Sistema de rehabilitación física con 2 CH, basado en electroterapia con software de seguimiento y control de paciente

Physical rehabilitation system with 2 CH, based on electrotherapy with patient tracking and control software

CRUZ-GARRIDO, Arnulfo†*, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y PEREZ-LUNA, Juan Alfonso

Ingeniería Mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango-ITSH-TecNM, Av. Tecnológico No 80, 5 de Octubre, Huauchinango, Puebla, México. C.P. 73173

ID 1^{er} Autor: Arnulfo, Cruz-Garrido / **ORC ID:** 0000-0001-9366-8525, **arXiv Author ID:** 0000-0001-9366-8525, **CVU CONACYT ID:** 320172

ID 1^{er} Coautor: Gregorio, Castillo-Quiroz / **ORC ID:** 0000-0002-1904-4172, **arXiv Author ID:** 0000-0002-1904-4172, **CVU CONACYT ID:** 162009

ID 2^{do} Coautor: Elisa, Gonzaga-Licona / **ORC ID:** 0000-0001-5745-6330, **arXiv Author ID:** 0000-0002-7970-7855 **CVU CONACYT ID:** 904035

ID 3^{er} Coautor: Juan Alfonso, Perez-Luna / **ORC ID:** 0000-0002-6123-3567, **arXiv Author ID:** 0000-0002-6123-3567, **CVU CONACYT ID:** 972095

DOI: 10.35429/JBEB.2019.10.3.7.15

Recibido 18 de Octubre, 2019; Aceptado 04 Diciembre, 2019

Resumen

El Fisioterapeuta utiliza equipos especiales para electroterapia, basados en la generación y manejo de corrientes interferenciales, voltaje y frecuencias (ondas sinusoidales, diente de sierra y cuadradas), aplicando energía procedente del espectro electromagnético al organismo humano, generando sobre los tejidos, respuestas biológicas deseadas y terapéuticas. En el presente artículo se desarrolló una propuesta viable de reingeniería a equipos dedicados a la aplicación de electroterapia como medio de rehabilitación física, basada en el análisis, haciendo hincapié en las mejoras a implementar, para dar seguimiento puntual al paciente y apoyo fundamental al fisioterapeuta. Se contempló el diseño e integró un sistema para rehabilitación física (2 CH), basado en electroterapia y termoterapia, con software para control y seguimiento puntual de paciente, creando una carpeta de historial clínico desde que llega el paciente, graficando los progresos o retrocesos para la generación de reportes, permitiendo al software la sugerencia de cambios o continuación con los tratamientos siempre con la autorización médica correspondiente. Los equipos profesionales existentes para esta área son carísimos, los más completos incorporan una interfaz en el instrumento, pero no existe software que relacione al paciente con la parte médica, tampoco aportan seguimiento de paciente y mucho menos sugiere en base al historial algún tratamiento específico.

Sistema, Electroterapia, Paciente

Abstract

The Physiotherapist uses special equipment for electrotherapy, based on the generation and management of interferential currents, voltage and frequencies (sine waves, sawtooth and square), applying energy from the electromagnetic spectrum to the human organism, generating on the tissues, desired biological responses and therapeutic. In the present article, a viable reengineering proposal was developed for teams dedicated to the application of electrotherapy as a means of physical rehabilitation, based on the analysis, emphasizing the improvements to be implemented, to give timely follow-up to the patient and fundamental support to the physiotherapist. The design was contemplated and integrated a system for physical rehabilitation (2 CH), based on electrotherapy and thermotherapy, with software for control and punctual patient follow-up, creating a folder of clinical history since the patient arrives, plotting the progress or setbacks for the generation of reports, allowing the software to suggest changes or continuation with the treatments always with the corresponding medical authorization. The existing professional teams for this area are very expensive, the most complete incorporate an interface in the instrument, but there is no software that relates the patient to the medical part, they do not provide patient follow-up, much less suggest a specific treatment based on the history.

System, Electrotherapy, Patient

Citación: CRUZ-GARRIDO, Arnulfo, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y PEREZ-LUNA, Juan Alfonso. Sistema de rehabilitación física con 2 CH, basado en electroterapia con software de seguimiento y control de paciente. Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología. 2019 3-10: 7-15

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: arnulfocruz2003@yahoo.com.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La Electroterapia por definición se trata del uso con fines terapéuticos de la corriente eléctrica. Esta modalidad terapéutica ha estado experimentando un nuevo auge en los últimos años. El desarrollo científico-técnico, el desarrollo de nuevas tecnologías, el desarrollo de microprocesadores, están marcando un salto evolutivo en las posibilidades terapéuticas, que sin dudas seguirán teniendo un impacto positivo en la recuperación de los pacientes y en la disminución de los gastos sanitarios.

En esta era moderna se pone de manifiesto la integración entre todas las áreas del conocimiento científico (física, química, fisiología y patología) dando como resultado la posibilidad de tratamientos cada vez más específicos y personalizados. Este proceso se enriquece cada día con la bioingeniería y la electrofisiología.

Una revisión histórica de los sistemas eléctricos de estimulación que se requieren para entender su funcionamiento de la electroterapia. El uso de electricidad como fuente para obtener una respuesta controlada del cuerpo humano es una práctica que data de tiempos muy antiguos.

Desde la época de los egipcios existen referencias pintadas sobre las propiedades eléctricas del denominado pez lobo que habitaba el río Nilo. Siglos después, en la antigua Grecia el filósofo Thales de Mileto (640-546 a.C.) describía el efecto que observaba al frotar el ámbar y que atraía pequeños objetos. Platón y Aristóteles escriben sobre el entumecimiento y la rigidez que causa sobre las articulaciones el contacto con el pez torpedo.

El primer documento romano en el que queda descrita la influencia terapéutica de la electricidad, en él muestran las propiedades del pez torpedo para eliminar los dolores de cabeza.

En 1798 Galvani publicó una obra titulado *De viribus electricitatis in motu muscularis* (Sobre la acción de la electricidad en el movimiento muscular), en el que sostenía que los seres vivos eran productores de electricidad, éste utiliza un generador de corriente para forzar un movimiento. Sin embargo Volta, analizando las experiencias de Galvani, intuyó la posibilidad de producir electricidad por medios químicos.

Faraday durante el siglo XIX, hizo el descubrimiento del fenómeno de la inducción, introdujo en el área de terapia el primer tipo de corrientes variables, con el nombre de corrientes farádicas, comprobó cómo el cambio de corriente en una bobina, induce sobre otra bobina un voltaje, el cual es aplicado como estímulo eléctrico.

En 1844 Carlo Matteucci descubrió una solicitud voluntaria que genera una corriente eléctrica proveniente de los músculos. Posteriormente en 1849 Du bois-Reymond observó que cuando sumergimos en solución salina las manos y brazos contraídos el galvanómetro deflectaba (La impedancia de la piel reduce la corriente) inicio de la electromiografía (descubrimiento del potencial de acción).

Estos primeros investigadores observaron como la estimulación se producía al comienzo del paso de la corriente. Experimentos posteriores demostraron que es necesario un tren de pulsos para mantener la acción generada por la estimulación eléctrica.

En 1881 D'Arsonval, experimentando con corrientes alternas senoidales, aumentando progresivamente su frecuencia, llegó a la conclusión de que la excitabilidad celular está íntimamente relacionada con la frecuencia.

Demostró, que la excitabilidad varía significativamente, según la frecuencia de la corriente utilizada. Así, entre 0 y 2.500 Hz, la excitabilidad celular aumenta de forma progresiva.

Entre 2.500 Hz, permanece estacionaria. A partir de esta frecuencia, va decreciendo hasta desaparecer.

Años más tarde en 1890 Bernstein realizó una contribución fundamental al exponer como las membranas del nervio se polarizan y despolarizan durante el desarrollo del potencial de acción.

Posteriormente en 1900 Nernst y Goldman mediante su ecuación, demostraron que en el potencial transmembrana el gradiente eléctrico es igual y opuesto al gradiente de concentraciones, de modo que la suma algebraica de estas dos fuerzas es igual a cero.

En la presente investigación se presenta el diseño y desarrollo de un sistema de rehabilitación física electrónico portátil de bajo costo, electroestimulación nerviosa y muscular, dedicado a la aplicación de electroterapia como medio de rehabilitación física, basada en el análisis, haciendo hincapié en las mejoras a implementar, dando un seguimiento puntual al paciente y apoyo fundamental al fisioterapeuta. Teniendo como objetivo principal diseñar e integrar un sistema para rehabilitación física (2 CH), basado en electroterapia, con software para control y seguimiento puntual de paciente, creando una carpeta de historial clínico del paciente.

El desarrollo de este trabajo de investigación está dividido en las secciones que a continuación se describen:

1. Materiales y métodos

Se describen las características de los componentes utilizados en la construcción del sistema de rehabilitación física (dispositivo).

2. Metodología

Se describen los pasos que se siguieron para el desarrollo de la investigación.

3. Resultados

En esta sección se analizan los resultados obtenidos para determinar si se ha logrado el objetivo.

4. Conclusiones

Se habla de los objetivos logrados satisfactoriamente y de cómo contribuye este trabajo en el área de la electroterapia.

5. Agradecimientos

Se agradece a las personas e instituciones que permitieron el desarrollo de esta investigación.

Materiales

Para la elaboración de este trabajo se precisó del NI USB-6008 para la generación de las señales y para la obtención de los datos para el dispositivo como se muestra en el esquema de la Figura 1.

Figura 1 Esquema de componentes para el dispositivo

Fuente: Elaboración Propia

A. NI USB-6008

El dispositivo National Instruments USB-6008 proporcionan ocho canales de entrada analógica (AI) de un solo extremo, dos canales de salida analógica (AO), 12 canales DIO y un contador de 32 bits con interfaz USB de velocidad completa. En la Figura 2 se muestra el componente utilizado.

Figura 2 NI USB-6008

Fuente: http://sine.ni.com/images/products/us/040716_us_b6008_1.jpg

A. Amplificador de señales

El amplificador que utilizamos para las señales está compuesto por el transistor 2n3440 que nos proporciona una potencia máxima de 10w con una corriente de 0.5a, para el incremento mayor de la potencia se utilizó un transformador corriente alterna de 120vac a 9vac.

La intención de utilizar un amplificador de 10 w es para no tener una carga mayor en el músculo y no dañarlo. Este amplificador tiene la característica de poderlo trabajar en modo analógico, cuenta con 2 circuitos integrados NE555 que generan una onda cuadrada que puede ser controlada con los potenciómetros, con ellos podemos controlar el ancho de los pulsos, así como también la frecuencia de estos.

El circuito fue simulado en Proteus véase Figura 3.

CRUZ-GARRIDO, Arnulfo, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y PEREZ-LUNA, Juan Alfonso. Sistema de rehabilitación física con 2 CH, basado en electroterapia con software de seguimiento y control de paciente. Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología. 2019

Figura 3 Amplificador de señal
 Fuente: Elaboración Propia

B. MyoWare Muscle Sensor

Este es el MyoWare Muscle Sensor, un sensor electromiográfico (EMG) todo en uno de Advancer Technologies que funciona con Arduino. La tarjeta MyoWare actúa al medir la señal eléctrica, ya filtrada y rectificada, de un músculo. La salida de 0 a Vs volts depende de la cantidad de actividad en el músculo seleccionado, donde vs significa el voltaje de la fuente, véase Figura 4.

Figura 4 MyoWare Muscle Sensor
 Fuente: <https://www.330ohms.com/products/myoware-muscle-sensor>

C. Electrodo

En el campo de la medicina, un electrodo es un dispositivo con una placa metálica o una aguja pequeña que conduce la electricidad desde un instrumento hasta un paciente sometido a un tratamiento o una operación quirúrgica. Los electrodos también pueden llevar las señales eléctricas de los músculos, el cerebro, el corazón, la piel u otras partes del cuerpo hasta los aparatos de registro para ayudar a diagnosticar ciertas afecciones.

Figura 5 Electrodo
 Fuente:<https://totalmedic.com.mx/pub/media/catalog/product/cache/image/1000x1320/249a04e11078a485979b671cc312a5a7/p/a/par-electrodos-para-electroestimulacion-parches.jpg>

Metodología

El sistema de rehabilitación que lleva por nombre “Sistema de rehabilitación física con 2 CH, basado en electroterapia con software de seguimiento y control de paciente”, permitirá resolver el problema planteado al inicio de este trabajo, va a disponer de las siguientes características:

Diseño e integración de algoritmos de generación de señales sinusoidales, cuadradas y diente de sierra con celdas para programación de amplitud de voltaje, corriente y frecuencias, así como sus ráfagas de suministro.

Diseño e integración de gráficas puntuales por canal para observar el proceso realizado en el paciente en tiempo real.

Diseño e integración de software de seguimiento y control de paciente con liga a software administrativo como Word, Excel, Access o cualquier base de datos o SQL.

Diseño e integración de un gabinete integrado con los dispositivos diseñados basados en cableado estructurados normados.

Se ha realizado un diagrama de flujo, que muestra de forma general el desarrollo del sistema de rehabilitación, ver Figura 6.

Figura 6 Proceso de construcción

A. Diseño

Para el diseño del prototipo se utilizaron dos programas.

Solidworks se utilizó para el diseño de la cubierta o case del prototipo, el diseño del case se realizó por partes, posteriormente se hizo la impresión 3D de cada una de las piezas. Para el diseño del case se optó por realizar una caja donde pudiera contener todos los componentes y obtener una mejor presentación, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7 Diseño del case

También se realizó en diseño de perillas para los potenciómetros para control de la forma analógica Figura 8.

Figura 8 Perillas para potenciómetros

El software para poder realizar y simular los circuitos electrónicos es Proteus. En él se diseñó y simuló los circuitos que se requieren para el prototipo.

El circuito que se realizó cuenta con dos tipos de control, digital y analógico. Para el control analógico se realizó un generador de pulsos con 2 circuitos integrados NE555. Con ellos podemos generar ondas cuadradas, la frecuencia y el ancho del pulso de los pulsos se pueden controlar con la ayuda de los potenciómetros en la Figura 9 podemos observar el circuito de generación de los pulsos.

Figura 9 Circuito para la generación de los pulsos
Fuente: Elaboración Propia

Para el circuito de amplificación se realizó la simulación de éste. Como se muestra en la Figura 10.

Esta visualización hace que sea más fácil integrar hardware de medidas de cualquier proveedor, representar una lógica compleja en el diagrama, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar interfaces de usuario personalizadas. Se realizó una programación y una interface que genera los diferentes tipos de ondas. En el software se realizaron 4 tipos de ondas y también se realizó la obtención de los pulsos eléctricos que el cuerpo genera.

A continuación, se muestra la generación de la programación de la onda senoidal ver Figura 11.

Figura 11 Programación de la onda senoidal
Fuente: Elaboración Propia

Una vez hecha la programación se procedió a realizar la interface del programa. En el cual se puede hacer el cambio del tipo de onda con un seleccionador. Además se puede cambiar la frecuencia y la amplitud, ver Figura 12.

Figura 12 Interface de la onda seno
Fuente: Elaboración Propia

C. Manufactura.

Para realizar el dispositivo en su forma física, se utilizó un proceso de manufactura en impresión 3D.

La impresión 3D, también conocida como manufactura por adición, es un proceso por el cual se crean objetos físicos colocando un material por capas en base a un modelo digital. Todos los procesos de impresión 3D requieren que el software, el hardware y los materiales trabajen en conjunto.

En este caso trabajamos con la impresión FFF (Fabricación con filamento fundido) También conocida como modelado por deposición fundida (MDF). Este método de impresión 3D calienta y extrude materiales plásticos. Es común tanto en impresoras 3D domésticas como profesionales.

El material que se utilizó para imprimir las piezas es el PLA (ácido poliláctico o poliácido láctico) es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable.

El software que se utilizó para la generación de los códigos fue CURA que es una aplicación diseñada para impresoras 3D, en la que se pueden modificar los parámetros de impresión y después transformarlos a código G. Con base al diseño que se realizó anteriormente se procedió a generar los códigos de cada pieza, ver Figura 13, que posteriormente se le aplicaron a la máquina, la cual realizó cada una de las piezas como se muestra en la Figura 14.

Figura 13 Generación del código G
Fuente: Elaboración Propia

Figura 14 Pieza Impresa
Fuente: Elaboración Propia

Para la realización de la placa del amplificador esta se efectuó en una placa fenólica universal, a la cual se le colocaron los componentes que se utilizaron en la simulación, también se hicieron las conexiones del regulador de corriente, el amplificador y los potenciómetros, ver Figura 15. Como el amplificador tendía a calentarse se procedió a colocarlo en un disipador de aluminio que mantenía estable al transistor.

Figura 15 Conexiones a la placa
Fuente: Elaboración Propia

Resultados

Una vez ensamblada el sistema de rehabilitación física, se procede a comprobar el correcto funcionamiento. Al momento de realizar la prueba se obtuvieron los resultados deseados de las dos maneras tanto analógica como digitalmente. El músculo ejerce un movimiento dependiendo al tipo de onda que le aplica.

En la interface gráfica realizado en LABVIEW se grafica la señal antes de introducir al músculo para verificar la frecuencia y la amplitud. En la Figura 16, se muestra la onda diente de sierra.

Figura 16 Gráfica diente de sierra
Fuente: Elaboración Propia

En este tipo de onda se obtuvo una respuesta del músculo con un movimiento que aumentaba de forma proporcional, el músculo se tensa proporcionalmente dependiendo la frecuencia de la onda, lo que provoca la amplitud era cambiar la fuerza con la que destensa el músculo y al finalizar la onda del músculo se relaja, de una forma rápida. Es decir sigue los patrones de la onda. En la Figura 17, muestra la señal la onda senoidal.

Figura 17 Grafica Onda senoidal
Fuente: Elaboración Propia

Para este tipo de onda, la respuesta del músculo es totalmente diferente, ésta onda hace que el músculo se tensa y se destensa poco a poco por el tipo de onda y la sensación del músculo es más suave y se asimila más a un masaje muscular. La onda diente de sierra la fuerza con la que el músculo se tensa depende de la amplitud de la onda, pero con la señal senoidal la onda se requiere de una mayor amplitud.

En la Figura 18 se muestra el resultado visual del prototipo manufacturado con tecnología 3d.

Figura 18 Prototipo final
Fuente: Elaboración Propia

Finalizado el proyecto se hicieron varias pruebas para su validación del sistema propuesto. Las pruebas realizadas mostraron que el sistema para rehabilitación física (2 CH), basado en electroterapia con software para control permite un seguimiento puntual de paciente.

Finalmente falta por hacer mejoras en el software y en los amplificadores de señal para darle una mayor resolución y así poder alcanzar mayores frecuencias con una mayor variedad de formas de onda.

Agradecimiento

Los autores desean expresar su agradecimiento a la carrera de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango por el apoyo y las facilidades para el desarrollo de este trabajo.

Conclusiones

Se diseñó y se desarrolló un sistema de rehabilitación física electrónico portátil siguiendo la normativa de seguridad eléctrica en dispositivos médicos, basado en electroterapia con software de seguimiento y control de paciente. Este sistema funciona de manera eficiente y de bajo costo.

El diseño de la interfaz es fundamental para que el operario del sistema pueda programar, configurar y ejecutar las secuencias de sistema de rehabilitación.

Referencias

- B. Gschiel, H. Kager, W. Pipam, K. Weichart (2010) Analgetische Effizienz von transkutaner elektrischer Nervenstimulation (TENS-Therapie) bei Patient mit Gonarthrose.» Springer Medizin Verlag, pp 494-500.
- Bruce-Brand, R a, R J Walls, J C Ong, B S Emerson, J M O'Byrne, and N M Moyna (2012). "Effects of HomeBased Resistance Training and Neuromuscular Electrical Stimulation in Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial." BMC Musculoskelet Disord pp 13, 118
- Chang K, Kim JW, et al. 2011. Biphasic electrical current stimulation promotes both proliferation and differentiation of fetal neural stem cells.
- Durand, Dominique M. 2006. Electric stimulation. Biomedical engineering fundamentals. CRC Press.
- Grill, Warren, M. 2006. Electrical stimulation, The biomedical engineering handbook. CRC Press.
- OM Giggins, BM Fullen, GF Coughlan (2011) neuromuscular electrical stimulation in the treatment of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. Clinical Rehabilitation 26, nº 10, pp 867 – 88.
- UNE 20-613-92, Parte 2-10 "Equipos Electromédicos, Requisitos particulares de seguridad para estimuladores nerviosos y musculares.
- Moncada Arcila, S. A., & Pantoja Rivas, Y. M. (2019). Efecto de un programa de intervención basado en reaprendizaje motor sobre la discapacidad en adultos con hemiparesia.
- Plasencia, R., Milagros, L. C., & Angel Garcia, M. L. (2019). Efectividad de un programa de ergonomía para la prevención y control del dolor lumbar en el personal de enfermería.
- Sosa Guzmán, A. L. (2019). Eficacia de un nuevo programa de intervención temprana en recién nacidos pretérmino en el Instituto Nacional de Pediatría para mejoría en el desarrollo psicomotor (Estudio longitudinal experimental prospectivo).

Araujo Freitas Moreira, K. L. (2019). Intervención fisioterapéutica y ergonómica a domicilio y su impacto en la calidad de vida de los pacientes con secuelas de ictus cerebral y de sus cuidadores.

Biagetti, G. G., Luján, M. I. S., & López-Liria, R. (2019). Tratamiento en pacientes con espondilitis anquilosante mediante dos modalidades de corriente galvánica: una serie de casos. Salud y ciclo vital.