goddard en 1969 (*Kindling* del inglés: que se activa y crece gradualmente). Es el cambio en la excitabilidad neuronal observado por Goddard y que se manifiesta por el aumento progresivo de las postdescarga, aparición de espigas interictales y cambios conductuales que culminan con la aparición de crisis convulsivas y generalizadas, en ocasiones también de aparición espontánea. Producido por la estimulación eléctrica repetida de baja intensidad sobre una estructura cerebral, la cual provoca en los animales la aparición de las crisis, que aumentan en duración e intensidad hasta producirse crisis generalizadas. Una de las regiones del sistema nervioso más susceptibles al *kindling*, se ha encontrado que son las estructuras del sistema límbico y a este fenómeno se le conoce como modelo de epilepsia del lóbulo temporal [25].

### 1.2.2 Técnicas de detección de la epilepsia.

El primer paso en la investigación de la persona con epilepsia, es crear un historial. Con la ayuda de familiares y otros testigos durante el ataque, porque es de vital importancia tener en cuenta las características de la crisis. Posteriormente el tratamiento vendrá establecido según el tipo de epilepsia. Para esto existen técnicas de detección como:

#### **Electroencefalograma (EEG): [19]**

Es la detección a través de un registro de la actividad eléctrica de las capas superficiales de la corteza cerebral en forma gráfica<sup>9</sup>. La colocación de los electrodos sigue el patrón del sistema internacional 10-20 para detectar la actividad en diferentes áreas.

La representación gráfica de las ondas cerebrales, es lo que llamamos EEG (electroencefalograma).

Aunque el EEG no establece por sí solo; si nos muestra el área. Y así conocer el sitio que generan las espigas, en las cuales terminan proyecciones de áreas subcorticales epilepticas.

Una descarga cada cuatro segundos, puede ser señal de una *penencefalitis esclerosante subaguda*, enfermedad cerebral degenerativa o una descarga cada dos

<sup>9</sup> Generada por la suma espacio temporal de miles de potenciales de acción que confluyen en el electrodo de registro.

segundos puede indicar que está ante las enfermedades de: *Creutzfeld Jakob* o la de *Tay Sachs* [17].

**Radiología simple de cráneo:** Aunque las técnicas más sofisticadas (tomografía axial computarizada, resonancia magnética, tomografía por emisión de positrones) la han desplazado, en ocasiones es de utilidad en la detección de calcificaciones, asimetrías craneales, zonas de osteólisis, etc.

**Tomografía axial computada (TAC):** En la actualidad es una de las técnicas más utilizada en la búsqueda de lesiones encefálicas que justifiquen una etiología de la epilepsia. Desde su introducción se han podido diagnosticar tumores de baja malignidad y crecimiento lento, principalmente a nivel del lóbulo temporal, así como Esclerosis de la cara medial del temporal, malformaciones vasculares, hamartomas, etc., Sin embargo los resultados no son los mejores para la detección de focos epileptógenos<sup>10</sup> a pesar de haberse diseñado técnicas especiales con cortes dirigidos a los lóbulos temporales, sitio de ubicación más frecuente de los mismos.

**Resonancia Magnética (RMN):** Permite localizar lesiones con mayor precisión que la TAC en ocasiones. En los últimos años se han utilizado nuevas variantes de la RMN, como estudios de espectroscopía y la RMN volumétrica<sup>11</sup> que posibilitan establecer comparaciones entre la densidad de diferentes regiones y establecer comparaciones volumétricas respectivamente; pero ambas son insuficientes para precisar el origen del foco epiléptico en un 100%.

**Tomografía simple por emisión de fotones (TEP):** Permite con una gammacámara medir el flujo sanguíneo cerebral, disminuido en el periodo intercrisis y aumentado en las crisis. Un foco hipometabólico cambia a un hipermetabolismo profundo durante una crisis clínica. El mecanismo de este fenómeno es desconocido; se especula que dentro de esta área de hipometabolismo existan pequeñas zonas hipermetabólicas que no son captadas en las imágenes por TEP y que sus descargas se propagan a través de vías preferenciales a las regiones subcorticales, hemisferio opuesto y la corteza vecina.

<sup>10</sup> Localización específica que causa convulsiones epilépticas

<sup>11</sup> Para verificar que no han entrado más líquidos de lo normal en las células.

**Otras técnicas.**

**Estudios psicológicos:** Permiten conocer la capacidad intelectual, estado de la memoria, dominancia hemisférica, conducta del individuo y las manifestaciones psíquicas asociadas a la enfermedad.

Se incluye un análisis de las condiciones socio-económicas que rodean al paciente, aspecto vital para evaluar los resultados de la terapéutica.

**Dosificación de anticonvulsivantes:** Permite conocer si las drogas administradas se encuentran en rango terapéutico y descartar, de acuerdo con la clínica, si estamos o no en presencia de una intoxicación por medicamento o no control de las crisis. La más utilizada es la dosificación en suero.

**1.2.3 Tratamientos para el control de crisis epilépticas.**

Existen varios tipos de tratamiento para la epilepsia. Qué tipo de terapia será la más adecuada, depende de la clase de epilepsia que presente el paciente.

Por lo general se administran fármacos antiepilépticos antes de probar con otras terapias y la mayoría de los pacientes están libres de crisis mientras toman los fármacos adecuados. Estar libre de crisis significa llevar una vida relativamente normal, los medicamentos antiepilépticos de que disponemos en la actualidad pueden disminuir la frecuencia de las crisis.

Los efectos secundarios limitan la utilidad de todos los fármacos disponibles en la actualidad: reacciones alérgicas, trastornos intestinales, impotencia.

**Opciones terapéuticas.****Dieta cetógena:**

Es una dieta que ayuda al control de la crisis. Se basa en una administración alta en grasas y baja en hidratos de carbono. La elevación del nivel de cetona<sup>12</sup> en sangre por la ingestión de una dieta consistente sobre todo en aceites vegetales y nata, reduce la magnitud de las crisis en muchos individuos.

**Terapia alternativa (estimulación eléctrica del nervio vago):**

La estimulación eléctrica intermitente del nervio vago izquierdo con un dispositivo similar a un marcapasos reduce el número de crisis parciales en la tercera parte de los casos; implantado en la clavícula izquierda. Tras la programación del sistema, los pacientes pueden

<sup>12</sup> Cetona

activarlo con un imán cuando sienten la inminencia de una crisis. La estimulación vagal se utiliza como adyuvante del tratamiento farmacológico. Los efectos adversos incluyen el aumento de la gravedad de la voz durante la estimulación, la tos, ronquera, náuseas y espasmos del cuello [26].

La estimulación cerebelosa consiste en una estimulación eléctrica del cerebro. El ensanchamiento de la abertura en la base del cráneo es lo que se necesita para situar los electrodos en la superficie del cerebro [25].

#### **Intervención médica:**

La cirugía es una técnica final que sólo es posible cuando se puede identificar una porción delimitada del tejido cerebral causante de la crisis y cuando la extracción del tejido no cause otras deficiencias neurológicas.

Otra técnica consiste en seccionar el cuerpo caloso, que es lo que pone en relación un hemisferio con otro [27].

### **1.3 Estimulación eléctrica (para la reducción de crisis epilépticas).**

Hace aproximadamente 2000 años Pelops, maestro de Galeno, sugirió que el estímulo eléctrico de la aferente puede modular la actividad de las crisis epilépticas. Posteriores estudios confirmaron que la estimulación de las fibras aferentes cutáneas y otras vías sensoriales pueden afectar a los registros encefalográficos [26].

En 1938, Bailey y Bremer describen la representación cortical del nervio vago y registran las alteraciones en la actividad cerebral después de la estimulación vagal aferente. En la actualidad se sabe que más del 90% de las fibras vageales son proyecciones aferentes que se originan en receptores viscerales y terminan en áreas difusas del sistema nervioso central donde ejercen efectos de neuroexcitabilidad. Estudios en animales y humanos sugieren que algunas fibras aferentes tienen conexiones con los núcleos del tracto solitario y así enlazan con el cerebelo, hipotálamo, amígdala, hipocampo, formación reticular media, rafe dorsal, locus coeruleus, núcleo ambiguo, tálamo, córtex insular [26].

El mecanismo por el que el nervio vago modula la actividad eléctrica cerebral y su lugar de acción es todavía incierto. El máximo interés se ha centrado en los efectos a nivel del tronco cerebral como zona reguladora de la propagación de la crisis; así algunos autores

relacionan su acción antiepiléptica con los efectos en el sistema activador reticular del tronco.

La estimulación del nervio vago derecho e izquierdo tiene igual efecto en el control de las crisis epilépticas de modelos animales. Con la estimulación bilateral no se consiguen mayores beneficios. Los cambios EEG inducidos por la estimulación vagal son semejantes en ambos hemisférios. Por el contrario, la inervación eferente vagal es asimétrica: En el corazón, el nervio vago derecho inerva el nodo sino auricular<sup>13</sup>, mientras que el izquierdo lo hace sobre el nodo aurículoventricular<sup>14</sup>, de ahí que el sistema de estimulación vagal se inserte en el lado izquierdo [11], ya que si el nodo sino auricular que es el marcapasos natural del corazón pierde su capacidad para iniciar los latidos o aumenta la frecuencia cardíaca, el corazón podría dejar de responder eficazmente a las demandas cambiantes de la circulación sanguínea del organismo [ 28].

#### **Anatomía del nervio vago [26].**

El nervio vago se compone de: Fibras motoras viscerales generales (parasimpáticas) y especiales, sensitivas viscerales generales y especiales, fibras sensitivas somáticas.

- Las fibras parasimpáticas inervan el corazón, los pulmones y el tubo digestivo casi hasta el ángulo esplénico del colon.
- Las fibras motoras viscerales especiales inervan los fascículos estriados de la laringe, la faringe y el paladar.
- Las fibras sensitivas viscerales generales proceden de la mucosa del paladar, faringe y laringe, así como del corazón, los pulmones y el tubo digestivo.
- Las fibras sensitivas viscerales especiales (gusto).
- Las fibras sensitivas somáticas inervan la parte posterior del conducto auditivo externo y de la membrana timpánica.

<sup>13</sup> El marcapasos natural del corazón es el nodo sino auricular, o nodo SA, situado en la cámara superior derecha (aurícula derecha). El nodo SA produce impulsos eléctricos muy pequeños que varían en frecuencia según las necesidades del cuerpo de sangre rica en oxígeno y nutrientes [28].

<sup>14</sup> Una vez que el impulso eléctrico sale del nodo SA, viaja a través de la mitad superior del corazón, haciendo que contraigan las aurículas hasta llegar a un punto de unión llamado nodo aurículoventricular o nodo AV. De ahí el impulso viaja por las vías de conducción que recorren la mitad inferior del corazón y hace que los ventrículos se contraigan. Esta sincronía de contracciones impulsa la sangre fuera del corazón para que viaje a través de cuerpo [28].

El nervio vago está profundamente situado en la vaina carotídea (paquete vásculonervioso del cuello), entre la vena yugular interna (lateralmente) y la arteria carótida (medialmente), localizándose sobre la aponeurosis y los fascículos vertebrales. A la altura de la raíz del cuello, sobre el lado derecho, el nervio discurre anterior a la arteria subclavia y penetra en el tórax. En el lado izquierdo discurre entre las arterias carótida común y subclavia para entrar en el tórax.

### **Implantación del electrodo en el nervio vago y del dispositivo [26].**

La colocación del primer estimulador vagal en humanos se realizó en 1988. Desde entonces más de 1000 pacientes han participado en 7 ensayos clínicos en 26 países y existe una experiencia en más de 2000 pacientes. Los ensayos en modelos animales y humanos parecen demostrar un descenso en la frecuencia, duración e intensidad de las crisis epilépticas, con reducción en la severidad y duración de la sintomatología postictal. Se han obtenido tres tipos de patrones de respuestas al tratamiento: rápida y sostenida, gradual y ausencia total incluso después de periodos prolongados de estimulación.

La técnica quirúrgica no es complicada, pero precisa que el cirujano esté familiarizado con la anatomía del cuello. La duración no suele ser superior a las dos horas y se realiza habitualmente con anestesia general. Aunque se podría incluir dentro de la cartera de servicios de la cirugía mayor ambulatoria, es recomendable mantener al menos 24 horas de vigilancia en prevención de los posibles efectos secundarios de la técnica.

Se realizan dos incisiones de entrada: la primera de 8 cm por debajo de la clavícula destinada a la colocación del generador de pulsos; la siguiente de 7cm servirá para localizar el nervio vago del lado izquierdo. Está última discurre a lo largo del borde anterior del músculo esternocleidomastoideo disecando consecutivamente el platisma colli superficialis y la fascia cervical profunda. Por palpación del pulso carotídeo se identifica la vaina neurovascular, primero se disecciona la vena yugular interna y a continuación, con ayuda del microscopio, el nervio dejando por lo menos 4cm de la vaina al descubierto. Se colocan los electrodos helicoidales, que presentan un diámetro de 2mm y se realiza un ajuste holgado para evitar posibles compresiones (Fig. 1-7).

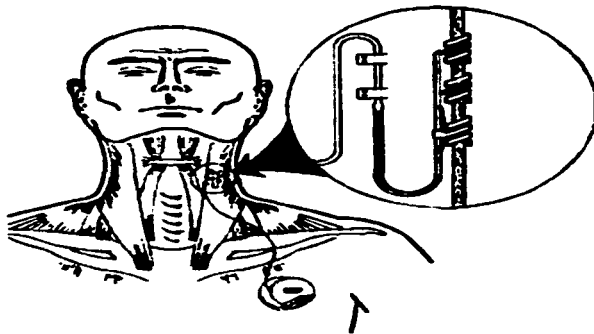


Fig. 1-7 Técnica quirúrgica en Nervio Vago [26].

Una vez colocados los electrodos se realiza una prueba, que consiste en la estimulación durante un minuto y a una frecuencia de 20Hz, con salida de corriente de 1mA y pulsos de 500 $\mu$ s. Durante la estimulación es imprescindible la monitorización del paciente en prevención de severas bradicardias. Una vez finalizado el test se deja inactivo el generador durante la primera o segunda semana del postoperatorio.

Por último, concluida la prueba del test, se inicia el cierre del bolsillo subcutáneo donde va colocado el generador que se conecta con el electrodo mediante múltiples puntos con la fascia cervical, a modo de uniones de seguridad.

La estimulación eléctrica en el tratamiento de la epilepsia se ha convertido en una buena opción para el control de las crisis epilépticas, sin embargo, este es sólo un ejemplo de su aplicación en el campo de la medicina, ya que actualmente se han encontrado ventajas importantes en su aplicación en tratamientos médicos. A continuación se mencionan algunos usos en este campo.



#### 1.4 Aplicaciones de la estimulación eléctrica en la medicina.

Algunas aplicaciones de la estimulación eléctrica en la medicina, son las siguientes:

- *Implante coclear*, es un transductor que transforma las señales acústicas en señales eléctricas que estimulan el nervio auditivo. Estas señales eléctricas son procesadas a través de las diferentes partes de que consta el implante coclear, las cuales se dividen en externas e internas [8].
- *Omalgia y estimulación eléctrica en hemipléjicos*; los programas de estimulación eléctrica funcional reducen la severidad del dolor y la subluxación del hombro, a la vez que permiten la recuperación funcional de la articulación en pacientes hemipléjicos [9].
- *La estimulación eléctrica gástrica como alternativa terapéutica de la gastroparesia*; la estimulación eléctrica del estómago mediante impulsos generados por un microprocesador provoca peristalsis artificial suficiente como para permitir la evacuación de alimentos sólidos [10].
- *Marcapasos cardiaco*; al final de los años 1960 y principios de la década de los 70, se descubrió que la estimulación auricular rápida resultaba útil para controlar taquicardias supraventriculares, incluido el fluter auricular [11].  
La sobreestimulación con marcapasos puede realizarse a la cabecera del enfermo, aunque generalmente requiere el uso de sedación o anestesia.
- *Pacientes con Parkinson son tratados mediante estimulación cerebral*; consiste en la implantación de un dispositivo médico, similar en el tamaño a un marcapasos, que utiliza una suave estimulación eléctrica para bloquear las señales del cerebro que causan los síntomas de la enfermedad de Parkinson.  
Dos electrodos implantados en el cerebro estimulan las estructuras diana profundas cerebrales y se conectan a un neuroestimulador implantado cerca de la clavícula. La estimulación eléctrica puede ajustarse para satisfacer las necesidades del enfermo [12].
- *Incontinencia fecal manejada con estimulación eléctrica*; fijación rectal posterior (Riptein modificado) con buen resultado; después de la recuperación se procede a la colocación de los electrodos en el surco interfintérico, se inicia con la estimulación eléctrica del esfínter para fortalecerlo [13].

- *Desfibrilación eléctrica precoz*; el propósito es restablecer un ritmo cardíaco normal.
- *Tratamientos de la escoliosis*; la escoliosis se refiere a la desviación lateral de la columna vertebral, la corriente eléctrica permite detener el avance de dicha enfermedad.
- *Manejo de dolor incontrolable*; la estimulación eléctrica reduce la severidad del dolor y la subluxación del hombro.
- *Terapia electroconvulsiva*; es un medio terapéutico, se utiliza preferentemente el estímulo con pulsos por considerarlo más efectivo clínicamente; éste es aplicable en diversas patologías psiquiátricas y/o neurológicas: melancolías, depresión psicótica, psicosis reactivas, psicosis de larga duración.

Entre otros ejemplos se pueden encontrar: estimulación del diafragma para control respiratorio; corrección de la caída del pie; ayudas sensoriales para ciegos; diagnóstico del estado de nervios periféricos; diagnóstico del estado muscular; diagnóstico funcional y mapeo de la corteza cerebral; estimulación de la corteza visual; sensado y reversión automáticos de la fibración (implantado); restablecimiento de huesos de fractura y electroestimulación del callo óseo [4][14].

### **1.5 Tipos de estimulación eléctrica (voltaje y corriente).**

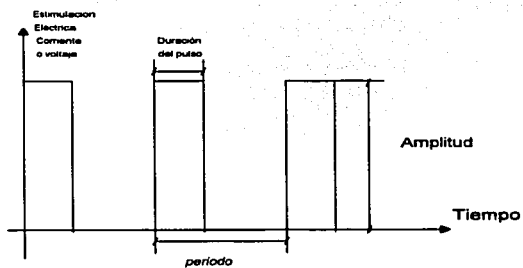
La estimulación eléctrica es realizada por medio de una serie de pulsos rectangulares monofásicos o bifásicos (simétricos o asimétricos) descritos por los siguientes parámetros: amplitud o intensidad de los pulsos, frecuencia o razón de repetición de pulsos, duración o ancho de pulso, y duración del tren de pulsos. La estimulación eléctrica puede ser de dos maneras:

*Estimulación por voltaje*: es más sencillo de implementar, requiere la entrega de pulsos de voltaje constante. En el neuroestimulador inalámbrico es usado este tipo de estimulación, por el uso de una batería como fuente de energía.

*Estimulación por corriente*: requiere la entrega de pulsos de corriente constante.

Con respecto a la salida del circuito estimulador, los pulsos eléctricos son controlados, ya sea en voltaje o en corriente [4] (Gráfica 1-8).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Gráfica 1-8. Pulso de corriente o voltaje periódico unidireccional o monopolar.

# CAPÍTULO 2

## ELEMENTOS DEL SISTEMA DE NEUROESTIMULACIÓN.

*"La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica".  
Aristóteles.*

El sistema de neuroestimulación eléctrica es un sistema mediante el cual es posible aplicar una tensión eléctrica de manera controlada sobre el Sistema Nervioso Central; cuenta con una comunicación inalámbrica, es decir, los parámetros de estimulación son enviados por radiofrecuencia (ver cap. 3). Consta básicamente de tres módulos: circuito estimulador (CE), circuito estación base (EB) y computadora (PC). Los módulos CE y EB cuentan con un microcontrolador PIC (Programable Integrated Circuit, circuito integrado programable) como pieza fundamental para realizar su función dentro del sistema. La razón por la cual se utilizaron microcontroladores en el sistema se debe a que permiten controlar los parámetros involucrados para uno o más estimuladores (hasta 128).

A continuación se mencionan con más detalle las características de éstos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 2.1 Microcontroladores

Es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador<sup>1</sup>. Se dice que es "la solución en un Chip" porque su reducido tamaño minimiza el número de componentes y el coste.

Un microcontrolador dispone de los siguientes componentes:

- Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM<sup>2</sup>/EPROM<sup>3</sup>/EEPROM<sup>4</sup>/FLASH<sup>5</sup>.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (Temporizadores, Puertos Serie y Paralelo, CAD (convertidor analógico-digital), CDA (convertidor digital-analógico), etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Según el modelo de microcontrolador que se trate, el tamaño y el tipo de memoria pueden variar, así como el número de líneas de E/S y los módulos de control de periféricos. La diversificación de modelos permite seleccionar el más adecuado según la aplicación que se trate.

### 2.1.1 Ventajas

Entre las ventajas de incorporar un microcontrolador a un sistema son las siguientes:

- *Aumento de herramientas para facilitar el desarrollo de procesos experimentales e industriales.*

<sup>1</sup>Dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. Hace tres décadas, los controladores se construían exclusivamente con componentes de lógica discreta; posteriormente se emplearon los microprocesadores, que se rodeaban con chips de memoria y E/S sobre una tarjeta de circuito impreso

<sup>2</sup> Memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del Chip

<sup>3</sup> EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) puede borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza con un grabador. Si, posteriormente, se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioletas durante varios minutos.

<sup>4</sup> EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) Memorias de sólo lectura, programables y borrrables eléctricamente.

- **Aumento de fiabilidad.** Al reemplazar el microcontrolador a un elevado número de elementos, disminuye el riesgo de averías y se precisan menos calibraciones.
- **Reducción de tamaño en el producto acabado.** La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen y mano de obra.
- **Mayor flexibilidad.** Dado que las características de control están programadas, su modificación sólo precisa cambios en el programa de instrucciones. Esto supone una importante acomodación a las circunstancias que rodean al producto final junto a una gran rapidez en la implementación de posibles cambios.

La evolución del mercado mundial de microcontroladores de 8 bits ha experimentado un espectacular incremento a partir del año 1990, en el que se vendieron 590 millones de unidades. En 1992 se vendieron 950 millones y en 1996 se superaron los 2000 millones de unidades. Por lo tanto la distribución de ventas según la aplicación es la siguiente:

- Una tercera parte se absorbe en las aplicaciones relacionadas con las computadoras y sus periféricos.
- La cuarta parte se utiliza en las aplicaciones de gran consumo (electrodomésticos, juegos, TV, vídeo, etc.).
- El 16% de las ventas mundiales se destinó al área de las comunicaciones.
- Otro 16% fue empleado en aplicaciones industriales.
- El resto de los microcontroladores vendidos en el mundo, aproximadamente un 10%, fueron adquiridos por la industria automotriz.

Respecto al mercado de los microcontroladores de 16 bits, el crecimiento también ha sido su norma. De los 23 millones de unidades vendidas en 1998, se ha pasado a diez veces más en 1996, siendo la informática y las comunicaciones las áreas que absorbieron la mayor parte.

También los modernos microcontroladores de 32 bits van afianzando sus posiciones en el mercado, siendo las áreas de más interés el procesamiento de imágenes, las comunicaciones, las aplicaciones militares, los procesos industriales y el control de los dispositivos de almacenamiento masivo de datos.

<sup>3</sup> Memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar: esta es más rápida que la EEPROM

### 2.1.2 Fabricantes

En la actualidad, gran parte de los fabricantes de circuitos integrados disponen de su propia línea de microcontroladores.

En la tabla 2-1 se muestran los fabricantes más destacados con sus algunos de sus modelos.

FABRICANTE	MODELOS DE MICROCONTROLADORES
INTEL	8048, 8051, 80C196, 80186, 80188, 80386EX
MOTOROLA	6905, 68HC11, 68HC12, 68HC16, 683XX
HITACHI	HD64180
PHILIPS	GAMA COMPLETA DE CLONES DEL 8051
SGS-THOMSON	ST-62XX
MCROCHIP	PICs
NATIONAL SEMICONDUCTOR	COP400, COP800
ZILOG	Z8, Z86XX
TEXAS INSTRUMENTS	TMS370
TOSHIBA	68HC11

Tabla 2-1. Renombrados fabricantes de microcontroladores con sus modelos más populares

Se considera a Intel como "líder" de los microcontroladores. Este fabricante siempre va a la vanguardia de los demás, presentando los nuevos productos. El primer microcontrolador de 8 bits se considera al 8048 y lo fabricó Intel en la década de los 70. La siguiente generación, más evolucionada, fue la 8051 a la que ha seguido la de 16 bits, 80C196, que alcanza frecuencias de funcionamiento de 50MHz. Intel ha diseñado versiones de microcontroladores basados en los microprocesadores 8088 y 8086. Se trata de modelos 80188 y 80186. La misma política ha seguido con el 80386 creando el 80386EX. Estos productos permiten trabajar con las herramientas clásicas desarrolladas para el entorno del PC.

Otra de las principales empresas del mundo de los dispositivos microprogramables es Motorola, que dispone del microcontrolador 68HC11 de 8bits para datos y 16 para direcciones.

Los microcontroladores PIC de la empresa estadounidense Microchip han sido conocidos durante los 20 últimos años. Su popularidad avanza día a día siendo incluidos en la mayoría de los proyectos debido a su bajo costo, reducido consumo, pequeño tamaño, fácil programabilidad y abundancia de herramientas económicas de soporte.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

También **Zilog** ha irrumpido con fuerza en el mercado de los microcontroladores. Recientemente ha lanzado algunos modelos con memoria OTP de la familia **Z86XX** muy completos y fáciles de manejar.

Otras empresas como **SGS-Thomson, Hitachi, Texas Instruments, Toshiba, National Semiconductor**, etc., abarcan pequeñas partes del mercado.

Todos los microcontroladores que se fabrican en el presente son buenos, sin embargo, existen modelos que se adaptan mejor a determinadas aplicaciones. Un diseñador profesional debe conocer todo el abanico de la oferta para elegir en cada situación el microcontrolador que le conviene.

Para este proyecto se ocupan los Pic's 16C84, 17C42 por las siguientes razones:

- Bajo costo.
- Reducido consumo.
- Pequeño tamaño,
- Fácil programación
- Abundancia de herramientas económicas de soporte.
- Características propias de cada microcontrolador.
- Además que en el INP, se están utilizando desde hace tiempo éste tipo de microcontroladores, así que cuentan con todos los componentes para utilizarlos. (grabadores, software y manuales).

Estos cuentan con las siguientes características:

- *La arquitectura del procesador sigue el modelo Harvard.* La Unidad Central de Proceso (CPU) se conecta de forma independiente con la memoria de instrucciones y con la de datos; es decir esta arquitectura permite a la CPU acceder simultáneamente a las dos memorias)
- *Se aplica la técnica de segmentación ("pipe-line") en la ejecución de las instrucciones.* La segmentación permite al procesador realizar al mismo tiempo la ejecución de una instrucción y la búsqueda del código siguiente; por lo tanto se puede ejecutar cada instrucción en un ciclo.
- *Procesador RISC (Computador de Juego de Instrucciones Reducido).* Los modos de la gama baja disponen de un repertorio de 33 instrucciones, 35 los de gama media y casi 60 los de gama alta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- *Todas las instrucciones son ortogonales.* Cualquier instrucción puede manejar cualquier elemento de la arquitectura como fuente o como destino.
- *Arquitectura basada en un "banco de registros".* Todos los objetos del sistema (puertas de E/S, temporizadores, posiciones de memoria, entre otros) están implementados físicamente como registros.
- *Diversidad en los modelos de microcontroladores con recursos diferentes.* La gran variedad de modelos de microcontroladores PIC permite que el usuario pueda seleccionar el más conveniente para su proyecto.
- *Herramientas de soporte robustas y económicas.* Se pone a disposición de los usuarios numerosas herramientas para desarrollar hardware y software.

## 2.2 Estimulador implantable.

En el Instituto Nacional de Psiquiatría (INP) "Ramón de la Fuente" en el área de Neurociencias se llevan a cabo estudios sobre la neurofisiología de la epilepsia en modelos experimentales con animales (ratas y gatos). Dichos estudios se realizan con fin de encontrar mecanismos por los cuales se ejerce el efecto terapéutico de las alteraciones que esta enfermedad provoca en el sistema nervioso central (crisis epilépticas). Un ejemplo de esto, es el uso de la estimulación eléctrica sobre el nervio vago (ver apartado 1.3) en el modelo de epilepsia animal "*kindling*" (Goddard y Col, 1969), el cual induce cambios conductuales y graduales aumentando la sensibilidad del sistema nervioso central por la estimulación eléctrica o química en varias partes del cerebro. Una vez lograda la epilepsia con este modelo se emplea la estimulación eléctrica sobre el décimo par craneal, que se ha empleado como una terapia alternativa para la inhibición de crisis epilépticas [29][30].

En 1997 en el laboratorio de Neurofisiología del INP se diseñó un prototipo de estimulador eléctrico implantable, teniendo como fin la implantación en gatos (experimentos con el modelo animal "*Kindling*"). Durante el desarrollo de éste se realizaron varias pruebas de implantación en gatos crónicos<sup>9</sup>, se utilizaban pulsos magnéticos de baja frecuencia para la activación del estimulador desde el exterior.

El funcionamiento de este prototipo resultó adecuado para gatos, pero no contaba con un tamaño lo suficientemente pequeño para que pudiera ser implantado en ratas, por ello en el

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

presente trabajo se pretende perfeccionar dicho estimulador. Las características que éste tendrá al final del proyecto serán:

- Tamaño adecuado para trabajar en gatos y ratas.
- Operación autónoma de 4 meses.
- Transmisión de datos y sincronía horaria por radiofrecuencia (RF).
- Recepción de comandos de programación de los protocolos de estimulación, niveles y duraciones, también por RF.
- Se podrá reutilizar, sólo cambiando el paquete de baterías de litio.
- Resistirá la mayoría de los métodos actuales de esterilización.
- Tendrá un costo reducido y será altamente duplicable.
- Contendrá a bordo un microcontrolador PIC16LC84.
- Consumirá aproximadamente 130  $\mu$ s en estado de espera, entre estímulo y estímulo.
- Generará suficiente corriente para la estimulación eléctrica de músculos, nervios y áreas reducidas del cerebro, por medio de electrodos concéntricos de aproximadamente 70 k $\Omega$  de impedancia.

En este proyecto se solucionaron problemas como: 1) *biocompatibilidad*, ya que el circuito de estimulación implantado en las ratas debe ir cubierto para evitar la corrosión del circuito o una posible electrólisis (Foto 2-1). Finalmente el estimulador implantable fue recubierto con Sylgard 184 de Dow Corning<sup>7</sup>, que es un material utilizado para el encapsulado de materiales electrónicos biocompatible. 2) *alimentación del circuito*, que finalmente será alimentado por una batería de 3 Volts.

<sup>6</sup> Tiempo de experimentación aproximadamente de 4 meses.

<sup>7</sup>Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Foto 2-1. Esta figura muestra la implantación del circuito de estimulación en una rata experimental. Rata activa, implantada (a), fin de experimento en rata implantada (b y c). Fotos proporcionadas por M. en C. Salvador Almazán Alvarado.

Otro de los objetivos además del perfeccionamiento del estimulador es lograr una comunicación por radiofrecuencia, para el envío de parámetros de estimulación. Se diseñó un transceptor (transmisor y receptor) en FM, utilizando métodos de modulación FSK.

### **2.3 Sistema de neuroestimulación eléctrica.**

Actualmente los estudios de epilepsia que se producen con la estimulación eléctrica, se llevan a cabo en animales de laboratorio que son estimulados de forma manual, es decir, el investigador tiene contacto directo tanto con el animal como con el dispositivo estimulador.

Lo anterior nos plantea aplicaciones de la Ingeniería en Computación en este campo, como la miniaturización y eliminación del cableado; con el desarrollo de un sistema que genere una estimulación automática sobre los animales en estudio, elaborando un estimulador que sea implantado en el sujeto experimental, y lograr así un registro más preciso; con la evaluación del evento por observación sin la manipulación del animal, ya que no existiría contacto directo con el investigador.

Los beneficios que se obtendrán en un futuro inmediato con la aplicación de este sistema, serían: la sustitución de instrumentación costosa, ahorro de tiempo y eliminación de estrés en los animales; ya que estos serían estimulados sin importar el lugar donde se encuentren, permitiendo con esto obtener un registro conductual más fino.

## 2.4 Módulos del sistema de neuroestimulación eléctrica.

El sistema de neuroestimulación conformado básicamente por tres módulos se utilizará para la estimulación del sistema nervioso, sin embargo puede ser aplicado en terapias que requieran de estimulación eléctrica. En la Fig. 2-1 se encuentra un diagrama a bloques de este sistema.

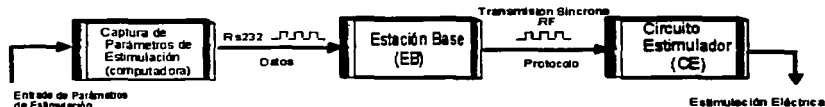


Fig. 2-1 En esta figura se muestra el diagrama a bloques del sistema de neuroestimulación, el cual se inicia con la captura de los parámetros de estimulación a una computadora, para ser enviados por medio del puerto serie (RS232) a la estación base, donde serán almacenados y enviados por radiofrecuencia a un estimulador, que se encargará de realizar la estimulación. La comunicación que se realiza entre la computadora y la estación base es bidireccional, ya que la computadora envía los datos de estimulación a la estación base y esta última puede devolver información de los datos que se envían a los estimuladores.

A continuación se da la descripción del funcionamiento de cada módulo que conformará a este sistema de neuroestimulación.

### 2.4.1 Circuito de estimulación (CE).

El CE se diseñó con un microcontrolador PIC16C84, el cual se utilizó para pruebas de funcionamiento, ya que al final del proyecto se aplicarán técnicas de montaje superficial con los tamaños más reducidos que hay en el mercado (microcontrolador PIC16LC84, resistencias y capacitores SMD 0402, transistores SOT23, etc.), se contempla que este circuito se monte en una tarjeta de circuito impreso convencional. El desarrollo del software para éste el control del estimulador, sincronía temporal y comunicación está escrito en lenguaje ensamblador.

Aquí se describe el funcionamiento de un CE, aunque este sistema puede manipular hasta 128 estimuladores al mismo tiempo, todos ellos controlados por el módulo central llamado la Estación Base.

El CE cuenta con información (trama de 48 bits y un tren de pulsos) almacenada durante su programación. Este CE se encarga de recibir una trama enviada por el módulo estación

base, y la almacena de forma temporal para después compararla con la información que tiene almacenada. Si dicha comparación resulta ser igual el CE ejecutara la estimulación en el animal de laboratorio de acuerdo a los parámetros preestablecidos en él. Y en caso de no coincidir el CE entrará en un estado llamado SLEEP<sup>9</sup> sólo por un intervalo y después volver a escuchar (hacer una lectura constante del puerto de recepción) si la estación base está transmitiendo información. Los parámetros de estimulación del CE son: frecuencia, ancho de pulso, duración de la estimulación y la amplitud de la estimulación. Este circuito estará en una tarjeta de montaje superficial de aproximadamente 2cm. X 2cm. Se implantará en el lomo del animal de laboratorio, para evitar que sea dañado por él mismo. Funciona por medio de un circuito microcontrolador (PIC16LC84) que contiene un programa para el control de la estimulación, un reloj de 100 kHz.(cristal de cuarzo) capacitores y resistores, y un circuito receptor (RXM-315-LC)(ver Fig. 4-3). En el capítulo 4 se describe con más detalle este módulo.

#### **2.4.2 Circuito estación base (EB).**

Aquí se describe el funcionamiento del módulo EB, el cual tiene como tarea la recepción, el almacenamiento y transmisión de información. La EB recibe información en forma serial (parámetros de estimulación) de una PC, la almacena en memoria, para después ser transmitida vía radiofrecuencia al o a los estimuladores. La importancia de esta parte del sistema radica en que al recibir información de la PC, la EB debe ser capaz de interpretar y enviar la información de forma adecuada.

El módulo EB esta compuesto por un microcontrolador PIC17C42, un reloj de 20MHz (cristal de cuarzo), una pantalla LCD, 6 display de 7 segmentos (previstos para obtener la hora de un módulo GPS), un circuito transmisor(TXM-315-LC) y una interfaz RS232 (ver Fig. 5-6), todo esto montado sobre una tarjeta de circuito impreso.

La interfaz RS232 con que cuenta este módulo es conectada al puerto serie de la computadora para recibir información de la PC, los datos enviados por esta interfaz se capturan previamente por el investigador a través de un programa diseñado para tal efecto, con el fin de almacenarlos en la memoria del módulo EB. La ejecución de una estimulación se puede programar para que se realice en cierto intervalo de horas durante varios días; es por ello que es instalado un módulo GPS en este módulo, el cual proporciona la hora y fecha a la EB. El capítulo 5 describe con más detalle este módulo.

<sup>9</sup> SLEEP es un estado en el que se un microcontrolador consume el mínimo de energía.

**2.4.3 PC**

Este módulo es básicamente una PC que contiene un software creado en el lenguaje de programación JAVA<sup>9</sup>.

Este Software permitirá al investigador programar las estimulaciones que se aplicarán a cada animal en experimentación, aquí se define durante cuanto tiempo (días) se aplicará la estimulación eléctrica y cuantas veces al día. También se programa las características de la estimulación como: frecuencia, ancho de pulso, duración de la estimulación y la amplitud de la estimulación.

El investigador podrá hacer cambios en la programación de cada estimulador y además saber cuando fue la última estimulación y que estimulador la realizó. El capítulo 6 describe con más detalle este módulo.

---

<sup>9</sup> Se decidió el uso de este lenguaje ya que puede ser ejecutado en cualquier PC, sin importar el Sistema Operativo con el que se encuentre trabajando.

# CAPITULO 3

## PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SERIE VÍA RADIOFRECUENCIA, PARA EL SISTEMA DE NEUROESTIMULACIÓN ELÉCTRICA.

*"No existe en el mundo nada más poderoso que una idea a la que le  
ha llegado su tiempo".  
Victor Hugo.*

Shannon estableció en 1949 que un sistema de comunicaciones se encuentra constituido básicamente por cinco componentes, los cuales se enlistan a continuación:

1. Una fuente de información.
2. Un transmisor cuya función consiste en depositar la información proveniente de la fuente a un canal de comunicaciones.
3. Un canal de comunicaciones, a través del cual se hace llegar la información de la fuente al destino.
4. Un receptor que realiza las funciones inversas del transmisor, es decir, extrae la información del canal y la entrega al destinatario.
5. Un destinatario.

En la Fig. 3-1 se describe el procedimiento que lleva a cabo un sistema de comunicaciones para lograr una comunicación entre dos entidades. Inicialmente una fuente de información que envía datos hacia un codificador que los transforma y envía al transmisor, el cual los deposita en una canal de comunicación que los traslada hacia un receptor el cual los pasa a

un decodificador para obtener los datos iniciales y enviarlos finalmente al destinatario de la información. [33]

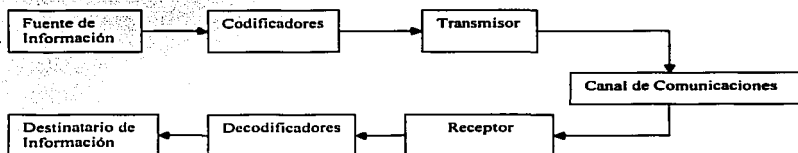


Fig. 3-1. Diagrama de componentes de un sistema de comunicación. La fuente de información comienza el proceso de comunicación enviando datos a un codificador para transformar la información antes del pasarla a transmisor, el cual los coloca en un canal de comunicación y los lleva hacia un receptor que una obtenidos los pasa a un decodificador que devuelve los datos a su estado inicial y los envía a el destinatario de la información.

La función básica de todo sistema de comunicación electrónica es la transmisión en forma eléctrica y a distancia de diferentes tipos de información estableciendo como requisito indispensable que la información recibida por el receptor difiera lo menos posible con la que originalmente le fue enviada por el transmisor; de tal manera que el mensaje recuperado sea completamente detectable y utilizable en su punto de destino.

Con el uso de la radiofrecuencia, las comunicaciones a grandes distancias han adquirido gran importancia en casi todos los ámbitos de la sociedad (investigación, educación, la industria, entre otros). El intercambio de información entre dos puntos que ese encuentran a kilómetros de distancia se ha hecho posible con el uso de sistemas de comunicación eléctrica, mediante el uso de ondas de radiofrecuencia<sup>1</sup> (las cuales se propagan en diferentes maneras, dependiendo de la longitud de onda [36]) para la transmisión y recepción de información (comunicación por vía radiofrecuencia). Como a continuación se describe.

<sup>1</sup> Las radiofrecuencias representan un parte apreciable del espectro electromagnético.



### 3.1 Comunicación por vía radiofrecuencia (RF)

*"Una perturbación electromagnética se denomina onda de radiofrecuencia (RF) si su longitud de onda cae dentro del intervalo de 33 Km. a 1mm. , el intervalo de frecuencia de 3kHz. a 300 GHz." [36]*

Entre los diversos medios de comunicación, la radio ocupa un lugar completamente especial; esta técnica permite realmente la transmisión de todo tipo de informaciones sin soporte material, por esta razón tanto los emisores como los receptores pueden instalarse en cualquier sitio, hasta incluso desplazarse constantemente, por lo tanto es muy fácil localizar rápidamente un emisor, por el contrario, la escucha de un receptor es una actividad muy discreta y a menudo extremadamente interesante.

Las radiocomunicaciones han cobrado tal importancia que estamos rodeados permanentemente por ondas de radio (Fig. 3-2).

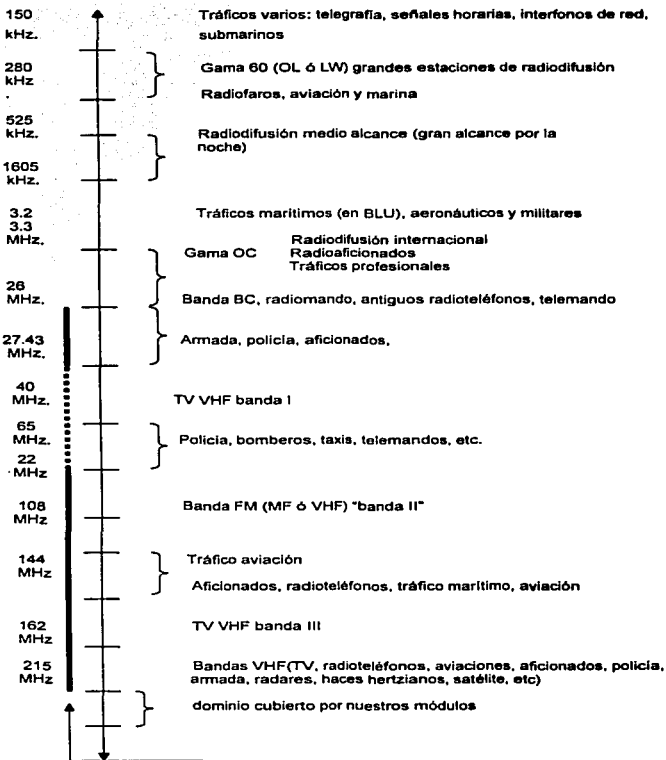


Fig. 3-2. Aquí se muestra una parte del espectro de frecuencia y la aplicación de en cada banda de frecuencia.

Dependiendo de la banda dentro del espectro electromagnético en las que son radiadas, y también del patrón de radiación del sistema radiador, las ondas viajan desde el origen (punto de emisión, de transmisión), en una cobertura amplia de destinos, o hasta una región particular, cuando la transmisión es de punto a punto. Algunas trayectorias de esas ondas, antes de alcanzar los puntos de recepción atraviesan capas ionosféricas y troposféricas que las reflejan. Otra parte de la energía de emisión de las ondas viajan por la superficie terrestre; y no se pasa por alto que también otra parte de la distribución de energía radiada se propaga directamente entre puntos donde se cumpla el alcance en línea de vista. La propagación de las ondas está sujeta en mayor o menor grado a reflexiones y variaciones de índices de refracción entre capas, así como irregularidades del terreno. Por ello, a las comunicaciones se suman los efectos de la actividad solar en las condiciones meteorológicas, presentándose desvanecimientos o inestabilidades en la propagación de la energía. A veces, tales inestabilidades tienen explicación cuando se presentan como atenuaciones en la señal debidas a lluvia o nubes de polvo [35]. Por lo tanto tenemos que el medio inalámbrico de transmisión no es perfecto.

El espectro de radiofrecuencia se divide en ocho bandas, cada una de las cuales representa un orden de magnitud en frecuencia y longitud de onda. Estas bandas se llaman frecuencias muy bajas (VLF), bajas (LF), intermedias (MF), altas (HF), muy altas (VHF), ultraaltas (UHF), superaltas (SHF) y extremadamente altas (EHF), conforme a las normas de los organismos reguladores de las comunicaciones mundiales, los cuales son parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Las frecuencias para radiocomunicaciones se definen entre límites bien establecidos y respetados por los diseñadores y usuarios [35].

En Ginebra, Suiza, 1959, el sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones estableció las bandas de frecuencia para la comunicación (Tabla 3-1), donde se supone implícitamente que la velocidad de la luz es de 300 000 km/s. Cada banda se designa por un número, el cual es justo aquél al que debe elevarse la base 10 para dar una potencia que va a ser un factor del intervalo 0.3 a 3.0. En otras palabras, el número de bandas (N), o alusión a un número de banda (N), corresponde al logaritmo decimal del factor del intervalo 0.3 a 3.0 con el que se determinan los límites de esa banda, es decir, se establece la relación  $(0.3-3.0)10^N$ , a partir de la cual se tabulan las cantidades para los valores enteros de N. [35]

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Intervalo de Frecuencia	Número de Banda (N=)	Denominación según los adjetivos en Inglés	Ondas con denominación métrica
0,3 - 3 Hz	0	Usos distintos a radiocomunicaciones	
3 - 30 Hz	1		
30 - 300 Hz	2		
300-3000 Hz	3		
3 - 30 kHz	4	VLF	Miramétricas
30 - 300 kHz	5	LF	Kilométricas
300 - 3000 kHz	6	MF	Hectométricas
3 - 30 MHz	7	HF	Dacamétricas
30 - 300 MHz	8	VHF	Métricas
<b>300 - 3000 MHz</b>	<b>9</b>	<b>UHF</b>	<b>Decimétricas</b>
3 - 30 GHz	10	SHF	Centimétricas
30 - 300 GHz	11	EHF	Milimétricas

Tabla 3-1 Adaptación de las denominaciones de bandas de frecuencia para la comunicación en Ginebra, Suiza 1995 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, Regulaciones de Radiocomunicaciones. El bloque sombreado señala el rango de frecuencia en el que funciona el sistema de neuroestimulación eléctrica.

La aplicación de la radiofrecuencia ha logrado un enorme desarrollo en varios sistemas de comunicación, de ahí que los beneficios que proporcionan los sistemas inalámbricos futuros se resume en la posibilidad de lograr una infinidad de servicios, que irán desde una simple conversación telefónica, hasta la transferencia de archivos o videoconferencia, sin restricciones de lugar y tiempo. Diversas tecnologías y sistemas han sido propuestos para proveer servicios de comunicación inalámbrica (telefonía, localización y mensajería, enseñanza a distancia, etc.).

Es importante mencionar que el envío y recepción de datos por este medio se hace aplicando un conjunto de reglas de comunicación entre receptores y transmisores, denominado "Protocolo de comunicación".

### 3.2 Protocolo de comunicación.

Los seres humanos necesitan la comunicación para interactuar entre sí, ésta se logra estableciendo un **protocolo de comunicación** que no es más que un conjunto de reglas del lenguaje para que exista intercambio de ideas. En las comunicaciones esto también es aplicable para la transmisión y recepción de información entre sistemas de cómputo y equipos electrónicos; sin la existencia de un protocolo de comunicación sería muy difícil establecer una comunicación entre entidades[33]. A continuación se presenta la definición de protocolo de comunicación.

*"Un conjunto de normas que están obligados a cumplir todos los dispositivos electrónicos que intervienen en la transferencia de información entre dos entidades, es lo que se conoce como protocolo de comunicación" [33].*

Estos son convenios entre personas o procesos, para el intercambio de información, estableciendo la estructura que deberán presentar los mensajes enviados entre dos o mas puntos, para recibirlos y generar así la comunicación. Gracias a los protocolos de comunicación hoy en día es posible hablar de las comunicaciones digitales.

#### 3.2.1 Aspectos de transmisión de información.

Además de la existencia de un protocolo de comunicación, todos los sistemas eléctricos de comunicación deben llenar una serie de requisitos para llevar a cabo la transmisión de señales, entre estos aspectos destacan; en primer lugar, las señales que se van a transmitir; pues para saber si esas señales se han transmitido en forma aceptable debemos contar con métodos para cuantificarlas o caracterizarlas; estos métodos nos permitirán definir en forma precisa las señales y, en consecuencia, medir el grado de modificación o distorsión que sufre durante su transmisión; en segundo lugar está el aspecto de la **transmisión** de las señales; el sistema utiliza una serie de dispositivos que de alguna manera operan sobre las señales afectando su contenido de información y por lo tanto, influyendo sobre la calidad de la comunicación. Así los dispositivos del sistema son una parte elemental para la transmisión de señales de manera efectiva y una alternativa para lograr una transmisión en forma perfecta. Por lo tanto, los dispositivos de un sistema de comunicación permiten que la transmisión se consiga de manera práctica, real y en forma relativamente sencilla pero constituyen a la vez elementos de deterioro de las señales que impiden lograr la comunicación ideal; un tercer aspecto destacable es el de los agentes

ajenos al sistema, normalmente representados por señales diferentes, que se mezclan de manera indeseable con las señales que se transmiten provocando su distorsión y por lo tanto errores en la recuperación del mensaje [32].

### 3.2.2 Tipos de comunicaciones.

Existen dos formas de envío o recepción de datos, en forma serial y paralela. Las comunicaciones seriales se utilizan para enviar datos a través de largas distancias, ya que las comunicaciones en paralelo a parte de resultar demasiado costosas exigen demasiado cableado para ser operativas.

Los equipos de comunicación a distancia realizan el envío de información de manera serial y su transmisión se puede hacer de tres formas, en simplex, half-duplex y full-duplex. Una comunicación simplex envía información en una sola dirección. Half-duplex significa que los datos pueden ser enviados en ambas direcciones entre dos sistemas, pero en una sola dirección al mismo tiempo. En una transmisión full-duplex cada sistema puede enviar y recibir datos al mismo tiempo.

También existen dos tipos de comunicaciones: síncronas y asíncronas.

**Transmisión síncrona.** Los datos son enviados en bloques, el transmisor y el receptor son sincronizados por uno o más caracteres especiales llamados caracteres sync.

**Transmisión asíncrona,** es aquella en que el transmisor y el receptor no necesitan coordinarse para transmitir los datos, es decir, en la transmisión asíncrona un bit identifica su bit de inicio y uno o dos identifican su final, no es necesario ningún carácter de sincronía. En la transmisión serial, solo un canal o camino electrónico, es usado y todos los datos son enviados en secuencia; como se mencionó anteriormente este tipo de transmisión es lenta y es usada para las comunicaciones a largas distancias. La transmisión asíncrona envía bits necesarios lograr su transmisión. Principalmente cuenta con los siguientes:

- Bit de paridad.- con este bit se pueden descubrir errores en la transmisión. Se puede dar paridad par o impar. En la paridad par, por ejemplo, la palabra de datos a transmitir se completa con el bit de paridad de manera que el número de 1's enviados es par.
- Bit de parada: indica la finalización de la transmisión de una palabra de datos. El protocolo de transmisión de datos permite 1, 1.5 y 2 bits de parada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Bit de inicio: cuando el receptor detecta el bit de inicio sabe que la transmisión ha comenzado y a partir de entonces debe leer la transmisión de señales de la línea en intervalos e tiempo dados en función de la velocidad determinada [32].

### 3.3 Característica del protocolo de comunicación para el sistema de neuroestimulación eléctrica.

El sistema de neuroestimulación eléctrica está compuesto por los módulos: 1) PC, 2) Circuito Estimulador (que consta básicamente de un microcontrolador PIC16C84 con un oscilador a 100KHz) y 3) Circuito Estación Base (integrado básicamente por un PIC17C42 y un oscilador a 20 MHz) (ver Cáp. 2) se establece una comunicación asíncrona entre el módulo PC por el RS232 (puerto serie de la computadora) y el EB mediante un cable, y una comunicación síncrona vía radiofrecuencia entre la EB y el CE por medio de un transceptor a 315MHz.

Por medio de la interfaz de neuroestimulación (módulo PC) se introducen los parámetros de estimulación (ver Fig. 3-3) como: Número de estimulador al que van dirigidos los datos, la amplitud y frecuencia de la señal de estimulación, ancho del pulso, duración del tren de pulso, tiempo de estimulación, intervalo entre cada estimulación y hora de inicio. Estos parámetros enviados por el puerto serie de la computadora, son recibidos por la EB mediante la interfaz RS232 y almacenados por el microcontrolador PIC17C42 a una velocidad de transmisión de 9600 baudios<sup>2</sup>; una vez obtenidos éstos se genera el protocolo de comunicación que utiliza en la EB y CE para el envío de los parámetros vía radiofrecuencia, en una comunicación serie Simplex, es decir, que la información es enviada en una sola dirección.



Fig. 3-3. En esta figura ilustra los parámetros necesarios que se requieren para la aplicación de estimulación eléctrica. a) ancho del pulso, b) duración del tren de pulso antes de comenzar el envío de los parámetros de estimulación y c) amplitud de la señal.

<sup>2</sup> Un baudio es la cantidad de bits que se transmiten por segundo en un sistema de comunicaciones.

El protocolo de comunicación serial de este sistema (ver Fig. 3-4) es una trama que consta de un tren de pulsos y 48 bits de información (6 bytes). Los datos que este protocolo contiene es información referente a los parámetros de estimulación (amplitud, frecuencia, ancho de pulso, duración de estimulación, entre otros) que se requieren para que el CE lleve a cabo la estimulación de forma adecuada. Dichos parámetros son transmitidos vía radiofrecuencia de manera sincrónica con una velocidad de transmisión de 1000 baudios entre ambas partes. El tiempo de transmisión es de aproximadamente 5 segundos

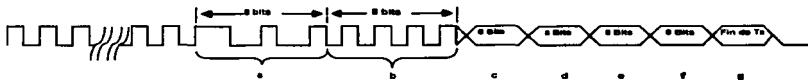


Fig. 3-4. Esta figura muestra el protocolo de comunicación vía radiofrecuencia entre estación base y estimulador. Las partes que lo integran son: identificación de sistema (a), alineamiento (b), destino (c), amplitud y frecuencia de estimulación (d), duración de la estimulación (e), ancho de pulso (f) y fin de transmisión (g). Este protocolo cuenta con 6 bytes (48 bits); el byte (a) define al sistema en el que se va a estimular; el byte (b) permite una sincronización entre estación base y estimulador; (c) especifica el estimulador que recibirá los datos de estimulación para su ejecución; (d),(e) y (f) son parámetros de estimulación.

### 3.3.1 Pruebas de transmisión del sistema de neuroestimulación.

El envío y recepción se hace por medio de un transceptor (EVAL-315-LC, Linx Technologies) que transmite a 315MHz, el cual ha sido probado transmitiendo el protocolo serial entre EB y CE. Las pruebas se realizaron de la siguiente manera: se alimentó el receptor con una fuente HP conectada a un no break para evitar interrupciones por suministro de energía, se definió una terminal del PIC16C84 (CE) conectada a un contador de eventos, que nos indica si la recepción de los datos fue correcta. En el otro extremo se conectó también en la terminal de salida del PIC17C42 (EB) otro contador que acumula la cantidad de transmisiones emitidas. El transmisor y el PIC se alimentaron con una batería de gel de 12V. En las primeras horas se acumularon la mayor cantidad de errores, ya que se obtuvo una relación de 19523 transmisiones enviadas (TXE) contra 19155 transmisiones recibidas correctamente (TXR), aproximadamente a las 28 horas de funcionamiento se obtuvieron lecturas de 31522 TXE contra 31142 TXR, 37495 TXE contra 37108 TXR, 47675 TXE contra 47288 TXR, lo cual nos dio que los resultados que se fueron acumulando eran 368, 380, 387, 387 para cada uno de los instantes que se describieron con anterioridad.



---

En la etapa posterior de este proyecto se pretende lograr una comunicación por medio de un transceptor en FM, utilizando métodos de modulación FSK. Además de una comunicación bidireccional (half-duplex) entre la EB y el CE, para el registro de señales que se generan en diversas áreas del cerebro al aplicar una estimulación eléctrica sobre el sujeto en experimentación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPITULO 4

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE ESTIMULACIÓN.

*"No basta saber, se debe también aplicar. No es suficiente querer, se debe también hacer".  
Johann Wolfgang Von Goethe.*

### 4.1 Componentes del circuito estimulador (CE).

Este circuito consta básicamente de un microcontrolador PIC16C84, un oscilador (cristal de cuarzo) y un Receptor.

El PIC16C84 únicamente se utilizará para pruebas de funcionamiento, ya que en la práctica se utilizarán técnicas de montaje superficial (un microcontrolador PIC16C84, que cuenta con una memoria EEPROM que puede ser reprogramada; un receptor (RXM-315-LC), resistencias SMD 0402 y transistores SOT23). El CE se recubrirá con un material biocompatible para su posterior implantación en animales de laboratorio.

#### 4.1.1 Microcontrolador PIC16C84.

Este microcontrolador pertenece a la gama mediana de Microchip, que es la más completa y variada. Abarca modelos con encapsulados desde 18 hasta 68 terminales, cubriendo varias opciones para la integración de más periféricos. Dentro de esta gama se encuentra el PIC16X84 y sus variantes, esta fabricado con tecnología CMOS, encapsulado en plástico

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

con 18 terminales (ver Fig. 4-1) y con un repertorio de 35 instrucciones para su programación, además de ser compatible con el de la gama baja.

Aquí se propone el uso de este microcontrolador ya que dispone de una memoria EEPROM que contiene su programación, 64 bytes de este tipo, para la memoria de datos. Su ventaja es la facilidad con que puede reprogramarse, ya que los dispositivos EEPROM se borran eléctricamente y no requieren de un proceso de borrado con rayos ultravioleta que retrasa y complica su nuevo uso. Esta ventaja hace de este microcontrolador uno de los dispositivos más empleados en los laboratorios de diseño.

#### Las características del PIC16C84.

- Memoria de programa de 1k palabras de 14 bits, EEPROM
- Memoria de datos RAM de 36 localidades.
- Memoria de datos formada por dos áreas (donde se alojan 22 registros de propósito específico).
- 12 registros de propósito específico (SFR) y 36 de propósito general (GPR) todos ellos del tamaño de un byte.
- Memoria de datos EEPROM de 64 bytes.
- Dispone de una pila de 8 niveles para permitir llamadas a subrutinas anidadas.
- Un juego reducido y sencillo de 35 instrucciones.
- El encapsulado es de plástico DIP con 18 terminales.
- Permite un rango de frecuencias de trabajo hasta 10 MHz.
- Dispone de temporizador (TMRO), y de watchdog (WDT).
- Tiene 13 líneas de E/S digitales, divididas en dos puertos ("Puerto A" 5 líneas y "puerto B" 8 líneas).
- Tiene 4 tipos diferentes de interrupciones.
- Activación de la terminal RB0/INT.
- Desbordamiento del TMRO.
- Cambio de estado en alguna terminal RB7-RB4.
- Fin de la escritura de la EEPROM de datos.
- Máxima corriente absorbida por línea: 25mA.
- Máxima corriente suministrada por línea: 20 mA.
- Voltaje de alimentación (VDD) debe estar entre 2 y 6 V DC.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Voltaje de grabación de programa (Vpp) debe estar entre 12 y 14 VDC.

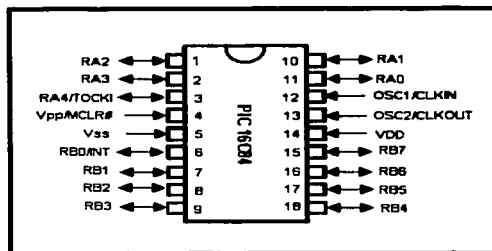


Fig. 4-1. Microcontrolador PIC16C84 [40].

#### Función de las terminales:

- OSC1/CLKIN: Entrada externa de los impulsos de reloj o conexión con el cristal de cuarzo donde este proporciona la frecuencia de trabajo del microcontrolador.
- OSC2/CLKOUT: Salida de Fosc/4 en modo de oscilador R-C o conexión con el cristal de cuarzo (terminal auxiliar del circuito).
- VPP/MCCLR: En modo de grabación por esta terminal se introduce la tensión VPP (12-14V DC). En funcionamiento normal esta terminal soporta la petición Reset
- RA0-RA3: Líneas de E/S del Puerto A
- RA4/T0CKI: Línea de E/S del Puerto A o entrada de impulsos de reloj para TMR0.
- RB0/INT: Línea de E/S del Puerto B o petición de interrupción.
- RB1-RB7: Líneas de E/S del Puerto B.
- VDD: terminal por la que se aplica la tensión positiva de la alimentación.
- Vss: terminal conectada a tierra o negativo de la alimentación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Memoria de programa.**

Tiene implementadas 1024 palabras de 14 bits cada una, ocupando las direcciones comprendidas entre la 0x0000<sup>1</sup> y la 0x03FF. Los modelos de la gama media alcanzan hasta 8192k palabras máximo.

**Memoria de datos RAM.**

Consta de dos bancos de 128 bytes cada uno. En el PIC16C84 sólo esta implementadas las 48 primeras direcciones de cada banco. En las 12 primeras se ubican los registros de propósito específico (SFR) y en las 36 siguientes los registros de propósito general (GPR). Sin embargo, los 36 registros de propósito general del Banco 1 se mapean sobre el Banco 0, dejando reducidos a 36 los registros operativos de este tipo.

**Memoria de datos EEPROM.**

Los datos guardados en esta memoria no se pierden al quitar la alimentación. Consta de 64 bytes que ocupan direcciones comprendidas entre la 0x00 y la 0x3F. Para acceder a esta memoria en lectura o escritura hay que utilizar los registros de control: EEDATE, EEADR, EECON1 y EECON2 [39].

**4.1.2 El reloj de oscilación.**

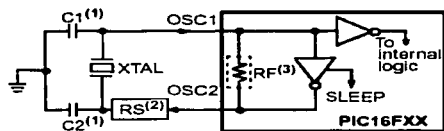
La frecuencia de trabajo del microcontrolador es un parámetro fundamental para lograr establecer la velocidad de ejecución de cada instrucción y el consumo de energía.

Cuando un PIC16X8X funciona a 10MHz, que es su máxima frecuencia, le corresponde un ciclo de instrucción de 400 ns, puesto que cada instrucción tarda en ejecutarse cuatro periodos de reloj, o sea,  $4 \times 100 \text{ ns} = 400 \text{ ns}$  [31]. Todas las instrucciones del PIC se realizan en un ciclo de instrucción, menos las de salto, que tardan el doble.

El oscilador es colocado en las terminales FOSC1 y FOSC0, su configuración depende de la frecuencia del cristal de cuarzo. Existen 4 modos de configuración [39]:

- LP Low Power Crystal
- XT Crystal/Resonator
- HS High Speed Crystal/Resonator
- RC Resistor/Capacitor

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Mode	Freq	OSC1:C1	OSC2:C2
LP	32 kHz	68 - 100 pF	58 - 100 pF
	200 kHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
XT	100 kHz	100 - 150 pF	100 - 150 pF
	2 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
	4 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
HS	4 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF
	10 MHz	15 - 33 pF	15 - 33 pF

Fig. 4-2. Conexión del oscilador en el PIC16C84 [40].

#### 4.2 Diagrama eléctrico del circuito estimulador.

El diagrama eléctrico del CE (ver Fig. 4-3) muestra la conexión entre cada uno de los componentes que lo integran; básicamente consta de un microcontrolador PIC16C84, un oscilador (cristal de cuarzo) y un receptor (RXM-315-LC). El reloj de oscilación con que cuenta el microcontrolador es de 100kHz, lo cual proporciona una velocidad de transmisión de 1000 baudios. La implementación de éste (ver Foto. 4-1) fue sobre una tabllita universal, para fines de prueba.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>1</sup> Ox al inicio de cada número significa que éste se encuentra representado en sistema hexadecimal

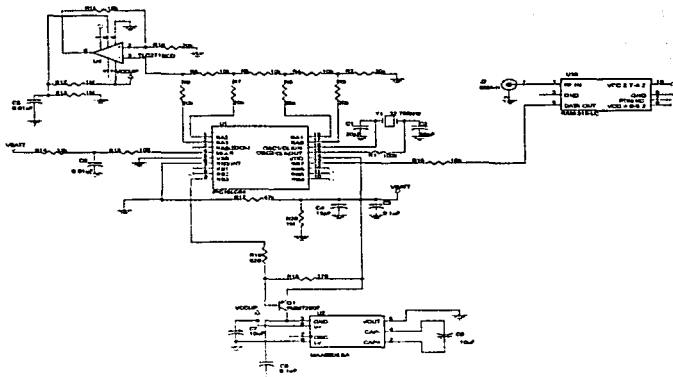


Fig. 4-3. Esta figura muestra el diagrama eléctrico del circuito de estimulación.

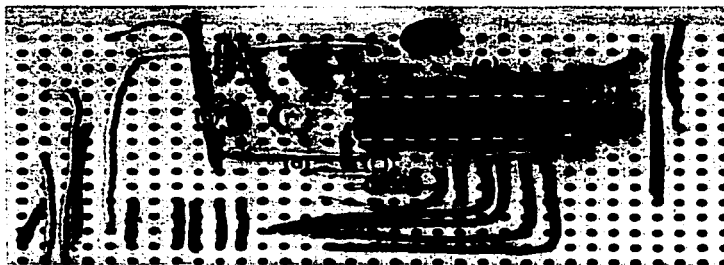


Foto 4-1. Esta figura muestra el circuito que se utilizó para fines de prueba para la recepción de parámetros de estimulación, el cual contiene: microcontrolador PIC16C84 (a), cristal de cuarzo a 100kHz (b), resistencias (c), LED's (d) y capacitores (e). Este circuito (a) se encargará de recibir los datos de estimulación para posteriormente llevar a cabo la estimulación eléctrica sobre el sujeto experimental. Note que el PIC16C84 se reemplazará por el PIC16LC84 en el ensamblado final por cuestiones de tamaño. Circuito diseñado por M. en C. Salvador Almazán Alvarado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **4.3 Programación del circuito de estimulación.**

La programación del circuito de estimulación fue desarrollada en lenguaje ensamblador. Se utilizó el simulador MPLAB versión 4.99.07 y un programador PICTART PLUS de la marca Microchip.

Este módulo del sistema tiene como tarea principal generar y aplicar estimulaciones eléctricas sobre el animal de laboratorio.

Este módulo del proyecto tiene contemplados el uso de 32 estimuladores a forma de prueba, pero podrán ser controlados hasta 128 estimuladores.

La programación del CE esta diseñada de tal manera que al encender configura todas la opciones necesarias para su funcionamiento (activación de puertos, interrupciones, entre otros), luego busca si existe algún flujo de datos, si no detecta nada entrará en un estado de reposo (*sleep*) aproximadamente de 2 s, para consumir el mínimo de energía; cuando sale de este estado nuevamente espera la llegada de algún mensaje, si no lo hay repite la secuencia anterior. Si lo hay el CE comenzará un proceso de almacenamiento de datos, que al final son comparados con una secuencia de datos previamente almacenados para cada CE, si estos últimos coinciden con los datos capturados se llevará a cabo la estimulación sobre el sujeto de estudio, de lo contrario se iniciará un ciclo de *sleep*.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Aquí se muestra el diagrama de flujo que describe el funcionamiento del CE.

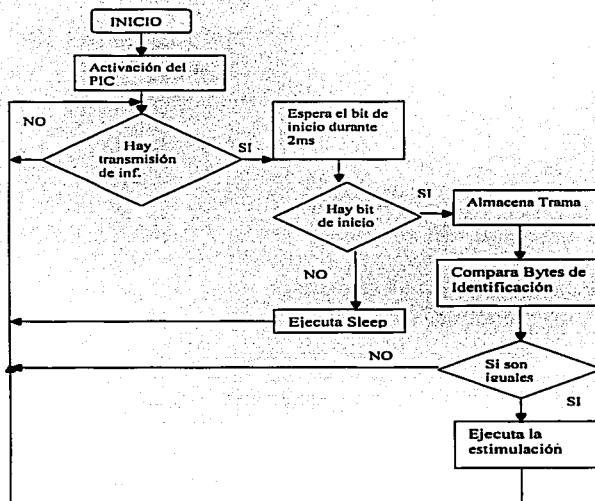


Fig. 4-4 Diagrama a flujo del funcionamiento del CE.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Al inicio del programa en cada CE se hace una lectura constante del puerto B (ver Esquema del PIC16C84, Fig. 4-1), específicamente en el bit RB7, esperando la llegada de un 1 (nivel alto) con un ancho de pulso de 2ms +/- 20% de holgura (es decir, entre 1.8ms y 2.2 ms) si esto sucede se comienza a almacenar cada uno de los bits que llegan por RB7 hasta almacenar una trama de 48 bits (6 bytes) de información.

La trama almacenada es comparada al final con otra trama ya definida para cada circuito estimulador. Si ambas son iguales el estimulador prosigue a ejecutar la estimulación, de lo contrario la omite y se va a un estado de reposo (*SLEEP*) para después volver a hacer una lectura constante de RB7 por unos segundos; si no recibe información de la estación base vuelve al estado de reposo, pero si la estación base ha comenzado a enviar información el circuito estimulador debe almacenarla.

Cada bit de información enviado al Circuito estimulador tiene una duración de un milisegundo (ms). La trama que recibe por el pin RB7 dura aproximadamente 48ms.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1 :ÚLTIMA MODIFICACIÓN 1 DE FEBRERO DEL 2003.  
 2 : Este programa recibe a 1000bps una trama que consta de un tren de pulsos  
 3 : (que dura aproximadamente 4 segundo) y 48 bits de datos.  
 4 : Los bits de datos son almacenados en registros para ser  
 5 : comparados con otros datos. Si estos resulta ser iguales  
 6 : se encienden dos leds (as terminales RA2 y RA3  
 7 : de lo contrario en cendera un led por el RA3.  
 8  
 9 : se utilizó un PIC16C84 y un cristal de cuarzo a 100kHz.

```

10
11
12
13 LIST P=16C84 ;TIPO DE CONTROLADOR Y FORMATO
14
15 include "p16c84.inc"
16
17
18 TIEMPO EQU 0x0C
19 MINIMO EQU 0x0D
20 MAXIMO EQU 0x0E
21 IDE1 EQU 0x0F
22 IDE2 EQU 0x10
23 IDE3 EQU 0x11
24 IDE4 EQU 0x12
25 IDE5 EQU 0x13
26 IDE6 EQU 0x14
27 CONTADOR EQU 0x15
28 IDENTIFICACION1 EQU 0x16
29 IDENTIFICACION2 EQU 0x17
30 IDENTIFICACION3 EQU 0x18
31 IDENTIFICACION4 EQU 0x19
32 IDENTIFICACION5 EQU 0x1A
33 IDENTIFICACION6 EQU 0x1B
34 CONTADO EQU 0x1C
35
36

```

```

37 -----
38 ASIGNACION DE MEMORIA DE PROGRAMA
39 -----
40
41

```

```

42
43 org 0x00
44 goto START ;Código principal en START
45
46 -----
47

```

48 : Rutina que genera un tiempo de 560 us.

```

49
50 DELAY incf CONTADOR,1
51 btfs CONTADOR,1
52 goto DELAY
53 btfs CONTADOR,0
54 goto DELAY
55 clrf CONTADOR
56 return
57 -----

```

58 : Rutina para generar un tiempo de 615 ms

```

59
60 ENCENDIDO movlw 0x1f
61 movwf CONTADO
62 movlw 0x0F
63 movwf CONTADOR
64 decremento cwnwd CONTADO,1
65 decfsz CONTADOR,1
66 goto decremento
67 decfsz CONTADOR,1

```

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

```

68      goto      decremento
69      return
70
71 -----
72
73      :          CÓDIGO PRINCIPAL
74      :
75 -----
76
77
78 START      bsf      STATUS,5          ;Banco 1
79      movlw    0x00
80      movwf   TRISB      ;PORTB<4-7> AS INPUTS
81      cld     TRISA      ;Puerta A salida
82      movlw    0x00
83      movwf   OPTION_REG ;PRESCALER asignado al TIMER0
84      bcf     STATUS,5
85      cld     PORTA      ;Limpia PUERTO A
86      cld     PORTB      ;Limpia PUERTO B
87      cld     TIEMPO
88      cld     IDE1       ;Limpia el registro del 1er. byte
89      cld     IDE2       ;Limpia el registro del 2do. byte
90      cld     IDE3       ;Limpia el registro del 3er. byte
91      cld     IDE4       ;Limpia el registro del 4to. byte
92      cld     IDE5       ;Limpia el registro del 5to. byte
93      cld     IDE6       ;Limpia el registro del 6to. byte
94      cld     CONTADOR
95      movlw    0x49
96      movwf   IDENTIFICACION1 ;de la trama.
97      movlw    0x55
98      movwf   IDENTIFICACION2 ;Carga el valor del 2do. byte
99      movlw    0x77
100     movwf   IDENTIFICACION3 ;de la trama.
101     movlw    0x2F
102     movwf   IDENTIFICACION4 ;Carga el valor del 4to. byte
103     movlw    0x64
104     movwf   IDENTIFICACION5 ;de la trama.
105     movlw    0xC8
106     movwf   IDENTIFICACION6 ;Carga el valor del 6to. byte
107     movlw    0x0E
108     movwf   IDENTIFICACION7 ;de la trama.
109     movlw    0x00
110     movwf   IDENTIFICACION8 ;Tiempo de 1.8 ms.
111     movlw    0x1B
112     movwf   IDENTIFICACION9 ;Tiempo de 2.2 ms.
113     movlw    0x00
114     movwf   IDENTIFICACION10 ;Desactivación de interrupciones.
115     movwf   INTCON
116     cld     TMR0       ;Limpia el TIMER0
117
118 -----
119
120
121
122
123 WAIT      btss     INTCON,0          ;Se espera un cambio de nivel
124      goto      WAIT
125      movlw    TMR0,W
126      movwf   TIEMPO
127      cld     TMR0
128      btsc    PORTB,7          ;Si encuentra un cero significa que
129      movlw    TIEMPO,W        ;el anterior fue una 1
130      subwf   MINIMO,W        ;Se compara si el tiempo de duración
131      btsc    STATUS,C        ;del nivel sio anterior se encuentra
132      goto      FIN           ;entre 1.8 ms y 2.2 ms
133      movlw    TIEMPO,W
134      subwf   MAXIMO,W
135      btsc    STATUS,C
136      goto      FIN
137      bcf     IDE1,0          ;Si es correcta se guarda el 1er. bit en IDE1

```

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

138	REGISTRO	rif	IDE1,1	:Corrimiento a la izquierda.
139		btfs	PORTB,7	:Lectura del PuertoB
140		goto	UNO	
141		bcf	IDE1,0	
142		goto	VERIFICA	
143	UNO	goto	IDE1,0	
144	VERIFICA	bcf	INTCON,0	
145		btfs	IDE1,6	:Se verifica si ya se completo el registro
146		goto	DOS	
147		call	DELAY	
148		goto	REGISTRO	
149				
150	DOS	btfs	INTCON,0	:Se espera un nuevo cambio de nivel
151		goto	DOS	:para comenzar a guardar el 2do. dato
152		nop		
153		nop		
154		nop		
155		clrwtd		:Limpia el WD
156	REGISTRO2	rif	IDE2,1	
157		btfs	PORTB,7	:Lectura del puerto B
158		goto	UNO2	
159		bcf	IDE2,0	
160		goto	VERIFICA2	
161	UNO2	nop		
162		bcf	IDE2,0	:limpia el bit de cambio de nivel
163	VERIFICA2	bcf	INTCON,0	:para obtener uno nuevo
164		btfs	IDE2,6	
165		goto	TRES	
166		call	DELAY	:Tiempo de espera para volver a hacer una
167		nop		:lectura del puerto B.
168		goto	REGISTRO2	
169				
170	TRES	btfs	INTCON,0	
171		goto	TRES	
172		nop		
173		nop		
174		clrwtd		
175	REGISTRO3	rif	IDE3,1	
176		btfs	PORTB,7	
177		goto	UNO3	
178		bcf	IDE3,0	
179		goto	VERIFICA3	
180	UNO3	bcf	IDE3,0	
181	VERIFICA3	bcf	INTCON,0	
182		btfs	IDE3,6	
183		goto	CUATRO	
184		call	DELAY	
185		nop		
186		nop		
187		goto	REGISTRO3	
188				
189				
190	CUATRO	btfs	INTCON,0	
191		goto	CUATRO	
192		clrwtd		
193		nop		
194		nop		
195	REGISTRO4	rif	IDE4,1	
196		btfs	PORTB,7	
197		goto	UNO4	
198		bcf	IDE4,0	
199		goto	VERIFICA4	
200	UNO4	bcf	IDE4,0	
201	VERIFICA4	bcf	INTCON,0	
202		btfs	IDE4,5	
203		goto	CINCO	
204		call	DELAY	
205		nop		
206		nop		
207		goto	REGISTRO4	

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

```

208
209
210 CINCO          btfss INTCON,0
211              goto CINCO
212              clrwdt
213              nop
214              nop
215 REGISTROS      rlf IDE5,1
216              btfsc PORTB,7
217              goto UNOS
218              bcf IDE5,0
219              goto VERIFICA5
220 UNOS           nop
221              bsf IDE5,0
222 VERIFICA5      bcf INTCON,0
223              btfsc IDE5,6
224              goto SEIS
225              call DELAY
226              nop
227              goto REGISTROS
228
229
230 SEIS           btfss INTCON,0
231              goto SEIS
232              clrwdt
233              nop
234              nop
235 REGISTROS      rlf IDE6,1
236              btfsc PORTB,7
237              goto UNOS6
238              bcf IDE6,0
239              goto VERIFICA6
240 UNOS6          nop
241              bsf IDE6,0
242 VERIFICA6      bcf INTCON,0
243              btfsc IDE6,7
244              goto COMP
245              call DELAY
246              nop
247              goto REGISTROS6
248
249
250 -----
251             COMPARACIÓN DE LA TRAMA ALMACENADA
252 -----
253
254
255 ;Una vez almacenada la información recibida se compara para
256 ;verificar si es correcta.
257
258 COMP
259             movf IDE1,w
260             subwf IDENTIFICACION1,w
261             btfss STATUS,Z
262             goto MAL
263             movf IDE2,w
264             subwf IDENTIFICACION2,w
265             btfss STATUS,Z
266             goto MAL
267             movf IDE3,w
268             subwf IDENTIFICACION3,w
269             btfss STATUS,Z
270             goto MAL
271             movf IDE4,w
272             subwf IDENTIFICACION4,w
273             btfss STATUS,Z
274             goto MAL
275             movf IDE5,w
276             subwf IDENTIFICACION5,w
277             btfss STATUS,Z

```

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

```
278      goto    MAL
279      movf   IDE6,w
280      subwf  IDENTIFICACION6,w
281      bffs   STATUS,Z
282      goto   MAL
283      bsf   PORTA,2
284      bsf   PORTA,3
285      call  ENCENDIDO
286      call  ENCENDIDO
287      call  ENCENDIDO
288      cirf  PORTA
289      goto  FIN
290 MAL    bsf   PORTA,3
291      call  ENCENDIDO
292      call  ENCENDIDO
293      call  ENCENDIDO
294      cirf  PORTA
295 FIN    bcf   INTCON,0
296      cirwdt
297      cirf  IDE1
298      cirf  IDE2
299      cirf  IDE3
300      cirf  IDE4
301      cirf  IDE5
302      cirf  IDE6
303      goto  WAIT
304
305      end
306
307
308 ;MIERCOLES 11 DE JULIO DEL 2001.
```

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.4 Implantación del circuito en el animal de laboratorio.

En este proyecto se pretende hacer una implantación de un circuito que estimule automáticamente a los animales en experimentación. A continuación se describe una implantación del nervio vago que actualmente se realizan en el INP.

##### 4.4.1 Implantación del nervio vago (NV).

La estimulación del NV se realiza a través de un conector macho colocado en la cabeza del animal en experimentación, este conector cuenta con 10 terminales, manipulados de la siguiente forma:

- 2 terminales conectados al electrodo del NV, que va desde el cuello hasta la cabeza.
- 2 terminales para el registro de la actividad eléctrica de la amígdala del lóbulo temporal.
- 2 terminales para el registro de la actividad eléctrica del hipocampo dorsal.
- 2 terminales para el registro de la actividad eléctrica muscular electromiograma.

El registro que se lleva a cabo es para observar el desarrollo de la epilepsia por medio de la actividad interictal, así como la respuesta por la estimulación eléctrica del NV.

A continuación se muestran los electrodos que se manejan en la implantación para llevar a cabo la estimulación eléctrica (ver Foto 4-2), son hechos de acero inoxidable y de tamaño reducido.



Foto 4-2 Electrodo utilizado para la implantación del NV en la rata.

**Nota:** El electrodo que se coloca en la amígdala temporal cuenta con una cánula por donde se inyecta la sustancia química que provoca la epilepsia.



Se muestra la colocación de los electrodos en el animal por medio de un estereotáxico; este equipo esta diseñado y calibrado en el sistema métrico decimal, para encontrar las áreas cerebrales (ver Foto 4-3). Los electrodos y tornillos de fijación se cubren con acrílico dental sobre el cráneo del animal de laboratorio.



**Foto 4-3 Estereotáxico:** Equipo diseñado y calibrado en el sistema métrico decimal, para encontrar las áreas cerebrales

El procedimiento que se lleva a cabo para la implantación del electrodo en el NV comienza con una incisión en la parte central del cuello del animal. En la parte caudal de la laringe para localizar el NV, que se localiza junto a la arteria carótida. Una vez localizado se hace una separación entre este y la arteria de aproximadamente 1 cm. (Foto 4-4).



**Foto 4-4 Separación del NV de la arteria carótida, aproximadamente 1cm para colocar el electrodo.**

Se monta el NV sobre un electrodo que esta unido a un cable; se coloca desde el cuello hasta la cabeza subcutáneamente (por debajo de la piel); es decir se colocan los electrodos en la cabeza del sujeto experimental junto con el otro extremo del electrodo del NV. (Foto 4-5)



Foto 4-5. Colocación de electrodos en el sujeto experimental.

La siguiente imagen (Foto 4-6) muestra un sujeto experimental implantado.



Foto 4-6. Implantación concluida en el sujeto experimental.

Una vez terminada la implantación, existe un periodo postoperación de siete días y después se realiza la estimulación eléctrica en el animal por medio de un aparato de estimulación GRASS S88 (Foto 4-7) y se realiza el registro de la actividad eléctrica por cada polígrafo

(Foto 4-8) que esta conectado a una computadora que captura dichos registros para generar gráficas que proporcionan información más detallada del experimento (foto 4-9).

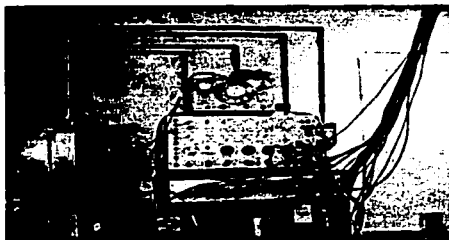


Foto 4-7. Estimulador GRASS 588.

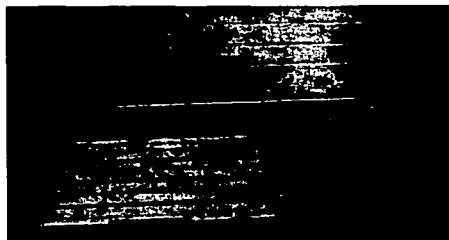


Foto 4-8. Polígrafo.

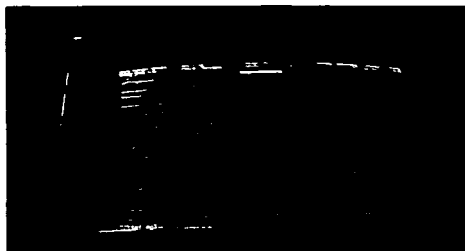


Foto 4-9. Captura del registros por computadora.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPÍTULO 5

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO ESTACIÓN BASE.

*"Después de escalar una montaña muy alta, descubrimos que hay muchas otras montañas por escalar".*

*Nelson Mandela*

### 5.1 Componentes del circuito eléctrico.

Como se había mencionado en el capítulo 2, la EB, tiene como objetivo: la recepción, almacenamiento y transmisión de información. La EB recibe información en forma serial de una PC, la información que recibe se almacena en memoria, y después se encarga de transmitir ésta hacia el o los circuitos de estimulación. Este módulo está compuesto por un microcontrolador PIC17C42; un reloj de 20MHz (cristal de cuarzo); un conector DB9; un módulo GPS para obtener la fecha y hora del meridiano; seis display de 7 segmentos para el despliegue de la hora en horas, minutos y segundos; una pantalla LCD y un transmisor EVAL315-LC. El diagrama eléctrico de la EB (ver Fig. 5-6) fue implementado (Foto. 5-1) en una tablilla universal, que fue realizada por el M. en C. Salvador Almazán Alvarado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 5.1.1 Microcontrolador PIC17C42.

El PIC17C42 pertenece a la familia gama alta de la marca Microchip. Utiliza una arquitectura de instrucciones de 16-bits, mejora el conjunto de instrucciones y las capacidades de interrupción; además que estos microcontroladores disponen de una arquitectura abierta, ya que los buses de datos, direcciones y control pueden sacarse, aumentando así la posibilidad de integrar periféricos al sistema. Así, es posible configurar sistemas similares a los que utilizan los microprocesadores convencionales, siendo capaces de ampliar la configuración interna del PIC añadiendo nuevos dispositivos de memoria y de E/S externas. Esta facultad obliga a estos componentes a tener un elevado número de terminales comprendido entre 40 y 44; además admiten interrupciones, poseen puerto-serie, temporizadores, mayores capacidades de memoria que alcanza los 8K palabras en la memoria de instrucciones y 454 bytes en la memoria de datos. A continuación se proporciona un listado de sus principales características.

#### Características generales:

- Posee 58 instrucciones simples de aprender.
- Todas las instrucciones se producen en un ciclo de máquina.
  - (121ns) excepto para algunas instrucciones de lectura/escritura.
- Velocidad de operación:
  - DC 33 MHz (reloj de entrada) Memoria EPROM: 2 k.
  - DC 121 ns (un ciclo de instrucción) Memoria de Datos (RAM): 232.
- Capacidad de interrupción.
- Pila o stack de 16 niveles.
- Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo.
- Ejecución de la memoria de programa Interna/Externa.
- Espacio de memoria de programa direccionable de 64K x 16.

#### Características de los periféricos:

- 33 terminales de I/O con control individual de dirección.
- Dos módulos de captura (entrada) y dos módulos PWM (salida).
  - Las capturas son de 16 bit, resolución máxima de 160 ns.
  - La resolución de los PWM es de 1 a 10 bits.
- TMR0: 16-bit Temporizador/Contador con 8 bits programable

preestablecidos.

- TMR1: 8-bit Temporizador/Contador.
- TMR2: 8-bit Temporizador/Contador.
- TMR3: 16-bit Temporizador/Contador.
- Cuatro puertos de comunicación (PORTA, PORTB, PORTC, PORTD, PORTE).
- Receptor y Transmisor Sincrónico Asincrónico universal (USART/SCI).

#### Características especiales:

- *Power-on Reset (POR)*, *Power-up Timer (PWRT)* y *Oscilador Start-up Timer (OST)*.
- Watchdog Timer (WDT) con oscilador propio on-chip RC para operación confiable.
- Código – protección.
- Modo SLEEP para ahorro de energía.
- Opciones para seleccionar el tipo de oscilador.

#### Tecnología CMOS.

- Potencia baja, alta velocidad tecnología CMOS EPROM/ROM.
- Diseño completamente estático.
- Amplio rango de operación de voltaje (2.5V a 6.0V).
- Rango de temperatura industrial y comercial.
- Consumo de potencia baja.
  - o < 5 mA a 5V y una frecuencia de 4MHz.
  - o 100µA típicamente a 4.5V y una frecuencia de 32KHz.  
<1µA a 5V en modo *standby*.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

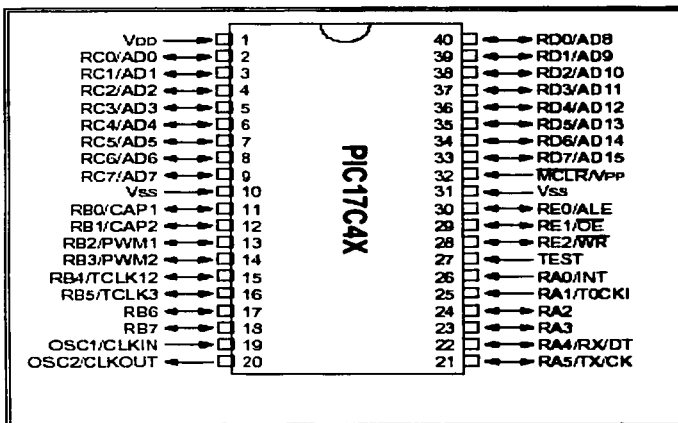


Fig. 5-1. PIC17C42 Microchip

### 5.1.2 El Reloj de oscilación.

El oscilador es colocado en los terminales FOSC1 y FOSC0, la configuración de éste, depende de la frecuencia del cristal. Existen cuatro modos de configuración:

- LF: Low Power Crystal.
- XT: Crystal/Resonador.
- EC: External Clock Input.
- RC: Resistor/Capacitor [40].

Para la Estación Base se ocupa en modo de configuración XT con un cristal de cuarzo de 20MHz, que es conectado a las terminales OSC1/CLKIN y OSC2/CLKOUT, además el cristal debe ser tipo paralelo, ya que si es usado uno tipo serie probablemente la frecuencia del cristal no será la especificada.



En nuestro caso se requiere de una frecuencia de 20MHz para obtener 200µs por ciclo de instrucción; es decir:

$$\text{Tiempo de instrucción} = (4) (\text{Tiempo de reloj}) = (4) (1/20\text{MHz}) = 200 \mu\text{s}$$

Además son conectadas dos resistencias las cuales son recomendadas por Microchip [40], la configuración del cristal al PIC17C42 se muestra en la Fig. 5-2.

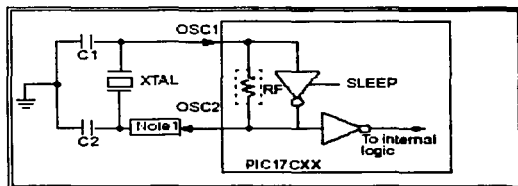


Fig. 5-2. Configuración del oscilador externo en el PIC17C42 [40].

### 5.1.3 Puerto RS-232.

El puerto serie RS-232C (Recommended Standard 232), presente en todas las PC's actuales, es la forma más comúnmente usada para realizar transmisiones de datos entre PC's. El RS-232C es un estándar que constituye la tercera revisión de la antigua norma RS-232, propuesta por la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas), realizándose posteriormente una versión internacional por el CCITT, conocida como V.24. Las diferencias entre ambas son mínimas, por lo que a veces se habla indistintamente de V.24 y de RS-232C (incluso sin el sufijo "C"), refiriéndose siempre al mismo estándar.

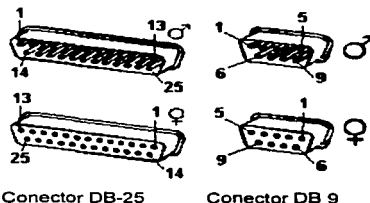
El RS-232C consiste en un conector tipo DB-25, aunque es normal encontrar la versión de 9 terminales DB-9, más barato e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos (como el ratón serie del PC). En cualquier caso, las PC's no suelen emplear más de 9 terminales en el conector DB-25. Las señales con las que trabaja este puerto serie son digitales, de +12V (0 lógico) y -12V (1 lógico), para la entrada y salida de datos, y a la inversa en las señales

de control. El estado de reposo en la entrada y salida de datos es -12V. Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros [42].

A continuación se muestra la posición de los terminales de acuerdo a la señal y su descripción (Tabla 5-1) y (Fig. 5-3).

Numero En DB-25	de Pin En DB-9	Señal	Descripción	E/S
1	1	-	Masa chasis	-
2	3	TxD	Transmit Data	S
3	2	RxD	Receive Data	E
4	7	RTS	Request To Send	S
5	8	CTS	Clear To Send	E
6	6	DSR	Data Set Ready	E
7	5	SG	Signal Ground	-
8	1	CD/DCD	(Data) Carrier Detect	E
15	-	TxC(*)	Transmit Clock	S
17	-	RxC(*)	Receive Clock	E
20	4	DTR	Data Terminal Ready	S
22	9	RI	Ring Indicador	E
24	-	RTxC(*)	Transmit/Receive Clock	S

Tabla 5-1. Posición de los terminales de acuerdo a la señal y su descripción. (\*) = Normalmente no conectados en el DB-25.



Conector DB-25

Conector DB 9

Fig. 5-3. conectores DB25 y DB9.

La computadora controla el puerto serie mediante un circuito integrado específico, llamado UART (Transmisor-Receptor-Asíncrono Universal). Normalmente se utilizan los siguientes modelos de este chip: 8250 (bastante antiguo, con fallos, sólo llega a 9600 baudios), 16450 (versión corregida del 8250, llega hasta 115.200 baudios) y 16550A (con buffers de E/S). A partir de la gama Pentium, la circuitería UART de la placa base son todas de alta velocidad, es decir UART 16550A. De hecho, la mayoría de los módems que son conectados al puerto

serie necesitan dicho tipo de UART, incluso algunos juegos para jugar en red a través del puerto serie necesitan de este tipo de puerto serie. Por eso hay veces que un 486 no se comunica con la suficiente velocidad con un PC Pentium. Las portátiles suelen llevar otros chips: 82510 (con buffer especial, emula al 16450) o el 8251 (no es compatible).

Para controlar al puerto serie, la CPU emplea direcciones de puertos de E/S y líneas de interrupción (IRQ). En el AT-286 se eligieron las direcciones 3F8h (o 0x3F8) e IRQ 4 para el COM1, y 2F8h e IRQ 3 para el COM2. El estándar de la PC llega hasta aquí, por lo que al añadir posteriormente otros puertos serie, se eligieron las direcciones 3E8 y 2E8 para COM3-COM4, pero las IRQ no están especificadas.

Mediante los puertos de E/S se pueden intercambiar datos, mientras que las IRQ producen una interrupción para indicar a la CPU que ha ocurrido un evento (por ejemplo, que ha llegado un dato, o que ha cambiado el estado de algunas señales de entrada). La CPU debe responder a estas interrupciones lo más rápido posible, para que de tiempo a recoger el dato antes de que el siguiente lo sobrescriba. Sin embargo, las UART 16550A incluyen unos buffers de tipo FIFO, dos de 16 bytes (para recepción y transmisión), donde se pueden guardar varios datos antes de que la CPU los recoja. Esto también disminuye el número de interrupciones por segundo generadas por el puerto serie.

El RS-232 puede transmitir los datos en grupos de 5, 6, 7 u 8 bits, a velocidades determinadas (normalmente, 9600 bits por segundo o más). Después de la transmisión de los datos, le sigue un bit opcional de paridad (indica si el número de bits transmitidos es par o impar, para detectar fallos), y después 1 o 2 bits de Stop. Normalmente, el protocolo utilizado 8N1 (que significa, 8 bits de datos, sin paridad y con 1 bit de Stop).

Una vez que ha comenzado la transmisión de un dato, los bits tienen que llegar uno detrás de otro a una velocidad constante y en determinados instantes. Por eso se dice que el RS-232 es asíncrono<sup>1</sup> por carácter y síncrono<sup>2</sup> por bit. Las terminales que portan los datos son RXD y TXD. Los demás se encargan de otros trabajos: DTR indica que la computadora está encendida, DSR que el aparato conectado a dicho puerto está encendido, RTS que la computadora puede recibir datos (porque no está ocupado), CTS que el aparato conectado puede recibir datos, y DCD detecta que existe una comunicación, presencia de datos. Tanto el aparato a conectar como la computadora (o el programa terminal) tienen que usar

<sup>1</sup> Es aquella transmisión en que el transmisor y el receptor no necesita coordinarse para transmitir los datos

el mismo protocolo serie para comunicarse entre sí. Puesto que el estándar RS-232 no permite indicar en que modo se está trabajando, es el usuario quien tiene que decidirlo y configurar ambas partes. Como ya se ha visto, los parámetros que hay que configurar son: protocolo serie (8N1), velocidad del puerto serie, y protocolo de control de flujo. Este último puede ser por hardware (el que ya hemos visto, el handshaking RTS/CTS) o bien por software (XON/XOFF, el cual no es muy recomendable ya que no se pueden realizar transferencias binarias). La velocidad del puerto serie no tiene por que ser la misma que la de transmisión de los datos, de hecho debe ser superior. Por ejemplo, para transmisiones de 1200 baudios es recomendable usar 9600, y para 9600 baudios se pueden usar 38400 (o 19200), ya que la opción velocidad del puerto especifica la velocidad máxima con la que los programas pueden transmitir los datos. La mayoría de los programas establecen su propia velocidad, con lo que se limita la velocidad a la que pueden enviar los datos.

Este es el diagrama de transmisión de un dato con formato 8N1 (Fig. 5-4). El receptor indica al emisor que puede enviarle datos activando la salida RTS. El emisor envía un bit de START (nivel alto) antes de los datos, y un bit de STOP (nivel bajo) al final de éstos.

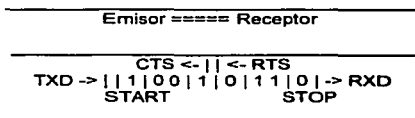


Fig. 5-4. de transmisión de un dato con formato 8N1

Para hacer posible la comunicación entre dos equipos PC o dispositivos se muestra la conexión de las líneas (Fig. 5-5) [41].

<sup>2</sup> Es aquella transmisión en que los datos son enviados en bloques, el transmisor y el receptor son sincronizados por uno o más caracteres especiales llamados caracteres syn.

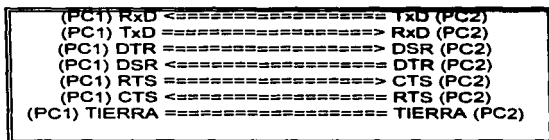


Fig. 5-5. Comunicación entre dos equipos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

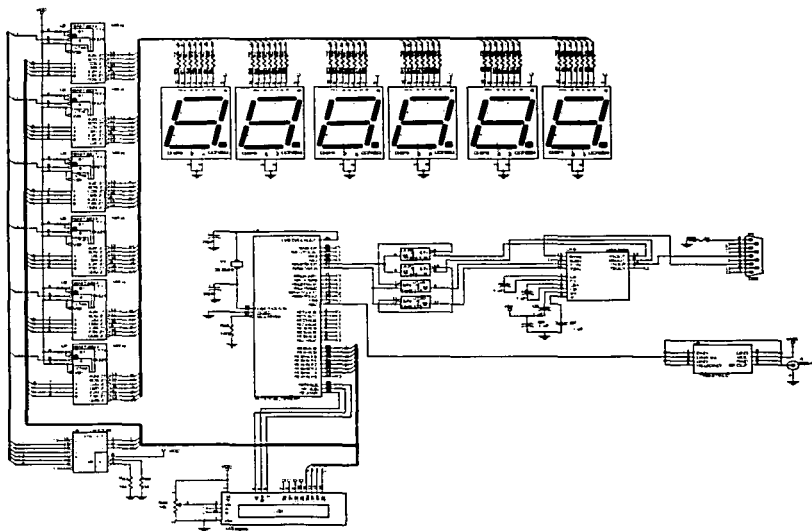
**5.2 Diagrama eléctrico del circuito.**

Fig. 5-6. En esta figura se muestra el diagrama eléctrico de estación base (diseñado por M. en C. Salvador Almazán Alvarado)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

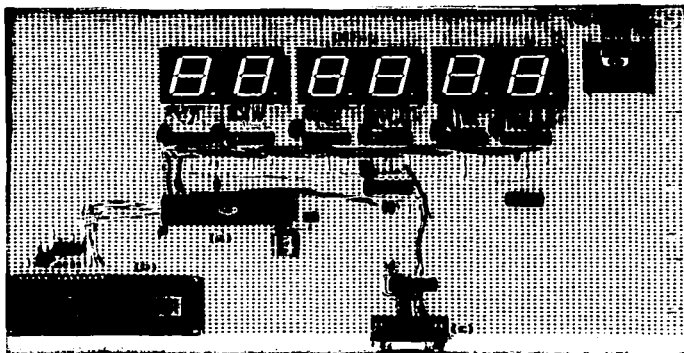


Foto. 5-1. Esta figura muestra el prototipo de estación base: microcontrolador PIC17C42 (a), pantalla de cristal líquido (b), puerto RS232 (c), display de 8 segmentos (d), alimentación del circuito 12volts (e). Este circuito (a) es el encargado del almacenamiento de los datos provenientes de la computadora por medio del puerto (c), para posteriormente enviarlos al circuito estimulación, las pantallas (b) y (d) son utilizadas para la visualización de información. Este circuito fue diseñado e implementado por M. en C. Salvador Almazán Alvarado.

### 5.3 Programación de microcontrolador PIC17C42.

La programación del circuito "Estación Base" fue desarrollada en lenguaje ensamblador, con instrucciones propias para la programación de microcontroladores PIC. Se utilizó el simulador MPLAB versión 4.99.07 y un programador PICSTART PLUS de la marca Microchip.

Esta estación está diseñada para que reciba los datos de la computadora y los integre en un protocolo de comunicación que genera para la transmisión de éstos al CE.

Se tiene contemplado que el almacenamiento de datos sea aproximadamente para 128 estimuladores, para posteriormente mandar esos datos a los diferentes estimuladores, por medio de radiofrecuencia.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A continuación se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento de la Estación Base.(Fig. 5-7)

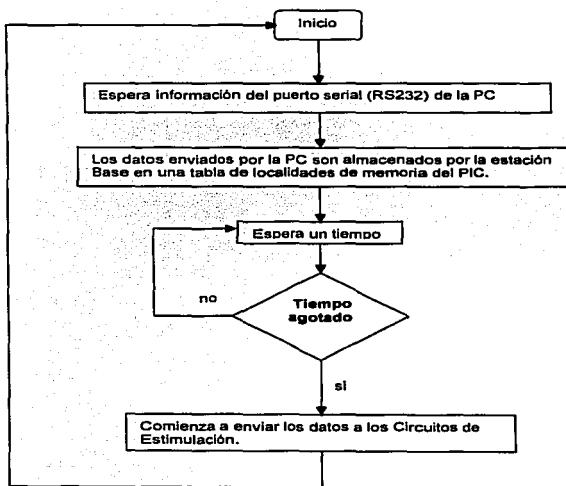


Fig. 5-7. Diagrama de flujo de la Estación Base.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- 1 :Programa para la recepción a 9600 baudios y una transmisión a 1000 baudios.
- 2 :Recibe información de la PC, los almacena en la memoria de datos(RAM) del PIC17c42.
- 3 :una vez almacenados los saca nuevamente de la RAM y los transmite
- 4 :por la terminal RB7. Tambien despliega los datos en la LCD.
- 5 :Ultima modificación 25 de febrero del 2003.

```

6
7
8 .....
9 :
10 :           RECEPCION SERIAL CON EL PIC17c42
11 :
12 .....
13
14 LIST   P=17C42
15 include "p17c42.inc"           ;PI7C42.INC Es un archivo estandar del
16                               ;ensamblador de Microchip que contiene las
17                               ;definiciones de etiquetas asociadas a los
18                               ;registros y bits del PIC17C42
19 .....
20 :           DEFINICION DE ETIQUETAS Y VARIABLES
21 :
22 .....
23
24
25 DataRX equ 0x21                ;Dato que se recibe
26 Com0BITS equ 0x22              ;Contador de bits a recibir
27 Com0DEL equ 0x23               ;Contador de retardo
28 Com0DELI equ 0x24              ;Contador de retardo
29 Bandera equ 0x25               ;Registro de banderas
30 Com0RX equ 0x26                ;Contador de retardo para recepcion
31 OK equ 0
32 TEMP equ 0x32                  ;Registro temporal para almacenar la posición de la RAM
33 CONTINT equ 0x33               ;Contador
34 END_RAM equ 0x67               ;Posición del último dato en la RAM
35 VARI equ 0x34                  ;Contador
36 VAR2 equ 0x35                  ;Contador
37 SALIDA equ 0x36                ;Registro que contiene el dato que sale por BR7
38 IIMANY equ 0x37                ;Header
39 TIMES equ 0x38                ;Header
40 #define E 0                    ;Bit enable PORTE
41 #define RS 1
42 #define RW 2
43 #define CLEAR 0x01              ;DISPLAY CLEAR de la LCD
44 #define ENTPTS 0x07             ;ENTRY MODE SET de la LCD
45 #define DOPS 0x08              ;SETS DISPLAY OFF de la LCD
46 #define DALL 0x0F              ;SETS DISPLAY de la LCD
47
48 .....
49 :
50 :           ASIGNACION DE MEMORIA DE PROGRAMA
51 :
52 .....
53
54
55 org 0                            ;VECTOR DE RESET
56 goto INICIO_RECEPCION
57
58
59 org 0x10                          ;VECTOR DE INTERRUPTCIÓN TIMERO
60 goto Tmr0_INT
61
62 .....
63 :
64 :           INICIO DE PANTALLA LCD
65 :
66 .....
67
68 ;Macro que genera tiempos desde 1 hasta 255 milisegundos.
69 REST macro T
70     local CYCLE

```

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

```

71      clrwdt
72      movlw          T
73      movwf          CONTINT
75      movlw          0xEC
76      movwf          TMR0H
77      movlw          0x77
78      movwf          TMR0L
79      movlw          0x02
80      movwf          INTSTA
81      bcf            CPUSTA, GLINTD
82  CYCLE:  clrwdt
83      movwf          CONTINT, WREG
84      xorlw          0x00
85      hfss          ALUSTA, Z
86      goto          CYCLE
87      bcf            INTSTA, TOIE
88      bcf            CPUSTA, GLINTD
89      endm
90
91
92  ;Rutina para la inicialización de la pantalla LCD.
93  LCDInit
94      movlb
95      clrf          PORTE, F
96      REST  D'20'          ;Espera de 20 ms
97
98      movlw          0x03
99      movwf          PORTD
100     bcf          PORTE, E
101     call         REST3
102     bcf          PORTE, E
103
104     movlw          0x03
105     movwf          PORTD
106     call         Enable1
107
108     movlw          0x03
109     movwf          PORTD
110     call         Enable1
111
112     movlw          0x02
113     movwf          PORTD
114     call         Enable1
115
116     call         Enable1 ;FUNCTION SET
117     movlw          0x08
118     movwf          PORTD
119     call         Enable0
120
121     clrf          PORTD, F          ;DISPLAYOFF
122     call         Enable1
123     movlw          DOFF
124     movwf          PORTD
125     call         Enable0
126
127     clrf          PORTD, F ;DISPLAY CLEAR
128     call         Enable1
129     movlw          CLEAR
130     movwf          PORTD
131     call         Enable0
132
133     clrf          PORTD, F ;ENTRY MODE SET
134     call         Enable1
135     movlw          ENTPS
136     movwf          PORTD
137     call         Enable0
138
139     movlw          DALL          ;SHOWS DISPLAY CURSOR
140     movwf          PORTD

```

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

```

141 swapf PORTD,F
142 call Enable1
143 swapf PORTD,F
144 call Enable0
145 return
146
147
148 ;Rutina que permite que los datos de la memoria de la LCD cambien.
149 Enable0
150 sf PORTE,E
151 bcf PORTE,E
152 return
153
154
155
156 Enable1
157 bsf PORTE,E
158 REST D'1'
159 bcf PORTE,E
160 return
161
162
163 ;Rutina para generar un tiempo de espera.
164 REST5
165 clrwdt
166 movlw 0x05
167 movwf CONTINT
168 movlw 0xEC
169 movwf TMR0H
170 movlw 0x77
171 movwf TMR0L
172 movlw 0x02
173 movwf INTSTA
174 bcf CPUSTA,GLINTD
175 CYCLE: clrwdt
176 movfp CONTINT,WREG
177 xorlw 0x00
178 btfsc ALUSTA,Z
179 goto CYCLE
180 bcf INTSTA,TOIE
181 bsf CPUSTA,GLINTD
182 return
183
184 :-----
185 : INICIALIZACIÓN DE VARIABLES
186 :-----
187 :
188 :-----
189
190 ;inicializa variables y puertos
191 INICIA_VAR
192 movlw 0x20 ;reloj interno TIMERO prescaler 1:1
193 movwf TOSTA
194 movlb BANK0
195 movlb BANK1 ;selección del banco 1
196 movlw 0x00
197 movwf DDRD ;PORTD es salida
198 clrf PORTD,F ;limpia PORTD
199 movlw 0xFF
200 movwf DDRC ;PORTC es entrada
201 clrf DDRE,F ;PORTE es salida
202 clrf PORTE,F ;limpia PORTE
203 clrf Banderas ;Limpiar registro de banderas
204 movlb 0
205 movlw 0x0F ;PORTB (4-7) salidas
206 movwf DDRB ;PORTB (3-0) entradas
207 clrf PORTB,F ;limpiar PORTB
208 return
209
210 :-----

```

```

211 :
212 :          RECIBIR DATO SERIAL
213 :
214 :-----
215 :
216 :;Se realiza recepcion serial a una velocidad de 9600bps, con datos de
217 :;8 bits, sin paridad y con un bit de paro, a traves del la terminal RC0. El dato
218 :;se guarda en DatoRX y se regresa en el acumulador W.
219 :
220 RECIBIR_DATO_SERIAL
221 :
222 :   clrwdt          1
223 :   movlb           1
224 :   clr             DatoRX          ;Limpiar registro de recepcion
225 :   bcf             Banderas_OK     ;Borrar bandera
226 :   bcf             PORTC.0         ;Línea de recepcion en bajo?
227 :   bifs           SaliRX          ;Si no lo esta salir
228 :   goto           RETARDO_MED     ;Retardo medio para confirmar
229 :   call           PORTC.0         ;Se comprueba el bit de arranque
230 :   bifs           SaliRX          ;Salir
231 :   goto           RETARDO100      ;Generar un retardo
232 :   call           8               ;Numero de bit que se reciben
233 :   movlw          ConBITS         ;contador de bits
234 :   movwf          RXsig
235 :   Rxsig
236 :   bsf            ALUSTA_C        ;poner el acarreo a uno
237 :   hifss          PORTC.0         ;verificar el estado de la linea
238 :   hcf            ALUSTA_C        ;si esta en cero apagar el acarreo
239 :   rrcf           DatoRX          ;insertar el acarreo el DatoRX
240 :   call           RETARDO100      ;generar un retardo
241 :   decfsz        ConBITS         ;decrementar contador de bits
242 :   goto           RXsig           ;repetir lectura de la linea
243 :   call           RETARDO_MED     ;retardo medio para bit de paro
244 :   bsf            Banderas_OK     ;recepcion valida
245 :   movwf          DatoRX,WREG     ;copiar el dato recibido a W
246 :   return         ;regresar
247 :
248 :   SaliRX         Banderas_OK     ;recepcion no valida
249 :   hcf
250 :   return
251 :
252 :-----
253 :
254 :          RETARDO MEDIO          RETARDO_MED
255 :
256 :-----
257 :
258 :;Generar un retardo (52.20 us)de la mitad del tiempo de bit para verificar si el
259 :;bit de inicio es valido
260 :
261 RETARDO_MED
262 :   movlw          .63             ;carga para 416us
263 :   movwf          ContRX          ;contador de retardo
264 :   movlw          1               ;retardo de 833us aprox.
265 :   movwf          ContDELI
266 RETARDORX
267 :   nop
268 :   decfsz        ContRX          ;decrementar registro
269 :   goto           RETARDORX      ;repetir retardo
270 :   decfsz        ContDELI        ;decrementar contador de retardo
271 :   goto           RETARDORX      ;repetir el retardo
272 :   return
273 :
274 :
275 :-----
276 :
277 :          RETARDO DE 100us
278 :
279 :-----
280 :
281 :;Genera un retardo de 100 us, para poder transmitir a la velocidad

```

**TESIS CON**  
**NO SALE**  
**FALLA LA**  
**DE LA BIBLIOTECA**

```

282 ;de 9600bps.
283
284 RETARDO100
285
286 movlw .123          ;retardo de 833us aprox.
287 movwf ContDEL      ;contador para generar retardo
288 movlw ContDEL1     ;retardo de 833us aprox.
289 movwf ContDELI     ;contador para generar retardo
290 RETARDO
291 nop
292 decfsz ContDEL      ;decrementar contador de retardo
293 goto RETARDO       ;repetir el retardo
294 nop
295 nop
296 nop
297 TIEMPO decfsz ContDELI ;decrementar contador de retardo
298 goto RETARDO       ;repetir el retardo
299 return             ;regresar
300
301 .....
302 ;
303 ; INICIO RECEPCION PIC17c42
304 ;
305 ;
306 .....
307
308 INICIO_RECEPCION
309
310 LECTURA clrf FSR1,F          ;assing FSR1 as S.P
311          decf FSR1,F
312          movlw 0x60          ;FSRO =20h
313 LIMPIA_RAM movwf INDF0,F     ;clear ram
314          incfsz FSR0,F      ;incrementa y binca si el resultado es 0.
315          goto LIMPIA_RAM
316          movlw 0x60        ;FSRO=20h
317          movwf FSR0
318          call INICIA_VAR
319 NUEVO call RECIBIR_DATO_SERIAL ;lectura del pin de recepcion
320          btfs BANDERAS,OK     ;verificar si el dato es valido
321          goto NUEVO          ;regresar, para hacer otra lectura
322
323 .....
324 ;
325 ; ALMACENAMIENTO EN RAM
326 ;
327 ;
328 .....
329
330 ;Rutina para almacenar el dato que contiene el registro DatoRX.
331 ;Esta rutina almacena 8 bytes en RAM.
332
333 RAM clrf ALUSTA
334 bsf ALUSTA,FS0
335 bcf ALUSTA,C
336 movlw END_RAM+1
337 LP movfp DatoRX,INDF0
338 clrf DatoRX,F
339 cpfsq FSR0
340 goto NUEVO
341
342 call LCDinit
343
344 .....
345 ;
346 ; RECUPERACION DE DATOS DE LA RAM. SALIDA POR RB7
347 ;
348 ;
349 .....
350 SALIDA_RB7
351 movlw 0x60

```

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

```

352 movwf FSR0 ;FSR0=20h
353 bcf ALUSTA,FS1
354 baf ALUSTA,FS0
355 bcf ALUSTA,C
356 movlw END_RAM+1
357
358 ;Secuencia de 1's y 0's, antes del envio de los datos(Header)
359
360 movlw 0x10
361 Header: movwf TIMES ;Tamaño del Header
362 H: nop
363 nop
364 bsf PORTB,7 ;envia nivel alto
365 call Delay1 ;por 1 ms
366 btfsc ALUSTA,Z
367 goto HL
368 decf TIMES,F
369 btfsc ALUSTA,Z
370 goto LP1
371 HL: nop
372 nop
373 bcf PORTB,7 ;envia un nivel bajo
374 call Delay1 ;por 1 ms
375 decf HMAN,Y,F
376 btfsc ALUSTA,Z
377 goto H
378 decf TIMES,F
379 btfsc ALUSTA,Z
380 goto LP1
381 goto H
382
383 ;Obtención de datos de la RAM para ser enviados por RB7
384
385 LP1 movpf INDF0,DatoRX
386 movpf WREG,TEMP
387 movpf DatoRX,WREG
388 movpf WREG,SALIDA
389 call SACAR
390 movpf TEMP,WREG
391 cpfseq FSR0
392 goto LP1
393
394
395
396 :-----:
397 :
398 : RECUPERACION DE DATOS DE LA RAM, SALIDA POR LCD
399 :
400 :-----:
401
402 SALIDA_LCD
403 movlw 0x60
404 movwf FSR0 ;FSR0=20h
405 bcf ALUSTA,FS1
406 bsf ALUSTA,FS0
407 bcf ALUSTA,C
408 movlw END_RAM+1
409 LPmovpf INDF0,DatoRX
410 movpf WREG,TEMP
411 call DESPLIEGUE
412 movpf TEMP,WREG
413 cpfseq FSR0
414 goto LP2
415 goto FIN
416
417 :-----:
418 :
419 : RUTINA DE DESPLIEGUE EN LA LCD
420 :
421 :-----:

```

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

```

422 :Rutina para despliegue de datos
424 DESPLIEGUE movlb
425 bcf PORTE,RS
426 movlw 0x03
427 movwf PORTD
428 bsf PORTE,RS
429 call Enable1
430 bcf PORTE,RS
431 call REST5
432 swapf DatoRX,WREG
433 movwf PORTD
434 bsf PORTE,RS
435 call Enable1
436 call REST5
437 call REST5
438 -----
439 bcf PORTE,RS
440 movlw 0x03
441 movwf PORTD
442 bsf PORTE,RS
443 call Enable1
444 bcf PORTE,RS
445 call REST5
446 movlp DatoRX,WREG
447 movwf PORTD
448 bsf PORTE,RS
449 call Enable1
450 call REST5
451 call REST5
452 call REST5
453 call REST5
454
455 return
456 .....
457 :
458 : RUTINA SALIDA DE DATOS POR RB7.
459 : .....
460
461 SACAR clwrdt
462 movlb BANK0
463 call Five1
464 movlw 0x08
465 movwf HMANY
466 ROTO: call Five2
467 rldf DatoRX,F
468 bitss ALUSTA,C
469 goto Z0
470 nop
471 bsf PORTB,7
472 goto DECO
473 Z0: bcf PORTB,7
474 call Five3
475 DECO: call Delay1
476 decfsz HMANY,F
477 goto ROTO
478 movlb BANK1
479 return
480
481
482 :SE CREA CON 14,4 para generar 16us
483 Five1
484 clwrdt
485 movlw 0x17
486 movwf VARI
487 LESS2: decfsz VARI,F
488 goto LESS2
489 return
490
491 :se crea para generar 8 us

```

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

```

492 Five2
493 clrwdt
494 movlw 0x0A
495 movwf VAR1
496 LESS3: decfsz VAR1,F
497 goto LESS3
498 return
499
500 ;e crea para generar aprox 12 us
501 Five3
502 clrwdt
503 movlw 0x14
504 movwf VAR1
505 LESS4: decfsz VAR1,F
506 goto LESS4
507 return
508
509 ;Routine that generates a 998.60 us delay time for data rate control.
510 Delay1
512 movlw 0x38
513 movwf VAR2
514 nop
515 C111:clrwdt
516 movlw 0x1C
517 movwf VAR1
518 DES1: decfsz VAR1,F
519 goto DES1
520 decfsz VAR2,F
521 goto C111
522 nop
523 nop
524 ;nop
525 nop
526 return
527
528 ;tiempo 5 ms para ver salida
529 Delay2 call Delay1
530 call Delay1
531 call Delay1
532 call Delay1
533 call Delay1
534
535
536 ; Rutina para atender interrupciones del TMR0
537 Tmr0_INT
538 movlw 0xEC
539 movwf TMR0H
540 movlw 0x77
541 movwf TMR0L
542
543 decf CONTINT,F
544 bcf INTSTA,T0IF
545 retfie
546 FIN
547 end

```

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



# CAPÍTULO 6

## SOFTWARE PARA LA NEUROESTIMULACIÓN ELÉCTRICA.

*"Después de escalar una montaña muy alta, descubrimos que hay muchas otras montañas por escalar".  
Nelson Mandela.*

### 6.1 Diseño de la interfaz de usuario.

Un programa, sea cual sea su propósito, debe recibir una serie de informaciones por parte del usuario y responder algo al usuario. El proceso a través del cual se implementa todo este intercambio de información se le conoce como interfaz de usuario. La interfaz de usuario constituye el inicio de la neuroestimulación eléctrica, ya que desde la interfaz se escogen los parámetros y así se comienza el proceso de estimulación hacia el sujeto experimental. La interfaz se desarrolló en el lenguaje de programación Java, debido a su portabilidad para trabajar en distintas plataformas (la mayoría de los lenguajes de programación son difícilmente portables a distintas computadoras) y seguridad (Fig. 6-1a). A continuación se mencionan algunas características de este lenguaje de programación.

### 6.1.1 Portabilidad de Java.

Java es totalmente portable, es decir, si tenemos un programa escrito en java, podríamos tomar el archivo fuente, llevarlo a cualquier tipo de computadora y compilarlo; sin variar una coma del código fuente, éste servirá para todos los tipos de computadora o más concretamente, para todas la plataformas, para las cuales existe un compilador de Java (Fig. 6-1)

Lo anterior, aunque fácil, no es ni elemental en java, puesto que el propio resultado de la compilación de un programa en Java es en si mismo portable. Ello quiere decir que para ejecutar un programa en java en distintas plataformas, únicamente es necesario el programa ejecutable con extensión \*.class y ejecutarlo. Lo anterior se logra introduciendo un nivel intermedio, situado entre el programa ejecutable y el código máquina, para esto Java aporta un concepto nuevo los Bytecodes<sup>1</sup> y la Máquina Virtual<sup>2</sup>.

Las ventajas de tener una Máquina Virtual es que no sólo los programas son totalmente portables, sino que el riesgo de que la computadora se quede bloqueada (algo muy frecuente cuando se esta desarrollando una aplicación) es nulo. Además que nuestra computadora no se contagia de virus al ejecutar un programa en Java. La razón es que ese programa no se esta ejecutando en la computadora real, sino en una caja de la que no puede salir para hacer cosas que perjudiquen al sistema.

### 6.1.2 Seguridad de Java.

Java dispone de 4 niveles de seguridad, como se muestra en la Fig. 6-2.

#### Nivel de lenguaje.

La primera barrera defensiva en Java se coloca a nivel de lenguaje. Si un lenguaje como tal, no posibilita el acceso, por ejemplo al disco duro nadie podrá escribir un programa en ese lenguaje que pueda dañar los discos duros.

#### Nivel de verificación de los bytecodes.

La Máquina Virtual Java verifica los bytecodes antes de ejecutarlos. Las operaciones que realiza sobre los bytecodes son de índole múltiple: analiza el formato de estos bytecodes,

<sup>1</sup> Son instrucciones binarias, muy parecidas al código máquina, que representan operaciones a realizar por una computadora que no existe en realidad (máquina virtual)

comprueba que en los bytecodes no existen punteros y se accede a los recursos del sistema a través de los objetos de Java, entre otras comprobaciones. Está garantizado que los bytecodes que hayan pasado la fase de verificación no violarán las normativas de seguridad introducidas a nivel de lenguaje.

#### Nivel de cargador de clases.

Cuando se está ejecutando una aplicación en Java, ésta puede llamar a determinados clases que pueden provenir de tres lugares distintos: de la computadora local, de la red de área local a la que pueda estar conectada la computadora cliente y de internet.

En función de la procedencia de las clases, se efectúa una serie de comprobaciones diferentes. Lógicamente el nivel de exigencia es mayor cuando hablamos de internet que cuando hablamos de la red de área local o de nuestra computadora.

#### Nivel de API de Java.

La última barrera defensiva la constituye el conjunto de métodos y clases que tenemos que utilizar en Java para acceder a los recursos del sistema. El diseño de estos recursos hace que éstos realicen muchas comprobaciones cuando son llamados, de forma que se dificultan los errores voluntarios e involuntarios.

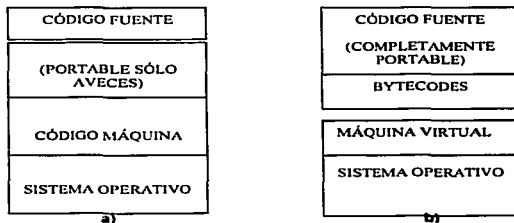


Fig. 6-1. Diferencias entre Java y los lenguajes tradicionales a) se muestra las etapas de un lenguaje tradicional para su ejecución, la parte sombreada significa la dependencia con el hardware b) muestra los procesos que Java ocupa para su ejecución, haciendo de éstos procesos la portabilidad en sus códigos, la parte sombreada significa que sólo la Máquina Virtual y sistema operativo son dependientes del hardware.

<sup>2</sup> Es un programa que toma las instrucciones binarias por bytecodes, los traduce a código máquina y los ejecuta en una computadora determinada

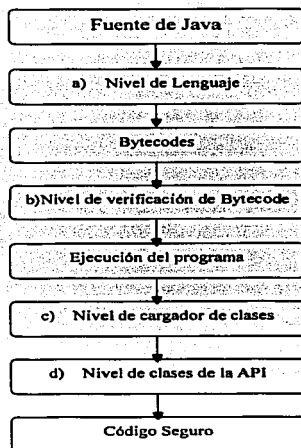


Fig. 6-2. La parte sombreada muestra los 4 niveles de seguridad de Java. Nivel de lenguaje, no posibilita el acceso a dispositivos como es disco duro (a), nivel de verificación de bytecode analiza el formato de los bytecodes, comprueba que en los bytecodes no existan punteros y se accede a los recursos del sistema a través de objetos de Java (b), nivel de cargador de clases, Java puede llamar a determinadas clases que pueden provenir de tres lugares distintos: computadora local, de red de área local y de internet (c), nivel de API de Java, el conjunto de métodos y clases que tenemos que utilizar en Java para acceder a los recursos del sistema, éstos realizan muchas comprobaciones cuando son llamados de forma que se dificultan los errores voluntarios e involuntarios (d).

Java se divide principalmente en dos rubros: applets y aplicaciones, a continuación se describen cada uno de ellos.

Los applets y aplicaciones parecen la misma cosa, ambas se escriben en el mismo lenguaje. Los applets no son programas independientes, sino que precisan de otro para ejecutarse. Los applets se incrustan en una página HTML de un modo muy similar al que se usará para incrustar una imagen, pero con la necesidad de usar un navegador<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Los navegador o browser es una aplicación —alguno, como HotJava, escrito en Java— que carga una página HTML con un applet incrustado y puede ejecutarlo porque disponen de una máquina virtual Java

En cambio, las aplicaciones sólo necesitan la Máquina Virtual Java, específicamente para cada sistema operativo, cuando se instala en el equipo en el que vayan a ejecutar. La diferencia no es trivial, y la posibilidad que tienen los applets de cargarse y ejecutarse en equipos remotos a través de Internet, ha llevado a someterlos a grandes restricciones, de manera que minimice el riesgo de daños para el equipo en que se cargan.

Por estas razones la interfaz que es utilizada en este proyecto es una aplicación de Java, donde se utilizó el paquete de Java Swing, que es una colección de recursos Java diseñada por Sun Microsystems dirigida a ampliar las posibilidades gráficas que ofrece la distribución estándar del Java Development Kit (JDK) bajo la forma del Abstract Window Toolkit<sup>4</sup> (AWT). Básicamente, Swing incluye un conjunto de herramientas y objetos destinados a la construcción de interfaces gráficas de usuario, simplificando el desarrollo de componentes para su posterior inclusión en programas basados en entornos gráficos y proporcionando un entorno de trabajo mejorado respecto del original AWT, tanto en términos de eficiencia de código como de la variedad de componentes suministrados suficientes; en principio, para el diseño e implementación de cualquier GUI (Interfaces Gráficas de Usuario)

## **6.2 Requerimiento mínimo para la interfaz de usuario.**

Los requerimientos para el uso de ésta interfaz son, una computadora con características mínimas de: 64Mb en RAM, procesador a 200MHz, disponibilidad en disco duro de 10Mb y puerto serie RS232.

---

<sup>4</sup> una biblioteca de clases Java para el desarrollo de Interfaces Gráficas de Usuario

### 6.3 Diagrama de flujo.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la interfaz de usuario, dando una descripción del proceso que llevan los parámetros de estimulación desde la inicialización de los parámetros hasta el envío de datos por el puerto RS232

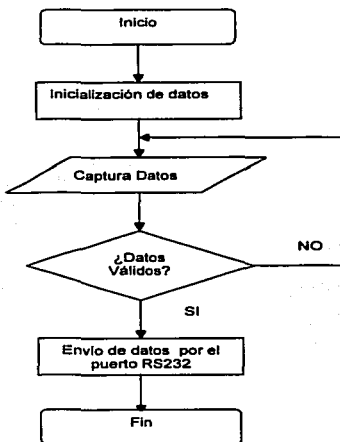


Fig. 6-3. Diagrama de flujo de la Interfaz de Neuroestimulación

#### 6.4 Interfaz de usuario.

De acuerdo al diagrama de flujo, a continuación se describe el funcionamiento de la interfaz de usuario, diseñado para la captura de los parámetros de estimulación necesarios en el sistema de neuroestimulación eléctrica.

Al inicio aparece una ventana de presentación (Fig. 6-4) que da pie a una segunda ventana (Fig. 6-5) que permite al usuario introducir los parámetros necesarios para llevar a cabo la estimulación (No. de estimulador, amplitud, frecuencia, duración de tren, ancho de pulso, hora de inicio y periodicidad).

Una vez capturados los datos se despliega una tercer ventana para confirmar si han sido correctos los datos introducidos (Fig. 6-6), si el usuario esta de acuerdo con los datos, éstos son enviados por el puerto serie de la computadora hacia la Estación Base, de lo contrario pueden ser modificados o cancelados.

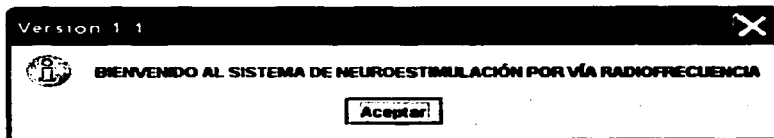


Fig. 6-4. Ventana de presentación del sistema de neuroestimulación

No. Estimulador	<input type="text" value="20"/>
Amplitud	<input type="text" value="10"/>
Frecuencia	<input type="text" value="30"/> Hz
Duración de Tren	<input type="text" value="32"/> seg
Ancho de Pulso	<input type="text" value="2560"/> us
Hora de Inicio	<input type="text" value="20"/>
Periodicidad:	<input type="text" value="15"/> hrs <input type="text" value="10"/> min

Fig. 6-5. Ventana de captura de parámetros para la neuroestimulación

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTIMULADOR INALAMBRICO

**PARÁMETROS DE ESTIMULACIÓN VIA RADIOFRECUENCIA**

No. Estimulador : 20  
 Amplitud : 10  
 Frecuencia : 30 Hz  
 Ancho de Pulso : 2500 ms  
 Duracion de Tren : 32 seg  
 Periodicidad: 15 hrs 10 minutos  
 Hora de inicio : 20 hrs

Modificar [ ] Salir

Fig. 6-6. Ventana de despliegue de parámetros capturados con la posibilidad de realizar modificaciones sobre dichos parámetros

### 6.5 Programa fuente de la interfaz de usuario.

El programa fuente de la interfaz de usuario es una programación orientado a objetos que consta de un programa principal llamado Estimulador\_PSI1 y cuatro clases: Plantilla1, Plantilla2, IntegerRangeDocument [43] y Datos.

El programa principal Estimulador\_PSI1 tiene como tarea principal el control sobre las clases antes mencionadas; en primer lugar manda a llamar a la clase Plantilla1 para hacer la captura de los parámetros de estimulación, ya que ésta clase se encarga de capturar los datos, checar rangos y no permitir caracteres o símbolos inválidos (clase IntegerRangeDocument), regresando el control al programa principal, que manda a llamar a la clase Plantilla2 que se encarga de desplegar los datos introducidos por el usuario (Fig. 6-6) con la posibilidad de regresar a la plantilla anterior y realizar alguna modificación, cuando han sido aceptados los parámetros el programa principal los envía hacia al puerto RS232 y así concluir con el paso de los parámetros de estimulación a la estación base, que a continuación se muestra.



**Programa principal Estimulador\_PSI1.**

```

1  /*Programa para llevar a cabo la transferencia de datos de la PC a la Estación Base
2  con 9600 baudios, en base a clases como son: PPlantilla1, Plantilla2, Datos y IntegerRangeDocument */
3
4  import javax.swing.*;
5  import java.awt.*;
6  import java.awt.event.*;
7  import java.io.*; //para puertos
8  import java.util.*; //para puertos
9  import javax.comm.*; //para puertos
10 import javax.swing.event.*;
11
12 public class Estimulador_PSI1{
13
14 static JFrame myFrame = new JFrame("ESTIMULADOR INALAMBRICO"); //frame
15 static Container content = myFrame.getContentPane();
16 static Plantilla1 plantillaActual1= null; /*Clase Plantilla1*/
17 static Plantilla2 plantillaActual2= null; /*Clase Plantilla2*/
18 static JPanel datoActual= null;
19 static Datos misDatos= new Datos(); /*Clase Datos*/
20 static Datos d = new Datos();
21
22
23 static JPanel NPB = new JPanel(new FlowLayout());
24
25 static JButton jb1 = new JButton ("Aceptar"); /*Botones que llevará la interfaz de usuario*/
26 static JButton jb2 = new JButton ("Salir");
27 static JButton jb3 = new JButton ("Modificar");
28 static JButton jb4= new JButton ("Enviar Datos");
29
30 static Enumeration portList; /*para la utilización de puertos*/
31 static CommPortIdentifier portId;
32 // static String messageString = "Hello, world!\n"; //para puertos
33 static SerialPort serialPort;
34 static OutputStream outputStream;
35
36 public static void main(String args[]){
37
38 JOptionPane.showMessageDialog (myFrame, "BIENVENIDO AL SISTEMA DE NEUROESTIMULACIÓN
39 VIA RADIO FRECUENCIA",
40 "Versión 1.1", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE); /*Pantalla de bienvenida del Sistema de Neuroestimulación*/
41
42 JLabel label1 = new JLabel("PARÁMETROS DE ESTIMULACIÓN VIA \n RADIOFRECUENCIA",JLabel.CENTER);
43 label1.setFont(new Font("Serif", Font.BOLD | Font.PLAIN,16));
44 label1.setBorder(BorderFactory.createTitledBorder(""););
45
46

```

```

47 myFrame.getContentPane().add(jLabel1, BorderLayout.NORTH); //para poner el letrero
48
49     jb1.addActionListener ( new ActionListener () { //Código, si es elegido el boton aceptar
50         public void actionPerformed (ActionEvent e) {
51
52
53             plantillaActual1.obtenerDatos(misDatos); /*Plantilla actual con datos  capturados*/
54             content.remove(plantillaActual1); //quita la pantalla actual
55             plantillaActual2=new Plantilla2(misDatos);
56             content.add(plantillaActual2);
57             content.remove(NPB);          /*Remueve los datos anteriores*/
58             NPB.remove(jb2);              /*Remueve los botones*/
59
60             NPB.remove(jb1);
61             NPB.add(jb3);
62             NPB.add(jb4);
63             NPB.add(jb2);
64             content.add(NPB, BorderLayout.SOUTH);
65
66             myFrame.setSize(500,300);
67             myFrame.setVisible(true);
68
69         }
70
71     });
72
73     jb3.addActionListener ( new ActionListener () { //Código, si es elegido el boton Modificar
74
75         public void actionPerformed (ActionEvent e) {
76             plantillaActual1.obtenerDatos(misDatos); //para obtener datos
77             content.remove(plantillaActual2);
78             plantillaActual1=new Plantilla1(misDatos);
79             content.add(plantillaActual1);
80
81             NPB.remove(jb3);
82             NPB.remove(jb4);
83             content.add(NPB, BorderLayout.SOUTH);
84             NPB.add(jb1);
85             NPB.add(jb2);
86
87             content.add(NPB, BorderLayout.SOUTH);
88             myFrame.setSize(600,300);
89             myFrame.setVisible(true);
90
91         }
92     });
93     jb4.addActionListener ( new ActionListener () { /*Código, si es elegido el boton Enviar Datos */

```

```

94     public void actionPerformed (ActionEvent e) {
95         portList = CommPortIdentifier.getPortIdentifiers();
96         System.out.println("hola " +portList);
97         System.out.println("que pasa "+ misDatos.varEstimulador); /*salida en pantalla*/
98
99         System.out.println("que pasa "+ misDatos.varAmplitud);
100
101
102         while (portList.hasMoreElements()) { //checa los puertos existentes de la
103             computadora
104             portId = (CommPortIdentifier) portList.nextElement();
105             if (portId.getPortType() == CommPortIdentifier.PORT_SERIAL) {
106                 if (portId.getName().equals("COM1")) {
107                     System.out.println("estoy en while " +portId); //agrego
108                     //if (portId.getName().equals("/dev/term/a")) {
109                     try { // Si el puerto no está en uso, se intenta abrir
110                         serialPort = (SerialPort)portId.open("SimpleWriteApp",2000);
111                     } catch (PortInUseException f) {}
112                     try { /* Se obtiene canal de salida*/
113                         // System.out.println("estoy en el letrero " + serialPort); //agrego
114                         outputStream = serialPort.getOutputStream();
115                     } catch (IOException f) {}
116                     try {
117                         serialPort.setSerialPortParams(9600, /*parámetros de comunicación del puerto*/
118                             SerialPort.DATABITS_8,
119                             SerialPort.STOPBITS_1,
120                             SerialPort.PARITY_NONE);
121                         System.out.println("estoy en el ya " + serialPort); //agrego
122                     } catch (UnsupportedCommOperationException f) {}
123                     try { // Se envían los mensajes//
124
125                         outputStream.write(misDatos.varEstimulador); /*Salida numero de estimulador*/
126                         outputStream.write(misDatos.varAmplitud); /*Salida amplitud*/
127                         outputStream.write(misDatos.varFrecuencia); /*Salida frecuencia*/
128                         outputStream.write(misDatos.varAncho_Pulso); /*Salida ancho de pulso*/
129                         outputStream.write(misDatos.varDuracion_Tren); /*Salida duración de tren*/
130                         outputStream.write(misDatos.varPeriodicidad_H); /*Salida periodicidad hora*/
131                         outputStream.write(misDatos.varPeriodicidad_M); /*Salida periodicidad minutos*/
132                         outputStream.write(misDatos.varHora_Incicio); /*Salida hora de inicio */
133                         //outputStream.write(messageString.getBytes())
134                         System.out.println("este seria el mensaje " +portId.getName()); //agrego
135                     } catch (IOException f) {}
136                 }
137             }
138         }
139     }
140 }

```

```

141     });
142
143     jb2.addActionListener ( new ActionListener () { /*Código, si es elegido el boton Salir */
144
145         public void actionPerformed (ActionEvent e) { System.exit(0); }
146     });
147
148
149     plantillaActual1= new Plantilla1(misDatos);
150     content.add(plantillaActual1);
151     content.add(NPB, BorderLayout.SOUTH);
152
153     NPB.add(jb1); //botones despliegue
154     NPB.add(jb2); //botones despliegue
155     jb1.setBackground(SystemColor.desktop); //pone color en el boton
156     jb2.setBackground(SystemColor.info);
157     jb3.setBackground(SystemColor.info);
158     jb4.setBackground(SystemColor.desktop);
159     content.add(NPB, BorderLayout.SOUTH);
160
161     myFrame.setLocation(120,100); //colocacion de la ventana
162
163     myFrame.setSize(500,330);
164
165     myFrame.setVisible(true);
166     myFrame.addWindowListener ( new WindowAdapter() { /* Para salidas de ventanas del sistema*/
167     public void windowClosing (WindowEvent e) {
168     System.exit(0);
169     }
170     });
171
172     }
173
174 }

```

```

1 Clase Plantilla1
2 /*Esta clase se encarga de capturar los parametros */
3 import javax.swing.text.*;
4 import javax.swing.*;
5 import java.awt.*;
6 import java.awt.event.*;
7 import javax.swing.event.*;
8
9 public class Plantilla1 extends JPanel {
10
11     Datos misDatos= new Datos();

```

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

```
12
13 JPanel container0 = new JPanel();
14 JPanel container1 = new JPanel();
15 JPanel container2 = new JPanel();
16 JPanel container3 = new JPanel();
17 JPanel container4 = new JPanel();
18 JPanel container5 = new JPanel();
19 JPanel container6 = new JPanel();
20 JPanel container7 = new JPanel();
21
22
23 JTextField txtEstimulador = new JTextField(5);
24 JTextField txtAmplitud = new JTextField(5);
25 JTextField txtFrecuencia = new JTextField(5);
26 JTextField txtAncho_Pulso = new JTextField(5);
27 JTextField txtDuracion_Tren = new JTextField(5);
28 JTextField txtPeriodicidad_H = new JTextField(5);
29 JTextField txtPeriodicidad_M = new JTextField(5);
30 JTextField txtHora_Inicio = new JTextField(5);
31
32
33 public Plantilla1(Datos d){
34
35     this.setLayout(new GridLayout(8,1));
36
37
38     this.add(container1, BorderLayout.SOUTH);
39     container1.add(new JLabel("No. Estimulador")); /*etiqueta*/
40     Document rangeOne = new IntegerRangeDocument(0,32); /*Rango establecido para el numero de
41                                     estimuladores*/
42     txtEstimulador.setDocument(rangeOne); /*Para evitar caracteres no válidos*/
43     container1.add(txtEstimulador); /*Para captura de parámetro*/
44
45     this.add(container2, BorderLayout.SOUTH);
46     container2.add(new JLabel(" Amplitud"));
47     Document rangeTwo = new IntegerRangeDocument(0,15);
48     txtAmplitud.setDocument(rangeTwo);
49     container2.add(txtAmplitud);
50
51     this.add(container3, BorderLayout.CENTER);
52     container3.add(new JLabel(" Frecuencia"));
53     Document rangeThree = new IntegerRangeDocument(0,100);
54     txtFrecuencia.setDocument(rangeThree);
55     container3.add(txtFrecuencia);
56     container3.add(new JLabel("Hz"));
57
58     this.add(container4, BorderLayout.SOUTH);
```

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

```

59     container4.add(new JLabel(" Duracion de Tren"));
60     Document rangeFour = new IntegerRangeDocument(0,120);
61     txtDuracion_Tren.setDocument(rangeFour);
62     container4.add(txtDuracion_Tren);
63     container4.add(new JLabel("seg"));
64
65     this.add(container5, BorderLayout.SOUTH);
66     container5.add(new JLabel(" Ancho de Pulso"));
67     Document rangeFive = new IntegerRangeDocument(0,5000);
68     txtAncho_Pulso.setDocument(rangeFive);
69     container5.add(txtAncho_Pulso);
70     container5.add(new JLabel("us"));
71
72     this.add(container6, BorderLayout.SOUTH);
73     container6.add(new JLabel(" Hora de Inicio"));
74     Document rangeSix = new IntegerRangeDocument(0,24);
75     txtHora_Inicio.setDocument(rangeSix);
76     container6.add(txtHora_Inicio);
77
78     this.add(container7, BorderLayout.SOUTH);
79     container7.add(new JLabel(" Periodicidad:"));
80     Document rangeSeven = new IntegerRangeDocument(0,24);
81     txtPeriodicidad_H.setDocument(rangeSeven);
82     Document rangeSeven1 = new IntegerRangeDocument(0,59);
83     txtPeriodicidad_M.setDocument(rangeSeven1);
84     container7.add(txtPeriodicidad_H);
85     container7.add(new JLabel("hrs"));
86     container7.add(txtPeriodicidad_M);
87     container7.add(new JLabel("min"));
88
89     llenarDatos(d);
90 } // fin Constructor Plantilla_1
91
92
93 /*Conversiones de datos para su mejor uso*/
94 public void llenarDatos(Datos dt)
95 {
96
97     txtEstimulador.setText(String.valueOf(dt.varEstimulador)); //entero a texto
98     txtAmplitud.setText(String.valueOf(dt.varAmplitud));
99     txtFrecuencia.setText(String.valueOf(dt.varFrecuencia));
100    txtAncho_Pulso.setText(String.valueOf(dt.varAncho_Pulso));
101    txtDuracion_Tren.setText(String.valueOf(dt.varDuracion_Tren));
102    txtPeriodicidad_H.setText(String.valueOf(dt.varPeriodicidad_H));
103    txtPeriodicidad_M.setText(String.valueOf(dt.varPeriodicidad_M));
104    txtHora_Inicio.setText(String.valueOf(dt.varHora_Inicio));
105 }

```

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

```

106
107 /*la conversión de un string en un número*/
108 public void obtenerDatos(Datos d)
109 {
110     dt.varEstimulador = Integer.parseInt(txtEstimulador.getText());
111     dt.varAmplitud   = Integer.parseInt(txtAmplitud.getText());
112     dt.varFrecuencia = Integer.parseInt(txtFrecuencia.getText());
113     dt.varAncho_Pulso = Integer.parseInt(txtAncho_Pulso.getText());
114     dt.varDuracion_Tren = Integer.parseInt(txtDuracion_Tren.getText());
115     dt.varPeriodicidad_H = Integer.parseInt(txtPeriodicidad_H.getText());
116     dt.varPeriodicidad_M = Integer.parseInt(txtPeriodicidad_M.getText());
117     dt.varHora_Inicio   = Integer.parseInt(txtHora_Inicio.getText());
118 }
119 } // fin Plantilla_1

```

```

1  Clase Plantilla2
2 /*Clase Plantilla2 realiza el despliegado de los parametros*/
3
4 import javax.swing.text.*;
5 import javax.swing.*;
6 import java.awt.*;
7 import java.awt.event.*;
8
9 public class Plantilla2 extends JPanel {
10
11     JPanel container1 = new JPanel();
12     JPanel container2 = new JPanel();
13     JPanel container3 = new JPanel();
14     JPanel container4 = new JPanel();
15     JPanel container5 = new JPanel();
16     JPanel container6 = new JPanel();
17     JPanel container7 = new JPanel();
18
19     public Plantilla2(Datos d){
20         this.setLayout(new GridLayout(8,1));
21
22         this.add(container1, BorderLayout.SOUTH);
23         container1.add(new JLabel(" No. Estimulador :  "); /*Etiqueta*/
24             container1.add(new JLabel(d.varEstimulador+ "  "); /*Manda llamar a la variable Estimulador
25                 para mostrarla en pantalla*/
26
27
28         this.add(container2, BorderLayout.SOUTH);
29         container2.add(new JLabel(" Amplitud :  ");
30             container2.add(new JLabel(d.varAmplitud+ "  ");
31

```

TRABAJO CON  
FALLA DE ORIGEN

```

32
33     this.add(container3, BorderLayout.SOUTH);
34     container3.add(new JLabel(" Frecuencia : ");
35     container3.add(new JLabel(d.varFrecuencia + " Hz"));
36
37     this.add(container4, BorderLayout.SOUTH);
38     container4.add(new JLabel(" Ancho de Pulso : ");
39     container4.add(new JLabel(d.varAncho_Pulso + " ms"));
40
41     this.add(container5, BorderLayout.SOUTH);
42     container5.add(new JLabel(" Duracion de Tren : ");
43     container5.add(new JLabel(d.varDuracion_Tren + " seg"));
44
45     this.add(container6, BorderLayout.SOUTH);
46     container6.add(new JLabel(" Periodicidad : ");
47     container6.add(new JLabel(d.varPeriodicidad_H + " hrs ");
48     container6.add(new JLabel(d.varPeriodicidad_M + " minutos"));
49
50     this.add(container7, BorderLayout.SOUTH);
51     container7.add(new JLabel(" Hora de Inicio : ");
52     container7.add(new JLabel(d.varHora_Incio + " hrs"));
53
54
55     } // fin Constructor Plantilla_2
56
57 } // fin Plantilla_2

Clase IntegerRangeDocument
1 /*Clase IntegerRangeDocument, encargada de realizar las comparaciones de rangos, así
2 como aceptar sólo datos correctos*/
3 import javax.swing.text.*;
4 import java.awt.Toolkit;
5
6 public class IntegerRangeDocument extends PlainDocument {
7     int minimum, maximum;
8     int currentValue=0;
9
10
11     public IntegerRangeDocument(int minimum,int maximum){
12         this.minimum=minimum;
13         this.maximum=maximum;
14     }
15     public int getValue(){
16         return currentValue;
17     }
18
19     public void insertString(int offset,String string, AttributeSet attributes)

```

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



```
20 throws BadLocationException{
21
22     if(string==null){
23         return;
24     }else {
25         String newValue;
26         int length = getLength();
27         if(length==0){
28             newValue=string;
29         }else{
30             String currentContent=getText(0,length);
31             StringBuffer currentBuffer = new StringBuffer(currentContent);
32             currentBuffer.insert(offset,string);
33             newValue=currentBuffer.toString();
34         }
35     }try{
36         currentValue=checkInput(newValue);
37         super.insertString(offset,string, attributes);
38     }catch (Exception exception){
39         Toolkit.getDefaultToolkit().beep();
40     }
41 }
42 }
43
44 public void remove (int offset, int length)throws BadLocationException{
45     int currentLength=getLength();
46     String currentContent=getText(0,currentLength);
47     String before= currentContent.substring(0,offset);
48     String after=currentContent.substring(length+offset,currentLength);
49     String newValue=before+after;
50     try{
51         currentValue=checkInput(newValue);
52         super.remove(offset,length);
53     }catch(Exception exception){
54         Toolkit.getDefaultToolkit().beep();
55     }
56 }
57
58 public int checkInput(String proposedValue) throws NumberFormatException{
59     int newValue=0;
60     if(proposedValue.length()>0){
61         newValue=Integer.parseInt(proposedValue);
62     }
63     if((minimum <= newValue) && (newValue <= maximum)){
64         return newValue;
65     }
66     else{
```

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

```
67     throw new NumberFormatException();
68 }
69 }
70 }
```

**Class Datos**

```
1 import javax.swing.text.*;
2 import javax.swing.*;
3 import java.awt.*;
4 import java.awt.event.*;
5
6 class Datos{
7
8     public int varEstimulador=0; //inicialización de parametros de estimulación
9     public int varAmplitud=0;
10    public int varFrecuencia=0;
11    public int varAncho_Pulso=0;
12    public int varDuracion_Tren=0;
13    public int varPeriodicidad_H=0;
14    public int varPeriodicidad_M=0;
15    public int varHora_Inicio=0;
16
17
18 } // fin Datos
```

## CONCLUSIONES

- El sistema esta enfocado hacia la estimulación eléctrica, para la investigación en neurofisiología, ya que debido a sus características puede ser aplicado en cualquier campo donde se requiera estimulación eléctrica. Una aplicación directa de este sistema es en estudios experimentales sobre epilepsia (en ratas y gatos), ya que en éste campo la estimulación eléctrica es utilizada para el control de crisis que esta enfermedad produce, o bien, la generación de crisis en modelos experimentales (kindling). La aplicación de estimulación eléctrica en animales se realiza manipulando estimuladores (de voltaje o corriente) de gran tamaño, que requieren de un espacio adecuado para su operación. Con este sistema se obtiene registros electroencefalográficos y conductuales, libres de manipulación humana y de estrés.
- Se usó el microcontrolador para el CE, ya que dispone de una memoria EEPROM para contener el programa, además de 64 bytes des este tipo para la memoria de datos. Su ventaja radica en la facilidad con que pueden ser reutilizados nuevamente, ya que los dispositivos EEPROM se borran eléctricamente evitando así procesos de borrado complicados y tardíos con en el caso de borrado por rayos ultravioleta como en el caso de los dispositivos EPROM.
- Para la EB se usó el microcontrolador PIC17C42 que pertenece a la familia de gama alta de Microchip. Trabaja con una arquitectura de instrucción de 16 bits, maneja un conjunto de instrucciones y capacidades de interrupción mejoradas con respecto a los anteriores microcontroladores de Microchip. Estos corresponden a una arquitectura abierta, de tal manera que pueden extender sus posibilidades sacando los buses de datos, de dirección y control.
- La interfaz de usuario diseñada para la captura de los parámetros de estimulación, se desarrolló en el lenguaje de programación JAVA, debido a su portabilidad para trabajar en distintas plataformas (la mayoría de los lenguajes de programación son difícilmente portables a distintas computadoras) y seguridad (nivel de lenguaje, Nivel de verificación de los bytcodes, nivel de cargador de clases y nivel de API de Java, ).
- Con nuestros resultados, se mostró que la transmisión radiofrecuencia tiene grandes ventajas en la manipulación del sistema, ya que se pueden realizar

estimulaciones en tiempo real con 128 sujetos experimentales diferentes; por lo tanto los métodos de estimulación se mejoran considerablemente, pues, se elimina instrumentación costosa, ahorro de tiempo, eliminación de cableado y estrés en los animales.

- En un futuro cercano se espera que en México se realicen implantes con este sistema, para la estimulación eléctrica en el nervio vago, a personas que padecen epilepsia, ya que este tratamiento ha logrado una reducción de crisis. Muestra de ello son los dispositivos creados por la empresa Cyberonics (E.U), que promueve sus productos como una opción para las personas con epilepsia de difícil control, mejorando notablemente su calidad de vida.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] SNELL Richard S. Neuroanatomía Clínica. Panamericana, 4 ed., México 1999
- [2] HUGH Brown Cerebro y Comportamiento. Paraninfo, Madrid 1982
- [3] GANONG William F. Fisiología Médica. Manual Moderno, 15 ed., México 1998
- [4] ALMAZAN Alvarado S. Tesis Diseño y Construcción de un Estimulador Eléctrico Funcional de uso Clínico y de Investigación. CINVESTAV IPN, México 2000
- [5] EZPELETA, David. Epilepsia (Apuntes de Neurología) Capítulo 4.  
<http://personal4.iddeo.es /dezpeleta/cap4.htm>
- [6] GONZALEZ Rubio, Ana. Tratamiento de la Epilepsia.  
<http://www.lafacu.com/apuntes/educación/epilepsia/>
- [7] BENITEZ Crespo, Juan Alberto. Investigación de la persona con Epilepsia.  
<http://www.lafacu.com/apuntes/educación/epilepsia/>
- [8] Asociación de Implantados Cocleares de España. Página. Es la revista que edita la Asociación de Implantados Cocleares de España (AICE),  
<http://personal.redestb.es/aice/aice3.htm>
- [9] Sociedad Iberoamericana de Información Científica, 21 de Febrero del 2003  
<http://www.saludpublica.com/ampl/amp105/99716018.htm>
- [10] La Estimulación Eléctrica Gástrica Como Alternativa Terapéutica  
<http://www.siicsalud.com/dato/dat016/00324004.htm>
- [11] AMAR A P, Heck C N, Levy M L et al. Neurosurgery 1998, 43: 1265-1280
- [12] <http://www.panorama-actual.com/Sociedad/Not27170.htm>
- [13] XXIII Congreso Nacional e Internacional de la Sociedad Mexicana de Cirujanos de Recto y Colon del 8 al 11 de Marzo de 1998, Huatulco Oaxaca.  
<http://www.hcg.udg.mx/pages/nuevo/servicio/colonyrecto/manejo/sld001.htm>
- [14] PEREDA Cardoso, CEBALLOS Mesa, ZAYAS Guillot, VALDES del Valle. Hospital Ortopédico Nacional Docente "Frank País". Ciudad de La Habana Electroestimulación del callo óseo. 1995;9(1-2)  
[http://bvs.sld.cu/revistas/ort/vol9\\_1\\_95/ort16195.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/ort/vol9_1_95/ort16195.htm)
- [15] MOSBY, Diccionario, medicina, enfermería y ciencias de la salud. Harcourt Español 2000
- [16] JFERIA Velasco, Alfredo; MARTINEZ de Muñoz, Dalila; RUBIO, Donadiu. Epilepsia, un Fuego Multidisciplinario. Ed. Trillas, Págs. 19, 1989
- [17] GOYENECHEA Gutiérrez, Francisco; Dr. GARCÍA, Ramiro. Tratamiento Quirúrgico de la Epilepsia; <http://neuroc99.sld.cu/text/ttoepilepsia.htm>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- [18] Epilepsia, <http://www.binasss.sa.cr/poblacion/epilepsia.htm>
- [19] BENITEZ Crespo, Juan Alberto. Psicobiología: Introducción a la Epilepsia, Investigación de la persona con Epilepsia. <http://www.lafacu.com/apuntes/educación/epilepsia/>
- [20] ZABARA J. Inhibition of experimental seizures in canines by repetitive vagal stimulation epilepsia, Pág. 33: 1005\_1012, 1992.
- [21] MCLAHAN RS. Suppression of interictal spikes and seizures by stimulation of the vagus nerve, Epilepsia, pág 34: 918-923, 1998.
- [22] WOODBURY DM. Woodbury JW. Effects of vagal stimulation on experimentally induced seizures in rats, Epilepsia, 31 (suppl 2): 7-9, 1990
- [23] STOICAL, Todor I. Effects of vagus afferents on strychnic focus of coronal gyrus, Rev Koum Neurol, 4: 287-295, 1967.
- [24] LOCKARD JS. Congdon WC, Ducharm E. Feasibility and safety of vagal stimulation in monkey model, Epilepsia, 31 (suppl 2): 20-26, 1990.
- [25] BU WONG, SÁNCHEZ, PEREZ, Miguel Actividad de la indigofoea suffruticosa Mill en la epilepsia crónica experimental y su relación con aminoácidos neurotransmisores.  
Revista cubana Plant Med 1999; 1(4): 18-21.
- [26] MEILÁN, QUECEDO Gutiérrez, L. Libro Electrónico de Anestesiología, Reanimación y Tratamiento del dolor.Estimulación Vagal en la Epilepsia: Coonsideraciones Anestésicas.Junio2000,  
<http://www.uam.es/departamentos/medicina/anesnet/forconred/neuro/vago/vago.htm>
- [27] GONZÁLEZ Rubio, A; Psicobiología: Introducción a la Epilepsia, "Tratamiento de la Epilepsia", <http://www.lafacu.com/apuntes/educación/epilepsia/>
- [28] Restaurando los ritmos de vida -El sistema de conducción eléctrica del corazón- Medtronic (Boletin), E.E.U.U. 1998.
- [29] BU WONG M, SÁNCHEZ R, PÉREZ de Alejo J. L, FÉRNANDEZ Pérez M. Actividad de la Indigofoea Suffruticosa Mill en la Epilepsia Crónica Experimental y su Relación con Aminoácidos Neurotransmisores. M.Revista cubana Plant Med, 1999; 1(4): 18-21
- [30] MEILÁN M. L., QUECEDO Gutiérrez, L, Libro Electrónico de Anestesiología, Reanimación y Tratamiento del dolor.Estimulación Vagal en la Epilepsia: Coonsideraciones Anestésicas, Junio 2000.  
<http://www.uam.es/departamentos/medicina/anesnet/forconred/neuro/vago/vago.htm>
- [31] CUENCA E, ANGULO J. M., ANGULO I, Microcontroladores PIC La solución en un CHIP, PARANINFO, Segunda ed., España, 1998 p.p. 5-41

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- [32] HERRERA Pérez E. Comunicaciones I, Señales, Modulación y Transmisión. LIMUSA, México 2001
- [33] KUHLMANN, ALONSO A. Información y Telecomunicaciones. Fondo de Cultura Económica, México 1996.
- [34] GUEULLE P. Comunicaciones Electrónicas Técnicas y Realización. PARANINFO, España 1991.
- [35] SANCHEZ R. Sistemas Electrónicos Digitales Fundamentales para Procesamiento y Transmisión de Datos. ALFAOMEGA, 1995 .
- [36] GIBILISCO S. Electrónica, Diccionario Enciclopédico. Mc. GRAW HILL, México 1994
- [37] TOMAS Wayne Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. PEARSON EDUCACIÓN, México 1996.
- [38] Secretaría de comunicaciones y transportes.  
<http://www.sct.gob.mx/marco/reglamentosdelsector/telecom/capitulo8.html>  
<http://wyndury.racionet.udg.mx/~aram/propuesta.htm>
- [39] Microcontrolador PIC16C84 Datasheet. <http://www.microchip.com>
- [40] Welcome to Planet Microchip Descripción: Integrated 8-bit microcontrollers.  
Categoría: Computers > Hardware > Embedded  
<http://www.microchip.com>
- [41] Estandar RS 232. Estándar de comunicaciones RS-232C (O Cómo funciona un puerto serie...)  
<http://www.euskalnet.net/shizuka/rs232.htm>
- [42] GONZÁLEZ Agustín J. V. Capítulo 3: Comunicación Asíncrona Local (RS-232)  
<http://mateo.elo.utfsm.cl/~agv/lcd327/Cap3/index.htm>
- [43] ZUKOWSKI John. Definitive Guide to Swing for Java 2, APRESS, second edition New York y Germany 2000
- [44] FRAMIÑÁN, LEÓN Blanco J. Miguel. Gestión de bases de datos en Internet: JDBC. ANAYA Multimedia. Madrid 1998
- [45] MERCHÁN Villarón, MARTÍN Martín, M. Swing 1.2. Introducción a AWT 1.3. ...  
<http://tejo.usal.es/~fgarcia/docencia/poo/99-00/swing.pdf>
- [46] FERNÁNDEZ Guardiola, A. SUBDIRECTOR DE INVESTIGACIONES EN NEUROCIENCIAS. <http://www.impcdsm.edu.mx/neurociencias/>
- [47] FERNÁNDEZ, MARTÍNEZ, VALDÉS, MAGDALENO, FERNÁNDEZ Mas. Vagus Nerve Stimulation –Effects on Circadian Sep Organization and Kindling Development in the Cat. Instituto Mexicano de Psiquiatría y Facultad de Psicología, UNAM México DF 1998.

- [48] FERNÁNDEZ, VALDÉS, MARTÍNEZ, MAGDALENO, ALMAZÁN, MARTÍNEZ, FERNÁNDEZ Guardiola. Visualización gráfica de las transiciones de las fases del sueño en el hombre: métodos de representación tridimensional. Instituto Mexicano de Psiquiatría México DF 1998.
- [49] FERNÁNDEZ, MARTÍNEZ, VALDÉS, MAGDALENO, MARTÍNEZ, FERNÁNDEZ Mas. Vagus Nerve Prolonged Stimulation in Cats: Effects on Epileptogenesis (Amygdala Electrical Kindling) : Behavioral and Electrographic Changes, Neuroscience Research Division, Instituto Mexicano de Psiquiatría y Facultad de Psicología, UNAM México DF 1998.
- [50] MARTÍNEZ, FERNÁNDEZ, LÓPEZ, VEGA, FERNÁNDEZ Guardiola. Efecto kindling producido por un foco penicilínico amigdalino, en preparaciones crónicas de gato. Estudio polisomnográfico (registros de 23 horas) y de mapeo cerebral. Instituto Mexicano de Psiquiatría, México DF 2000.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN