Diseño de un prototipo auxiliar terapéutico para el tratamiento del dolor en enfermedades músculo-esqueléticas

Prototype design therapeutic for pain treatment in musculoskeletal diseases

CRUZ-MATIAS, Franklin†¹, BAUTISTA-SANTOS, Horacio*², SÁNCHEZ-GALVÁN, Fabiola¹ y SOTO-NUÑEZ, Antonio¹

¹Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Desviación Lindero Tametate S/N Colonia La Morita, Tantoyuca, Veracruz, México. C.P. 92100

²Instituto Tecnológico Superior de Chicontepec. Calle Barrio Dos Caminos No. 22. Colonia Barrio Dos Caminos. C.P. 92709. Chicontepec, Veracruz, Mexico

ID 1^{er} Autor: Franklin Cruz-Matias / ORC ID: 0000-0002-3323-6891, CVU CONACYT ID: 791522

ID 1^{er} Coautor: Horacio, Bautista-Santos / ORC ID: 0000-0002-3925-2438, CVU CONACYT ID: 733743

ID 2^{do} Coautor: Fabiola, Sánchez-Galván / ORC ID: 0000-0002-6534-3210, CVU CONACYT ID: 200276

ID 3^{er} Coautor: Antonio, Soto-Núñez / ORC ID: 0000-0001-8895-5730, CVU CONACYT ID: 642020

DOI: 10.35429/JBEB.2019.10.3.16.22

Recibido 12 de Octubre, 2019; Aceptado 07 Diciembre, 2019

Resumen

Los trastornos músculo-esqueléticos son problemas de salud que afectan huesos, músculos y tendones; éstos abarcan desde molestias leves hasta lesiones irreversibles e incapacitantes, también presentan síntomas como dolor y disminución de la movilidad articular. Este artículo presenta el diseño e implementación de un dispositivo auxiliar terapéutico que utiliza Estimulación Eléctrica Nerviosa Transcutánea (TENS por sus siglas en inglés) como herramienta auxiliar en el tratamiento del dolor provocado por trastornos músculo-esqueléticos. El dispositivo electrónico es controlado por un microcontrolador Arduino Nano que se comunica inalámbricamente (Bluetooth) con un dispositivo móvil para seleccionar la intensidad de la terapia TENS. Para el desarrollo del dispositivo se realizó un diagrama de bloques, un diagrama esquemático de circuito electrónico, y una interfaz de usuario para dispositivo móvil. Como resultado se demuestra la funcionalidad del prototipo mediante la implementación y validación del prototipo en casos de estudios del módulo de rehabilitación del DIF Municipal de Tantoyuca, Veracruz, México.

Arduino Nano, Electro-estimulación, Dispositivo electrónico

Abstract

Musculoskeletal disorders are health problems that degenerate bones, muscles, and tendons; they range from mild discomfort to irreversible and disabling injuries, they also have symptoms such as pain and decreased joint mobility. This article presents the design and implementation of a therapeutic auxiliary device that uses Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) as an auxiliary tool in the treatment of pain caused by skeletal muscle disorders. The electronic device is controlled by an Arduino Nano microcontroller that communicates wirelessly (Bluetooth) with a mobile device to set up the intensity of TENS therapy. For the development of the device, a block diagram, an electronic circuit schematic diagram, and a user interface for a mobile device were made. Moreover, a survey instrument was designed to assess the level of pain. As a result, the prototype functionality is demonstrated through the implementation and validation prototype in case studies of the rehabilitation module of the Municipal DIF of Tantoyuca, Veracruz, Mexico.

Arduino Nano, Electrostimulation, Electronic device

Citación: CRUZ-MATIAS, Franklin, BAUTISTA-SANTOS, Horacio, SÁNCHEZ-GALVÁN, Fabiola y SOTO-NUÑEZ, Antonio. Diseño de un prototipo auxiliar terapéutico para el tratamiento del dolor en enfermedades músculo-esqueléticas. Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología. 2019 3-10: 16-22

* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: horacio.bautista@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los trastornos músculo-esqueléticos adquieren su importancia en la salud de las personas (Casados *et al.*, 2018); son causa de ausentismo laboral en países de América Latina con repercusiones económicas relevantes en el trabajador, en las organizaciones e instituciones de salud (Arenas-Ortiz y Cantú Gómez, 2013; Lázaro *et al.*, 2014). Los trastornos músculo-esqueléticos comprenden al conjunto de lesiones que afectan huesos, músculos y tendones que representan la principal causa de enfermedad profesional en la población laboral; abarcan desde molestias leves y pasajeras hasta lesiones irreversibles e incapacitantes (Armstrong y Silverstein, 1987; León y López, 2006; Luttmann *et al.*, 2004).

El dolor, rigidez y la disminución de la movilidad articular, así como los diferentes grados de discapacidad representan manifestaciones clínicas cuya importancia radica en la incidencia y prevalencia con la que ocurren en la población general, la morbilidad (cantidad de personas que adquieren la enfermedad) y mortalidad (cantidad de personas que fallecen), discapacidad, invalidez temporal y permanente que produce en los pacientes (Mould-Quevedo *et al.*, 2008).

Las condiciones músculo-esqueléticas representan el 21.3% del total de años vividos con discapacidad (Pineda, 2015), de ahí la importancia de generar hábitos para una vida saludable y de velar el cuidado de la vida laboral (Martínez *et al.*, 2019). Las consecuencias funcionales y el elevado impacto socioeconómico han convertido los trastornos músculo-esqueléticos en un problema de salud pública (Nemegyei *et al.*, 2005).

Existen métodos para atender las enfermedades músculo-esqueléticas, los cuales requieren tratamiento con medicamentos, fisioterapia y ejercicio (férulas o dispositivos ortopédicos, tratamientos con calor y frío o estimulación eléctrica), además de tratamientos nutricionales y cirugías (Starkebaum, 2016). En cualquiera de los casos un diagnóstico y tratamiento oportuno en fase inicial dará los mejores resultados al paciente, limitando el grado de discapacidad de la enfermedad (Novo *et al.*, 2007).

Los tratamientos terapéuticos para los trastornos músculo-esqueléticos (fisioterapias y

ejercicio) se basan en dispositivos que estimulan los músculos mediante ejercicios de rango o de amplitud de movimiento que ayudan a retardar la pérdida de la función articular. Para reducir el dolor y mejorar la movilidad articular se aplica calor, estimulación eléctrica, frío, férulas o dispositivos ortopédicos para apoyar y alinear las articulaciones con períodos frecuentes de descanso entre las actividades (Starkebaum, 2016).

La electro estimulación transcutánea (TENS) ha sido utilizada para el tratamiento de problemas musculares y procesos dolorosos (Moya *et al.*, 2013), por ejemplo, para el tratamiento de rehabilitación neuromuscular enfocado a pacientes con parálisis facial (Muñoz, 2015), también se ofrecieron terapias de rehabilitación en pacientes con artrosis de rodilla y artritis reumatoide, la terapia busca aliviar el dolor, producir analgesia y bienestar al paciente, así como estimular los tejidos relacionados con la movilidad para prevenir el deterioro de articulaciones y retardar la enfermedad (Ortiz y Ruiz, 2014).

Arrazola y Fuentes (2015) desarrollaron un prototipo generador de corriente para estimulación nerviosa eléctrica transcutánea para utilizarlo en rehabilitación terapéutica mediante electroterapia en pacientes con dolor muscular. El prototipo cuenta con once diferentes modos de aplicación de terapia, definidas desde un microcontrolador, interfaz LCD simple y un regulador de intensidad de corriente.

Los dispositivos mecatrónicos son utilizados para la rehabilitación terapéutica que coadyuvan a la recuperación del paciente después de haber sufrido alguna lesión en alguna parte del cuerpo (Burgar *et al.*, 2000); estos dispositivos son herramientas beneficiosas en la recuperación y mantenimiento del movimiento corporal (Hillman, 2004).

En este artículo se presenta el diseño de un dispositivo auxiliar terapéutico para el tratamiento del dolor provocado por trastornos músculo-esqueléticos, como una alternativa de fácil implementación mediante un método no invasivo, en contraste con los dispositivos mencionados anteriormente.

Se planteó la hipótesis de que la terapia de estimulación eléctrica contribuirá a disminuir el nivel de dolor en pacientes que presentan trastornos músculo-esqueléticos.

CRUZ-MATIAS, Franklin, BAUTISTA-SANTOS, Horacio, SÁNCHEZ-GALVÁN, Fabiola y SOTO-NUÑEZ, Antonio. Diseño de un prototipo auxiliar terapéutico para el tratamiento del dolor en enfermedades músculo-esqueléticas. Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología. 2019

El presente documento consta de cuatro secciones: introducción, materiales y métodos, resultados y conclusiones. La sección de materiales y métodos describe la metodología utilizada para el desarrollo del dispositivo electrónico, así como los casos de estudio para la validación del prototipo. La sección de resultados muestra el diagrama de bloques, el diagrama del circuito electrónico del prototipo, el diagrama de flujo para la programación de una interfaz de usuario que permita la interacción del prototipo con un dispositivo Android. También se muestra la medición de la intensidad del dolor en cada terapia realizada para cada caso de estudio. La última sección describe las conclusiones de este artículo.

Materiales y métodos

Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo se propuso una metodología de cuatro etapas: 1) diseño del diagrama de bloques de las partes que integran prototipo, 2) diseño y construcción del circuito electrónico, 3) diseño e implementación de una aplicación Android y 4) validación del prototipo en diferentes casos de estudio.

La figura 1 muestra la metodología para el diseño del dispositivo auxiliar terapéutico en el tratamiento del dolor provocado por trastornos músculo-esqueléticos.

Figura 1 Metodología para diseñar un prototipo auxiliar terapéutico en el tratamiento del dolor provocado por trastornos músculo-esqueléticos

- El diseño de un diagrama de bloques permite identificar los elementos que integran el prototipo, además permite visualizar la interacción entre cada una de sus partes (Rondón *et al.*, 2014).
- El diseño del circuito electrónico permite identificar la interconexión de los componentes electrónicos con los que se construye el prototipo.

- La aplicación móvil se desarrolló en sistema operativo Android, esta aplicación permite que el usuario interactúe con el prototipo para configurar la intensidad de la electroterapia. La interfaz gráfica de usuario se desarrolló con la aplicación Bluetoothelectronics.apk, la cual está orientada a controlar proyectos electrónicos con un dispositivo Android comunicándose a través de un módulo Bluetooth.
- Para la validación del prototipo se identificaron diferentes casos de estudio; con ayuda del fisioterapeuta tratante se diseñó la terapia (intensidad de la terapia TENS, la duración, el número de repeticiones). La medición del nivel del dolor se realizó con un instrumento de medición tipo encuesta (Figura 2). Para la valoración del nivel de dolor, el paciente debe asignar un valor numérico al dolor definido entre dos puntos extremos (0-10), donde 0 representa ausencia de dolor y 10 un dolor de máxima intensidad (Downie *et al.*, 1978). Para cada caso de estudio se realizaron 20 terapias divididas en tres sesiones por semana.

Nombre: _____ Terapia Numero: _____ Fecha: _____

Terapia Aplicada				
Tipo de Terapia	Duración	Repeticiones	Nivel de Terapia	Zona de Aplicación

Escala de valoración del dolor

Escala Numérica (0 = Ausencia de Dolor, 10 = Dolor de Máxima Intensidad) (Downie, 1978)											Escala Descriptiva Simple o Verbal (Keele, 1984)			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ausencia de Dolor	Dolor Leve	Dolor Moderado	Dolor Intenso

Escala Visual Analógica (Huskinson, 1976)

Ausencia de Dolor ————— Dolor Insoportable

Comentarios del Paciente: _____

Observaciones: _____

Figura 2 Encuesta para medir el nivel del dolor

Caso de estudio

Se presenta el caso de estudio de cinco pacientes con trastornos músculo-esqueléticos del DIF Municipal ubicado en la ciudad de Tantoyuca, Veracruz.

La tabla I describe las características del caso de estudio y las características de la terapia TENS sugerida por el fisioterapeuta tratante.

Caso de estudio	Terapia TENS
Caso de estudio 1: Fémina de 57 años de edad, diagnosticada con esguince de tobillo. Presenta hinchazón, ardor y dolor en el tobillo y planta del pie.	Nivel: Medio Duración: 15-20 min. Repeticiones: 2 Zona: Tobillos
Caso de estudio 2: Varón de 30 años de edad, diagnosticado con un caso de lesión de tendón en el dorso de la mano derecha. Presenta dolor, rigidez articular e inflamación.	Nivel: Medio. Duración: 20 min. Repeticiones: 1 Zona: Mano derecha
Caso de estudio 3: Varón de 67 años de edad, diagnosticado con un caso de Artritis reumatoide. Presenta dolor, rigidez articular y perdida de sensibilidad.	Nivel: Alto/Muy Alto. Duración: 20-25 min. Repeticiones: 2 Zona: Ambas Manos.
Caso de estudio 4: Fémina de 9 años de edad, diagnosticada con un caso de secuelas de Pie Equino Varo. Presenta dolor al caminar y rigidez de articulaciones en la rodilla.	Nivel: Medio Duración: 10-20 min. Repeticiones: 2 Zona: Rodillas.
Caso de estudio 5: Fémina de 57 años de edad, diagnosticada con un caso de Sinovitis. Presenta dolor intenso en corvas y rodillas, entumecimiento y rigidez.	Nivel: Alto/Muy Alto. Duración: 15-25 min. Repeticiones: 2 Zona: Rodillas y Corvas.

Tabla 1 Características del caso de estudio y terapia

Resultados

Diagrama de bloques

El dispositivo electrónico auxiliar terapéutico para el tratamiento del dolor provocado por trastornos músculo-esqueléticos se muestra en la figura 3.

Figura 3 Dispositivo electrónico auxiliar terapéutico para el tratamiento del dolor provocado por trastornos músculo-esqueléticos

Fuente: Elaboración Propia

El diagrama de bloques del dispositivo electrónico auxiliar terapéutico se muestra en la figura 4, el cual está integrado por un microcontrolador (4) que conecta a un electromiógrafo (3) y un electroestimulador TENS (7). El microcontrolador (4) interactúa con un dispositivo móvil (1) enlazado inalámbricamente vía bluetooth (2). El microcontrolador (4) se energiza de un sistema de alimentación de 5 volts (5). El electroestimulador TENS (7) cuenta con un electrodo positivo (6) y un electrodo negativo (8) que son colocados en la superficie epidérmica más cercana al músculo (9). El electromiógrafo (3) también debe colocarse en la superficie epidérmica más cercana al músculo (9).

Figura 4 Diagrama de bloques del dispositivo electrónico para el tratamiento del dolor provocado por trastornos músculo-esquelético

Circuito electrónico

El diagrama esquemático del dispositivo se muestra en la figura 5 y la lista de componentes se detalla en la Tabla II.

El dispositivo electrónico es alimentado mediante un eliminador de corriente de 12V (17) y un fusible de protección de 0.5A (14) contando con un LED indicador de voltaje 12V (16) con su respectiva resistencia de 1 KΩ (15). Cuenta además con un interruptor de encendido general (13) y a partir de este punto la alimentación del dispositivo se divide en dos: una de 9V para alimentación del TENS y otra de 5V para alimentación de microcontrolador arduino nano y de los demás componentes.

Alimentación 9V: cuenta con un propio interruptor (22), un capacitor electrolítico de 47μF (21) para limpiar la señal a la entrada del regulador 7805 de 9V (11) y un capacitor cerámico de 100 nF a su salida (23), además cuenta con un LED indicador de voltaje (25) con su respectiva resistencia de 1KΩ (24).

El TENS 3000 (7) es alimentado por este circuito de 9V y su respectiva conexión a GND y su terminal de salida + va conectada al Pin 3 del Optoacoplador (4) y el Pin 4 es conectado directamente a los electrodos (8), al igual que la terminal – del TENS 3000.

Alimentación 5V: cuenta también con un capacitor electrolítico (12) y un capacitor cerámico (18) a la entrada y salida del Regulador 7805 de 5V (10) respectivamente, además de un LED indicador de voltaje (20) con su respectiva resistencia de 220Ω (19). Con este voltaje es alimentado el Arduino Nano (1), el Modulo Micro SD (2) y el Modulo Bluetooth HC-05 (3) con su respectiva conexión a GND. El Arduino Nano; alimenta al Electromiógrafo (9) mediante el puerto D10 y recibe la señal de este por el canal analógico AO; es conectado también al Modulo Micro SD por sus puertos D13 SCK, D12 MISO, D11 MOSI y D2 CS; es conectado al Módulo HC-05 con los puertos D0 Tx y D1 Rx; el puerto D3 es conectado al Pin 1 del optoacoplador con una resistencia de 1KΩ (27) y el Pin 4 a GND; el puerto D8 excita la base del transistor NPN BC547 (6) mediante una resistencia de 1KΩ (26) para amplificar la señal proveniente del arduino.

Figura 5 Diagrama esquemático del circuito electrónico del dispositivo

Componente	Descripción
Arduino Nano	Microcontrolador Atmel con 14 puertos de entrada/salida, 8 puertos analógicos y alimentación de 5V.
Modulo Micro SD	Modulo lector de tarjetas Micro SD con alimentación de 5V.
Bluetooth HC-05	Modulo Bluetooth configurado como Maestro/Esclavo.
Optoacoplador	MOC3012 de "Fairchild Semiconductor": 6 pines y optoaislador con salida TRIAC y diodo IR para protección.
Diodos Laser	Diodos Laser de 650nm 5mW 20mA
Transistor	Transistor NPN BC547 de 625 mW.

TENS 3000	De "ROSCOE MEDICAL", generador de pulsos eléctricos cuya intensidad, duración, numero por segundo y modulación pueden ser modificados con los controles/interruptores. Funciona con batería de 9 V.
Electrodos	Conductor eléctrico especialmente para contacto con la piel, autoadherentes de gel con alta conductividad, suave y toleradas por la piel.
Electromiógrafo	Electromiógrafo "MyoWare AT-04-001" con alimentación de 2.9 a 5.7 V e indicadores LED especialmente diseñados para microcontroladores con ganancia ajustable.
Regulador 5 V	Regulador de voltaje positivo 7805 de 5V a 1A de corriente.
Regulador 9 V	Regulador de voltaje fijo positivo 7809 de 9V a 1A de corriente
Capacitor 47 μF	Capacitor electrolítico de 47μF a 16V.
Switch ON/OFF	Interruptor.
Fusible 0.5 A	Fusible de protección del circuito a 1A máximo.
Resistencia 1 KΩ	Resistencia de 1KΩ a 1/2W.
LED Indicador 12 V	LED indicador rojo.
Alimentación	Mediante eliminador de corriente de 12 V a 2.1 A
Capacitor 100 nF	Capacitor cerámico 100nF.
Resistencia 220 Ω	Resistencia de 220Ω a 1/2W.
LED Indicador 5 V	LED indicador rojo.
Capacitor 47μF	Capacitor electrolítico de 47μF a 16V.
Switch TENS OF/OFF	Interruptor.
Capacitor 100 n	Capacitor cerámico 100 nF
Resistencia 1 KΩ	Resistencia de 1KΩ a 1/2W.
LED Indicador 9 V	LED indicador rojo.
Resistencia 1 KΩ	Resistencia de 1KΩ a 1/2W.
Resistencia 1 KΩ	Resistencia de 1KΩ a 1/2W.

Tabla 2 Lista de componentes

Interfaz gráfica de usuario

La interfaz gráfica de usuario se muestra en la figura 6, fue desarrollada con la aplicación Bluetoothelectronics.apk orientada a controlar proyectos electrónicos con un dispositivo Android comunicándose a través de un módulo Bluetooth (HC-05).

Figura 6 Interfaz gráfica de usuario de la aplicación móvil

La aplicación con paneles en la que se puede crear la interfaz agregando texto, botones, gráficas, indicadores, entre otros; cabe destacar que cada elemento en la interfaz gráfica de usuario corresponde al código que debe escribirse en lenguaje Arduino. La interfaz de usuario permite modificar la intensidad de la terapia TENS por medio de un botón deslizante (slider). Además, incluye una gráfica en tiempo real que muestra las lecturas leídas por el electromiógrafo y que indican la respuesta a la terapia de cada paciente.

La tabla III muestra las características de los niveles de terapia: bajo, medio, alto y muy alto.

Intensidad TENS	Frecuencia	Nivel
1-2 (10-20 mA)	1-5 (máx. 150 Hz)	Bajo
3-4 (30-40 mA)	1-5 (máx. 150 Hz)	Medio
5-6 (50-60 mA)	1-5 (máx. 150 Hz)	Alto
7-8 (70 a 80 mA)	1-5 (máx. 150 Hz)	Muy Alto

Tabla 3 Intensidad de la terapia TENS

El diagrama de flujo para que el arduino interactúe con la interfaz gráfica de usuario se muestra en la figura 7.

Figura 7. Diagrama de flujo de interacción del microcontrolador arduino con el dispositivo móvil

Valoración del dolor

La valoración del dolor para los cinco casos de estudio se muestra en el gráfico 1. La escala numérica del dolor va desde ausencia de dolor (valor 0) hasta máxima intensidad de dolor (valor 10), los datos mostrados en el gráfico 1 se recabaron mediante una encuesta durante las veinte terapias para cada caso de estudio. Se observa que la intensidad del dolor fue en descenso.

Gráfico 1 Valoración de la escala numérica del dolor para las 20 terapias de los cinco caso de estudio. Escala numérica: 0 ausencia de dolor, 10 dolor de máxima intensidad

Conclusiones

En el presente artículo, un dispositivo electrónico para el tratamiento del dolor provocado por trastornos músculo-esqueléticos fue diseñado e implementado.

Se demuestra que el dispositivo electrónico y una adecuada terapia de estimulación eléctrica TENS contribuyen a disminuir el nivel de dolor provocado por trastornos músculo-esqueléticos.

El diseño del dispositivo electrónico es funcional y reproducible para su aplicación como herramienta auxiliar para el tratamiento del dolor en enfermedades músculo-esqueléticas.

Referencias

Acedo Sánchez, J. (2006). Instrumentación y Control Básico De Procesos. España: Diaz de Santos. ISBN: 978-847-9787-54-7

Arenas-Ortiz, L. y Cantú-Gómez, O. (2013). Factores de riesgo de trastornos músculo-esqueléticos crónicos laborales. *Medicina Interna de México*, 29(4), 370-379.

Armstrong, T. J. y Silverstein, B. A. (1987). Upper-extremity pain in the workplace-Role of usage in causality. *Clinical concepts in regional musculoskeletal illness*, 19, 333-352.

Arrazola Herrera, N. y Fuentes Fonseca, J. A. (2015). Diseño de un generador de corrientes para estimulación nerviosa eléctrica transcutánea.

CRUZ-MATIAS, Franklin, BAUTISTA-SANTOS, Horacio, SÁNCHEZ-GALVÁN, Fabiola y SOTO-NUÑEZ, Antonio. Diseño de un prototipo auxiliar terapéutico para el tratamiento del dolor en enfermedades músculo-esqueléticas. *Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología*. 2019

Burgar, C. G., Lum, P. S., Shor, P. C. y Van der Loos, H. M. (2000). Development of robots for rehabilitation therapy: The Palo Alto VA/Stanford experience. *Journal of rehabilitation research and development*, 37(6), 663-674.

Casado Morales, M., Moix Queraltó, J. y Vidal Fernández, J. (2008). Etiología, cronificación y tratamiento del dolor lumbar. *Clínica y Salud*, 19(3), 379-392.

Downie, W., Leatham, P., Rhind, V., Wright, V., Branco, J. y Anderson, J. (1978). Studies with pain rating scales. *Annals of the rheumatic diseases*, 37(4), 378.

Hillman, M. (2004). Rehabilitation robotics from past to present—a historical perspective *Advances in Rehabilitation Robotics* (pp. 25-44): Springer.

Huskisson, E. (1974). Measurement of pain. *The Lancet*, 304(7889), 1127-1131.

Keele, K. (1948). The pain chart. *The Lancet*, 252(6514), 6-8.

Lázaro, P., Parody, E., García-Vicuna, R., Gabriele, G., Jover, J. Á. y Sevilla, J. (2014). Coste de la incapacidad temporal debida a enfermedades músculoesqueléticas en España. *Reumatología Clínica*, 10(2), 109-112.

León Martínez, N. y López Chagín, A. (2006). Lesiones músculo esqueléticas en el personal odontológico. *Acta odontológica venezolana*, 44(3), 413-418.

Luttmann, A., Jäger, M., Griefahn, B., Caffier, G., Liebers, F. y Organization, W. H. (2004). Prevención de trastornos músculoesqueléticos en el lugar e trabajo.

Martínez Muñoz, G.D.P. y Arias Saldarriaga, J. H. (2019). SSPOINT" servicios en seguridad y salud en el trabajo con énfasis en el ejercicio seguro y el deporte. Universidad Católica de Manizales.

Mould-Quevedo, J., Peláez-Ballestas, I., Vázquez-Mellado, J., Teran-Estrada, L., Esquivel-Valerio, J., Ventura-Rios, L. y Burgos-Vargas, R. (2008). El costo de las principales enfermedades reumáticas inflamatorias desde la perspectiva del paciente en México. *Gac Méd Méx*, 144(3), 255-231.

Moya, R., Rosales, J. y Flores, C. (2013). Efecto de la estimulación eléctrica neural transcutánea (TENS) a nivel Lumbar Segmentario. *Revista El Dolor*, 60(23), 20-25.

Muñoz, J.E.Q. (2015). Desarrollo de equipo prototipo para aplicación de estimulación eléctrica transcutánea en procesos de neurorehabilitación de personas con parálisis facial periférica. *Revista ESAICA*, 1(1), 4-8.

Nemegyei, Á., Bertha, L., Gutiérrez, N., Andrés, J. y Sánchez, A. (2005). Enfermedades reumáticas y discapacidad laboral en población adulta rural. *Rev Med IMSS*, 43(4), 287-292.

Novo, J.P., González, J.F., Toledano, M.G. y Llerena, G.R. (2007). Enfoque rehabilitador en la Artritis Reumatoide. *Revista Cubana de Reumatología*, 9(9 y 10).

Núñez, A.S. (2016). *Diseño de un prototipo auxiliar terapéutico en el tratamiento de artritis reumatoide y su logística de comercialización internacional*. Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz.

Ortiz, J.P.M. y Ruiz, A.T. (2014). *Diseño de un equipo de electroterapia para tratamiento de gonartrosis controlado desde un smarhphone*. Paper presented at the XXIV Congreso Brasileiro de Engenharia Biomédica-CBEB, Bogota, Colombia.

Pacheco, D. (2008). Medición del dolor en enfermedades músculoesqueléticas. *Medwave*, 8(11).

Pineda, C. (2015). Retos y oportunidades de la Liga Internacional de Asociaciones para la Reumatología (ILAR). *Reumatol Clin*, 11(5), 267-268.

Rondón, H., Delgadillo, E. y Vargas, W. (2014). Diseño, construcción y funcionamiento de un prototipo para medir cargas vehiculares en un pavimento flexible. *Revista ingeniería de construcción*, 29(1), 71-86. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000100005>

Starkebaum, G.A. (2016). Artritis Reumatoidea. Medline Plus Institutos Nacionales de la salud/Biblioteca Nacional de Medicina de los EE. UU