

# Capítulo VI. La corriente eléctrica en medicina.

## 6.1. Reseña histórica del uso médico de la electricidad.

La electricidad fue utilizada por el hombre aún antes de ser descubierta como tal. Fue William Gilbert, de Colchester, quien en el año 1600 la descubriera como fuerza y la llamara con el nombre de "elétrica" para señalar la fuerza producida por el "electrum", forma latina de la palabra griega ámbar.

Scribonius, Largus, Discórides, Galeno y otros fueron pioneros en esta rama al utilizar el pez torpedo negro para aliviar cefaléas, artritis y otras afecciones, aprovechando las descargas eléctricas que producía dicho pez, desconociendo aún la existencia de la electricidad.

En 1700, el anatomista francés Duverney ensaya por primera vez la estimulación eléctrica del músculo de la rana, 46 años más tarde, el alemán Christian Gettlieb Kratzenstein, publica en la Universidad de Halle, el primer artículo sobre la electroterapia.

Un aporte considerable fue el de Albrecht Von Haller, quien en 1756, estableciera los principios fundamentales de la función nerviosa periférica. Trabajos posteriores de Galvani demostrarían que el organismo genera electricidad y que la misma está asociada a la actividad muscular.

En 1799, Volta construye la llamada "Pila de Volta" y observa que la contracción muscular sólo se producía en los momentos de conmutación de la batería. Dos años después, Ritter experimenta con baterías en serie y llega a la conclusión, de que el muslo sólo "captaba" las variaciones rápidas de la intensidad de corriente siendo indiferente a los cambios lentos de dicha intensidad, descubriendo así lo que en la actualidad se conoce como acomodación muscular.

En 1810, Bell establecía la diferenciación entre las raíces nerviosas anteriores insensibles y las raíces posteriores sensibles, trabajo que años más tarde Magendie concluiría estableciendo la distinción final entre nervios sensitivos y motores.

Un hecho relevante lo constituirían los trabajos de Sarlandiere quien en 1825 propuso y experimentó la electropuntura.

En 1829 Stefano Marianini sugirió diferentes formas de corriente, de acuerdo a la sensación de dolor que proporcionaban y además, definió dos tipos de contracciones las que llamó idiopática y simpática.

En esa misma época y por primera vez, Duchenne de Boulogne logra estimular los músculos sin perforar la piel, valiéndose de electrodos recubiertos de tela. Además, tiene el mérito de haber sido el primero en utilizar la corriente alterna para la estimulación, sugiriendo para ello el término de "farádica".

En 1838 Carlo Mattenci, demuestra el origen muscular de las corrientes eléctricas, hecho que en 1842 determinaría Du Bois-Reymond a través de sus experimentos.

En 1860, Pflüger resume el conocimiento de los efectos de la corriente eléctrica sobre el sistema neuromuscular en las leyes que llevan su nombre. En estos años Chauveau y Benner introducen el método monopolar de estimulación y en 1864, E. Neuman da explicación a las observaciones de diferentes investigadores relacionadas con los músculos paralizados, los cuales respondían sólo a la corriente galvánica y no a la farádica planteando que, para desencadenar la contracción, la característica fundamental de la señal estimulante, o sea, de la corriente era su duración.

En 1878, el eminente científico cubano Carlos J. Finlay da a conocer, en la Academia de Ciencias de La Habana, su trabajo sobre los principios científicos de la electroterapia y su aplicación en diferentes afecciones.

En 1891 se celebró en Francfort del Meno el primer congreso sobre electroterapia. Por este tiempo, Du Bois-Reymond investiga la dependencia en el tiempo de la estimulación eléctrica y descubre la corriente de acción de los músculos y nervios. Nernst continuó los experimentos de Kries (1890) con el ánimo de estudiar los efectos estimulantes de las corrientes alternas de baja frecuencia, en 1899 publica una teoría de estimulación con corriente alterna y en 1908 una teoría de estimulación con impulsos individuales.

En 1904, Gildermeister, Bourignon y Lapique reportaron la dependencia entre estimulación eléctrica, intensidad de corriente y duración.

## **6.2. Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica.**

Para que la electricidad produzca algún efecto en el organismo, este debe entrar a formar parte de un circuito eléctrico. Para que circule una corriente eléctrica tienen que existir cuando menos dos conexiones entre el cuerpo y una fuente de tensión externa. La magnitud de la corriente depende de la diferencia de potencial entre las conexiones y la resistencia eléctrica del cuerpo. La mayor parte de los tejidos del cuerpo contienen un elevado porcentaje de agua; en consecuencia resulta un aceptablemente buen conductor eléctrico. La parte del organismo que se sitúe entre los dos puntos de contacto eléctrico constituye un conductor volumétrico no homogéneo, en el cual la distribución del flujo de corriente viene determinado por la conductividad local del tejido.

Cuando la corriente es aplicada al tejido vivo, a través de un par de electrodos, la distribución espacial de esta es virtualmente desconocida, a causa de las diferentes resistividades de los tejidos y fluidos y de sus arreglos particulares.

No existe un método simple para realizar mediciones exactas de distribución de la densidad de corriente en tejido anisotrópico. Los tejidos vivos poseen diferentes propiedades eléctricas en direcciones diferentes; por lo que, una exacta especificación de la distribución local de corriente,

necesita del conocimiento de la resistividad y gradiente de voltaje a lo largo de los tres ejes. La medición práctica de estas cantidades es una tarea formidable, nada fácil, no obstante puede hacerse una estimación basada en la resistividad de varios tejidos y fluidos. Por otra parte muchas muestras biológicas, reportadas en la literatura, se han medido sin tener en cuenta suficientemente, los errores debido a la polarización de los electrodos. Debemos apuntar además que el tejido sin vida presenta una resistividad menor que el tejido vivo. La Tabla 6.1, lista algunos valores representativos de resistividad.

<b>Muestra</b>	<b>Resistividad [<math>\Omega/\text{cm}</math>]</b>
Sangre	150
Plasma	63
Fluido de la espina cerebral	65
Pulmón	1275
Riñón	370
Cerebro	580
Grasa	2500

**Tabla 6.1.- Valores representativos de resistividad.**

El efecto de la densidad de corriente sobre los tejidos y fluidos no ha sido suficientemente investigado. La mayoría de los fluidos del cuerpo no son simples electrolitos, si no, suspensiones de células y grandes moléculas. La magnitud en la cual estos fluidos y sus componentes son afectados por la corriente, aún deben ser investigados en mayor detalle y profundidad.

Las corrientes de estimulación se emplean durante el diagnóstico para comprobar el comportamiento de los músculos y los nervios. La estimulación de corriente se usa principalmente para tratar enfermedades de músculos esqueléticos, desorden del flujo sanguíneo y dolores de causas diversas. Algunas formas especiales de tratamiento incluyen los electroshock usados en psiquiatría y la combinación de corrientes de estimulación con ultrasonido. En el sentido más amplio, la terapia con estimulación de corriente debe incluir los circuitos marcapasos y desfibriladores.

Han sido áreas de investigación en los últimos años la estimulación con frecuencia medias en nervios, músculos lisos y el desarrollo de nuevas posibilidades de aplicación, como por ejemplo el tratamiento de espasmos.

### **6.3. Corrientes de estimulación en el diagnóstico..**

El propósito de realizar mediciones para el diagnóstico sobre músculos y nervios es con el fin de establecer la extensión y localización de cualquier lesión y determinar los parámetros para el seguimiento del tratamiento.

Resulta de gran importancia la curva corriente umbral-tiempo de utilización (i-t) con sus características de reobase, cronaxia y razón de acostumbramiento; la degeneración de los músculos puede ser reconocida por los prolongados tiempos de utilización, grandes corrientes de umbral (cronaxia y reobase incrementados) y por una acomodación reducida (pequeña razón de acostumbramiento).

#### 6.4. Efectos de la estimulación eléctrica artificial.

El uso de corrientes de estimulación en la terapia y el diagnóstico, se basa en el hecho de que, la despolarización de las células y los nervios puede inducirse, con la aplicación externa de energía eléctrica. En parte la migración de iones dentro del campo eléctrico es también utilizada. La despolarización de una célula ocurre cuando el potencial a través de la membrana es repentinamente disminuido, lo cual puede ser logrado por el gradiente de voltaje producido sobre la membrana, a causa de una corriente de densidad local adecuada. Los efectos selectivos locales son debido a la heterogeneidad del flujo del campo eléctrico dentro del tejido. En correspondencia con la compleja estructura del tejido, el curso de la corriente en relación con el tiempo, juega un importante papel. Así, el dispositivo estimulador tendrá un conjunto de parámetros a incluir entre los cuales deben estar: intensidad de corriente, tiempo de utilización y dirección de la corriente.

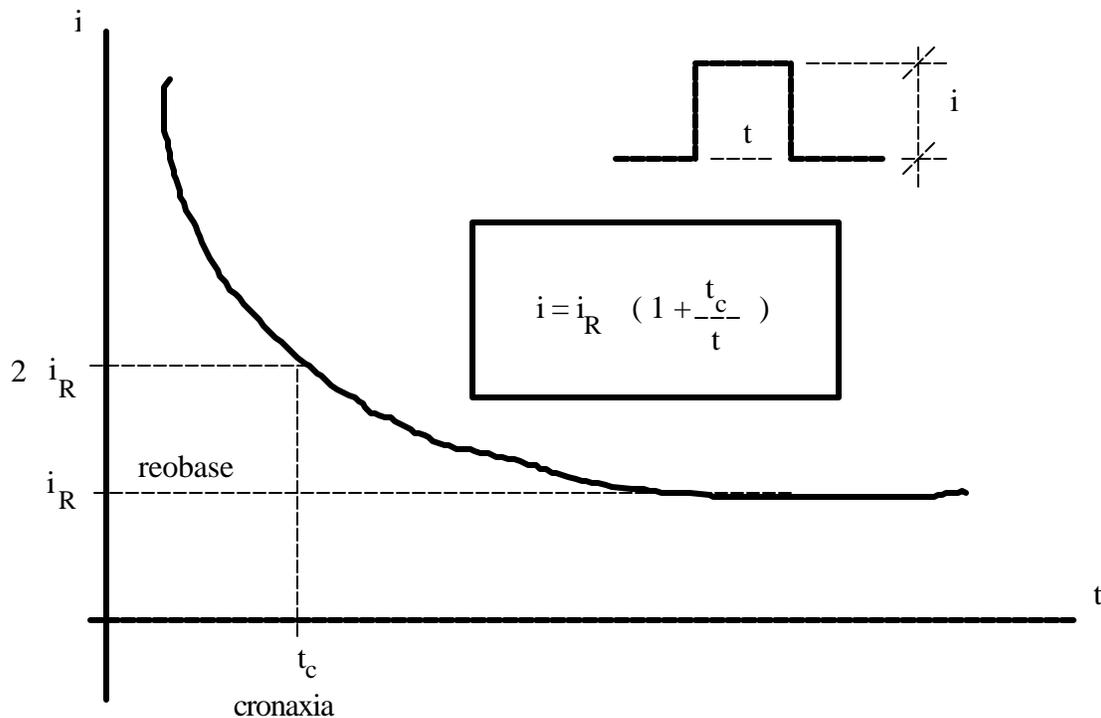


fig. 6.1.- Curva de excitabilidad de las fibras nerviosas.

Si se emplea corriente directa, las observaciones básicas siguientes, las cuales describen la relación entre corriente y tiempo, (ver fig.6.1), deben tenerse en cuenta:

- Si la intensidad de corriente es suficiente para efectuar la despolarización, cierta duración del estímulo es requerida, esta duración es el tiempo de utilización ( $t$ ).
- Una duración de estímulo dado requiere de un mínimo de corriente para lograr la estimulación de la célula. La magnitud de esta corriente es llamada corriente umbral ( $i$ ).
- Si la duración del estímulo es prolongada la corriente de estimulación tiende a un valor mínimo, el umbral básico o reobase ( $i_R$ ).
- La relación general de la corriente umbral ( $i$ ) y el tiempo de utilización ( $t$ ) está dada por

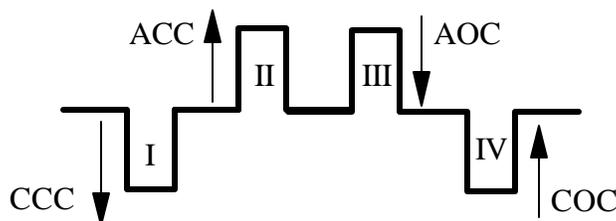
$$i = i_R ( 1 + t_c / t ) \quad (6.1)$$

$t_c$ - es el tiempo de utilización, el cual tiene una corriente umbral igual al doble de la corriente de reobase. Este tiempo de utilización es conocido como cronaxia.

Cuando la corriente se incrementa linealmente, se observa un fenómeno adicional llamado acomodación o acostumbamiento al estímulo. Esto significa que la corriente umbral depende del incremento  $di/dt$  de la corriente. El umbral de la corriente se incrementa con el decrecimiento de la velocidad, para corrientes de incrementos lentos, la despolarización no ocurrirá hasta con altos valores de corriente.

La Ley de Pflüger describe la influencia de la dirección de la corriente, o más exactamente la influencia de la dirección del impulso del gradiente de potencial a través de la membrana, ver fig.6.2. La ley se refiere a la estimulación directa e indirecta del músculo, (a la estimulación con electrodo unipolar con estimulación artificial de músculos o nervios), y para los músculos no degenerativos produce la siguiente información:

- El mayor efecto es producido por la caída de pulso negativo.
- El segundo mayor efecto es producido por la subida de pulso positivo.
- El tercer mayor efecto es producido por la caída de pulso positivo.
- El cuarto mayor efecto es por la subida de pulso negativo.



**fig 6.2.- Ilustración de la Ley de Pflüger.**

CCC.- cathod closing contraction  
AOC.-anodal opening contraction

ACC.- anodal closing contraction  
COC.- cathodal openig contraction

Las bases teóricas de la Ley de Pflüger son complejas y no han sido aún suficientemente explicadas.

## **6.5. Terapia con estimulación de corriente.**

### **6.5.1. Tratamiento con corriente directa (galvanización).**

La corriente directa fluyendo a través del cuerpo efectúa un cambio en el ordenamiento iónico. Los efectos básicos así producidos son:

*Electrólisis.* El cuerpo es un conductor de segundo orden. La corriente es iónica. Así la migración de iones es el efecto básico de la así llamada galvanización.

*Electroforésis.* Moléculas orgánicas no-disociadas, células individuales, bacterias, etc. tienen cargas de frontera positiva y van hacia al cátodo (catodoforésis).

*Electroósmosis.* En sistemas que contienen cargas superficiales en que, las moléculas asociadas están localmente fijas, puede ocurrir un corrimiento de fluido a través de las membranas.

Al conectar y desconectar la corriente esta debe cambiar de valor suavemente a fin de evitar efectos de estimulación motores o sensoriales. Su magnitud dependerá de la sensibilidad individual y también del área de contacto de los electrodos (50-200  $\mu\text{cm}^2$ ).

El tratamiento con corriente directa tiene efectos sobre las fibras motoras, manifestándose en un crecimiento de la excitabilidad a los estímulos exógenos y endógenos. El efecto ocurre en la región del cátodo. Así mismo hay efecto sobre las fibras nerviosas sensoriales, reduciendo su excitabilidad, particularmente en el mejoramiento del dolor. Este efecto ocurre en la región del ánodo.

El efecto en las fibras nerviosas vaso motoras es el principal campo de aplicación de la galvanización, consistente en un aumento del flujo de sangre a causa de la vaso dilatación. Este efecto se manifiesta en las regiones superficiales y profundas (piel y músculos).

Otra aplicación demostrada es el transporte de drogas a regiones profundas a través de la piel intacta. No obstante este método no es de uso generalizado debido a que establecer la apropiada dosificación es un problema, por los efectos lógicos de una combinación de droga más estímulo eléctrico ambos insuficientemente estudiados.

## **6.6. Algunas consideraciones eléctricas sobre los puntos de acupuntura.**

Cuando se habla de puntos o meridianos de acupuntura, no podemos como era la práctica de algunas escuelas occidentales de medicina, buscar un portador "visible", ni ninguna de las

estructuras ya conocidas o explicadas, como nervios, músculos, células, neuronas, etc. Aquí la Ingeniería Biomédica y sus métodos de análisis aportan la información primaria: los puntos de acupuntura tienen características eléctricas, que los hacen diferentes a otros puntos del sistema vivo.

Basta explorar la superficie del tejido, con un medidor de resistencia, para observar la existencia de un conjunto de puntos, cuya resistencia eléctrica está en aproximadamente dos órdenes por debajo de su valor típico. La explicación necesitará mayor investigación, estará relacionada con la actividad eléctrica del organismo y será sin duda una interesante y útil labor. No obstante lo cual, los puntos existen, como existe la señal del electrocardiograma generada por el miocardio, o los ritmos autónomos generados por el cerebro, o las señales del electromiograma generadas por los músculos, o los potenciales evocados, todos resultado de la actividad eléctrica del organismo, ampliamente utilizados por la medicina occidental, sin contar con una teoría exacta, todavía siendo investigados, pero resultando muy útiles al diagnóstico.

Existen interesantes trabajos de investigación de técnicas de electrodiagnóstico a través de puntos de acupuntura en Rusia, Polonia y China, sobre todo en el sistema nervioso central, muy

Se ha demostrado en refinadas investigaciones que regímenes estimulatorios aproximados alrededor de 100 Hz liberan específicamente Dinorfina (mediador opiáceo).

A podido comprobarse, asimismo, la modificación de la concentración de otros neuromoduladores y neurotransmisores que intervienen en la génesis del dolor y de la inflamación, entre otras acciones.

La electroacupuntura permite sustituir la anestesia, por analgesia acupuntural en actos quirúrgicos, mediante el bloqueo de la sensopercepción. Esta técnica libre de complicaciones y efectos secundarios, resulta una potente alternativa en aquellos casos en que, las técnicas convencionales, están contraindicadas.

6.7.1.- Forma de onda y modos de estimulación.

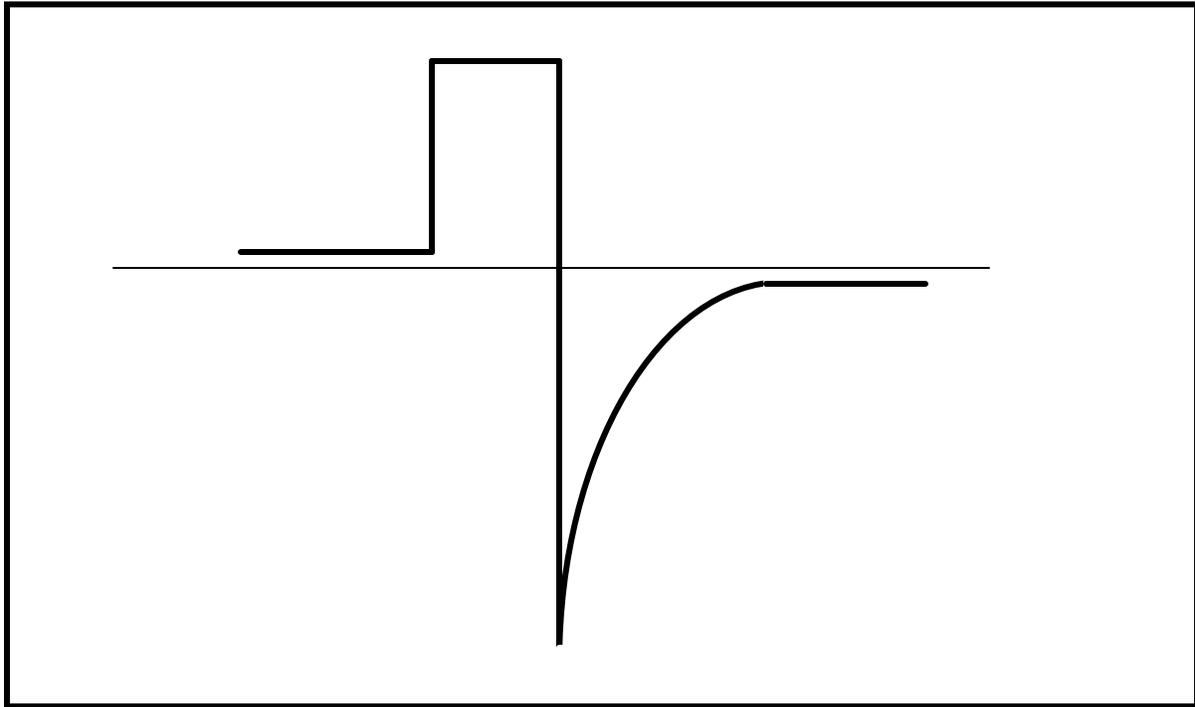


fig.6.3.- "Onda China" empleada en Electroacupuntura.

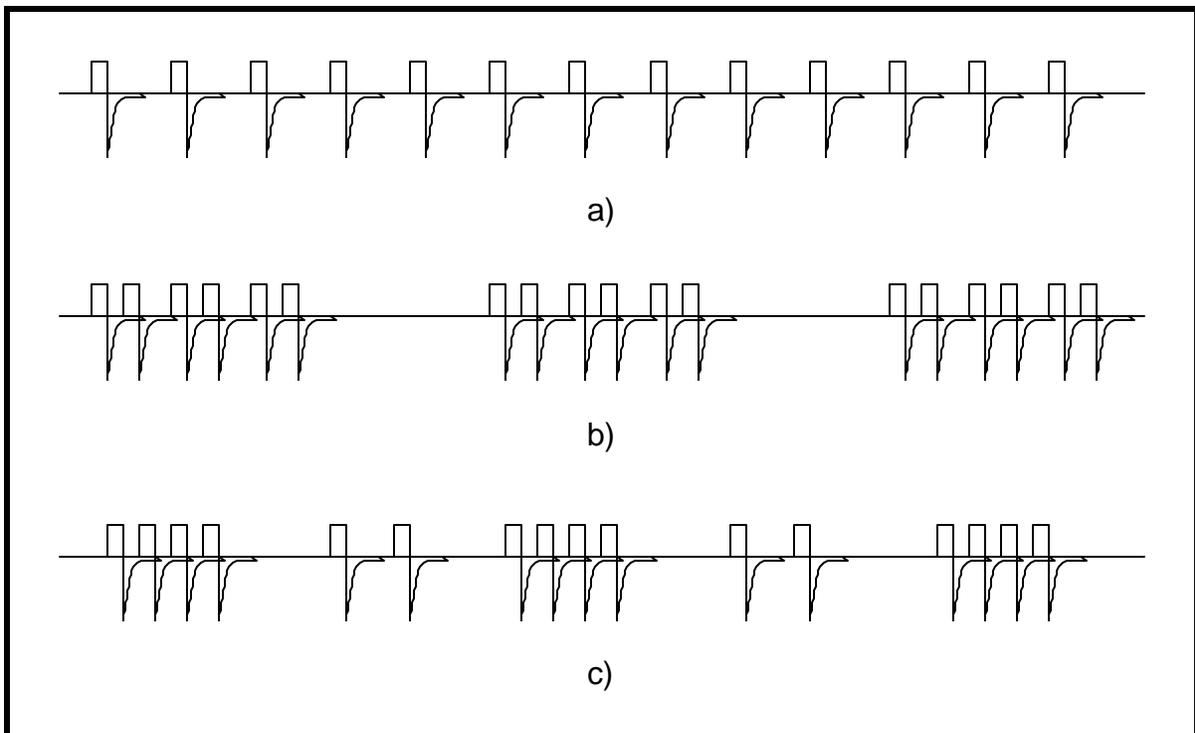


fig.6.4.- Modos de estimulación: a) Continuo, b) Interrumpido, c) Mixto.

La "Onda China" tiene la forma mostrada en la fig.6.3, es una onda compuesta de un pequeño impulso rectangular positivo, cuya caída tiene el triple de amplitud hacia la parte negativa (bifásica) y el mayor efecto terapéutico, según los experimentos de Plfüger. El ancho del impulso está en el orden de los 4 ms, la frecuencia de repetición se recomienda variar desde los 0.5 Hz hasta un mínimo de 250 Hz, a fin de cubrir la terapia de enfermedades crónicas hasta el tratamiento de dolor agudo y la analgesia acupuntural. Se ofrecen equipos en el mercado con una frecuencia superior de hasta 1000 Hz.

Los modos de estimulación más empleados en electroacupuntura son tres:

**Continuo.**- En este caso se estimula continuamente, con la frecuencia de repetición de impulsos escogida de antemano, fig.6.4a.

**Interrumpido.**- En este caso se interrumpe la aplicación continua de la onda periódicamente, fig.6.4b.

**Mixto.**- En este caso se aplica combinación de estímulos de dos frecuencias diferentes, fig.6.4c.

Los modos interrumpido y mixto persiguen el objetivo de mejorar la estimulación, ante el acomodamiento a estímulos que presenta el sistema vivo, (acomodación celular).

## **6.8 - Electroestimulador de Acupuntura GID-01M**

GID-01M es un equipo electrónico destinado a la terapia mediante electroestímulo del dolor crónico y agudo, ver fig 6.5. Los circuitos electrónicos de GID-01M, son capaces de entregar la onda china, ver fig.6.6, por cuatro canales simultáneamente, cada uno con control de amplitud independiente. La frecuencia de la señal puede ser variada en un amplio margen, el cual permite cubrir la terapia del dolor agudo y crónico y producir además electroanalgesia. Este equipo médico cumple con la norma internacional de seguridad del tipo clase II de la IEC.

### **6.8 1- Datos Técnicos.**

a)Fuente de alimentación: (110 V ó 220 V)  $\pm$  10 % a 60 Hz.b)Consumo CA: 150 mA., consumo máximo 10 W.

c)Dimensiones: 9 x 15 x 34 cm.

d)Peso: 2 Kg.e)Forma de onda: Onda "china", con relación 1/3, pulso positivo sobre lanza negativa.Amplitud máxima p.p. sin carga: 50 V  $\pm$  20 % Frecuencia de trabajo ajustable desde 0.5 Hz hasta 250 Hz  $\pm$  20 %.Duración del impulso: 4 ms. f)Cuatro canales de salida para electrodos estimuladores.

g) Una salida con cable y electrodo localizador de puntos en el cuerpo, con indicación visual y sonora.

## **6.8.2 - Descripción de los controles del panel.**

### **6.8.3 - Modo de Empleo.**

#### **Encendido**

El equipo se conecta a la red 100/220 V ~, mediante el cable y la toma a la alimentación, seleccionándose el voltaje de trabajo con el interruptor correspondiente en la parte trasera del equipo. Se acciona el interruptor de encendido [12] "ON/OFF" del panel frontal a la posición de "ON". El LED [6] "POWER" indicará luminosamente que el equipo está encendido.

#### **Utilización del detector de puntos**

Para utilizar el detector debe colocarse el interruptor [10] en la posición "ON", iluminará intermitentemente el LED [4]. Con los electrodos conectados a través de los cables a las entradas [11], se entrega el cilindro metálico al paciente, el cual deberá sujetar con presión uniforme. Mediante el electrodo explorador se ubicará el punto. La piel deberá estar seca y limpia, la exploración se realizara moviendo el electrodo en contacto sobre la piel con una presión uniforme. El punto será indicado por una mayor intensidad sonora, así como un continuo parpadeo del LED. La sensibilidad del detector será ajustada mediante el control continuo "Sensitivity" [5].

#### **Utilización del electroestimulador de acupuntura.**

Para comenzar a utilizar el electroestimulador los controles de intensidad de estimulación [1] deben estar cerrados hacia la izquierda, luego el interruptor de encendido del estimulador [9] se coloca en "ON" y el indicador luminoso del estimulador [3] se iluminará de manera intermitente según la frecuencia de estimulación. La frecuencia de estimulación apropiada para cada paciente es regulada mediante el control "frequency" [2] de manera continua y discretamente en dos bandas. mediante el interruptor [8] señalado con  $\times 1$  y  $\times 10$ . Deberán conectarse tantos canales de estimulación al paciente como sean necesarios, desde los pares de salidas indicadas por "channel 1-4" [7]. Con los controles de intensidad de estimulación [1] se regula el nivel de estimulación de manera independiente para cada canal de acuerdo al paciente que este siendo tratado.

6.8.4 - Diagramas Eléctricos.

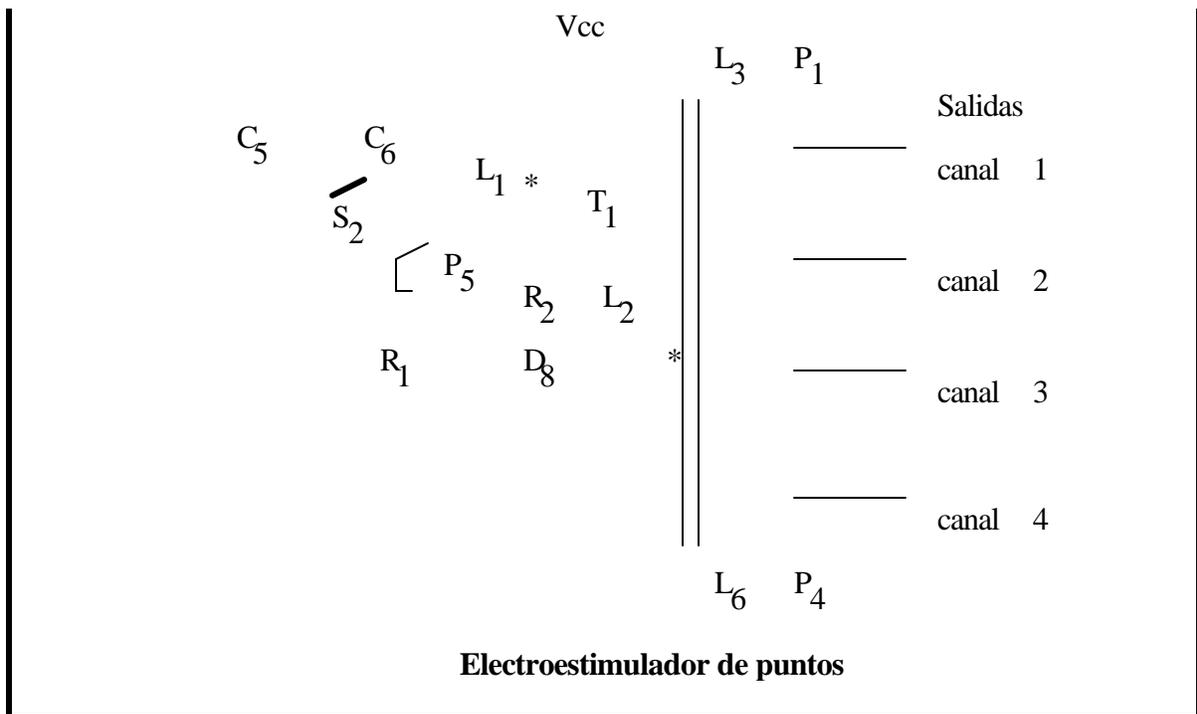
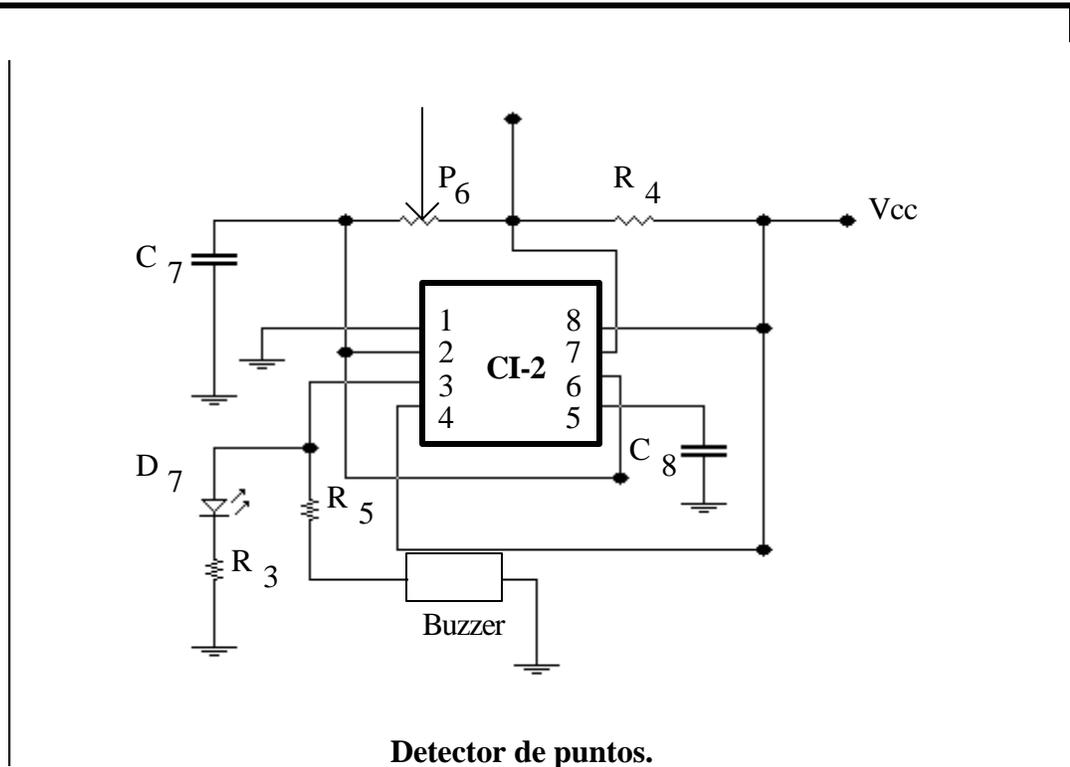


fig 6.6.- Diagramas eléctricos del electroestimulador GID-01M.

## **Bibliografía:**

- 1- Clínica del dolor. Hospital Cmte. Manuel Fajardo. La Habana, Cuba.
- 2- Melsack, Ronald, Mc Gill Pain Questionary, 1976
- 3- Mendoza C., Congreso Mundial de Medicina Alternativa, La Habana, Cuba, 1991.
- 4- An Outline of Chinese Acupuncture. The Academy of Traditional Chinese Medicine. Foreign Languages Press, Peking 1975.
- 5- Mendoza C., 2do Encuentro Nacional de Acupuntura, Hospital Psiquiátrico de La Habana, 1993.
- 6- Mendoza C., XVII Jornada Nacionales de Medicina Física y Rehabilitación, Porlamar, Venezuela, 1992.
- 7- Pätzold J. Handbook of Electromedicine. Siemens Aktiengesellschaft. John Wiley & Sons. 1985.
- 8- GID-01M, Bioengineering Group, Havana Technical University ( ISPJAE ). 1992.
- 9- Mendoza C. y Rodríguez E. La Clínica del Dolor. ISPJAE. 1994.
- 10.- Rodríguez E., Mendoza C. y Regueiro A. GID-XXs : A System for Electrical Stimulation. World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering. Rio de Janeiro, Brazil. August, 1994.