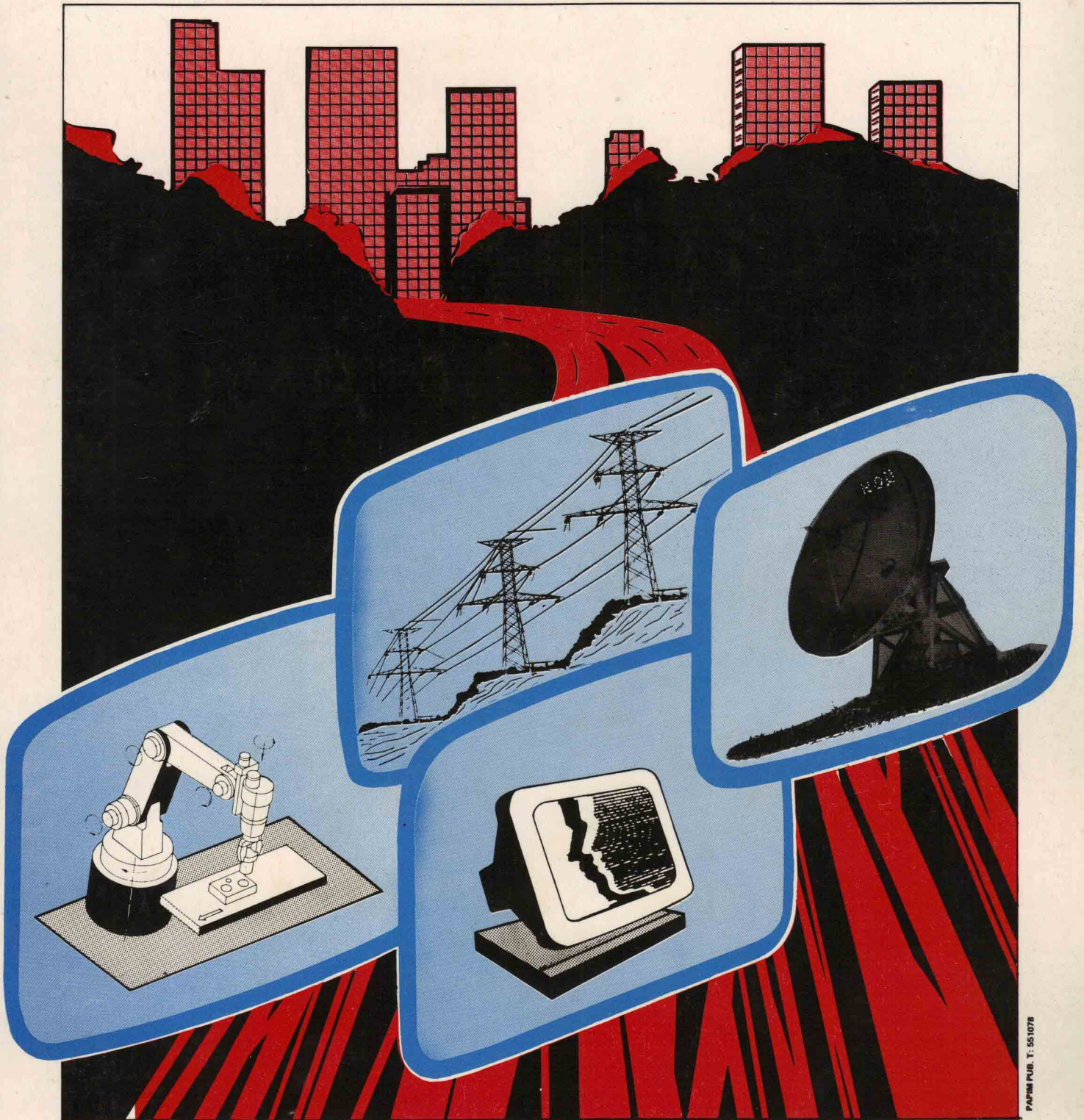




XIII JORNADAS EN INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



PAPIM PUB. T. 55 1078

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Julio 1 - 2 y 3 de 1992
Quito - Ecuador



"DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO
ELECTRO ESTIMULADOR APLICABLE
A LA TÉCNICA DE IONTOFORESIS

Yapur, Miguel Ind.
Bastidas, Xavier Eqdo.
López, Edgar Eqdo.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

RESUMEN

La iontoforesis es una técnica fisioterapéutica basada en la combinación de dos factores: una corriente eléctrica directa y la permeabilidad de la piel a esta corriente, que así se propaga desde la superficie hasta los tejidos más profundos.

La corriente directa permite que medicamentos cuya presentación viene en forma electrolítica, se introduzcan dentro del cuerpo como iones.

La técnica se fundamenta en el fenómeno de la electrolisis: aquí una corriente directa que pasa a través de una solución ocasiona que los iones emigren de un polo al otro en el campo eléctrico.

Con esta técnica se busca un mejoramiento en la absorción de sustancias administradas a los pacientes en forma local.

Inicialmente hacemos un estudio de las diferentes corrientes utilizadas en la fisioterapia (galvánica, farádica, galvano-farádica) donde la técnica de la iontoforesis es aplicada.

La parte medular de este trabajo consiste en la descripción de un equipo diseñado y construido para utilizarlo en la técnica de iontoforesis, buscando conseguir los siguientes objetivos:

- Utilizar la corriente más conveniente para la iontoforesis.
- Presentar seguridad al paciente.
- Bajo costo.
- Eficiencia.

Finalmente, presentamos resultados luego de aplicar la técnica de iontoforesis, utilizando el equipo desarrollado. Los pacientes fueron seleccionados terapéuticamente y psicológicamente, y se hizo un estudio comparativo de otros diseños de equipos para usarlos en la técnica de iontoforesis.

ABSTRACT

This article contains the study of the iontophoresis technique, whose principles are the permeability of the skin and the application of a direct current.

The direct current makes medicaments that are presented in a ionic way, to go into the human body via the pores.

This technique is supported by the electrolysis's principle.

First we discuss the different types of low frequency current used for therapy.

The main aim of this article is the description of an equipment that was designed and constructed to be used in the iontophoresis technique.

This equipment will cover this features:

- Uses the more convenient type of current, for iontophoresis technique.
- Allows patients's security.
- Low cost.
- High efficiency.

Then we try the equipment on patients that were selected on a therapeutic and psychologically way to grant the trustfulness of the equipment and the technique of iontophoresis.

INTRODUCCION

Día a día en los centros hospitalarios se reciben pacientes con traumatismos y fracturas; luego de la recuperación de estos pacientes se hace necesaria su rehabilitación, siendo necesarios equipos de diagnóstico para poder determinar el daño producido en los músculos y los nervios para después realizar la terapia necesaria para la rehabilitación.

Existen varias técnicas y formas de rehabilitación que utilizan la aplicación de varios principios. Estas técnicas son: calor y luz, ultrasonoterapia, hidroterapia, crioterapia, corriente eléctrica, baños de parafina, etc.. Se escoge la técnica dependiendo del problema que presente el paciente, siendo algunas de estas técnicas combinables para lograr su pronta rehabilitación.

La utilización de la corriente eléctrica en la medicina no es una técnica nueva, sino que se remonta al año 1750 donde Benjamin Franklin ya establecía el tratamiento de las enfermedades nerviosas usando la electricidad; así encontramos hombres muy importantes que han aportado conocimientos a esta rama electro-médica tales como Luis Galvani, Alejandro Volta, Claudio Bernard, Arsenio D'Arseval (inventor del galvanómetro), y con los descubrimientos de Bohr y Dalton sobre el átomo, empiezan las aplicaciones atómicas como los Rayos X, los Aceleradores de Ciclotrón, Gama-Cámaras, etc.

Consideramos importante realizar un breve compendio sobre las diferentes corrientes de baja frecuencia que se utilizan actualmente en la terapia y de este estudio determinar la más adecuada para aplicarla en la técnica de iontoforesis.

La técnica de la iontoforesis es conocida por los fisiatras de nuestro medio desde hace muchos años, pero debido a que no cuentan con un equipo adecuado para realizarla no es aplicada. Creemos que nuestro aporte a esta rama de la medicina va a ser significativo, por cuanto hemos desarrollado un equipo para aplicar la técnica de iontoforesis y además lo utilizamos en pacientes debidamente seleccionados para poder comprobar la eficiencia del equipo desarrollado y la bondad de la técnica utilizada.

Finalmente, consideramos que esta rama de la medicina tiene un campo abierto en nuestro país para la investigación y desarrollo de técnicas ya conocidas pero no aplicadas. Dejamos al lector la inquietud de introducirse en este campo y brindar un servicio a la comunidad, así como nosotros lo estamos haciendo con este trabajo.

ELECTRO-FISIOLOGIA

Antes de describir los efectos fisiológicos que se producen en el cuerpo al paso de una corriente de choques eléctricos realizaremos una breve descripción de la forma como se produce la transmisión de eventos eléctricos a través del cuerpo a nivel celular.

Recordemos la constitución de la célula: núcleo, protoplasma, membrana, yendo de adentro hacia afuera. Existe un líquido que está dentro de las células del cuerpo llamado **líquido intracelular**. (1) Fuera de las células existe un líquido llamado **líquido extracelular**. Estos líquidos están constituidos por varias sustancias proteínas, glucosas, fosfatos, etc., de las cuales sólo nos interesan la cantidad de iones sodio (Na), de iones potasio (K) e iones cloro (Cl), que existen en cada uno de estos líquidos.

El **líquido extracelular** tiene mayor cantidad de iones sodio (142 meq/l) que de iones potasio (4 meq/l). El **líquido intracelular** tiene mayor cantidad de iones potasio (40 meq/l) que de iones sodio (10 meq/l). Estos dos líquidos atraviesan la membrana celular por dos procesos: difusión y transporte activo.

Por difusión: Es un movimiento debido a la diferencia de concentraciones, de mayor concentración a menor concentración, es desordenado y se debe a continuos choques de la materia.

Por transporte activo: Requiere de una energía química y realiza un desplazamiento de un lugar baja concentración a un lugar de alta concentración.

Por estos movimientos de las moléculas a través de la membrana, los iones Na y K entran o salen de ésta. Si las concentraciones de Na y K no son las mismas en el interior que en el exterior de la membrana por la Ley de Nernst se produce una diferencia de potencia (FEM) que es una relación logarítmica de las concentraciones internas y externas de Na o K así:

$$FEM = - 61 \log (C1/C2) \quad e(1)$$

C1: concentración interna

C2= concentración externa

En el transporte activo se desea llevar el Na que está en el líquido intracelular hacia el líquido extracelular, y el K que está en el líquido extracelular hacia el líquido intracelular; si recordamos la cantidades de Na y K en ambos líquidos nos daremos cuenta que estamos yendo de una menor concentración a una mayor concentración.

En este transporte interviene lo que se llama la **bomba de sodio y potasio** llevando Na al exterior de la membrana y K al interior. Pero la bomba de sodio y potasio tiene una característica muy importante; lleva 3 iones de sodio al exterior y dos iones de potasio al interior de la membrana, dando como resultado una diferencia de potencial, siendo negativo en el interior de la membrana y positivo en exterior.

POTENCIALES DE MEMBRANA EN LAS CELULAS NERVIOSAS

Por difusión: usando la ecuación de Nernst (1) el Na presenta la siguiente fem:

$$fem (Na) = -61 \log \frac{14 \text{ meq/l}}{140 \text{ meq/l}} = 61 \text{ mV}$$

para el K

$$fem (K) = -61 \log \frac{140 \text{ meq/l}}{4 \text{ meq/l}} = -94 \text{ mV}$$

En reposo la membrana es más permeable al K y cuando se trasmite un impulso nervioso es más permeable al Na. Por lo tanto, en reposo la célula presenta un potencial de -90 mV y en presencia de un estímulo llega a 45 mV.

POTENCIAL DE ACCION

Al producirse un estímulo externo en la membrana hace que ésta, sea más permeable al Na, permitiéndole el ingreso en la membrana, convirtiéndolo el potencial más positivo dentro de la membrana. Una vez que el estímulo ha cesado (después de 10 ms aproximadamente), la membrana deja de ser permeable al Na y se convierte en permeable para el K, volviendo a su potencial de reposo.

DESPOLARIZACION

Al introducirse el Na durante el estímulo la membrana cambia su potencial de -90 mV a un potencial positivo 45 mV, por lo que a este proceso se llama despolarización de la membrana.

REPOLARIZACION

Una vez que el estímulo ha pasado y el potencial de la membrana vuelve a ser el de reposo, se llama polarización de la membrana.

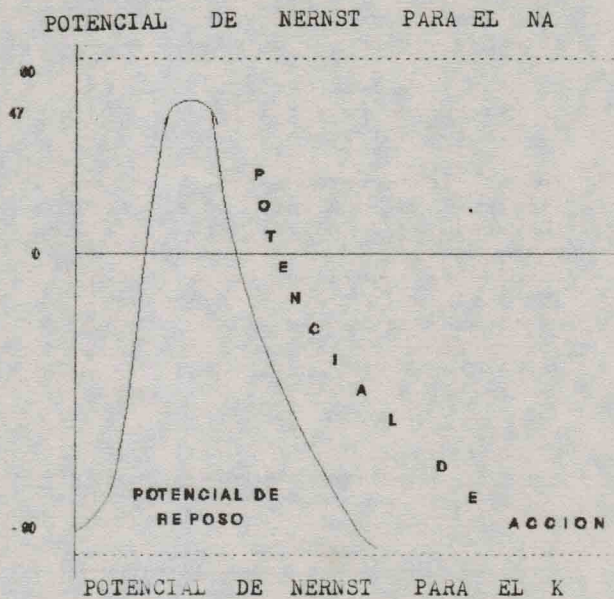


FIGURA 1.a. POTENCIALES DE MEMBRANA.

La curva del potencial de acción y con las fases de despolarización y repolarización están en la Figura # 1.a.

POTENCIAL DE REOBASE

Es el menor potencial posible en el cual se produce un potencial de acción.

CRONAXIA

Es el tiempo necesario para estimular una fibra nerviosa aplicando el doble del potencial de reobase.

Figura # 1.b. (Curva de excitación)

PUNTOS MOTORES

Todos los músculos poseen una pequeña región donde pueden ser excitados fácilmente y con estímulos eléctricos responden con contracciones visibles.

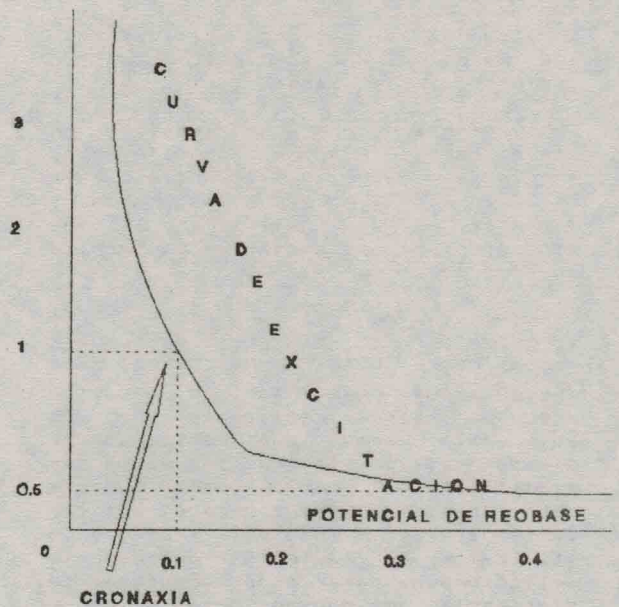


FIGURA 1.b. CURVA DE EXCITACION DE LOS MUSCULOS.

ELECTRODOS

Los electrodos son necesarios para las aplicaciones de la electro-terapia que llevan la corriente electrónica que sale del equipo médico, y se convierten en corriente iónica en el cuerpo. Siempre que se utilizan electrodos el lugar donde será aplicado es humedecido para que de esta manera la resistencia de la piel disminuya considerablemente. (Resistencia de la piel seca: ≈ 10 MΩ, resistencia de la piel húmeda: ≈ 0 - 20 kΩ).

Los electrodos deben ser buenos conductores de la electricidad (resistencia eléctrica ≈ 0) y no deben oxidarse fácilmente con el uso, además deben ser lo más lisos posible para que no presenten puntos sobresalientes que produzcan una concentración elevada de corriente en dichos sitios y quemen al paciente. Deben ser flexibles para que se puedan amoldar a la formas anatómicas en donde serán aplicados.

Como por el electrodo va a circular corriente eléctrica, es importante tener en cuenta su área, conociendo que la intensidad de corriente (J) es igual a corriente sobre unidad de área $J = I / S$ [A / m²]; además está establecido que por 50 cm² circulan 15 mA, (2)

Tomando en cuenta esto si deseo aplicar 10 mA al paciente debo tener electrodos de:

$$\frac{50 \text{ cm}^2}{X} = \frac{15 \text{ mA}}{10 \text{ mA}} \quad (2)$$

$$X = \frac{10 \text{ mA} \times 50 \text{ cm}^2}{15 \text{ mA}} = 33.3 \text{ cm}^2$$

Entonces se debería aplicar un electrodo de 6 cm X 6 cm.

CIRCUITO EQUIVALENTE DE LOS ELECTRODOS

De la figura # 2 podemos observar el circuito equivalente que presentan los electrodos donde:

El potencial del electrodo (3),(4): producido por la diferencia de concentración de cargas en la interfase piel y metal, donde por la ley de Nernst se produce un potencial por diferencias de concentración (ecuación # 1)

R1 y C1 Se considera una capacitancia como producto de la interfase metal-piel-electrolito y R1 una resistencia en paralelo. Estos dos componentes producen una pequeña interferencia en señales de 100 a 3000 Hz.

R2 representa la resistencia que presentan el electrolito al paso de la corriente.

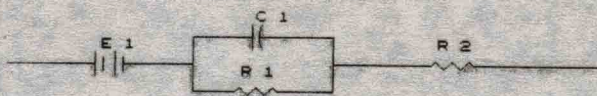


FIGURA 2 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN ELECTRODO.

CORRIENTE GALVANICA

La corriente galvánica es constante, unidireccional y uniforme. (Figura #

3.a).(2),(5)

Lleva este nombre en honor a quien la descubrió Luis Galvani con la "pila patrón".

Los equipos que utilizan corriente galvánica llevan los dos polos bien definidos positivo de color rojo, y negativo de color negro. Es importante tener en cuenta la polaridad cuando se aplica la corriente galvánica porque cada polo tiene un efecto diferente.

Entre los generadores de corriente galvánica tenemos los acumuladores o las baterías de autos, también rectificando la corriente comercial.



FIGURA 3.a. CORRIENTE GALVANICA.

Efectos fisiológicos:

Aumenta el flujo sanguíneo y el metabolismo tisular aliviando así el dolor.

También produce una circulación de iones: los aniones irán al polo negativo y los cationes al polo positivo.

Efectos de la polaridad:

Dependiendo del polo sea se obtienen diferentes efectos así:

Polo Positivo	Polo negativo
Acido	Alcalino
Vaso constrictor	Vaso dilatador
Sedante	Estimulante
Oxida metales	No corroe

La corriente galvánica es utilizada en:

- Galvanización
- Iontoforesis

La galvanización consiste en aplicar la corriente galvánica para producir los efectos antes anotados.

La iontoforesis la detallaremos más adelante.

Algunos de los efectos de la corriente galvánica son:

Calor: Al paso de la corriente y por la Ley de Joule se produce calor o ardor en la piel.

Disociación: Al paso de la corriente galvánica se produce una distribución iónica dentro del organismo, los aniones serán atraídos al polo positivo y los cationes al polo negativo. Esta disociación hace que las células nerviosas y musculares se despolaricen o se polaricen de acuerdo si están más cerca del polo positivo o del polo negativo respectivamente.

Polarización: Al presentar la piel una resistencia eléctrica en el orden de los $K\Omega$ podrá circular una corriente a través de ella, produciéndose una sensación de picazón al paso de la corriente.

CORRIENTE GALVANICA INTERRUPTIDA

Johan Whilhem trabajando con la corriente galvánica, experimentando con los controles, observó como reaccionaban los músculos al suprimir momentáneamente el tratamiento, estos estudios dieron inicios a otros y daría lugar a la Electro-estimulación y al electrodiagnóstico.

Más adelante C. Cheveau establecía que "la excitación nacia en el cátodo durante el cierre de la corriente y en el ánodo durante la apertura del circuito galvánico." (5)

Los trabajos más importantes fueron realizados por Lapicque conociéndose desde entonces como corrientes progresivas.

Se consideran dos tipos de corrientes galvánicas interrumpidas:

- a) Ondas rectangulares
- b) Ondas progresivas.

Ondas Rectangulares

La forma más sencilla de obtener ondas rectangulares es interrumpiendo súbitamente la corriente galvánica y volver a usarlas (Figura # 3.b.).

Con el ondulator de D'Arseval modificado por Laquerrière se producen interrupciones al pase de la corriente galvánica.

Actualmente existe circuitos integrados como el 555 con el cual podemos obtener corriente galvánica interrumpida.

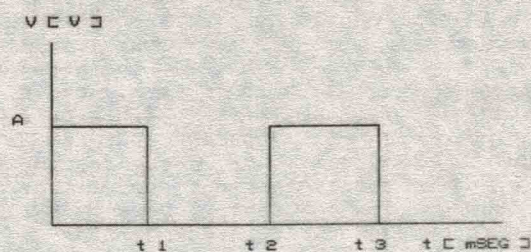


FIGURA 3.b. CORRIENTE GALVANICA INTERRUPTIDA.

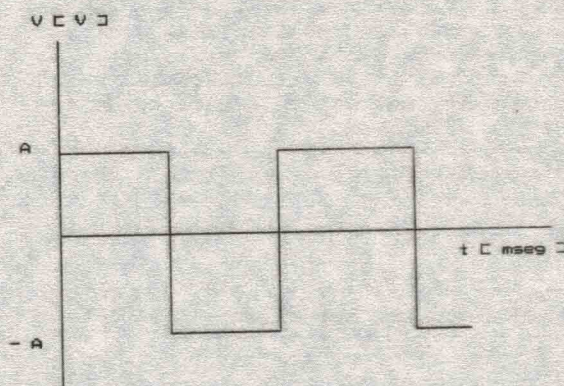


FIGURA 3.c. CORRIENTE RITMADA E INVERTIDA.

La figura # 3.b. nos muestra la corriente galvánica rítmica en un solo sentido, que produce una contracción muscular proporcional a la intensidad, la figura # 3.c. nos muestra la corriente galvánica rítmica e invertida.

Estas corrientes son útiles para músculos sanos y con lesiones leves, porque existe un cambio brusco de la corriente que produce una fatiga muscular. Para aplicar en músculos más lesionados se hace variar la duración de la aplicación y la de descanso (0 V).

Corriente de Trabert

Otra forma de corriente galvánica interrumpida es la corriente de Trabert quien con su experiencia determinó que era necesario que la dosis dure 2 mseg y la pausa 5 mseg (fig # 3.d.) lográndose efectos terapéuticos impresionantes, porque

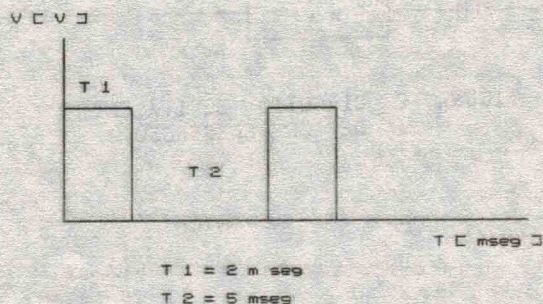


FIGURA 3.d. CORRIENTE DE TRABERT.

los 5 mseg de pausa permiten al músculo relajarse y prepararse para la próxima excitación.

Corrientes Progresivas de Lopicque

Para obtener corrientes progresivas del orden de unos milisegundos hasta décimos se utilizan circuitos en los que se hace pasar la corriente a través de condensadores a capacidades variables y cargados por resistencias. Este tipo de corriente se basa en la carga de un capacitor a través de una resistencia y su descarga a través de la piel. (Figura # 3.e.)

Conociendo la constante de carga del capacitor a través de una resistencia $\tau = R * C$ donde este tiempo será proporcional a la resistencia y a la capacidad del condensador. Obteniéndose diferentes tipos de cargas.

Lopicque considero que al aumentar progresivamente la corriente se obtiene efectos sobre los músculos enfermos más no en los sanos.

Con los otros tipos de corrientes se estimulaban todos los músculos al mismo tiempo, y a veces no se lograba llegar al músculo enfermo, con las corrientes progresivas de Lopicque se logra excitar solamente al músculo enfermo y no a los sanos.

Esta técnica utiliza carga de condensadores a través de resistencias, conociendo que el tiempo de carga es proporcional a la capacitancia, si aumento al capacitancia tendré más tiempo para llegar al nivel estable (galvánico). De esta manera Lopicque estableció que con 2 μF en 6 mseg se llega al 95 % de la dosis. De esta manera se llegaba al nivel de rebase de los músculos sanos.

Estas corrientes son utilizadas en el electro-diagnóstico, al eliminarse el

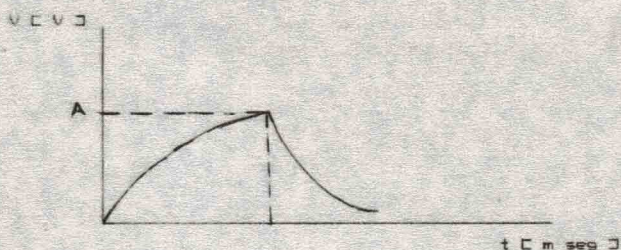


FIGURA 3.e. CORRIENTE DE LOPICQUE

efecto en los músculos sanos agregando capacitores, se llega a excitar los músculos enfermos y se puede aumentar la intensidad, denominándose a este procedimiento selección cronáxica.

Lo importante en las corrientes progresivas son la carga de los capacitores, porque se obtienen diferentes tiempos, en la descarga que depende del tipo de piel, obesidad del paciente, y ciertas características del paciente, no son importantes, se obtiene siempre los mismos resultados independiente del paciente.

CORRIENTE FARADICA

Se denominan corrientes farádicas a las corrientes cuyo periodo sea menor a los 20 mseg. (Figura # 3.f.)

Las principales características de este tipo de corriente son las siguientes:

- Elimina el dolor
- Permite aplicar mayores intensidades
- Producen efecto tetanizante en músculos enfermos

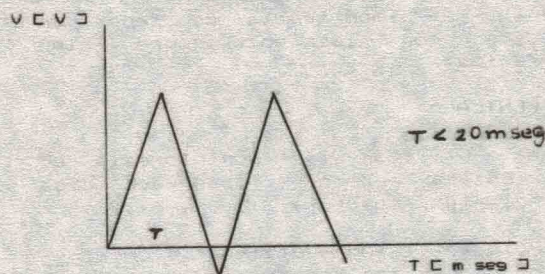


FIGURA 3.f. CORRIENTE FARADICA

IONTOFORESIS

Iontoforesis es la técnica que permite una mayor absorción de las sustancias administradas a través de la piel, con la ayuda de una corriente galvánica. (2), (5), (6), (7)

Se fundamenta en el principio de la electrólisis donde se produce un desplazamiento de iones; así, los aniones (iones positivos) se dirigirán al polo negativo de la fuente galvánica, y los cationes (iones negativos) al polo positivo.

De esta manera se produce un intercambio iónico, que podría ser utilizado en un polo. Colocamos un ión que produzca un efecto patológico en beneficio de un paciente.

ión	Polo	Propiedades	Indicaciones
Iodo	Negativo	Acción esclerosante	Neuralgias, afecciones al oído
Calcio	Positivo	Acción sedativa	Dolores, hemiplejias
Zinc	Positivo	Acción antiséptica	Heridas extensas

CUADRO # 1: ACCIONES DE DIFERENTES IONES COLOCADOS EN UN POLO DE UN CAMPO ELECTRICO (Tomado del trabajo de Hugo Walter Reigi, (5))

Se han realizado varios estudios sobre diferentes tipos de iones y sus efectos en pacientes ver cuadro # 1

Del cuadro # 1 podemos observar la importancia de tener un equipo que permita la absorción de iones y obtener de ellos un efecto curativo o rehabilitador.

Es importante recalcar que el polo en el cual se ponen los iones a ser administrados por la técnica de iontoforesis, depende de las cargas de los iones; así:
un catión al electrodo positivo
un anión al electrodo negativo

De ahí la importancia de tener un equipo con las polaridades bien definidas.

TECNICA

Para utilizar la iontoforesis en pacientes debemos observar los siguientes aspectos: (2), (5), (6), (7)

- Colocar el ión a utilizarse en el polo correcto dependiendo de su carga.
- Los medicamentos deben tener una concentración de 1%.
- Los electrodos deben estar dentro de una espuma o sopotex, que facilite la absorción y deben estar bien colocados y fijados con vendas en el sitio de aplicación.
- Limpiar la superficie de la piel en el lugar de aplicación de los electrodos para que éste libre de grasa, suciedad, facilitando la absorción.
- Observar todos los requerimientos que se sugirieron para la construcción de los electrodos.

El tiempo y dosificación:

Es de vital importancia determinar el tiempo de las sesiones de iontoforesis, la cantidad de sustancias administradas y establecer el requerimiento de corriente.

Una vez establecidos:

- Area de los electrodos [cm²]
- Dosis a utilizarse en [mg]
- Cantidad de corriente [mA]

Entonces determinamos el tiempo de las sesiones de la fórmula de carga:

$$Q = I * t \quad e(3)$$

$$t = Q / I \quad e(4)$$

donde:

Q: cantidad de droga a administrarse por cm²
[mg /cm²]

I: cantidad de corriente que puede soportar el paciente
[mA]

t: duración de la sesión
[min]

Ejemplo

- Tenemos un electrodo de 7 cm x 7 cm entonces el área es de 49 cm² por la relación (1)
- Deseamos administrar 10 mg de cierto medicamento, obtenemos la dosis por cm así :

$$Q = \frac{10 \text{ mg}}{50 \text{ cm}^2} \quad Q = 0.2 \text{ mg/cm}$$

- Determinamos que es conveniente para el paciente una dosis de corriente de 8 mA.
- Finalmente establecemos el tiempo de las sesiones de la fórmula (4):

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{0.2 \text{ mg/cm}}{8 \text{ mA}}$$

$$t = 25 \text{ minutos}$$

- Otra consideración de importancia es de permitir que por el paciente circulen máximo entre 10 a 12 mA. Para evitar quemaduras en la piel o daños en los musculos.

DESCRIPCION DEL EQUIPO

El equipo necesario para utilizarlo en la técnica de iontoforesis debe poseer las siguientes características:(5),(6)

- Tener una corriente galvánica pura
- Brindar seguridad al paciente (aislamiento)
- Poseer un indicador de la corriente que se está aplicando graduado en miliamperios (mA)
- Poseer control de la corriente, un potenciómetro lo más exponencial posible
- Tener bien diferenciadas las polaridades por colores: color rojo el polo positivo (+) y color negro el polo negativo(-)
- No permitir un paso mayor de 10 mA por el paciente.
- Salida exponencial de voltaje.

Antes de detallar el diseño del equipo, consideramos importante señalar que nos interesa obtener una corriente galvánica que varíe de 0 - 10 mA.

DISEÑO

Deseamos que una corriente de 10 mA circule por el paciente y considerando la resistencia que presenta la piel humedecida $\approx 10\text{ K}\Omega$, y de acuerdo a la Ley de Ohm deberíamos obtener un voltaje de

$$V = I * R \text{ e(5)}$$

$$V = 10\text{ mA} * 10\text{ K}\Omega \text{ e(6)}$$

$$V = 100\text{ V}$$

Para cumplir con este objetivo obtuvimos un voltaje de 110 V dc., utilizando un cuadruplicador de voltaje, con este voltaje no circularían los 10 mA por el paciente, si consideramos el siguiente circuito (Figura # 4.a) donde R2 representa la resistencia de la piel humedecida, calculando la corriente que circularía por el paciente:

$$I_o = \frac{110\text{ V}}{20\text{ K}\Omega} \quad I_o = 5.5\text{ mA}$$

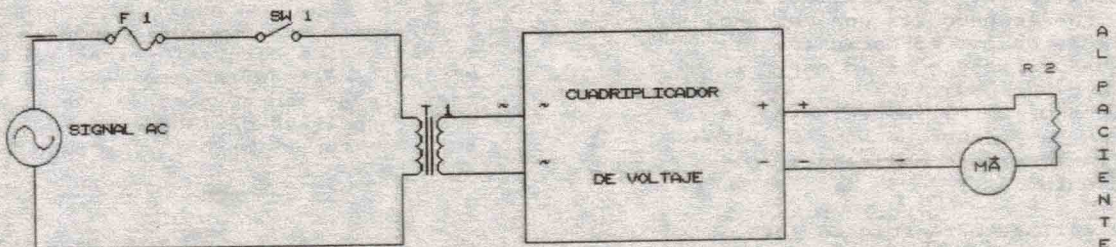


FIGURA 4.a. ESQUEMA DEL CIRCUITO INICIAL.

Pero esto no sucede, porque al ser la salida un capacitor se produce una descarga por la piel, descarga R-C y como la resistencia de la piel varía al paso de la corriente, no se produce esa corriente, y se produce una descarga rápida de los capacitores y una corriente poco controlable, porque del equipo está saliendo un voltaje de 110 Vdc. en vacío, pero no hay control de corriente.

Conociendo la ecuación de descarga del capacitor:

$$V_o = V_{maz} * \text{Exp} (-t / \tau) \text{ e(7)}$$

donde : $\tau = R * C$

vemos que al aumentar la resistencia obtendremos un voltaje de salida más estable.

Para este propósito colocamos la resistencia limitadora de R1 de 10 KΩ para forzar (Fig # 4.b.) que al cerrarse el circuito por R2, circule una corriente de:

$$I_o = \frac{110\text{ V}}{(20 + 10)\text{ K}\Omega} \quad I_o = 3.3\text{ mA}$$

y después de un instante R2 $\approx 0\Omega$ entonces;

$$I_o = \frac{110\text{ V}}{10\text{ K}\Omega} \quad I_o = 11\text{ mA}$$

De esta manera obtenemos una corriente constante de 10 mA, para poder tener control de corriente ponemos un potenciómetro logaritmico en serie con la resistencia limitadora de 10 KΩ para variar la corriente de salida de 0 a 10 mA. El potenciómetro lo colocamos como lo muestra la figura 4.c.

potenciómetro	I _o
al mínimo	1 mA
al máximo	10 mA

Otras de las razones para colocar la resistencia limitadora es de proteger al equipo en caso de cortocircuito accidental de los electrodos, así:

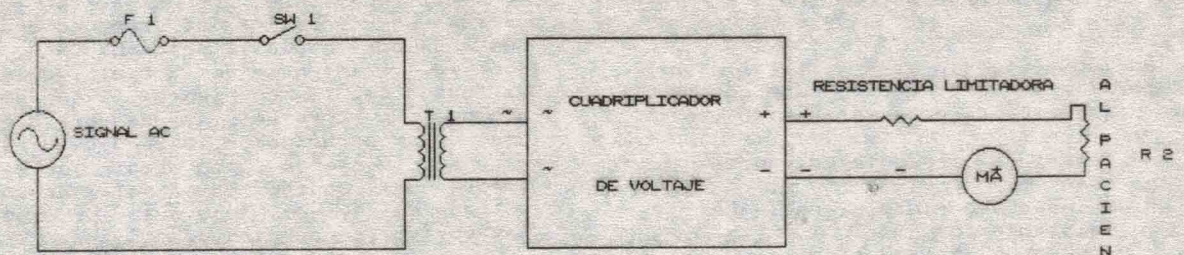


FIGURA 4.b. ESQUEMA DEL CIRCUITO MEJORADO.

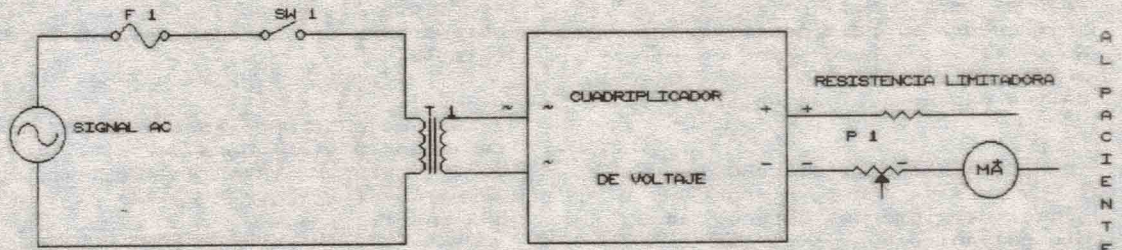


FIGURA 4.c. ESQUEMA DEL CIRCUITO DEFINITIVO.

$I_0 \text{ c.c.} \gg 0 \text{ mA}$ sin resistencia limitadora
 $I_0 \text{ c.c.} = 11 \text{ mA}$ con resistencia limitadora

La potencia que consume es equipo es de

$$P_0 = 110 \text{ V} \times 11 \text{ mA} = 1,2 \text{ W}$$

El fusible de protección lo calculamos de la corriente máxima que tomaría el equipo de la red:

$$\frac{I_{\text{primario}}}{I_{\text{secundario}}} = N = \frac{V_{\text{secundario}}}{V_{\text{primario}}}$$

$$I_{\text{primario}} = \frac{24 \text{ V} \times 11 \text{ mA}}{120 \text{ V}} = 22 \text{ mA}$$

Para cumplir con las otras consideraciones del diseño observamos:

- La seguridad del paciente la obtenemos de dos maneras
 - 1.- Al colocar un transformador para utilizarlo en el cuádruplicador, estamos aislados de la red.
 - 2.- La resistencia limitadora impide que se produzca una descarga rápida por el paciente, produciendo una $I_0 \text{ max} = 11 \text{ mA}$
- Colocamos un miliamperímetro de 0 - 50 mA para tener un control visual de la corriente aplicada al paciente.
- Las salidas para colocar los electrodos están debidamente diferenciadas por sus colores universalmente establecidos.

CONCLUSIONES

- El equipo diseñado y construido cumple con los requerimientos electrónico-médicos para su utilización en la técnica de iontoforesis.
- Se ha cumplido con los requerimientos de bajo costo y eficiencia, que eran necesarios para su utilidad en nuestro medio.
- Hemos establecido los diferentes parámetros para la realización de diferentes tipos de equipos para aplicarlos en la técnica de iontoforesis.
- El diseño aunque cumple el requerimiento de bajo costo no necesariamente es el único que puede desarrollarse, existiendo múltiples diseños que pueden dar los mismos resultados; dejamos al lector y a los futuros investigadores esta interesante tarea.
- Actualmente estamos realizando la investigación para determinar la eficacia del equipo, con la asesoría médico-técnica de una empresa privada de fabricación de medicamentos (Ciba-Geigy) y bajo soporte médico.

REFERENCIAS

- (1) GUYTON, Arthur Dr., "Tratado de Fisiología Médica", Editorial Interamericana, México 1985
- (2) JANE, José, "Manual Práctico de Electroterapia", Editorial Universitaria de Barcelona, Barcelona 1982
- (3) COOK, Albert M., John G. Webster "Therapeutic Medical Devices Application and Design", Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs N.J. 1982.
- (4) CROWNWELL, Leslie, y otros, "Biomedical Instrumentation and Measurements", Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs N.J. 1983
- (5) REIGI, Hugo Walter "Radio Electricidad Médica", Editorial Jovi Buenos Aires-Argentina 1960
- (6) GAZZI, Augusto Dr., "Iontoforesis", Ciba-Geigy, Quito-Ecuador.
- (7) SHESTACK, Robert "Manual de Fisioterapia", Editorial El Manual Moderno, México 1985

BIOGRAFIAS



YAPUR, Miguel Ing: Nació en Guayaquil en Septiembre 1 de 1957. Se graduó de Ingeniero Electrónico en la ESPOL en 1983. En 1983 recibió el título de Master en Ciencias de la Ingeniería Biomédica, después de estudiar en la Universidad de Texas en Arlington (UTA) y en el Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad de Texas en Dallas (UTHSCD) conjuntamente. En 1987 obtuvo el Certificado de Ingeniero Clínico luego de realizar cursos especiales en UTA y de trabajar como interno en el Departamento de Ingeniería Clínica del Hospital Harris Metodista de Fort Worth.



BASTIDAS, Xavier Egdo.: Nació el 19 de Junio de 1968. Sus estudios superiores los realiza en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, habiendo egresado de la Facultad de Ingeniería en Electricidad en Febrero de 1992. Trabajó en el Departamento de Electrónica-Médica de MITSUI del ECUADOR en 1990. Desde Febrero de 1992 labora como Representante Técnico de MAINT. Actualmente es parte del equipo que lleva a cabo el Proyecto de Iontoforesis en el Hospital del IESS auspiciado por la empresa CIBA-GEIGY.



LOPEZ, Edgar Egdo.: Nació el 20 de Septiembre de 1967. Sus estudios superiores los realiza en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, habiendo egresado de la Facultad de Ingeniería en Electricidad en Octubre de 1991. Se desempeñó como ayudante de cátedra de la materia de Programación de Computadores. Trabajó en el Departamento Técnico de ELECTENA en 1990. Laboró en el Departamento Técnico de LAB-MEDICAL en 1992. Actualmente es parte del equipo que lleva a cabo el Proyecto de Iontoforesis en el Hospital del IESS auspiciado por la empresa CIBA-GEIGY.