

# **Diseño y construcción de un equipo experimental hipertérmico de campo de corriente localizado.**

**Giovanni Alcócer<sup>1</sup>, Miguel Yapur<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ingeniero en Electricidad, especialización Industrial; Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2000. [giovanni\\_alcocer@hotmail.com](mailto:giovanni_alcocer@hotmail.com)

<sup>2</sup>Director de Tesis. Ingeniero en Electricidad, especialización Electrónica; Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1983. Master en Ciencias de la Ingeniería Biomédica; Universidad de Texas en Arlington (UTA) y en el Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad de Texas en Dallas (UTHSCD), 1986. Profesor de ESPOL desde 1983, Coordinador del Programa de Graduación en Electrónica Médica, desde 1987, [myapur@ceibo.fiec.espol.edu.ec](mailto:myapur@ceibo.fiec.espol.edu.ec)

## **RESUMEN**

Con este equipo electromédico podemos lograr calor superficial de la piel para alivio del dolor (termoterapia), cuya intensidad es graduable y con autocontrol de la temperatura de acuerdo a los requerimientos del profesional que lo utilice con sus pacientes. Además, posee corriente alterna de baja frecuencia (electroestimulación) muy utilizada en fisioterapia para tratar diversas patologías.

## **SUMMARY**

The device, subject of this thesis, allows us to get superficial tissue heat in order to treat pain (thermotherapy). It has incorporated manual control of intensity and auto control of temperature, according to the injunctions of the professional that uses this device. Moreover, it has a variety of low frequency currents (electro-stimulation), useful in physiotherapy for the treatment of different pathologies.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La electroestimulación y la termoterapia consisten en la aplicación de de distintas formas de energía al organismo, con el fin de producir reacciones biológicas y fisiológicas, las cuales mejorarán el estado de los tejidos que están enfermos.

Los iones contenidos en las disoluciones y dispersiones coloidales transmitirán la energía aplicada. La mayor o menor conductividad dependerá del mayor o menor contenido de agua como disolventes y solutos. El agua por sí sola no es demasiado buena conductora, pero sí lo son los solutos en ella disueltos.

Así, el hueso, la grasa, la piel callosa y gruesa, el pelo, las uñas, serán poco conductores. En cambio, la piel y los cartílagos se comportarán medianamente conductores. Y finalmente, la sangre, tejidos musculares, vísceras, hormonas, tejido conjuntivo y tejido nervioso son buenos conductores por su proporción de agua y la cantidad de electrolitos que contienen.

La energía eléctrica se desplaza por el organismo en forma de electrones asociados a iones que se moverán por la fuerza electromotriz aplicada ya sea con electrodos procedentes de una fuente de energía externa o por las cargas internas del organismo. El interés de la terapia hipertérmica (termoterapia) con campos de corriente localizado (LCF) se está incrementando rápidamente. Esto está llevando a la evolución de algunos equipos para calentamiento local y regional.

## 2. METODOLOGÍA USADA.

Con este equipo electromédico podemos lograr el calentamiento del tejido, cuya intensidad es graduable de acuerdo a los requerimientos del paciente. Este calentamiento es función de la densidad de corriente local y de la resistividad del tejido. Finas regulaciones de temperatura se logran gracias al circuito de control de la temperatura, el cual reduce la energía del generador de señales conforme la temperatura de la zona afectada alcanza la temperatura de tratamiento deseable. La señal de salida del amplificador de energía, que puede ser observada por medio de un osciloscopio, se conecta con los electrodos capacitivos.

Así tenemos un sistema de realimentación:

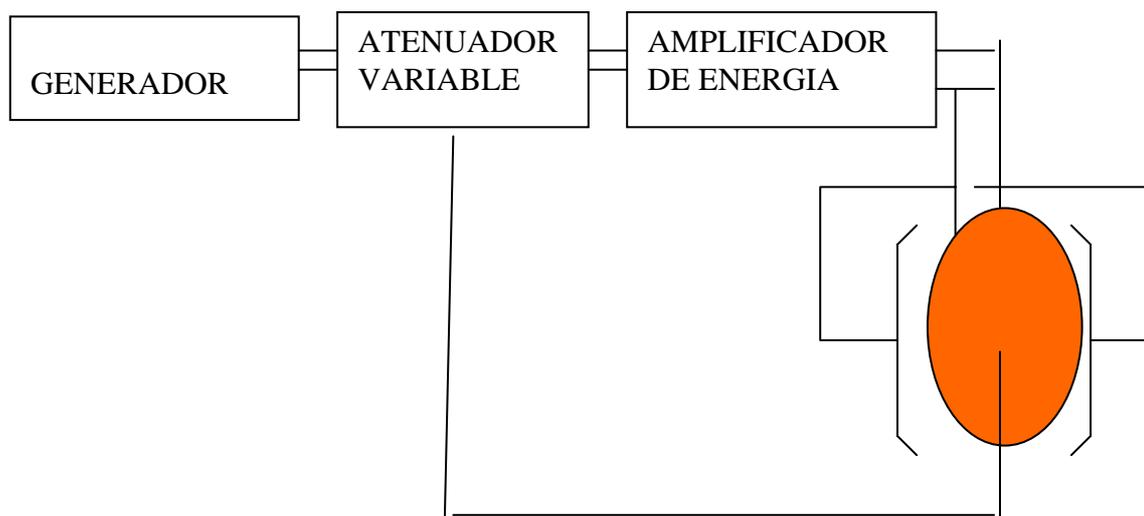


Figura 1.- Diagrama de bloques del sistema de realimentación.

### 3. EQUIPOS Y MATERIALES.

El equipo fue construido en base de los siguientes materiales: transformadores, fusibles, puente de diodos, condensadores, circuitos integrados, diodos, interruptores, resistencias, potenciómetros, despliegues visuales, selectores, transistores, diodos emisores de luz (leds), diodos zener, zócalos, electrodos, faja, cables, conectores, disipadores, borneras. Este equipo se construyó en el Laboratorio de Electrónica Médica, utilizando osciloscopios, fuentes DC, multímetros, soldador, etc.

### 4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS FUENTES DE VOLTAJE.

Para habilitar el generador de señales, el termómetro digital, el sistema de autocontrol y el amplificador, necesitamos de tres voltajes: +5 V, -5 V y +10 V. Primero convertimos la señal de 120 VAC a  $\pm 12$  VDC por medio de un transformador:  $V_s = 2^{1/2} * V_{rms}$ ;  $V_s = 2^{1/2} * 12$ ;  $V_s = 16.97 V_p$   
Luego tenemos un puente rectificador que nos da un voltaje no regulado  $V_{NR}$ :  $V_{NR} = 16.97 - 2*0.7$ ;  $V_{NR} = 15.57 V$ .

Luego tenemos un filtro capacitivo y finalmente un regulador de voltaje que nos dan los voltajes deseados que son sostenidos por filtros capacitivos.

### 5.-DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR DE SEÑALES.

El circuito integrado XR-2206 tiene la habilidad de producir 3 formas de ondas: sinusoidal, cuadrada y triangular, con una frecuencia que va desde 0 Hz hasta 1 MHz. Estas ondas tienen una amplitud de voltaje que va desde 0 V hasta 10 V. En el osciloscopio podemos visualizar las ondas. El XR2206 produce las tres formas de ondas con una baja distorsión. También su amplitud y frecuencia pueden ser variadas.

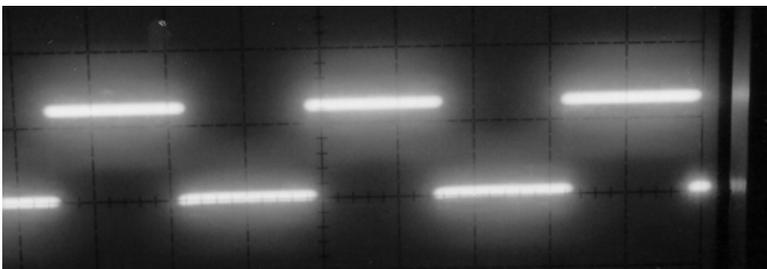


Figura 2.- Onda cuadrada obtenida en el osciloscopio.

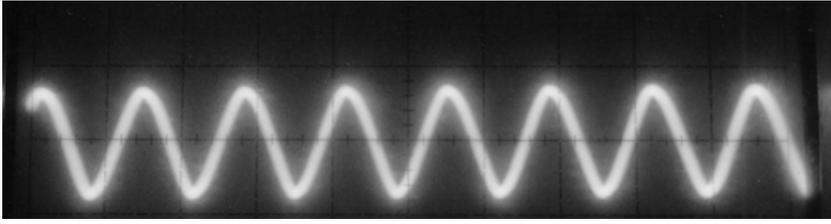


Figura 3.- Onda sinusoidal obtenida en el osciloscopio.

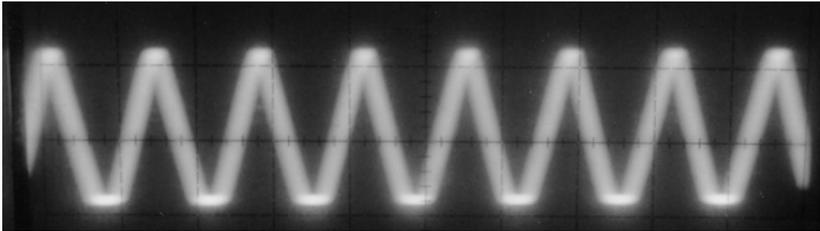


Figura 4.- Onda triangular obtenida en el osciloscopio.

## **6.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL TERMÓMETRO DIGITAL.**

El diseño fue hecho para tener un termómetro que sea aplicable en dos zonas del cuerpo en un rango de temperatura de 0°C a 60°C. Los diodos de silicio sensan la señal de temperatura. Luego el amplificador TL084 la compara con un valor de referencia seleccionado por el usuario, dándonos un voltaje proporcional a la temperatura. Por medio del ADC 0808, las señales analógicas de la etapa anterior son convertidas en sus respectivos valores binarios. Estas señales son luego enviadas a un decodificador de binario a BCD (74185) cuyas salidas son enviadas a un decodificador de BCD a 7 segmentos (7447) para finalmente observarlas en los despliegues visuales de 7 segmentos.

## **7.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOCONTROL.**

El diseño se basó en el control proporcional utilizado en electrónica para sistemas de control. Para esto usamos la señal del diodo sensor amplificada y la invertimos por medio de un amplificador operacional, para luego ser comparada con la señal de referencia seleccionada por nosotros por medio de un potenciómetro. Luego las dos señales son comparadas y amplificadas por medio de otro amplificador operacional y enviada al pin 1 del XR2206 para hacer la respectiva modulación de ancho de pulso (autocontrol).

## **8.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL AMPLIFICADOR.**

Para la amplificación se utiliza un transistor de potencia el cual recibe la señal del generador de señales y amplifica la corriente. Esta señal va a la bobina primaria de un transformador induciendo magnéticamente un pulso de voltaje en la bobina secundaria. La bobina del secundario del transformador, que provee una amplificación de voltaje de 9 V a 220 V, se conecta a los electrodos y por medio de ellos al paciente.

## **9.- ELECTRODOS.**

Los electrodos utilizados para electroterapia son de goma conductora y la faja es utilizada para termoterapia con los diodos sensores acoplados a ella. Aunque también existen electrodos de carbón y metálicos, los electrodos y la faja pueden ser aplicados en varias zonas del cuerpo como lo muestran las pruebas realizadas. Los electrodos usados en electroterapia manifiestan una determinada resistencia que depende de: la materia que los componga, el grado de humedad, la presión ejercida sobre la piel y el tamaño de los electrodos.



Figura 5.- Faja con los diodos sensores y los electrodos de goma.

## **10.- TIPO Y LUGAR DE APLICACIÓN.**

La aplicación puede ser clínica o terapéutica; es decir para alivio del dolor. Es utilizado para diversas patologías del sistema músculo-tendinoso y ligamentario, lesiones del sistema neuro-músculo-esquelético, tales como contracturas musculares, lesiones inflamatorias, distensiones de ligamentos, tendinitis, meniscopatías e hipotrofias musculares.

Los elementos fundamentales para la aplicación de la terapia son: el equipo, el paciente y el sistema de aplicación (cables y electrodos).

Cada persona y su patología presentan cualidades y condiciones propias en sus reacciones ante estas corrientes, dependiendo de factores como: psicológicos, morfológicos, experiencia del paciente, humedad de la piel, estado de la piel, pérdida de la sensibilidad y zona de aplicación.

## 11.- PRUEBAS Y RESULTADOS.

Pudimos comprobar la aproximación entre la frecuencia teórica y práctica. La frecuencia teórica se la calculó por medio de:  $f=960/[(678+R)*C]$ . La frecuencia práctica se la obtuvo del osciloscopio del Laboratorio.

**Tabla I.- Comparación entre la frecuencia teórica y práctica.**

R ( K $\Omega$ )	frecuencia teórica (Hz)	frecuencia práctica (Hz)
0,010	139,53	143
0,047	132,4	133
0,389	89,9	90
0,513	80,6	83
1	57,2	61
1.46	44,9	45
2.2	33,35	35
4.6	18,18	19
81	1,17	3
100	0,95	1
Pot. 100 K $\Omega$	$0,95 < f < 141,59$	$1 < f < 143$

En las pruebas de termoterapia pudimos comprobar el calentamiento y el control de temperatura, cuyo valor máximo es seleccionado por el usuario.

En las pruebas con los pacientes se tomaron 15 pacientes de muestra con distintas patologías: Esguince de tobillo, Lumbalgias, Parálisis de nervio radial, Esguince de rodilla, Contracturas musculares, Distensiones de ligamentos de rodilla, Lesiones de meniscos. Las patologías más comunes fueron las de rodillas y espalda. Las primeras como consecuencia de lesiones deportivas y las segundas debido a excesos laborales, siendo la mayoría en los hombres por ser deportistas y en las mujeres por ser amas de casa. Fueron tratados durante 30 días en sesiones vespertinas de ½ hora a 45 minutos de lunes a viernes. La frecuencia de las aplicaciones se iba reduciendo conforme el paciente iba mejorando paulatinamente. La frecuencia de tratamiento en el caso de los pacientes tratados con electroestimulación fue de 45 Hz a 100 Hz (tetanizante), y en algunos casos frecuencia pulsátil (menor a 45 Hz). En la combinación de los tratamientos de termoterapia y electroestimulación se comprobó el efecto de relajación muscular y de mejoría de la patología.

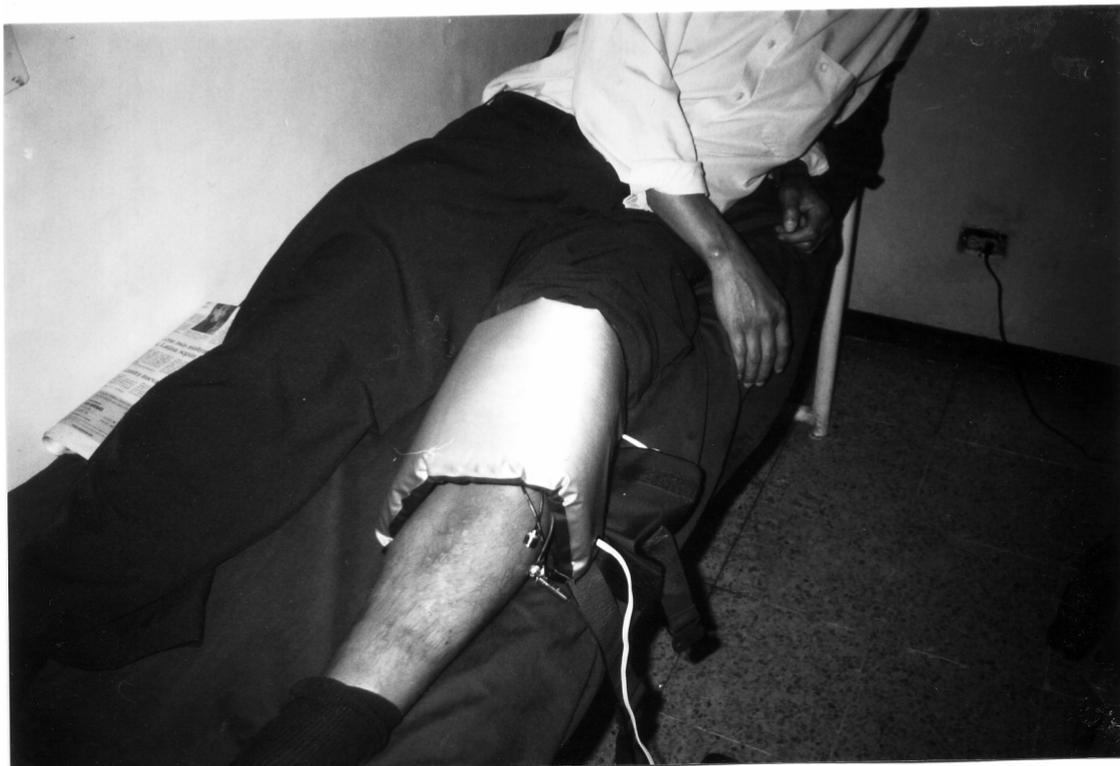
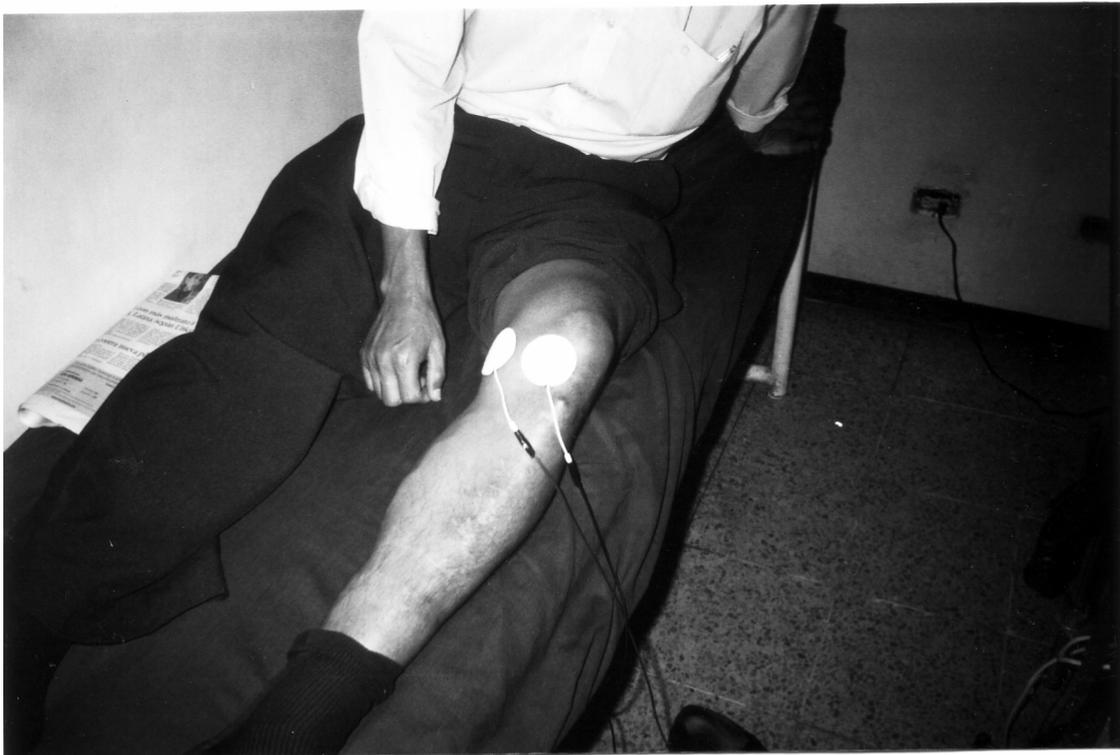


Figura 6.- Paciente con esguince de rodilla izquierda causada por una lesión deportiva al cual se le aplica la faja (termoterapia) y los electrodos de goma (electroestimulación)

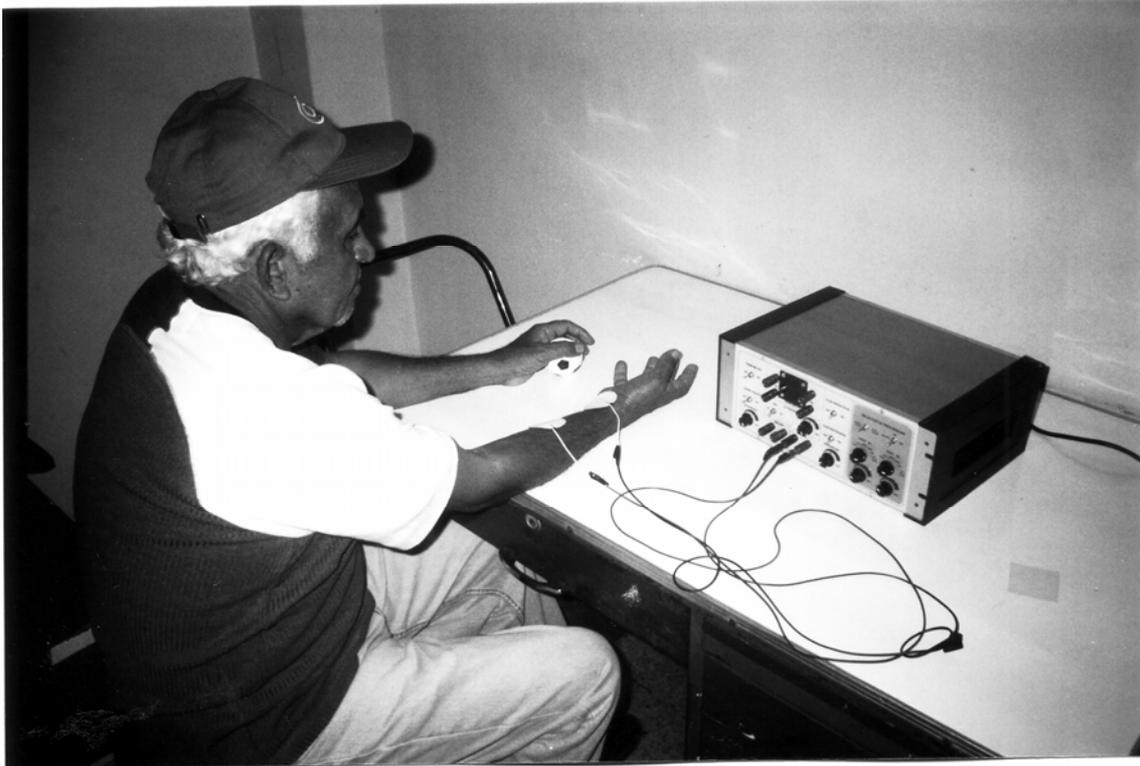


Figura 7.- Paciente con parálisis del nervio radial y mediano del antebrazo derecho por accidente de trabajo, el cual es tratado con el equipo en una sesión de electroestimulación.

Se logró en el 70% (11 primeros pacientes) de los mismos un excelente pronóstico de recuperación, es decir que se estaban rehabilitando, en tanto que el 30% (4 pacientes restantes) continuaban mejorando favorable y progresivamente y necesitaban más sesiones de terapia. Cabe indicar que después del uso del equipo, algunos pacientes realizaban sesiones de ejercicio físico en las máquinas del consultorio.

## **12.- CONCLUSIONES.**

Haber construido el equipo experimental de campo de corriente localizado ha sido un arduo trabajo y ha permitido ganar experiencia durante los meses dedicados al mismo. Se logró el calentamiento de las zonas afectadas y se controló su temperatura con éxito, lo cual es la base del proyecto. Este equipo hipertérmico experimental sirve como referencia para el desarrollo de futuros equipos en el campo de la termoterapia en el país.

Para que la terapia aplicada al paciente sea completa y según sea la patología, se ha construido adicionalmente un equipo de electroestimulación. La construcción de este equipo nos da un panorama claro del diseño y construcción de equipos médicos y del perfeccionamiento de éstos para un buen uso en la medicina.

En este equipo se ha usado para el acoplamiento entre el equipo y el paciente un transformador de aislamiento que a su vez es elevador de voltaje. Podemos observar que el cable de poder tiene tres hilos, ya que al tratarse de un equipo de electromedicina, es conveniente incluir la toma de tierra. Como sensor de temperatura se escogió al diodo por su bajo costo, fácil aplicación y por la relación proporcional de Voltaje vs. Corriente cuando está directamente polarizado.

El equipo por ser experimental, tiene varios interruptores y potenciómetros de control, cuyo número puede reducirse si se lo quiere introducir en el mercado.

En las pruebas hechas en el Laboratorio de Electrónica Médica pudimos comprobar una buena aproximación entre las frecuencias teórica y práctica. En las pruebas de termoterapia pudimos comprobar el control de temperatura a la máxima seleccionada por el usuario.

En las pruebas con los pacientes encontramos que las patologías más comunes fueron las de rodilla y espalda. Siendo la mayoría como consecuencia de lesiones deportivas en el caso de los hombres y en las mujeres por ser amas de casa. La frecuencia de las sesiones se iba reduciendo conforme el paciente iba mejorando paulatinamente. En la combinación de los tratamientos de termoterapia y electroestimulación se comprobó el efecto de relajación muscular y de mejoría de la patología.

### **13.- RECOMENDACIONES.**

El equipo no debe usarse en pacientes con fracturas o que utilicen marcapasos o que sufran de algún tipo de epilepsia y el equipo no se debe exponer al agua o líquido alguno.

Revisar periódicamente que los cables de los electrodos y de la faja no estén deteriorados y no confundir la ubicación de los cables de los electrodos de goma y los de la faja. En el panel de electroterapia van los electrodos de goma y en el panel de termoterapia va la faja.

Siempre, antes de comenzar la terapia, se debe verificar que los potenciómetros estén en su posición mínima. Se debe comenzar la terapia moviendo el potenciómetro de intensidad lentamente desde su posición mínima y aumentar gradualmente mientras el paciente nos va indicando su sensación de corriente.

Se puede perfeccionar el modelo a futuro con el objetivo de introducirlo en el mercado y diseñándolo con menos interruptores y controles. Este proyecto puede servir de pauta para la construcción de equipos en otras áreas como la magnetoterapia, terapia de ultrasonido, terapia láser, etc.

#### **14.- BIBLIOGRAFÍA.**

- [1] Rodríguez Martín, “Electroterapia en Fisioterapia”, Editorial Médica Panamericana, España, 2000.
- [2] C. Cayuelas Antón y J. M. Pastor Vega, “Medicina Física”, Editorial Médica Panamericana, España, 2002.
- [3] William I. Fletcher, “An Engineering Approach to Digital Design”, Prentice Hall, Estados Unidos, 1980.
- [4] Thomas L. Floyd , “Dispositivos Electrónicos 3”, Editorial Limusa, México, 1994.
- [5] Muhammad H. Rashid, “Electrónica de Potencia”, Prentice Hall, México, 1995.
  
- [6] Z. H. Meikson y Philip C. Thackray, “Manual de Electrónica”, Prentice Hall, España, 1984.
- [7] Ronald J. Tocci, “Sistemas Digitales”, Prentice Hall, México, 1996.