

Electro estimulación neuromuscular en pacientes pediátricos con pie equino varo. (junio de 2022)

Ing. Kleiver Erein Bautista de la Cruz, Lic. Jacinto Eduardo Del Ángel Sánchez, Ing. Bernardo de la Cruz Feliciano

Resumen

En la actualidad existen diversas causas que generan enfermedades congénitas, provocando la malformación en alguna de las extremidades inferiores en pacientes pediátricos una de ellas es PIE EQUINOVARO.

Los pacientes con este tipo de malformación presentan una anomalía musculoesqueleticas congénitas más frecuentes y la prevalencia en México es de 2.3 por cada mil nacimientos.

Para el tratamiento de esta malformación generalmente se debe realizar en dos fases la primera con el apoyo de un especialista certificado en el método Ponseti que ayuda al paciente a la recuperación funcional del aparato locomotor, principalmente del sistema osteoarticular, quedando pendiente mejorar la rehabilitación del sistema muscular.

El tratamiento de la electroestimulación neuromuscular, es la segunda fase para la rehabilitación de la masa muscular del paciente y mejora de la flexión plantar en la marcha humana.

El pie equinovaro aducto congénito (PEVAC) es un problema naturalmente complejo de corregir; es por ello que la estimulación eléctrica neuromuscular induce al fortalecimiento intramuscular, a través de la activación de las fibras nerviosas motoras que inervan a las fibras musculares desencadenando una contracción muscular.

Este método terapéutico repara tejidos dañados, evita degeneraciones y/o evita traumatismos, por tanto corrige y previene (Rehabilita).

El tipo de onda para la electroestimulación suelen ser diversas: galvánicas, farádicas, dinámicas, Interferenciales TENS, Kotz y EMS, para este caso de estudio e investigación se aplicó la onda EMS que consiste en actuar sobre los puntos principales de la motoneurona, provocando una respuesta de contracción muscular similar las contracciones voluntarias. La forma de onda consiste en impulsos cuadrados equilibrados, simétricos y bifásicos a su vez su valor medio es igual a cero por lo que la corriente galvánica es cero; gracias a esto no se producen efectos polares, evitando acumulación de iones, tanto de bajo de los electrodos como en el tejido; utilizando un parámetro terapéutico con una frecuencia de impulso ajustable de 1 a 250 (HZ).

Palabras clave:

Electroestimulación, pie equinovaro, osteoarticular, motoneurona, estimulación, contracción, musculoesqueleticas.

ABSTRACT

Currently there are various causes that generate congenital diseases, causing malformation in some of the lower limbs in pediatric patients, one of them is CLUBFOOT.

Patients with this type of malformation have a more frequent congenital musculoskeletal anomaly and the prevalence in Mexico is 2.3 per thousand births.

For the treatment of this malformation, it should generally be carried out in two phases, the first with the support of a specialist certified in the Ponseti method, who helps the patient to recover the function of the musculoskeletal system, mainly of the osteoarticular system, pending improvement of the rehabilitation of the system.

The neuromuscular electrostimulation treatment is the second phase for the rehabilitation of the patient's muscle mass and improvement of flexion in human walking.

Congenital adductus clubfoot (PEVAC) is a naturally complex problem to correct; That is why neuromuscular electrical stimulation induces intramuscular strengthening, through the activation of the motor nerve fibers that innervate the muscle fibers, triggering a muscle contraction.

This therapeutic method repairs damaged tissues, prevents degeneration and/or prevents trauma, therefore it corrects and prevents (Rehabilitates).

The type of wave for electrostimulation is usually diverse: galvanic, faradic, dynamic, Interferential TENS, Kotz and EMS, for this study and research case, the EMS wave was applied, which consists of acting on the main points of the motor neuron, causing a response of muscular contraction similar to voluntary contractions. The waveform consists of balanced square pulses, nterferential TENS, Kotz and EMS, for this study and research case, the EMS wave was applied, which consists of acting on the main points of the motor neuron, causing a response of muscular contraction similar to voluntary contractions. The waveform consists of balanced square pulses.

Key words: electroestimulation, neuromuscular, foot equinovaro, musculo-esqueléticas.

I. INTRODUCCIÓN

La locomoción humana implica la organización, control de todos los componentes del cuerpo y está formado por el sistema osteoarticular (huesos, articulaciones y ligamentos) y el muscular (músculos y tendones). Según (Bonet, 2003) las extremidades inferiores, además de soportar el peso del cuerpo, son las principales responsables de su desplazamiento en la marcha humana estando propensas a presentar todo tipo de lesiones, traumatismos ortopédicos y en casos

particulares deformidades congénitas como el Pie Equino Varo.

Los investigadores han estudiado el pie equino varo aducto congénito definiéndolo como una de las malformaciones musculo-esqueléticas congénitas más frecuentes. La prevalencia mundial se reporta entre uno y 4.5 por 1,000 nacimientos; la prevalencia en México es de 2.3 por cada 1,000 nacimientos. La incidencia del PEVAC es de aproximadamente uno en 1,000 nacidos vivos en USA. Existen diferencias con respecto a las diferentes etnias; por ejemplo, hay cerca de 75 casos por 1,000 nacidos vivos en las islas Polinesias. La proporción con respecto al sexo es de 2:1 hombre-mujer. Hay un involucro bilateral que se llega a encontrar en 30-50% de los casos. [6]

Actualmente, el método Ponseti es el método de referencia para el tratamiento de esta anomalía, pues provee de una corrección completa de las deformidades con buena movilidad y función del pie, [11]

El tratamiento puede ser conservador y/o quirúrgico con la finalidad de eliminar estas deformidades y obtener un pie móvil sin dolor que le permita al paciente realizar una adecuada marcha. Debido a ello, el paciente puede permanecer inmovilizado por largos periodos, lo cual favorece un desbalance muscular entre los músculos invertores y evertores, sobre todo en aquellos pacientes que requieren de uno o más procedimientos quirúrgicos, cuando no se obtiene o no se logra mantener una adecuada alineación posterior al tratamiento conservador. Los pacientes con esta patología por desuso en los casos de reposo prolongado o inmovilización, presentan un desbalance en las fibras musculares perdiendo masa. [10]

Para la rehabilitación de las fibras musculares se emplea un método alternativo que consiste en el entrenamiento y la recuperación basada en la estimulación eléctrica a través de puntos motores, logrando restaurar el volumen muscular, incrementa la fuerza muscular y mejorar la movilidad articular.

El electroestimulador es un equipo electrónico que a base de pulsos eléctricos inducidos contraen de forma involuntaria al músculo. Sus principales aplicaciones son: Rehabilitación de lesiones, fisioterapia e incremento de rendimiento deportivo [8].

El volumen de información intercambiada a través de los servicios WEB sigue aumentando de manera continua en los últimos años, siendo el comercio electrónico uno de los principales usos. Por otro lado, el desarrollo de aplicaciones de cómputo sobre

dispositivos embebidos tiene gran interés para la industria de dispositivos de bajo consumo de energía, ya que permiten crear sistemas de cómputo orientados a una tarea específica sin la necesidad de tener un sistema de cómputo completo. Un dispositivo autónomo capaz de ejecutar un servidor WEB a través de un canal seguro, puede ser de gran utilidad para aumentar la seguridad de los datos, así como minimizar el consumo de energía [1].

Para este proyecto de investigación se implementa el prototipo de un dispositivo electrónico, portátil, cómodo y capaz de generar formas de onda consideradas aptas

II. OBJETIVOS

a) OBJETIVO GENERAL

Aplicar un sistema de rehabilitación a través de electroterapia sobre los músculos peroneos para mejorar la flexión dorsal en pacientes pediátricos con pie quino varo.

Los resultados con electroterapia implementando un micro servidor web embebido al electroestimulador para facilitar las rutinas de recuperación en niños de pie quino varo.

b) OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar características de la patología de pie equinovaro congénito.
- Conocer la fisiología de la contracción muscular.
- Identificar el tipo de electroestimulación a utilizar para la rehabilitación.
- Adaptar un electroestimulador con características óptimas que atienda las necesidades de pacientes (PEVAC).
- Diseñar una metodología de rehabilitación EENM.

III. JUSTIFICACIÓN

La marcha es el principal modo de locomoción humana. Su adquisición marca una etapa fundamental en el desarrollo de la persona. [6]

Este tipo de malformación genética limita la marcha adecuada del paciente pediátrico, originando una descompensación muscular en la extremidad afectada, para estos casos la aplicación de electroestimulación neuromuscular contribuye al fortalecimiento de esta descompensación muscular y disminuye sus limitaciones a la marcha mejorando la huella plantar.

Tras estudiar la anatomía muscular se deduce que un potencial de acción proveniente del cerebro, que a su vez es transmitido a la medula espinal y de la medula al nervio motor, generan la contracción muscular originando el movimiento, la electroestimulación consiste en desencadenar un potencial de acción mediante un impulso cuya intensidad umbral (I) aumenta cuando su duración (t) disminuye según su relación: $I = \frac{q}{t} + i_0$ En esta ecuación q = a la cantidad de cargas eléctricas que forman el impulso; i_0 = a la intensidad mínima para estimular con un impulso de duración infinita. Si $t = \infty$, la ecuación sería $I = i_0 = R$.

La reobase (R) es la intensidad mínima necesaria para estimular con un impulso de comienzo brusco y duración mínima.

En caso de impulso rectangular, la relación puede escribirse: $I = \frac{q}{t} + R \leftrightarrow R = \frac{q}{t} \leftrightarrow t = \frac{q}{R} = Cr$. La cronaxia (Cr) es la duración mínima necesaria para estimular con un impulso cuya intensidad es el doble de la reobase, (Crépton, F, & Doubré, 2008)

Existen distintos tratamientos metodológicos que permiten corregir este problema, con ayuda de expertos certificados en fisioterapia que coadyuven al fortalecimiento y validación de la técnica empleada.

Actualmente no existe un sistemas integral de electroterapia en atención y rehabilitación a pacientes en centros de salud, DIF, etc., de municipios ubicadas en zonas de la huasteca baja, para atención a Niños con dificultades de movilidad articular o con alguna lesión

muscular por tanto se torna complejo y en costoso. Por ello existe la necesidad de implementar un sistema de rehabilitación alternativo con electroestimulación neuromuscular para mejorar la movilidad de las extremidades inferiores y la fuerza muscular, brindando a los pacientes una mejor calidad de vida, principalmente a niños con Pie Equino Varo Aducto Congénito (PEVAC).

IV CONTENIDO DEL TRABAJO

La estimulación eléctrica neuromuscular (EENM) es una modalidad dentro del campo de la electroterapia clínica y es utilizada para el ejercicio y/o rehabilitación. La (EENM) se define como la aplicación de una corriente eléctrica usando electrodos de superficie colocados sobre los musculos esqueléticos para producir una contracción muscular visible a través de la activación de las ramas nerviosas intramusculares, y así devolver la normalidad o estabilidad de la zona que se va a tratar. [10]

Entre las modalidades terapéuticas, la EENM se presenta como una técnica no invasiva utilizada por los fisioterapeutas para promover el fortalecimiento [13]0)

El módulo controla el electroestimulador a través del puente H y el circuito elevador del voltaje provenientes del diodo y el transistor.

El Control del elevador de voltaje consiste básicamente de un transistor e inductor, que cuando la bobina se descarga genera un pico de tensión elevado de corta duración originado por el trabajo de conmutación al que está sometido, e inicia con un PWM del ciclo útil del 2.5% para la intensidad mínima de voltaje, hasta que el transistor eleva el voltaje aproximadamente el 65% originado cambiar el ciclo útil, ver figura 25 y 29 del circuito.

El ciclo útil, es la relación que existe entre el tiempo en que la señal se encuentra en estado activo y el periodo de la misma. Su valor se encuentra comprendido entre 0 y 1, y viene dado por la expresión: $D = \frac{\tau}{T}$ Dónde: D = Ciclo de trabajo. τ = Es la duración donde la función está en nivel alto. T = Periodo de la función.

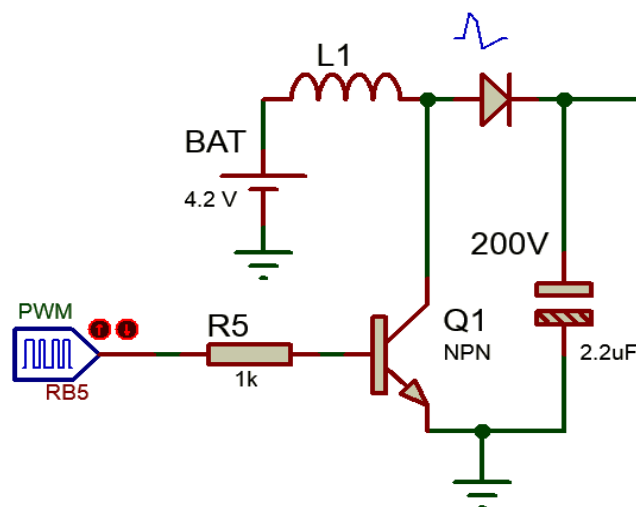


Figura 1. Elevador de Voltaje (Prototipo)

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez elevado el voltaje la distribución se lleva a cabo mediante los 4 transistores que envían las rampas de voltaje hacia la piel en la posición de los puntos motores, alternando la polaridad, generando una forma de onda cuadrada, equilibrada, simétrica y bifásica, con el valor medio de corriente igual a cero, para no presentar efectos polares debajo de los electrodos.

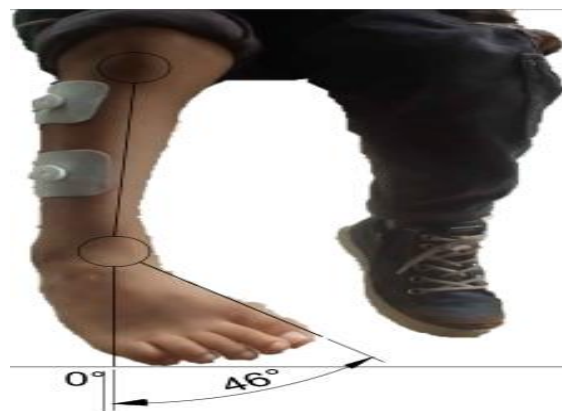


Figura 1: Ciclo útil de 65% (Prototipo)

Fuente elaboración propia.

V Esquema de los tejidos neuromusculares excitables eléctricamente.

El cuerpo humano realiza distintitos tipos de movimientos repetitivos en algunas actividades diarias, una de ellas es la marcha humana, siendo un proceso de locomoción originado por contracciones musculares desencadenados por estímulos sincronizados que generan el desplazamiento.

Durante el desplazamiento se activan las fibras nerviosas motoras y fibras musculares con distintos rangos de voltaje que permiten la excitación umbral, se debe conocer el nivel de voltaje de fibras nerviosas motoras y fibras musculares para que mediante la electroterapia se exciten y produzca el movimiento requerido.

Tejido a estimular	Potencial de	Umbral de	Hiato que hay
Fibras nerviosas	-70mV	-55mV	-15mV
Fibras	-90mV	-55mV	-35mV

Tabla 1: Esquema de los tejidos neuromusculares excitables eléctricamente. Fuente: [1]

Cada nervio tiene características particulares de excitabilidad, que al aplicar la estimulación deben considerarse los tiempos de cronaxia, en el cual un impulso eléctrico deberá permanecer dentro del tejido nervioso. Estos valores son aproximados en distintas categorías del cuerpo, que normalmente se dividen en 6 zonas, Brazo, antebrazo, torax, abdomen, muslo y pierna, valores determinados por distancias que hay desde el cerebro hasta el musculo.

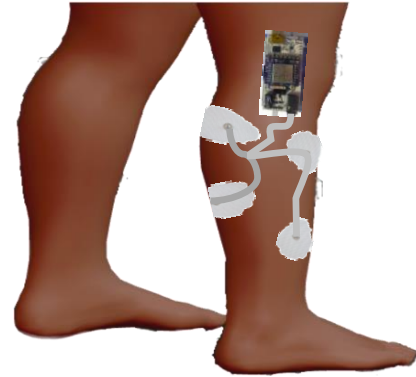


Figura 2: Antropometría de la pierna



Imagen 4: Electroestimulador Beauty Body con adecuaciones. **Fuente:** Elaboración propia

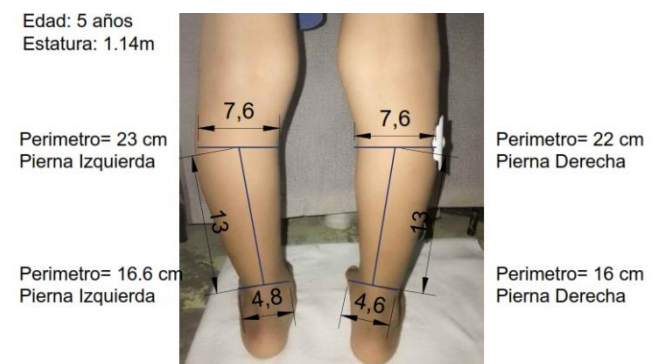


Imagen 5: Estimulación del musculo soleo del tríceps sural. **Fuente:** Elaboración propia

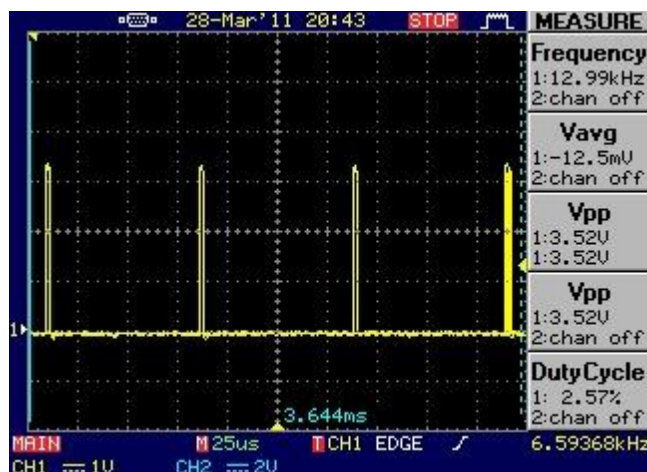


Figura 3. Ciclo Útil de 2.5% (Prototipo).
Fuente: Elaboración Propia.

V.-Evaluación PVE

El tratamiento del PVE depende de varios factores como: severidad de la lesión, edad del paciente y tratamientos previos. Esta deformidad comienza a ser tratada desde el mismo momento en que se diagnostica, puede ser de forma conservadora o quirúrgica según lo requiera el paciente.

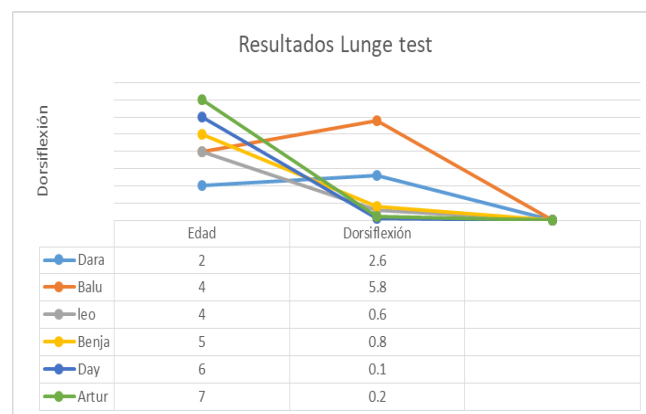
Grados	Evaluación	Rangos
Grado I	Se considera un PVE benigno	0 – 5 puntos
Grado II	Moderado	6 – 10 puntos
Grado III	Severo	11 – 15 puntos
Grado IV	Muy severo	16 – 20 puntos

Fuente: [2]

Actualmente existen numerosas herramientas que permiten estudiar el cuerpo en movimiento. Sin embargo, la mayoría de éstas requieren de una alta formación técnica para poder definir y llevar a cabo cualquier tipo de estudio. La realización de un estudio con fotogrametría, plataformas de fuerzas y electromiografía de superficie (EMG), requiere usualmente de conocimientos avanzados de biomecánica, ya que implica el diseño de un modelo y la programación de los cálculos para obtener las variables y los parámetros de interés. Por este motivo, es habitual contar con apoyo de personal con formación técnica en aquellos grupos que persiguen

utilizar el análisis de movimientos para aplicaciones más allá de lo estandarizado (P. ej. Análisis de la marcha o de la carrera). [8]

Grafico 1: Tabla comparativa grado de Dorsiflexión



del tobillo. **Fuente:** Elaboración propia

Se realizó un estudio en seis niños para conocer el grado de dorsiflexión, tomando como referencia la estatura y edad; para que a partir de ese análisis se pueda implementar terapias utilizando el electroestimulador.

CONCLUSIONES

Existe un término empleado en la ciencia de los materiales denominado Resiliencia, propiedad que define a un material al estar sometido a diferentes esfuerzos y que este vuelva a su estado original sin sufrir algún cambio significativo. De esta manera cada individuo presenta características particulares en cuanto a la recuperación física y mental, permitiéndoles rehabilitarse en lapsos de tiempos cortos o prolongados, cuando el paciente alguna vez estuvo en buena forma.

Para el caso de un padecimiento congénito en particular el pie equino varo, en ningún momento la pierna estuvo en condiciones normales y por ello se requiere de una intervención para su corrección de manera mecánica, colocando yesos, férulas, o en su caso con alguna cirugía, y a través de la electroestimulación se logre reeducar la función muscular, posterior a los tratamientos previos.

Por lo tanto concluyo que para el caso de un niño en rehabilitación con padecimiento de pie equino varo que está en constante crecimiento, el tratamiento de rehabilitación deberá de darle seguimiento hasta que deje de crecer que en promedio es hasta los 14 años de

edad ya que se notó que al suspender la rehabilitación con electroestimulación presentaba rigidez a la flexión al momento de realizar la marcha y esto ocasionaba que se tropezara constantemente y como consecuencia las caídas.

La amplitud de movimiento se obtiene a la contracción - relajación de la extremidad, con electroestimulación a diferencia de los trabajos voluntarios, la corriente eléctrica penetra a capas o estructuras internas del musculo de manera profunda, que al llegar al colágeno esta se calienta reblandeciéndose y en este momento se reduce la rigidez, manteniéndose en un tiempo considerable de 24-48hr.

Recomiendo seguir el tratamiento en supervisión de un especialista para su aprobación y valoración, considerando que existen electroestimuladores en el mercado que pueden ser económicos, pero que no se tiene la certeza de las características del tratamiento, siendo incomodas para el paciente en algunos casos, o de un precio más elevado con características apropiadas a las necesidades y con un buen soporte técnico.

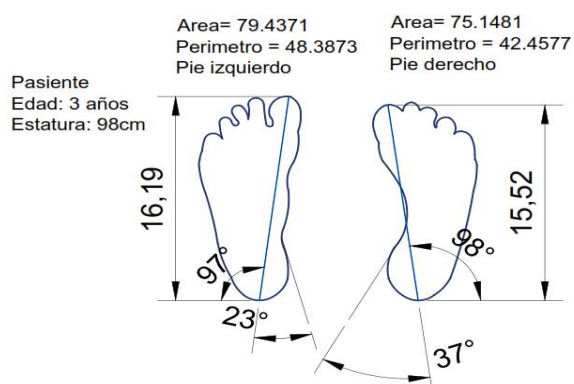
También se debe combinar la electroestimulación involucrando al paciente con trabajo físico para mejores resultados.

Considerar utilizar la cinta kinestésica o medios mecánicos para la correcta posición del pie, de esta manera obtener mejores resultados en la rehabilitación en sesiones Nocturnas preferentemente.

Imagen 6. Huella plantar escaneado y vectorizado
Fuente: Elaboración propia

Referencias

- [1] Alvarado, N. O. (2016). Servidor http Seguro en un Sistema Enbebido. *Pistas Educativas Año XXXVIII*, 1580-1598.
- [2] Alvares, L. A. (2003). Pie Varoequino Actualización del tema. *Arículos de Revisión*, 385-396.
- [3] Bonet, A. G. (2003). Lesiones traumáticas de extremidades inferiores. *ELSEVIER*, 52-58.
- [4] Boschetti, G. (2004). *¿Qué es la electroestimulación?* España: Paidotribo 2da edición.
- [5] Crépton, F, & Doubrère, J.-F. V.-K. (2008). Electroterapia. Electroestimulación. *Elsevier Masson SAS*, 1-20.
- [6] Dedieu, P. (2020). Anatomía y fisiología de la marcha humana. *ScienceDirect*, 1-15.
- [7] Guerra, J. V.-N. (2017). Acta Ortopédica Mexicana. *Nivel de evidencia y grado de recomendación del uso del método de Ponseti en el pie equino varo sindrómico por artrogriposis y síndrome de Moebius: una revisión sistemática* (págs. 182-188). Mexico: www.medigraphic.org.mx.
- [8] Instituto de Biomecánica IBV. (25 de Noviembre de 2019). *Biomecanicamente.org*. Obtenido de Ztp://www.biomecanicamente.org/revista/item/1608-rb66-rap-kinemov.html
- [9] Juárez, J. E. (2012). *Diseño de un estimulador muscular para terapias analgésicas de baja frecuencia*. México.: Instituto Politécnico Nacional.
- [10] Maffiuletti, N. (2010). Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol* 110, 223-234.
- [11] Morales, O. M. (2011). *Electroestimulación en el tratamiento de pacientes pediátricos con pie equino varo aducto congénito postoperados. Estudio piloto*. México: ESM.



- [12] Rosselli, C. P. (2018). Resultados del tratamiento de pie equinovarocongénito con el método de Ponseti. *Ortopedia y Traumatología*, 1-7.
- [13] Walls, R, & McHugh, G. O. (2010). Effects of preoperative neuromuscular electrical stimulation on quadriceps strength and functionality. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 1-9.

Actualmente docente adscrito a la carrera de Ing. En Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Chicontepec.

BREVE BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Ing. Kleiver Erein Bautista de la Cruz, Cel. 7461081635, correo electrónico: kebautista@chicontepec.tecnm.mx. Realizo sus estudios en el Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de Ingeniería, mecánica y eléctrica unidad Azcapotzalco la carrera de Ingeniero mecánico con especialidad en energéticos. Actualmente labora en el Instituto tecnológico Superior de Chicontepec adscrito a la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales desde 2011 a la fecha.

COLABORADORES

- Lic. Jacinto Eduardo Del ángel Sánchez, Cel. 7891010511, correo electrónico: jedelangel@chicontepec.tecnm.mx
Lic. En Administración con especialidad en Recursos Humanos, realizo sus estudios en el Instituto Tecnológico Superior de Villa Ursulo Galván Veracruz. Actualmente docente en el Instituto Tecnológico Superior de Chicontepec del 2008 a la fecha, adscrito a la carrera de Ing. En Gestión Empresarial.
- Ing. Bernardo de la Cruz Feliciano, Cel.7461116055 correo electrónico: bcruz@chicontepec.tecnm.mx
Ing. En Sistemas Computacionales realizo sus estudios el Instituto Tecnológico Superior de Cerro Azul Veracruz,