

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ELECTROESTIMULADOR PARA APLICARLO EN TERAPIAS DE REHABILITACIÓN DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO ATROFIADO POR INMOVILIZACIÓN

Por: Bernardo Núñez Pérez*, Jairo Plaza**, Álvaro Pérez T.***

Fecha de recibido: 5 de julio de 2010 • Fecha de aceptación: 30 de septiembre de 2010

RESUMEN:

En electroterapia, al aplicar un estímulo sobre un nervio motor es posible generar un potencial de acción que se transmite a lo largo del nervio y, en último lugar, excite el músculo que enerva dicho nervio. En este trabajo de investigación se diseñó y construyó un estimulador electrónico que envía pulsos eléctricos a músculos inervados, mediante un par de electrodos superficiales que se colocan sobre los puntos motores de los distintos grupos musculares. Los valores de frecuencia, intensidad de corriente y voltajes suministrados por el electroestimulador se encuentran dentro de los rangos especificados por la norma NTC 4121, la cual establece las magnitudes máximas permitidas para no causar traumas en el paciente.

PALABRAS CLAVE:

Electrofisiología, Electroestimuladores, Microcontrolador, Corriente Eléctrica, Pulso, Frecuencia.



* Licenciado en Matemática y Física, Universidad del Atlántico. Especialista en Estudios Pedagógicos, Corporación Universitaria de la Costa. Especialista en Informática y Telemática, Fundación Universitaria del Área Andina. Especialista en Ciencias Físicas, Universidad Nacional. Magíster en Ciencias Físicas, SUE CARIBE- Universidad del Atlántico, Docente Tiempo Completo Corporación Universitaria de la Costa. Investigador del grupo de "Instrumentación Electrónica para el Laboratorio de Física de Campo INFIZCUC. bnunez@cuc.edu.co

** Doctor en Física Universidad Autónoma de México, Magíster en Física Universidad del Valle, Docente Tiempo Completo Universidad del Atlántico, Director grupo de Instrumentación y Metrología Universidad del Atlántico. jplaza@hotmail.com

*** Licenciado en Matemáticas y Física, Universidad del Atlántico. Magíster en Ciencias Físicas, Universidad Industrial de Santander. Docente. Universidad del Atlántico, codirector grupo de Instrumentación y Metrología Universidad del Atlántico. elmonopez@hotmail.com



DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN ELECTROESTIMULADOR TO APPLY IT IN THERAPIES OF REHABILITATION OF THE ESQUELETICO MUSCLE ATROPHIED FOR IMMOBILIZATION

By: Bernardo Núñez Pérez, Jairo Plaza, Álvaro Pérez T.

ABSTRACT:

In electrotherapy, when applying a stimulus on a nerve motor it is possible to generate an action potential that is transmitted along the nerve and, in last place, excite the muscle that enervates this nerve. In this investigation work it was designed and it built a stimulative one electronic that sends electric pulses to innervated muscles, by means of a couple of superfi-

cial electrodes that you/they are placed on the points motors of the different muscular groups. The securities of frequency, current intensity and voltages given by the electroestimulador are inside the ranges specified by the norm NTC 4121, which establishes the maximum magnitudes allowed for not causing traumas in the patient.

KEY WORDS:

Electrophysiology, Electro stimulator, Microcontroller, Electric current, Pulse, Frequency.



I. INTRODUCCIÓN

La electroterapia es una vía eficiente empleada mundialmente como tratamiento para el alivio del dolor, el fortalecimiento muscular, la inserción de sustancias medicamentosas (iontoforesis), la aceleración de la curación de heridas y úlceras, entre otras aplicaciones [6]. Mediante esta técnica, se aplican al paciente estímulos eléctricos con características especiales, acordes con las terapias prescritas.

En la electroterapia, uno de los equipos que se utilizan más a menudo es el estimulador muscular. El objetivo de este equipo es estimular el músculo localizado entre los electrodos. Para este proceso lo más adecuado es usar una corriente pulsada de baja intensidad.

En este trabajo se presenta el diseño de un equipo de electroestimulación, para aplicarlo en la rehabilitación del músculo esquelético atrofiado por inmovilización, el diseño se basa esencialmente en la programación de un microcontrolador PIC para la generación y control de la señal de salida, que cumpla con los parámetros utilizados en la electroterapia para este tipo de patología.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL

En el campo de la electroestimulación existe toda una variedad de tipos y modelos diferentes disponibles en el mercado con una gran pluralidad de nombres. Pero todos estos trabajan en esencia de la misma manera: se aplican dos electrodos en alguna parte del cuerpo, pero con pequeñas separaciones, y se hace pasar una corriente pulsante entre ellos. Para diseñar un electroestimulador muscular se deben tener en cuenta los parámetros de la electroestimulación tales como forma de la señal, polaridad, parámetros temporales carga de fase o pulso, modulación. En un electroestimulador los componentes internos de los circuitos modifican el flujo de corriente, por lo que produce una forma de onda o señal específica tales como: rectangular,

triangular, trapezoide, sinusoidal, exponencial, etc. De todas estas señales generadas por electroestimuladores se tiene que la más recomendada es una señal pulsada y de baja intensidad. En esta oportunidad se necesita generar una señal pulsada rectangular, monopolar de baja intensidad con control de amplitud y de frecuencia. La señal a la salida del equipo debe tener una amplitud entre 0 y 80 voltios con intensidad en el orden de los miliamperios.

En este diseño se distinguen dos partes esenciales, la generación de los pulsos eléctricos y la implementación de unas pocas funciones especiales. Pero la parte de generación se subdivide en generación y adecuación de señal. Al llevar este diseño a circuito se hace necesario dividirlo en cuatro etapas:

1. Generación de señal.
2. Alimentación componentes.
3. Funciones especial.
4. Ajuste de señal (Amplificación, conversión, y control de amplitud).

Todas estas partes se pueden apreciar en el circuito de la figura 1.

En la generación de los pulsos, la parte esencial la constituye el microprocesador PIC16f877, este ha sido programado para que permita generar pulsos que toma la forma rectangular y triangular a la salida del puerto B después de activar los botones o pulsadores. El programa que controla el equipo, es desarrollado en lenguaje C, descrito en el siguiente diagrama de flujo. Figura 2.

El programa comienza revisando los botones y envía un primer mensaje al LCD este mensaje es "ESTIMULADOR MUSCULAR", continúa revisando botones, y envía un segundo mensaje al LCD "ESCOJA OPCIONES", continúa revisando los botones a través del puerto C del microcontrolador. En el momento que se presiona el botón I escoge una primera señal de onda cuadrada con su frecuencia y un ciclo de trabajo (DC), enviando un tercer mensaje al LCD " T =

Figura 1. Circuito del electroestimulador

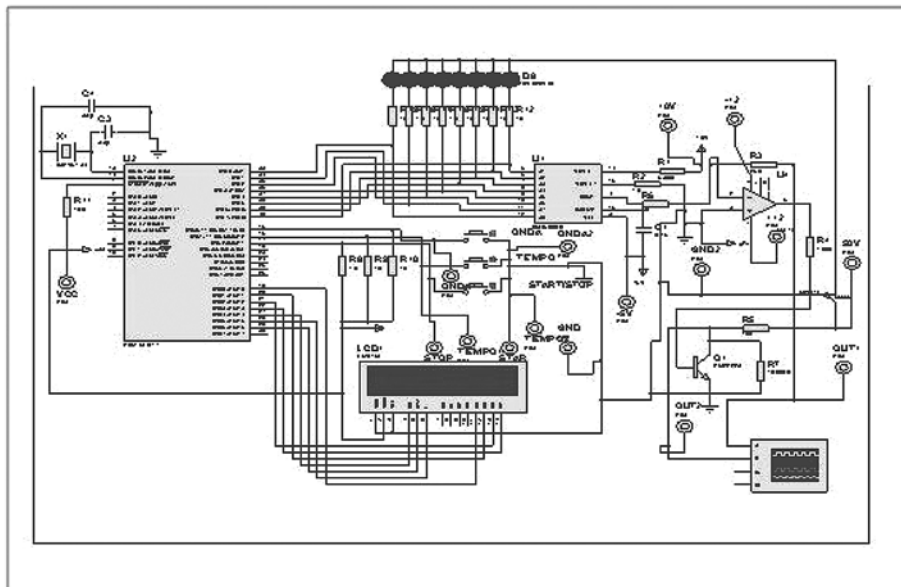
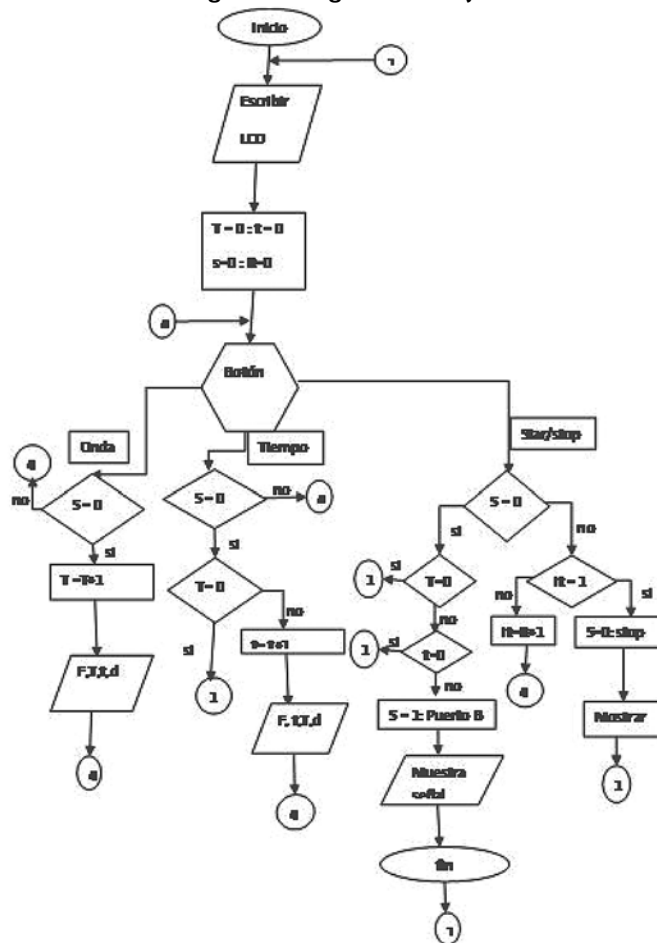


Figura 2. Diagrama de flujo



$I, F = 5, t = 1, d = 16$. Estos datos obedecen a las características de la señal escogida, cada vez que se presiona el botón 1, el cual se le ha llamado ONDA, se escoge una nueva señal apareciendo los cambios en la LCD. Inmediatamente revisa el botón 2, llamado TIEMPO, que controla los retardos, al presionar este botón, elige un tiempo y aparece en la LCD $t = 1$, indicando que se ha elegido 1 minuto como tiempo en el cual se repiten los ciclos que generan la señal escogida. Hecha esta operación regresa a señal y se va al puerto B y continúa revisando botones esperando la acción del botón 3, el cual se le ha llamado STAR/STOP, que es la orden para dar inicio al ciclo de operación, y continúa revisando el botón 3, esperando un Sí o un No. La opción no es un stop y regresa a botones apareciendo nuevamente el mensaje “ESCOJA OPCIONES” si y la opción es Sí termina el ciclo con la generación de la señal en el tiempo programado y va al LCD mostrando nuevamente el mensaje “ESCOJA OPCIONES” y queda esperando una orden para iniciar nuevo ciclo.

En la generación de señal, se tienen pulsos rectangulares llamados onda rectangular y pulsos

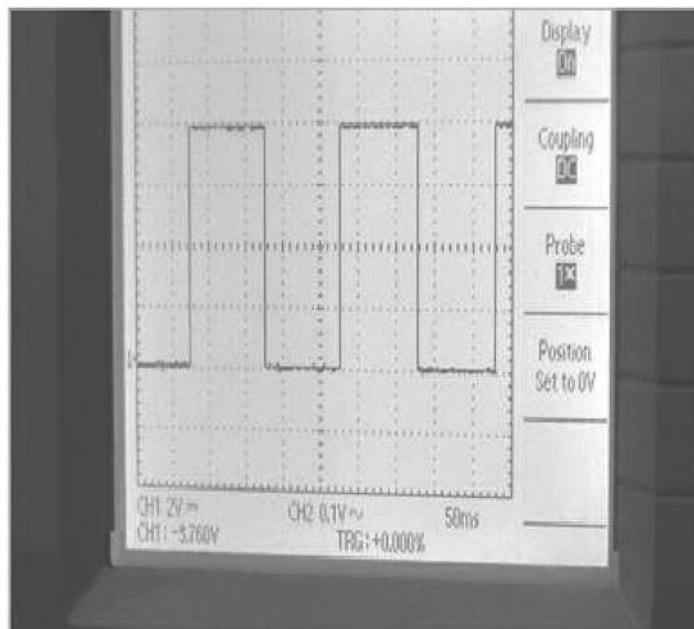
triangulares, esta parte se hace por programación donde se le dan las instrucciones al PIC para que cambien de un valor de 0V a 5V, repetidamente, en el caso de los pulsos rectangulares, genere una señal como la mostrada en la figura 3.

En la regeneración de los pulsos se tiene en cuenta los parámetros temporales tales como: Duración o tiempo de fase (D_p), Intervalo de fase: (I_p)

La frecuencia de una corriente pulsada viene dada por el número de pulsos por unidad de tiempo. Se mide en pulsos/s (pps) = Hz

Mediante la modulación de ráfagas se producen una serie finita de pulsos o un intervalo finito de corriente variable. El período de tiempo en que se suministran las series finitas de pulsos constituye la duración de la ráfaga. El período de tiempo entre ráfagas se denomina intervalo entre ráfagas. Ambos períodos de tiempo son, generalmente, del orden de unos pocos milisegundos. Estos trenes pueden contener varios pulsos dependiendo del tiempo que se quiera,

Figura 3. Señal rectangular generada



los pulsos tienen frecuencia de 1 a 100 Hz, pero la frecuencia con la que los trenes pasan va de 1 a 10 Hz, esta frecuencia es conocida como frecuencia envolvente y se calcula como el inverso del período de la señal envolvente

$$f = 1/T$$

$$T = D_{TP} + D_{SP}$$

D_{TP} : Duración del tren de pulsos y D_{SP} duración sin pulsos. Los trenes o las series de ráfagas son intermitentes o regularmente interrumpidas, este tipo de modulación viene caracterizada por dos intervalos de tiempo, denominados <<tiempo de paso o modulación>> (tiempo on) y <<tiempo de cese o reposo>> (tiempo off). Como se muestra en la figura 4.

Descrita esta parte de la programación y la generación de las diferentes señales, se pasa al funcionamiento de cada parte del circuito mostrado en la figura 1, encargado de generar y enviar las señales a la salida del equipo. Esta descripción se puede dividir en cinco bloques teniendo en

cuenta la conexión de los componentes de circuito:

Puerto B - Conversor DAC0808

Puerto C - Botones (pulsadores)

Puerto D-LCD

Carga o fase del pulso (amplitud)

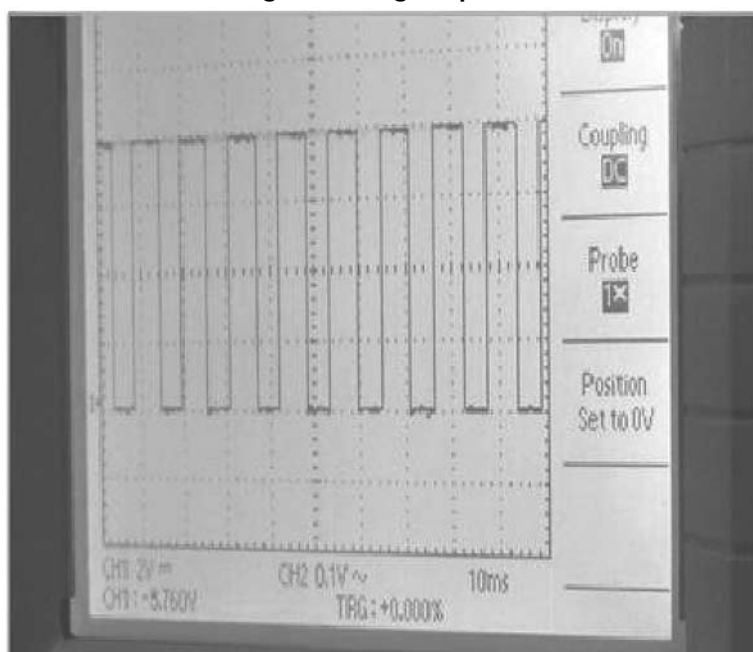
Fuente de alimentación del circuito

[1]

Tomando las señales que son generadas y sacadas por el puerto B del microcontrolador, dichas señales son pulsadas y tienen una amplitud de 5 V, de aquí son enviadas al conversor digital analógico, el DAC 0808 que se encarga de convertir los 5 V DC en una señal discreta digital.

Después de esta fase viene el proceso de la carga o fase del pulso, puesto que a la salida de pin 6 del amplificador operacional se encuentra una señal en forma de ráfagas de pulsos invertida, con amplitud de 10V. Este valor de voltaje se debe ajustar aumentando su amplitud; esto se hace con una fuente de 80 VDC y un transistor NPN de referencia 2N2222, y un potenciómetro. El hecho de utilizar una fuente DC en lu-

Figura 4. Ráfaga de pulsos



gar de un transformador elevador, es algo muy importante en este diseño puesto que permite no distorsionar la señal a la salida, es decir, para garantizar que la señal sea rectangular o triangular a la salida de los electrodos. De la salida del amplificador operacional (P6) se tiene una resistencia de 1000 ohmios, y se conecta a la base del transistor 2N2222A, al colector del transistor se tiene una resistencia de 100 ohmios y de aquí a la base de un potenciómetro de 20K, este potenciómetro está conectado a la salida de la fuente de 80V DC y a tierra, como la señal en la base del transistor está variando, y la señal en el colector es constante, entonces el transistor nos proporciona una señal de salida pulsada y aumentada su amplitud, siendo esta la señal entregada por el equipo. Esta señal es aplicada al músculo esquelético mediante los electrodos.

En la figura 5 se puede observar el electroestimulador completo, indicando cada una de sus partes.

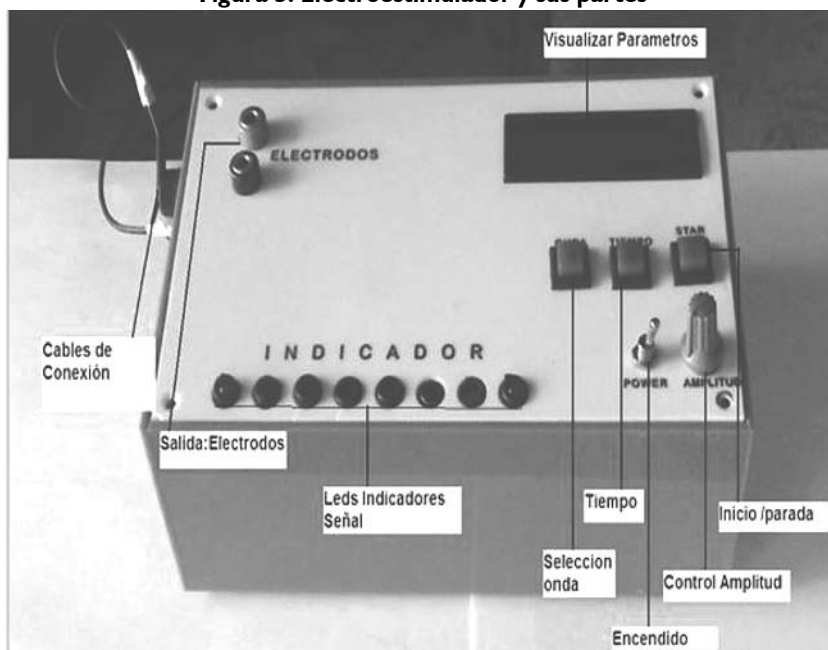
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Es importante destacar el uso del microcon-

trolador PIC 16f877 ya que además de generar los pulsos, tiene un número de funciones extras que se pueden controlar por tres botones, estos botones son usados para seleccionar un tiempo de tratamiento de estimulación específico y un programa de tratamiento particular. Las temporizaciones de las ráfagas de pulsos: 1 min, 2 min, 3 min, 5 min, 10 min y 15 min, cabe notar que estas temporizaciones se tienen solo para las terapias de onda de pulso rectangular. Lo más importante de este diseño es el hecho de obtener una señal rectangular con una amplitud de 80V, y con las características del pulso programado en el PIC16f877.

Mirando los resultados obtenidos en este diseño y comparándolo con otros diseños. Se tiene que los diseñadores de dispositivos de este tipo son especialmente unánimes con el hecho de mantener el ancho y la velocidad de repetición de los pulsos. En este diseño la ráfaga de pulsos aparecen en paquetes de tramas con una duración dependiendo del programa entre 1 y 10 seg, con tiempos de reposo entre 4 y 30 seg y con intervalos entre trama o velocidad de repetición entre 5 y 40 seg. La intensidad de las

Figura 5. Electroestimulador y sus partes



cargas depende del intervalo de repetición y de la amplitud del pulso, el que se puede ajustar en un intervalo entre 0 y 80 V.

Para hacer referencia a la señal de salida del electroestimulador, se puede comparar la señal de este equipo con la señal de otro diseño que ya está funcionando. Encontrándose una gran diferencia en la forma de la señal. Como podemos apreciar en la figura 6, se tiene un diseño de un equipo en el que la señal generada es cuadrada, pero a la salida del equipo se distorsiona y deja de ser cuadrada, esta distorsión en la señal de salida se debe al uso de un transformador para aumentar la amplitud de la señal.

A diferencia de este diseño en el cual la señal conserva la forma original, sigue siendo cuadra-

da o triangular como se puede apreciar en la figura 7. Este aspecto es muy importante tenerlo en cuenta en el diseño del electroestimulador. Lo cual es uno de los objetivos planteados en este trabajo mejorar la señal de salida y así contribuir al mejoramiento en la aplicación en fisioterapia.

Otro aspecto para mencionar en este diseño es la posibilidad de realizar otros programas de generación de ondas como exponencial, senoidal, etc., y poder cambiar el Pic utilizado.

4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los análisis que se han realizado en este equipo, en su parte de programación del microcontrolador, el funcionamiento del circuito y el funcionamiento del equipo com-

Figura 6. Comparación de señales

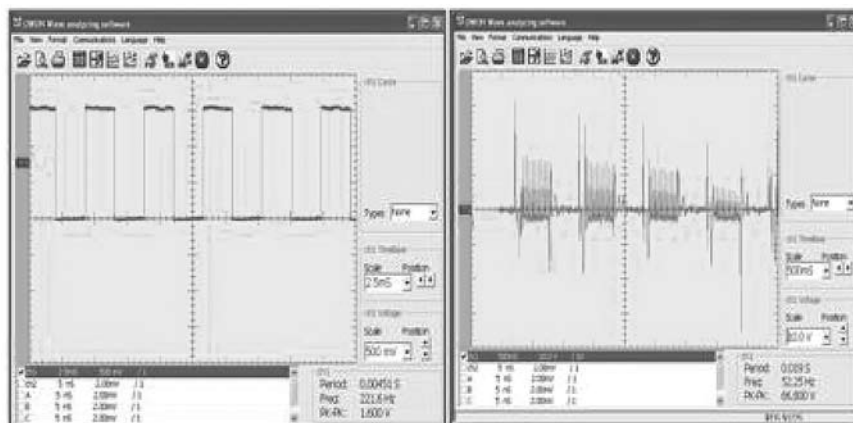
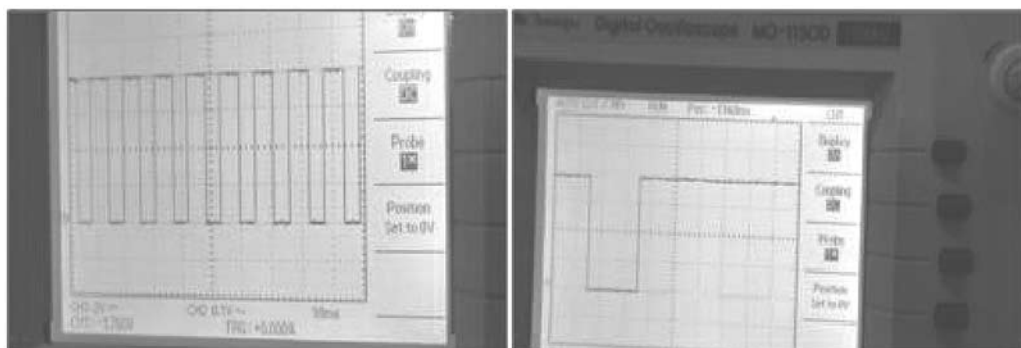


Figura 7. Comparación de señales



pleto, eléctricamente las respuestas del circuito han sido aceptables y las medidas hechas están en concordancia con los valores calculados en el diseño y dentro de los parámetros establecidos para este tipo de equipos eléctricos, es decir, se tiene un equipo con los parámetros especificados dentro del ámbito de la electroestimulación. Se puede decir que un primer resultado es el Estimulador Eléctrico Muscular EEM digital construido con elementos que son de fácil adquisición y de bajo costo.

Este equipo EEM digital, puede ser empleado como parte de un programa terapéutico por lo que un segundo paso lo constituyen las pruebas que se realicen en diferentes pacientes que presenten músculos atrofiados y se puedan comparar los resultados que se obtengan con los resul-

tados referidos a otros equipos empleados para tal fin.

Este equipo llamado EEM digital, por ser un prototipo está expuesto a mejoras, en la parte de la programación del microcontrolador se pueden incluir nuevos programas de terapia variando los diferentes parámetros en el algoritmo. En cuanto a los componentes utilizados, es posible sustituir el PIC16f877 debido a que no se utilizan los 40 pines de este micro y reemplazarlo por uno de menor número de pines, se podría utilizar el PIC16f873 el cual tiene 28 pines. En cuanto a la presentación se puede hacer de menor tamaño y en otra instancia alcanzar una competitividad en el mercado comercial de equipos de electroterapia.

BIBLIOGRAFÍA

ANGULO USATEGUI, José *et al.* (1999). *Microcontroladores PIC (diseño práctico de aplicaciones)*. 2ª edición. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana de España. pp. 24-87.

COOPER, William y HELFRICK, Albert (1991). *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*. México: Prentice-Hall.

DUQUE, Edison (2000). *Curso avanzado de microcontroladores PIC*. Medellín, Colombia: CEKIT. Compañía Editorial Tecnológica.

ESPI LÓPEZ, José; CAMPOS VOLLS, Gustavo; MUÑOZ MARÍN, Jordi y otros (2006). *Electrónica analógica*. Madrid: Editorial Pearson Prentice-Hall.

MARTÍNEZ MORILLO, M., y otros (1998). *Manual de Medicina Física*. Tercera edición. Madrid, España: Ed. Harcourt Brace. pp. 133-144.

PALACIO, Enrique; REMERIO, Fernando y otros (2005). *Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de Proyecto*. Colombia: Alfaomega Ra-Ma, Colombia. pp. 50- 87.

PÉREZ GARCÍA, Miguel; ÁLVAREZ ANTÓN, Juan; CAMPO RODRÍGUEZ, Juan y otros (2006). *Instrumentación electrónica*. Segunda edición. Madrid, España: Thomson.