

# Design of an affordable muscle electrostimulator for rural populations

J. Grados, Doctor<sup>1</sup>, S. Rubiños, Doctor<sup>2</sup>, C. Canales, Estudiante<sup>3</sup>, D. Huaman, Estudiante<sup>4</sup>, P. Pascual, Estudiante<sup>5</sup>, Universidad Nacional del Callao, Peru, jhgradosg@unac.edu.pe<sup>1</sup>, slrubiñosj@unac.edu.pe<sup>2</sup>, ccanalese28@gmail.com<sup>3</sup>, dennishy197@gmail.com<sup>4</sup>, cspascualp@gmail.com<sup>5</sup>

*Abstract— This project consists of the design and implementation of a low cost electrostimulator that allows to partially or totally rehabilitate or diminish the muscular affections by means of the application of biphasic currents, generated by the microcontroller manipulating the wave in frequency and intensity in permissible values for the skin of the human body.*

**Keywords—** *Electroestimulator, biphasic current, affordable.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.355>  
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

# Diseño de un electroestimulador muscular asequible para poblaciones de zonas rurales

J. Grados, Doctor<sup>1</sup>, S. Rubiños, Doctor<sup>2</sup>, C. Canales, Estudiante<sup>3</sup>, D. Huaman, Estudiante<sup>4</sup>, P. Pascual, Estudiante<sup>5</sup>, Universidad Nacional del Callao, Perú, jhgradosg@unac.edu.pe<sup>1</sup>, slrubinossj@unac.edu.pe<sup>2</sup>, ccanalese28@gmail.com<sup>3</sup>, dennishy197@gmail.com<sup>4</sup>, cspascualp@gmail.com<sup>5</sup>

**Abstract– This project consists of the design and implementation of a low cost electrostimulator that allows to partially or totally rehabilitate or diminish the muscular affections by means of the application of biphasic currents, generated by the microcontroller manipulating the wave in frequency and intensity in permissible values for the skin of the human body**

**Keywords-Electroestimulador, biphasic, current, low cost.**

## I. INTRODUCCIÓN

Una de las principales problemáticas en el Perú acerca del uso de la electroterapia es que su uso no es muy difundido o no se tiene suficiente conocimiento sobre sus diferentes aplicaciones. Siendo la electroterapia específicamente usada en la rehabilitación muscular, rehabilitación física, electroconvulsoterapia y tonificación muscular. [1]

El uso de los electroestimuladores también es complicado o incómodo para poder ser manipulados por los pacientes, que generalmente se ven obligados a ir a centros especializados de rehabilitación donde hacen uso de estos tipos de dispositivos, los cuales al ser escasos y contar con pocos recursos económicos en el Perú, carecen de estos equipos. [2]

El 45% de la población tiene por lo menos una vez al año algún evento, malestar o accidente, que requiere atención profesional y cuidado doméstico. En cifras del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2015). Mostró que entre los años 2004 y 2014 habría habido un cambio importante en las razones por las cuales las personas, pese a necesitar atención médica, no acceden a los servicios de salud. En el año 2004 la razón por la cual no acudían las personas a realizar consultas, en un 24.7% era por falta de dinero, porcentaje que 10 años después, en el 2014, disminuyó a 8.5%. Sin embargo, otras barreras al acceso, como la distancia geográfica, la falta de confianza y las demoras, crecieron en importancia en el mismo periodo 2004 – 2014, del 12.3% al 17%. Al igual, barreras como la no tenencia de seguro, falta de tiempo y el maltrato del personal de salud. [3].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) elaboró la llamada “Escalera de alivio del dolor” para que se empleara como guía correcta para el uso de analgésicos. En principio el objetivo era para usarla para el tratamiento del dolor oncológico, pero ahora se utiliza ampliamente para el tratamiento del dolor crónico. [4]

Los tratamientos para tratar pronto y de manera eficaz el dolor agudo antes de que llegue a ser crónico, es de suma

importancia. El tratamiento convencional del dolor comprende del uso de diversos analgésicos, como los opiáceos, para tratar los diferentes tipos de dolor. Si bien los opioides son analgésicos muy efectivos, los opioides también llevan muchos efectos secundarios indeseables: sedación, depresión respiratoria, náuseas y vómitos, hipotensión y bradicardia, prurito e inhibición de la función intestinal. [5]



Fig. 1 Escalera de alivio del dolor (fuente: OMS)

El uso de electroestimuladores como terapia no farmacológica para el tratamiento del dolor, se puede usar como alternativa a los tratamientos con opioides. Teniendo menos efectos secundarios y no causando dependencia. Además, los hospitales no cubren generalmente con la primera línea de tratamiento debido a que cuentan con un catálogo no muy amplio de fármacos.

La electroestimulación es una técnica empleada como tratamiento para diferentes circunstancias: alivio del dolor, aumento de la fuerza, aumento de la resistencia, fortalecimiento y firmeza muscular. Dependiendo del tipo de dolor que el paciente presente, este; puede ser causado por una serie de enfermedades, una lesión o por desgaste, cuyo problema puede ser lento, progresivo y hasta puede llegar a ser una limitante para la articulación o zona afectada. [6].

La electroestimulación reside en un impulso eléctrico enviado al nervio motor que posteriormente excita el músculo y provoca la contracción del mismo, teniendo influjo de este modo en la transmisión de información desde el sistema nervioso a la fibra muscular. [7]

Entre las enfermedades o condiciones con las que no se puede realizar un entrenamiento con EMS son Implantes eléctricos o marcapasos, embarazo, lesiones cutáneas abiertas, quemaduras, operaciones recientes, trombosis, baipases que llevan menos de 6 meses activos, hipertensión arterial no tratada, arritmias cardíacas, enfermedades cardiovasculares, enfermedades tumorales o cancerosas, artritis aguda, epilepsia, distrofia muscular progresiva, hernias abdominales y dolor agudo de espalda sin diagnóstico. [8].

El trabajo realizado por el músculo del cuerpo humano es producto de la activación por impulsos eléctricos provenientes de las motoneuronas (neuronas provenientes del sistema nervioso central extendidas por medio del axón al músculo) quienes a su vez reciben las señales del cerebro para generar actividad muscular. [9]

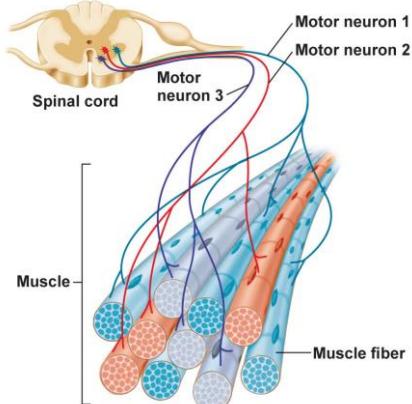


Fig. 2 Modelo las fibras musculares y el vínculo neuromuscular con las motoneuronas

Al aplicar las AIP's (ondas de excitación) a las fibras musculares se debe tener en cuenta la superación el potencial extracelular de la capa plasmática de la fibra muscular el cual es de -80mV. La inducción de IAP se extiende por medio de los extremos de la fibra muscular, lo cual provoca la contracción o estiramiento del tendon. [10]

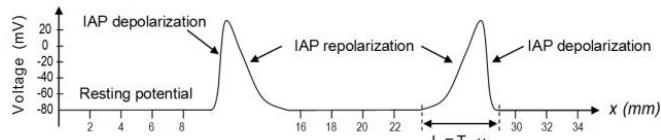


Fig. 3 Respuesta de la fibra muscular ante ondas de excitación (IAP)

La aplicación de técnicas de electroestimulación tiene como propósito emular la función electromotriz que realiza el cerebro humano ante una reacción de bloqueo, provocada por traumatismos, dolor intenso o falta de actividad física. Ante ello, se tienen en cuenta parámetros importantes como: la conductividad y permeabilidad de tejidos biológicos.

Es preciso mencionar que la conductividad y permeabilidad esta presente en diversos materiales o medios y se puede medir de forma general con la medición de una impedancia de prueba y una desconocida por medio de las siguientes fórmulas [11]:

$$\varepsilon' = \frac{C}{k} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{G\varepsilon_0}{k} \quad (2)$$

De esta forma cuando el tejido es afectado por un campo eléctrico el cual presenta tres diferentes factores de relajación los cuales se vinculan a la respuesta del tejido a la corriente y la frecuencia:

TABLA I: Las 3 clases de dispersión, sus efectos y relación con frecuencia de inyección de corriente

Dispersion	Efecto	Zona (Orden)
Alfa ( $\alpha$ )	Conducción en zona extracelular	100 Hz
Beta ( $\beta$ )	Conducción extracelular e intracelular	1 MHz
Gamma ( $\gamma$ )	Conductividad acuosa	10 GHZ

En el siguiente gráfico se pueden apreciar las zonas de dispersión según la conductividad, permeabilidad y frecuencia de acción de la corriente a brindar durante la electroestimulación [12]

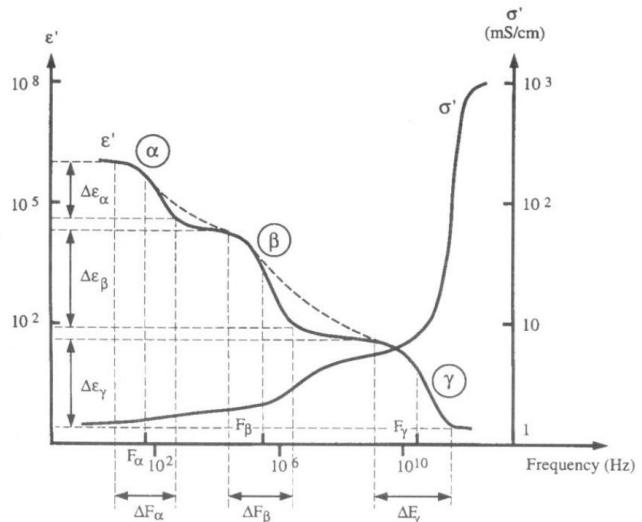


Fig. 4 Conductividad  $\sigma$  y  $\varepsilon$  en función de la frecuencia

La estimulación eléctrica nerviosa transcutánea conocida como TENS (Transcutaneus Electrical Nerve Stimulatioon), es una corriente de tipo analgésica, su efectividad va de minutos a días. Es recomendada especialmente en dolores agudos o crónicos localizados. Con TENS de 100Hz se puede producir un bloqueo directo local a las fibras del dolor. [13]

Entre los efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo se encuentran: Lesiones físicas (quemaduras, contracciones musculares, dificultades respiratorias, paros cardiacos, caídas, etc), hasta el fallecimiento por fibrilación ventricular. Los efectos que produce la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano dependen fundamentalmente de los siguientes factores: Intensidad de la corriente eléctrica, tiempo de contacto o de paso de la corriente, tensión o diferencia de potencial aplicado, resistencia o impedancia del cuerpo entre los puntos de contacto, trayectoria o recorrido de la corriente a través del cuerpo, frecuencia (Hz) de la corriente, condiciones fisiológicas de la persona. [14]

Tomando el parámetro de la frecuencia de la señal aplicada en la estimulación, se observa que existe una relación directamente proporcional entre la frecuencia y los siguientes parámetros: fuerza desarrollada, velocidad de contracción, cantidad de trabajo, potencia máxima, la fatiga muscular y la

tetanización. La frecuencia varía según el tipo de fibra al cual se desee estimular.[15]

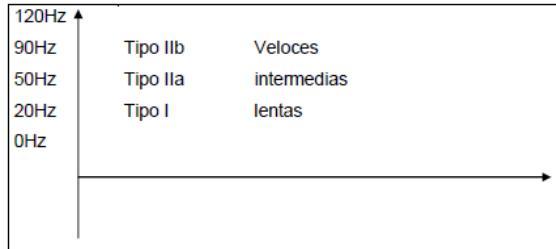


Fig. 5 Frecuencia de estimulación de acuerdo al tipo de fibra muscular

Aunque no es posible definir de manera exacta la frecuencia de la estimulación óptima para los distintos tipos de fibras musculares, hay unos efectos a determinadas frecuencias de estimulación. [15]

FRECUENCIA	Efectos
1Hz 10Hz	Relajación muscular/anestésico y favorece la circulación Mejora resistencia aeróbica
10Hz 20Hz	Mejora resistencia aeróbica muscular y la capacidad oxidativa muscular
20 Hz 50 Hz	Mejora tono, la definición y de firmeza muscular
40 Hz 70Hz	Mejora capacidad láctica del músculo e incremente el volumen muscular, fuerza y resistencia
70 Hz 120Hz	Mejora fuerza máxima
90 Hz 150Hz	Mejora fuerza explosiva, elástica y reactiva

Fig. 3 Efectos de la frecuencia sobre la fibra muscular

## II. PROCEDIMIENTO

En el área del diseño electrónico se han desarrollado muchas técnicas de procesamiento de señales. Para la elaboración del electroestimulador se consideran los siguientes procesos:

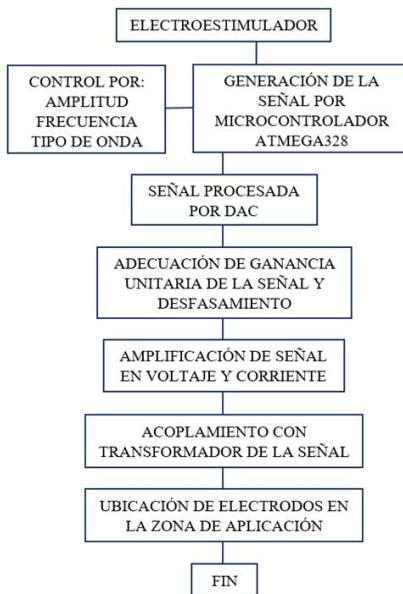


Fig. 6 Diagrama de flujo del diseño del electroestimulador

Para la elaboración del circuito de electroestimulación, el empleo del microcontrolador ATmega328P nos permite una

amplia gama de configuraciones además de ser un circuito de 8 bits de alto rendimiento, posee una arquitectura RISC, 1KB de memoria EEPROM, 2KB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general. El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 voltios. Alcanzando hasta 16 MIPS trabajando con un reloj de 16 MHz.[16]

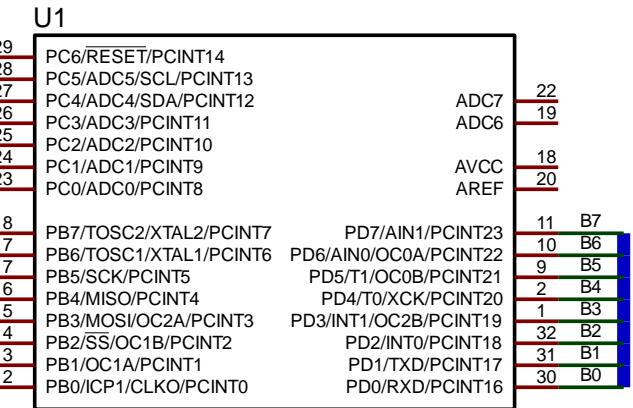
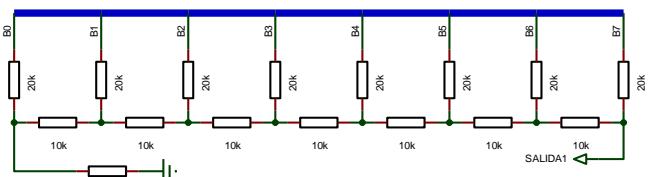


Fig. 7 Generación de la señal por microcontrolador Atmega

La etapa de generación de la señal, en este microcontrolador se fija las frecuencias comprendidas entre 1 Hz y 120 Hz, también permite modificar el ancho del pulso entre 50 – 300. Esta señal, se genera mediante interrupciones y la modificación del timer interno del microcontrolador para el accionamiento de la duración del pulso variable. Para el control de la anchura de los pulsos y la frecuencia se conectan Asimismo pulsadores permitiendo una selección fácil de la frecuencia deseada junto con el ancho de pulso.



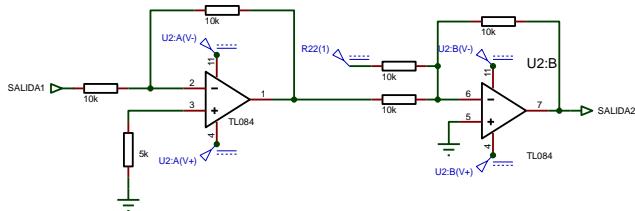


Fig. 9 Adecuación de ganancia unitaria y desfasamiento

En la tercera etapa del circuito se adecua la ganancia unitaria del circuito, seguido por el desfasamiento de la señal teniendo así un eje isoelectrónico, por lo tanto, obteniendo una señal bifásica, pero aun no regulada en amplitud.

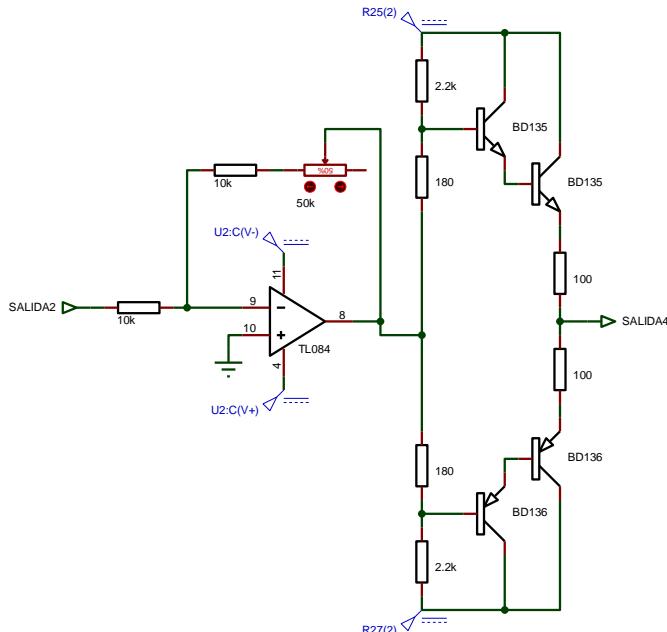


Fig. 10 Amplificación de la señal de corriente y voltaje

La penúltima etapa del circuito nos permite modificar la amplitud del voltaje aplicado para la etapa de amplificación de corriente (configuración de transistores en Darlington a contrafase) el cual irá directamente al transformador para su respectiva amplificación.

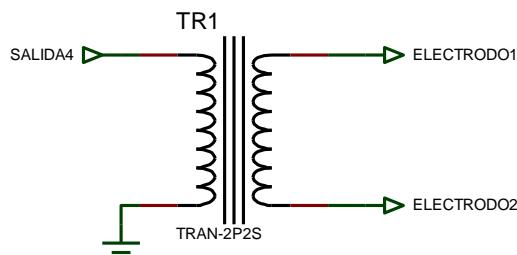


Fig. 11 Acoplamiento con transformador de la señal

Una vez aplicado la señal requerida, esta se transmite al paciente a través de electrodos colocados en los terminales del bobinado primario del transformador.



Fig. 12 Onda de corriente bifásica generada

El presupuesto del dispositivo diseñado se muestra a continuación en una tabla con el total en moneda nacional (PEN) y en dólares (USD)

TABLA II  
Costo de los componentes empleados

Dispositivo	Costo
ATmega328P	10
Resistencias 20K x 8 Unidades	0.8
Resistencias 10K x 14 Unidades	1.4
Resistencias 5K x 1 Unidades	0.1
Resistencias 2.2K x 2 Unidades	0.2
Resistencias 180 x 2 Unidades	0.2
Resistencias 100 x 2 Unidades	0.2
Transformador (110VAC - 9VAC) - 0.1A	12
Regulador 7815 y 7915	2
Regulador 7805	1
Transformador (220VAC -15VAC) - 0.5A	15
Diodos 1N4007 x 4 Unidades	0.8
Electrodos	6
Costo moneda nacional (PEN)	49.7
Costo divisa Internacional (DÓLAR AMERICANO)	14.4

### III. CONCLUSIONES

- Se puede realizar la implementación del electroestimulador con poco presupuesto, de esta forma se amplia el porcentaje de adquisición por parte de los usuarios que viven en zonas con poco acceso a atención médica en hospitales localizados en la ciudad.
- El uso de fuentes de energía como baterías de 9 voltios elimina el riesgo de posibles picos o alteraciones por parte de la fuente del circuito, a su vez protege al paciente ante una falla de funcionalidad del dispositivo.
- Se recomienda el uso de electrodos superficiales en vez de electrodos tipo aguja debido a que estos últimos suelen ser invasivos y además pueden dañar los tejidos nerviosos de forma puntual.

## REFERENCIAS

- [1] A. Apastegui, “Desarrollo de un dispositivo de electroestimulación muscular para el entrenamiento de y fortalecimiento de fibras musculares”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, 2014.
- [2] M. Zapata, “Diseño de un electro estimulador eléctrico funcional para rehabilitación física en miembros distales superiores con disfunción motriz”. pp. 1, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, August 2010.
- [3] J. Arroyo, “La Salud Hoy: Problemas y soluciones”. CENTRUM- PUCP, Perú, 2015.
- [4] Tratamiento del dolor agudo.  
[https://www.grunenthal.com.pe/grtweb/Grunenthal\\_Peruana\\_S.A.\\_/Tratamiento\\_del\\_dolor/\\_Dolor\\_agudo/\\_Tratamiento/\\_es\\_PE/200100098.jsp](https://www.grunenthal.com.pe/grtweb/Grunenthal_Peruana_S.A._/Tratamiento_del_dolor/_Dolor_agudo/_Tratamiento/_es_PE/200100098.jsp)
- [5] M. Ramsay, “Acute postoperative pain management”. Dallas, Texas, 2000.
- [6] E. Juárez, O. Montes, “Diseño de un estimulador muscular para terapias analgésicas de baja frecuencia”, May 2012.
- [7] G. Boschetti, “¿Qué es la electroestimulación? teoría práctica y metodología del entrenamiento”. Barcelona: Paidotribo, 2004.
- [8] F. Salcedo, P. Varela.”Efectos del entrenamiento con electroestimulación sobre mujeres mayores de treinta años del gimnasio Fitclub Manquehue.” pp. 22, 2018.
- [9] Inervación del Músculo Esquelético y Tipos de Fibras Musculares  
<https://g-se.com/inervacion-del-musculo-esquelético-bp-P57cfb26d6dd48>
- [10] Dynamic Mechanical Behaviour of Polymer Materials.  
<https://www.intechopen.com/books/computational-intelligence-in-electromyography-analysis-a-perspective-on-current-applications-and-future-challenges/emg-modeling#B60>.
- [11] S. Gabriel, “The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey”. Department King’s COLLEGE Strand, London, 1996.
- [12] M. Moncada, M. Saldarriga, A. Bravo, C. Pinedo, “Medición de Impedancia Eléctrica en Tejido Biológico”. pp. 56, 2010.
- [13] J. Juárez, “Diseño de un estimulador muscular para terapias analgésicas de baja frecuencia”. México, 2012.
- [14] M. Villarrubia, “Seguridad eléctrica: efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano”, pp 52-53. August 2000.
- [15] F. Amu, “Electroestimulación neuromuscular y su aplicación en el desarrollo de la fuerza en el deporte”. Santiago de Cali, Colombia.
- [16] 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)