



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Facultad de Ciencias e Ingeniería
Departamento de Tecnología

Título

SISTEMA DE REHABILITACIÓN ACTIVA MEDIANTE ELECTROESTIMULACIÓN MUSCULAR FOCALIZADO EN EXTREMIDADES SUPERIORES E INFERIORES PARA PACIENTES ATENDIDOS EN LA CLÍNICA DE FISIOTERAPIA DEL DEPARTAMENTO DE BECAS DE LA UNAN-MANAGUA.

Seminario de Graduación como requisito final para optar al título de Ingeniero en Electrónica.

Autor/es:

Br. Jaime Antonio Espino Alvarez
Br. Moisés Abraham Soza Maltez

Tutor:

MSc. Milcíades Ramón Delgadillo Sánchez.

Managua, Enero de 2021

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a:

Dios: Creador y señor de todo el universo. Por habernos dado la sabiduría y fuerzas necesaria para salir adelante y cumplir nuestras metas.

Nuestros padres: Que han sido ejemplo de vida para nosotros.

Docentes: Fuente de enseñanza y guía de aprendizaje. Por todos los conocimientos transmitidos durante el transcurso de la maestría.

Autores

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos ante todo a Dios por darnos la sabiduría de finalizar este trabajo.

A nuestros maestros que no han compartido sus conocimientos ante y durante la elaboración de este proyecto.

Y a todas aquellas personas que han estado presente en nuestra formación académica.

Autores

VALORACIÓN DEL TUTOR



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA

Managua, 30 de noviembre del 2020

MSc. Elim Campos

Director
Departamento de Tecnología

Estimado Maestro:

El motivo de la presente es para comunicarle que he guiado, orientado y revisado el trabajo de Seminario de Graduación elaborado por los bachilleres: Jaime Antonio Espino Álvarez y Moisés Abraham Soza Maltéz de la carrera de Ingeniería Electrónica, el cual lleva por título: **“SISTEMA DE REHABILITACIÓN ACTIVA MEDIANTE ELECTROESTIMULACIÓN MUSCULAR FOCALIZADO EN EXTREMIDADES SUPERIORES E INFERIORES PARA PACIENTES ATENDIDOS EN LA CLÍNICA DE FISIOTERAPIA DEL DEPARTAMENTO DE BECAS DE LA UNAN-MANAGUA”**.

No omito manifestarle que hemos seguido el proceso de elaboración del documento y consideramos que cumple con los requisitos establecidos por la Universidad. Por lo tanto, solicito realizar trámites requeridos para el proceso de defensa y titulación.

Sin más a que referirme, le saludo cordialmente.

Atentamente,

Una firma manuscrita en tinta negra que parece decir 'Karen'.

MSc. Karen Acevedo Mena
Asesora Metodológica

MSc. Milciades Delgadillo
Tutor

RESUMEN

El presente documento tiene como objetivo presentar la creación de un sistema de rehabilitación activa mediante electroestimulación muscular para extremidades superiores e inferiores para pacientes de la clínica universitaria del departamento de Becas de la UNAN-Managua, su composición, construcción e implementación. El cual permitirá realizar una rehabilitación más efectiva y en menor tiempo que los dispositivos de rehabilitación utilizados actualmente en la clínica universitaria y de esta forma apalea las deficiencias técnicas que actualmente presentan los dispositivos que tiene a disposición la clínica.

Para lo cual se analizarán los dispositivos rehabilitadores existentes en la actualidad en la clínica universitaria y sus deficiencias, y los mecanismos disponibles en Nicaragua para la rehabilitación de las diferentes patologías o lesiones que producen la inactividad de los miembros superiores e inferiores.

Se considerarán tanto los aspectos médicos como los aspectos electrónicos que intervienen en el proceso de rehabilitación, los cuales son piezas claves para el prototipado del dispositivo de rehabilitación y su posterior implementación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
VALORACIÓN DEL TUTOR.....	iii
RESUMEN.....	iv
I. INTRODUCCIÓN	- 1 -
II. ANTECEDENTES.....	- 2 -
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	- 4 -
IV. JUSTIFICACIÓN	- 5 -
V. OBJETIVOS	- 6 -
5.1. Objetivo general.....	- 6 -
5.1.1. Objetivos específicos.....	- 6 -
VI. MARCO TEÓRICO	- 7 -
6.1. Nociones médicas	- 10 -
6.1.1. Miembro superior e inferior.....	- 10 -
6.1.2. Rehabilitación por electroestimulación.....	- 11 -
6.1.3. Dispositivo de Rehabilitación por electroestimulación.....	- 11 -
6.2. Nociones electrónicas	- 12 -
6.2.1. Sistema de gestión electrónico	- 12 -
6.2.2. Single Board Computer	- 12 -
6.2.3. Electrodo	- 13 -
6.2.4. IoT.....	- 14 -
6.2.5. Bluetooth	- 14 -
VII. DISEÑO METODOLÓGICO	- 15 -
7.1 Etapa 1	- 15 -
7.2 Etapa 2	- 15 -
7.3 Etapa 3	- 15 -
7.4 Etapa 4	- 16 -
7.5 Etapa 5	- 16 -
VIII. DESARROLLO	- 17 -
8.1 Diagnóstico para determinar las necesidades del dispositivo, mediante visita in-situ a la clínica universitaria del Departamento de Becas de la UNAN-Managua. -	- 17 -

8.1.1. Localización	- 17 -
8.1.2. Macrolocalización.....	- 17 -
8.1.3. Micro localización.....	- 18 -
8.1.4. Infraestructura preexistente.....	- 19 -
8.1.5. Entrevistas.....	- 20 -
8.1.6. Encuesta	- 25 -
8.1.7. Procesamiento del protocolo de uso actual del fisioterapeuta.....	- 26 -
8.2. Diseño del dispositivo a desarrollar	- 27 -
8.2.1. Generación de conceptos	- 27 -
8.2.2. Morfología del sistema electrónico y de programación	- 28 -
8.2.3. Diagrama del sistema de electroestimulación.....	- 30 -
8.2.4. Diagrama del sistema de gestión	- 35 -
8.2.4.1. Sistema Operativo	- 35 -
8.2.4.2. Lenguaje de programación	- 35 -
8.2.4.3. Diagrama de flujo del sistema	- 37 -
8.2.5. Presupuesto	- 38 -
IX. CONCLUSIONES.....	- 40 -
X. RECOMENDACIONES.....	- 41 -
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	- 42 -
ANEXOS.....	- 43 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Anatomía Muscular Miembro Superior	- 10 -
Ilustración 2 Anatomía Muscular Miembro Inferior	- 10 -
Ilustración 3 Diagrama de Especificaciones Técnicas Raspberry pi 4	- 13 -
Ilustración 4 Geolocalización UNAN-Managua Recinto Universitario Rubén Darío	- 18 -
Ilustración 5 Geolocalización Clínica Universitaria del Departamento de Becas UNAN-Managua... 18 -	
Ilustración 6 Planta Arquitectónica de la Clínica Universitaria del Departamento de Becas UNAN- Managua	- 19 -
Ilustración 7 Muestra de pacientes según genero	- 25 -
Ilustración 8 Muestra de pacientes según disciplina que practican	- 25 -
Ilustración 9 Extremidades con mayor número de lesiones	- 26 -
Ilustración 10 Caja Negra del Diseño	- 27 -
Ilustración 11 Caja Trasparente del Diseño	- 28 -
Ilustración 12 Circuito Generador de la Modulación.....	- 31 -
Ilustración 13 Circuito del Tren de Pulsos	- 32 -
Ilustración 14 Circuito de Control de Tiempo en Alto	- 33 -
Ilustración 15 Interconexión del Circuito Electroestimulador Muscular (Fuente Propia)	- 34 -
Ilustración 16 Impreso PCB circuito electroestimulador (Fuente Propia)	- 34 -
Ilustración 17 Diagrama de Programación SCRATCH	- 36 -
Ilustración 18 Sistema GPIO Raspberry PI 4	- 36 -
Ilustración 19 Diagrama de flujo del Software	- 37 -
Ilustración 20 Instalaciones de la clínica universitaria (Sala de Espera)	- 43 -
Ilustración 21 Equipo de electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).	- 44 -
Ilustración 22 Equipo de electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).	- 45 -
Ilustración 23 Equipo de electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).	- 46 -
Ilustración 24 Equipo de electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).	- 47 -
Ilustración 25 Electrodo para electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).	- 48 -
Ilustración 26 Ordenador de Sobre Mesa de la clínica universitaria	- 49 -
Ilustración 27 Dispositivo para terapia Ultrasónica (dañado).....	- 50 -
Ilustración 28 Repetidor para conexión a internet por radio enlace en la clínica universitaria -	51 -
Ilustración 29 Raspberry pi 4B con case	- 52 -
Ilustración 30 Electroodos aplicados a extremidades superiores e inferiores respectivamente	- 52 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Necesidades de la Clínica Universitaria	- 22 -
Tabla 2 Estimación de las Características del Dispositivo	- 23 -
Tabla 3 Matriz de Especificaciones Vs Requerimientos.....	- 24 -
Tabla 4 Presupuesto de Creación del Dispositivo	- 39 -

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto muestra el diseño y puesta en marcha de un sistema de rehabilitación activa mediante electroestimulación muscular focalizado para extremidades superiores e inferiores controlado mediante Raspberry Pi 4 Modelo b y gestionado a distancia mediante una plataforma web de acceso remoto, el cual se implementa en la Clínica Universitaria del Departamento de Becas de la UNAN-Managua, en el área de fisioterapia, la cual se encuentra ubicada en la casa #110 de la colonia Miguel Bonilla.

Se desarrollará un prototipo que permitirá mantener el distanciamiento social necesario en tiempos de pandemia y post-pandemia, para así, agilizar el proceso de rehabilitación de los pacientes que lo requieran evitando demoras en sus sesiones, este equipo mediante un ordenador de placa simple SBC (por sus siglas en inglés "Single Board Computer") permitirá gestionar la comunicación a distancia entre el médico terapeuta y el paciente, esta comunicación no solo será un diagnóstico remoto sino que permitirá al médico terapeuta concluir las sesiones de terapia desde la clínica, estas sesiones serán en similares condiciones médico-técnicas como si el paciente se hubiese apersonado a la clínica.

Por otra parte, se define el proceso convencional que se lleva a cabo en cada sesión de fisioterapia, las diferentes lesiones que se han de tratar y sus respectivos parámetros para cada rehabilitación. La tecnología usada para la propuesta es un prototipo electrónico cuyo objetivo será solventar algunas debilidades encontradas en los diagnósticos que presenta la Clínica Universitaria debido a la antigüedad y daño que muestran los dispositivos actuales, así como a mantener la distancia social que se requiere en tiempos de pandemia y post-pandemia.

Se proporcionará una aplicación web para PC y otra para móvil, para realizar la tarea de comunicación desde la clínica, además de almacenar los registros médicos de cada paciente y el dispositivo que el cliente tendrá en uso desde su ubicación personal, este último es el que se encontrará en continuo contacto con el paciente y el cual generará las corrientes de estimulación eléctrica.

II. ANTECEDENTES

En el año 2019, fue presentado en la carrera de Ingeniería en Electrónica del Departamento de Tecnología de esta casa de Estudio, UNAN-Managua, el trabajo de Seminario de graduación para optar al título de Ingeniero en Electrónica, Dispositivo de rehabilitación muscular en miembros inferiores para pacientes de la clínica de la UNAN-Managua, por los autores Br. Yesser Manuel Espinoza Hernández y Br. Félix Pedro Carranza Valle.

De la investigación realizada por Espinoza Hernández y Carranza Valle (2019) concerniente al diseño y construcción, y de las recomendaciones en el proceso de del diseño electrónico del prototipo “..para futuras mejoras se pueden anexar nuevas funciones como los pueden ser las vibraciones o electro estimulaciones que permitirán una mejor rehabilitación al paciente y de igual manera se puede hacer uso de sensores, estos para crear una interfaz gráfica, que le permitan al fisioterapeuta ver de una manera más dinámica los avances que ha tenido el paciente”, así mismo se concluyó que la excitación se produce directamente sobre el nervio motor y que gracias a los impulsos eléctricos perfectamente controlados que garantizan la eficacia, la seguridad y el confort en el uso, el músculo es incapaz de notar la diferencia entre una contracción voluntaria ordenada por el cerebro y una contracción inducida eléctricamente.

Dentro de los variados estudios que se han realizado acerca de la electroestimulación y electromiografía se pueden indicar los muchos trabajos realizados por el médico y científico italiano Luigi Galvani, quien en 1780, reveló que la aplicación de la corriente eléctrica en una preparación neuromuscular de las patas de una rana, producía la contracción muscular, llegando a la conclusión de la existencia de electricidad en la musculatura de los organismos vivos. Estos trabajos impusieron la pauta para Duchenne de Boulogne dedicado ya en 1833 se incorporará en el estudio de la estimulación eléctrica como especie de terapia medicinal, quien descubre que era posible estimular los músculos por encima de la piel y que la aplicación sistemática permitía estudiar la dinámica del músculo

estriado. Duchenne construyó un equipo de estimulación neuromuscular, inicialmente con fines terapéuticos, después investigativos y de diagnósticos.

En contraposición a los antecedentes históricos se puede indicar que a través de estudio y diagnósticos realizados, se observó que la Clínica Universitaria del departamento de Becas de la UNAN-Managua, no presenta estudios preliminares de esta índole, no hay registros de que se hayan realizado investigaciones para mejorar alguna debilidad en el área de fisioterapia de la misma respecto al campo de terapias de estimulación eléctrica, el estudio de los señores Espinoza Hernández y Carranza Valle (2019), se basó en la creación y desarrollo de prótesis y ortésis. Con el presente proyecto bajo desarrollo se pretende optimizar esta área de la clínica, apaleando esa debilidad que presentan que es en las consultas a los pacientes en tiempos de pandemia y post-pandemia, además que existe una marcada deficiencia en las consultas que se ofrecen dado que los equipos que existen son alimentados por pilas y no hay suficiente presupuesto para restablecer este suministro en tiempo y forma, por lo que muchas veces los pacientes que requieren rehabilitación deben esperar muchos días a que se renueve este suministro o suministrarlo ellos mismos, todo ello sumado a los deterioros presentes en estos equipos y su antigüedad conformando así una falta de equipos médicos acorde a las necesidades actuales de los universitarios internos de la UNAN-Managua que pasan consulta en la clínica universitaria.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los motivaciones y problemáticas que determinaron la creación y puesta en marcha del presente proyecto han sido entre otras, las necesidades de movilidad y problemáticas técnicas que se afrontan en la Clínica Universitaria del departamento de Becas, en área de Fisioterapia, de la UNAN-Managua, como es la necesidad de un equipo que cuente con una fuente de energía de AC/DC, dado que los existentes son alimentados por medio de pilas y estas se desgastan rápidamente sin reemplazo inmediato debido al poco presupuesto disponible obstaculizando el acceso a un equipo de rehabilitación para los pacientes, y en consecuencia de las lesiones muchos pacientes tienden a no participar en sus terapias de manera continua por la dificultad de movilizarse a la clínica, así mismo las condiciones físicas y técnicas en las que se encuentran los actuales equipos, las cuales son deficitarias.

Las consideraciones tecnológicas e ingenieriles de diseño electrónico y diseño de software de innovación actual que se tienen que tener en cuenta, a fin de desarrollar un sistema de rehabilitación activa que satisfaga los requerimientos de gestión remota con el objetivo de optimizar la calidad y las medidas sanitarias.

Los comedimientos que han de realizarse para seguir el marco común de los sistemas de estimulación y la Estructura de Alto Nivel (HLS) para las normas del sistema de gestión remota y el cumplimiento de los estándares médicos y de uso de dispositivos para fisioterapia de forma responsable.

IV. JUSTIFICACIÓN

El dispositivo a desarrollar está determinado en base a dos justificaciones:

Se valora que el producto a desarrollar podría ser más innovador que los que se utilizan en la clínica universitaria y vendría a suplir las necesidades existentes, dado que los que actualmente se poseen tienen daños estructurales y no funcionan adecuadamente, así mismo los sistemas existentes tienen un serio inconveniente, dado que son energizados mediante pilas, las cuales se gastan rápidamente y debido el bajo presupuesto de la clínica universitaria hay déficit en este producto (pilas) y muchas veces esto acarrea con retrasos en las rehabilitaciones de los pacientes, además que el sistema implementa gestión remota que viene a suplir otra necesidad como es la accesibilidad para pacientes cuyas limitaciones físicas son muy graves y se les dificulta grandemente a personarse a la clínica universitaria con la frecuencia que se requiere.

Optimización del proceso de rehabilitación incorporando en el proceso de rehabilitación los procedimientos actuales de distanciamiento social y sana distancia, con la nueva vulnerabilidad que supone esta era de post-pandemia de la COVID-19, donde se requiere además de cumplir con las exigencias médicas también cumplir con dicho distanciamiento.

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Construir un sistema de rehabilitación activa mediante electroestimulación muscular focalizado en extremidades superiores e inferiores, para pacientes atendidos en la clínica de Fisioterapia del departamento de becas de la UNAN-Managua.

5.1.1. Objetivos específicos

1. Diagnosticar las necesidades de la clínica universitaria para conocer las características que debe poseer el dispositivo.
2. Diseñar un equipo de rehabilitación por electroestimulación para la clínica universitaria, gestionado a través de una plataforma web y una app móvil.
3. Desarrollar el prototipo del equipo de rehabilitación por electroestimulación utilizando tecnología IoT.
4. Optimizar el proceso de rehabilitación de lesiones de extremidades superiores e inferiores que se lleva a cabo en el área de fisioterapia de la clínica universitaria del departamento de Becas de la UNAN-Managua mediante la implementación del dispositivo desarrollado.
5. Validar el sistema en el área de fisioterapia de la clínica universitaria del departamento de Becas de la UNAN-Managua.

VI. MARCO TEÓRICO

En los últimos años, los trastornos musculares han ido cobrando importancia y generando preocupación en la sociedad, quizá por la amplia gama de los mismos o por los sedentarios estilos de vida que tenemos muchos y son la principal causa de estos trastornos, hasta tal punto que casi cualquier persona del mundo sabe de algún familiar, amigo o conocido cercano que sufra de alguna de estas enfermedades, aún sin estar especializado en este ámbito o pertenecer al mundo de la medicina. Dentro del paradigma que representa este grupo de trastornos, los más comunes son aquellos que provocan pérdida de la función muscular o parálisis. Desde una leve cojera hasta la ausencia total de movimiento, no es extraño cruzarse a alguna persona que sufra algún tipo de lesión en los nervios motores, sin que se perciba la potencial gravedad de la situación.

En este ámbito, la electroestimulación, y más concretamente la técnica de electroestimulación funcional FES (por sus siglas en inglés “Functional Electrical Stimulation”) ha llamado la atención de investigadores y médicos, resultando ser la vía más prometedora para alcanzar una recuperación total o parcial de la movilidad perdida.

La estimulación eléctrica funcional (FES) es un tratamiento que aplica pequeñas cargas eléctricas a un músculo que se ha paralizado o debilitado debido a un daño en el cerebro o la médula espinal o por distorsión del musculo debido a sobreesfuerzo muscular. La carga eléctrica estimula al músculo a realizar su movimiento habitual.

FES se desarrolló por primera vez en los Estados Unidos en la década de 1960, donde se probó inicialmente en pacientes con accidente cerebrovascular. Aunque los primeros resultados fueron prometedores, no se utilizó con regularidad en la práctica clínica hasta mucho más tarde, ya que se consideraba un tratamiento experimental. La investigación sobre su uso en el derrame cerebral tanto para el pie caído como para ayudar a los movimientos de los dedos se publicó por primera vez

a fines de la década de 1970. A mediados de la década de 1980, un grupo con sede en Salisbury en el Reino Unido comenzó a considerar el uso de FES. Originalmente su trabajo estaba en personas con lesiones de la médula espinal; a partir de este trabajo inicial, pasaron a desarrollar dispositivos para personas con EM ¹ a principios de la década de 1990 y sigue utilizándose en la actualidad.

La técnica de estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (acrónimo TENS por sus siglas en inglés “Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation”) se utiliza en la actualidad para denominar a la aplicación mediante electrodos de superficie de corriente eléctrica pulsada con finalidad analgésica. Así, técnicamente cualquier equipo que emita corriente eléctrica a través de la piel, mediante un par o múltiples pares de electrodos de superficie, puede recibir la denominación de TENS. Por consenso, sin embargo, el término TENS se usa cuando el principal objetivo terapéutico es la analgesia, habiéndose utilizado tanto para el tratamiento del dolor crónico como del dolor agudo, incluso del dolor procedente de órganos viscerales. Actualmente, se puede afirmar que, junto con las interferenciales, el TENS es la técnica de estimulación eléctrica más empleada como alternativa a los tratamientos analgésicos tradicionales, tales como los farmacológicos o quirúrgicos.

El uso del FES y TENS está científicamente probado y se obtuvieron los siguientes resultados:

- Relajación de los espasmos musculares.
- Prevención o retraso de la atrofia por desuso.
- Incremento local de la circulación de la sangre.
- Mantener o aumentar el rango de movimiento.
- El tratamiento con electroestimulación nerviosa transcutánea produce una reducción significativa en la intensidad del dolor medida con la escala analógica visual, si bien no se encontraron diferencias entre este tratamiento y la terapia manual.

¹ La esclerosis múltiple (EM) o esclerosis de placas es una enfermedad neurológica crónica de naturaleza inflamatoria y autoinmune caracterizada por el desarrollo de lesiones desmielinizantes, y de daño axonal en el sistema nervioso central.

- Los efectos adversos derivados de la aplicación de esta terapia son poco frecuentes y con escasa relevancia clínica. (Escortell Mayora, y otros, 2007)

La evidencia procedente de estudios sobre estimulación -axonal in vitro- indica que la excitabilidad de las fibras nerviosas, y consecuentemente la aceleración de los mecanismos analgésicos endógenos, dependen de las características del patrón de estimulación (Pain Reviews v. 8). Una de las teorías más extendida para explicar los efectos fisiológicos del TENS se basa en la conocida como teoría de la puerta de entrada o gate control (Melzack & D. Wall, 1965).

Según la teoría del gate control, la estimulación de las fibras aferentes de gran diámetro, como la producida por el TENS, inhibiría la réplica producida por las fibras nociceptivas, al activarse las interneuronas empleadas en la sustancia gris de la asta posterior de la medula espinal. Profusos estudios avalan que el efecto analgésico del TENS se produce por una inhibición a nivel espinal. Además de a nivel espinal, la teoría del gate control sugería la implicación de vías supra espinales descendentes inhibitorias que modularían a las neuronas espinales.

Ya en 1980, Woolf, ensayando el efecto analgésico del TENS en ratas, comprobó que, tras una sección medular completa, sin influencias de vías descendentes supra espinales, aunque el TENS continuaba parcialmente produciendo analgesia, se producía una disminución considerable de su efecto, sugiriendo que el TENS produciría su efecto inhibitorio en ambos niveles, espinal y supraespinal. Posteriormente, numerosos estudios avalan la participación de estructuras supra espinales en el mecanismo fisiológico de acción del TENS.

No obstante, la relación entre las distintas modalidades de programación y la activación selectiva de diferentes fibras nerviosas no ha podido quedar demostrada de forma consistente en los estudios experimentales; posiblemente porque esta relación puede verse alterada en la práctica debido a la naturaleza no homogénea de los tejidos situados bajo los electrodos. Por todo ello, en los últimos tiempos ha

habido un mayor esfuerzo investigador, con la realización de importantes estudios en animales y en sujetos sanos con el fin de dilucidar qué efectos fisiológicos son los que se producen en el organismo al aplicar TENS.

6.1. Nociones médicas

6.1.1. Miembro superior e inferior

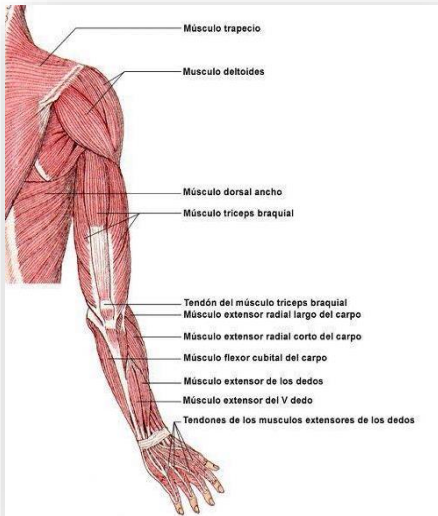


Ilustración 1 Anatomía Muscular Miembro Superior

Miembro superior: El miembro superior o torácico, arranca de la parte superior y lateral del tórax, inmediatamente por debajo del cuello. Es preciso reconocer que sus inserciones o formaciones que lo fijan al tronco, son más débiles que robustas: en efecto, no se haya mantenido en posición más que por la articulación de la clavícula con el esternón y por cierto número de músculos que partiendo de las piezas esqueléticas superiores del miembro van a implantarse por otra parte en el tórax, la columna vertebral y la

cabeza. En anatomía topográfica se divide al miembro superior en seis segmentos que son, yendo desde su raíz a su extremidad libre: el hombro, el brazo, el codo, el antebrazo, la muñeca y la mano.

Miembro inferior. El miembro inferior o miembro pelviano es cada una de las dos extremidades que se encuentran unidas al tronco a través de la pelvis mediante la articulación de la cadera. En anatomía topográfica se divide al miembro inferior en seis segmentos que son, yendo de su raíz a su extremidad libre: la cintura pelviana o pelvis, muslo, rodilla, pierna, tobillo y pie.

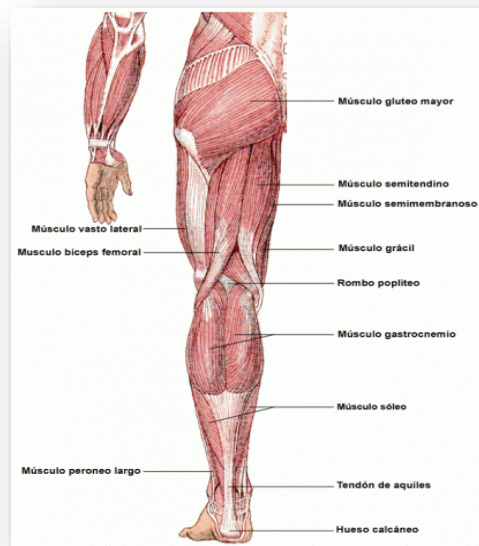


Ilustración 2 Anatomía Muscular Miembro Inferior

6.1.2. Rehabilitación por electroestimulación

En Fisioterapia se definen como la terapia física que aplica diversos tipos de impulsos eléctricos para conseguir una contracción de la musculatura a tratar, con una amplia variedad de tipos diversos de estimulación eléctrica, con una amplia gama de variaciones en la frecuencia y en amplitud, los cuales se utilizan en concordancia a la lesión a ser tratada.

Con el fin de obtener el resultado esperado y seguridad absoluta del paciente, al realizar la electroestimulación hay que tener en cuenta diferentes parámetros: ancho de impulso, ángulo de la articulación implicada durante el trabajo, intensidad con la que es aplicada la corriente, número de contracciones por sesión, el tipo onda, zona de ubicación de los electrodos, frecuencia, tiempo de contracción y de reposo. También hay que tener en cuenta las características de los parámetros: aparato utilizado, músculo estimulado, frecuencia semanal y número de sesiones de entrenamiento (Instituto de Salud Publica Madrid Salud, 2015)

Dependiendo del tipo de ejercicio que se realice mientras se electroestimula un músculo, la electroestimulación recibe dos nombres: electroestimulación estática y dinámica, la primera es la técnica que se utiliza cuando se ejecuta un ejercicio que no implica la movilidad articular (isometría). La segunda se da cuando el ejercicio requiere de un movimiento provocado por la activación del grupo muscular estimulado (anisométrica) (Instituto de Salud Publica Madrid Salud, 2015)

6.1.3. Dispositivo de Rehabilitación por electroestimulación

El dispositivo de rehabilitación por electroestimulación o electroestimulador es el equipo que se utiliza para provocar los efectos antes señalados, con él se podrán relajar la musculatura, mejorar su respuesta ante el estímulo deportivo, evitar lesiones, y todo ello tanto en el campo de la rehabilitación como en el del fitness para mejorar en suma la capacidad acción y de recuperación de la musculatura.

Un músculo normalmente inervado se puede estimular mediante un pulso eléctrico de corta duración aplicado sobre la piel suprayacente a él. En realidad, lo que se estimula es el nervio motor que lo inerva, dado que es imposible estimular

transcutáneamente al músculo. Lo que sucede es que el nervio tiene un tiempo de respuesta inferior a la del músculo.

La duración del pulso ha de ser de unos 2ms y su intensidad o tensión variables: 10-50 mA ó 10-150 V, respectivamente, según la magnitud de la contracción que se quiera lograr. La frecuencia máxima de impulsos que no llega a provocar la llamada tetanización (nueva contracción antes de la completa relajación) de 80 p.p.seg.

La electroestimulación se utiliza en la clínica universitaria del departamento de Becas de la UNAN-Managua, como un procedimiento clave para la correcta rehabilitación de los pacientes dado sus beneficios comprobados en dicho proceso terapéutico. El procedimiento consiste en la implantación de electrodos en las zonas que se deben estimular con corrientes eléctricas procedentes de un neuroestimulador. La intensidad de la corriente es variable, dependiendo de las necesidades del paciente, las cuales son diagnosticadas por el fisioterapeuta.

6.2. Nociones electrónicas

6.2.1. Sistema de gestión electrónico

Es un incorporado de dispositivos encargados de gestionar, administrar, dirigir o controlar el comportamiento de otro sistema o dispositivo, cuya finalidad es la automatización y reducción de las probabilidades de fallo y obtener los resultados teóricamente esperados. Existen dos tipos de sistemas de control (lazo abierto y lazo cerrado). Lazo abierto es en la cual la salida se genera dependiendo de la entrada; mientras que en los lazos cerrado la salida depende de las consideraciones y correcciones realizadas por la retroalimentación.

6.2.2. Single Board Computer

Es una computadora completa en un solo circuito. El diseño se centra en un solo microprocesador con la RAM, E/S y todas las demás características de una PC, suele ser de tamaño reducido, y tiene todo lo que necesita en la placa.

En la actualidad las más comercializadas son:

- Arduino, SBC de bajo coste y desarrollo libre (bajo licencia Creative Commons) originado en Italia.
- ECB AT91 - SBC desarrollado en Colombia con procesador ARM9 de 180MHz.
- Gumstix - SBC de bajo consumo de potencia a 200 y 400MHz de origen estadounidense y licencia privada.
- Raspberry Pi, SBC de origen británico y gestionado por la Raspberry Pi Foundation (Modelo a utilizarse en este proyecto, en su 4 revisión modelo B).

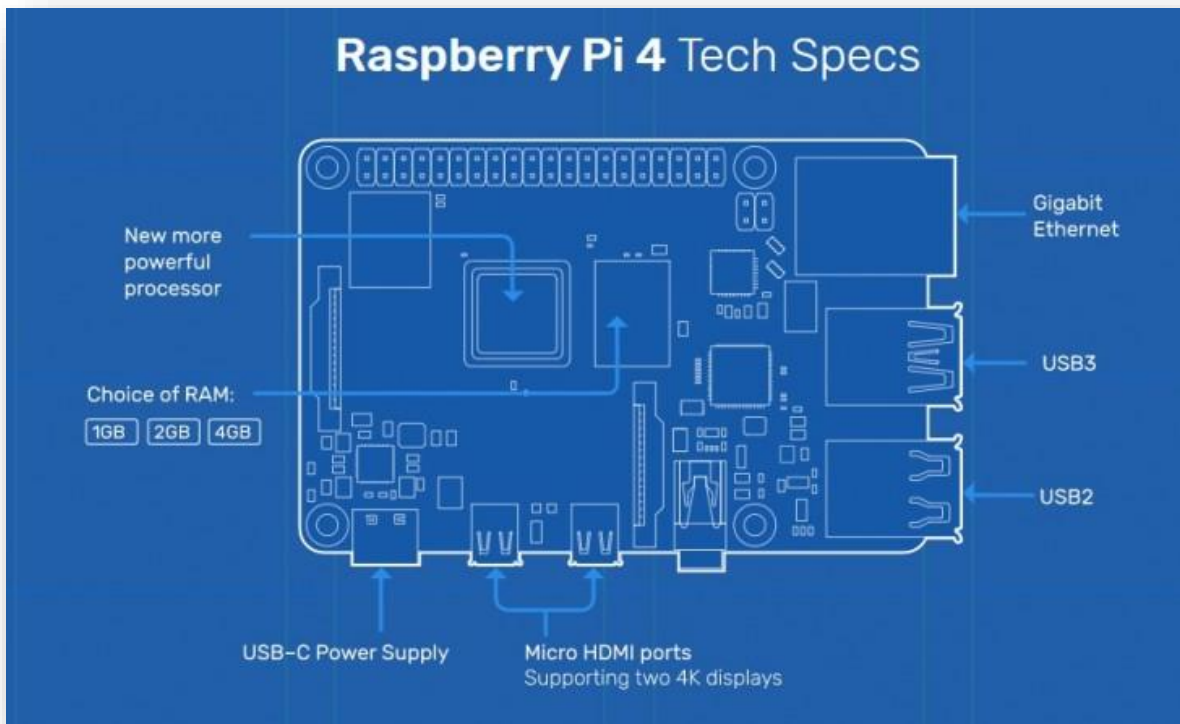


Ilustración 3 Diagrama de Especificaciones Técnicas Raspberry pi 4

6.2.3. Electrodo

Es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, en el presente proyecto se usarán electrodos autoadhesivos para electro estimuladores musculares TENS y EMS.

6.2.4. IoT

El término IoT hace referencia a los sistemas de dispositivos físicos que reciben y transfieren datos a través de redes inalámbricas sin la intervención humana. Lo que lo hace posible es la integración de dispositivos informáticos sencillos con sensores en todo tipo de objetos. Por ejemplo, un "termostato inteligente" ("inteligente", por lo general, significa "IoT") recibe datos de la ubicación de su automóvil inteligente mientras conduce, y los utiliza para ajustar la temperatura de su casa antes de que llegue. Esto se logra sin su intervención y genera el resultado es mejor que si tuviera que ajustar la temperatura manualmente antes de salir o al regresar, en este sistema se introduce el edge computing, que es un modelo que distribuye los recursos informáticos al "borde" de una red cuando es necesario, y cuando no, los centraliza en un modelo de nube. Es una solución al problema de tener que brindar información procesable con rapidez, con datos que requieren acción inmediata.

6.2.5. Bluetooth

Este es un protocolo de comunicaciones que sirve para la transmisión inalámbrica de datos y voz entre diferentes dispositivos que se hallan a corta distancia, dentro de un radio de alcance que, generalmente, es de diez metros. transmite inalámbricamente datos y voz a través de ondas de radio que operan en la banda ISM (no comercial) de los 2,4 GHz. Para ello, hace uso de las Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN, por sus siglas en inglés). Al realizarse la transferencia por radiofrecuencia, los dispositivos no tienen la obligación de hallarse alineados.

Dispositivos de Clase 1. Tienen una potencia máxima permitida de 100 mW y, por tanto, un alcance de 100 metros.

Dispositivos de Clase 2. Se caracterizan por tener un radio de alcance de entre 5 y 10 metros, dado que su potencia máxima permitida es de 2,5 mW. Estos son los más habituales.

Dispositivos de Clase 3. Cuentan con una potencia máxima de 1 mW y un alcance de, tan sólo, un metro.

VII. DISEÑO METODOLÓGICO

A continuación, se describen las etapas que se desarrollaron para permitir el cumplimiento de los objetivos propuestos para el presente proyecto:

7.1 Etapa 1

Diseño de los elementos mecánicos y selección de los componentes electrónicos que constituirán la estructura física y el circuito necesario para el dispositivo respectivamente.

- Actividad 1: Búsqueda bibliográfica
- Actividad 2: Identificación de requerimientos según diagnóstico previo de la clínica.
- Actividad 3: Definición de materiales para el sistema mecánico.
- Actividad 4: Definición de componentes electrónicos para el circuito.
- Actividad 5: Diseño estructural del sistema mecánico.
- Actividad 6: Diseño conceptual del circuito de electroestimulación.
- Actividad 7: Conceptualización y programación del sistema de comunicación paciente-dispositivo-terapista.

7.2 Etapa 2

Construcción del sistema mecánico.

- Actividad 1: Construcción del sistema mecánico con los materiales definidos en etapas anteriores.
- Actividad 2: Pruebas pertinentes al sistema para verificar su funcionamiento.
- Actividad 3: Realizar correctivos necesarios en el sistema mecánico y de comunicación paciente-dispositivo-terapista.
- Actividad 4: Verificación de funcionamiento final del sistema.

7.3 Etapa 3

Desarrollo del sistema electrónico que permita la electroestimulación de pacientes.

- Actividad 1: Construcción del sistema electrónico con los componentes definidos en etapas anteriores en ProtoBoard.
- Actividad 2: Pruebas del sistema para verificar su funcionamiento.
- Actividad 3: Realizar correcciones al sistema en caso de que sean necesarias.
- Actividad 4: Realizar el circuito impreso.
- Actividad 5: Llevar a cabo pruebas finales.

7.4 Etapa 4

Desarrollo del aplicativo que permita el monitoreo y gestión de este para su correcto funcionamiento.

- Actividad 1: Construcción de la interfaz de conexión del sistema electrónico del controlador Raspberry Pi 4 con el electroestimulador creado en etapas anteriores.
- Actividad 2: Pruebas del sistema para verificar su funcionamiento.
- Actividad 3: Realizar correcciones al sistema de ser necesarias.
- Actividad 4: Realizar el encapsulado del sistema.
- Actividad 5: Llevar a cabo pruebas finales en caso de hacer correcciones.

7.5 Etapa 5

Integración de los componentes eléctricos y mecánicos para la obtención del dispositivo final.

- Actividad 1: Ensamble del sistema electrónico y mecánico a través de componentes de sujeción y encapsulado.
- Actividad 2: Prueba de funcionamiento del dispositivo final en la clínica universitaria del departamento de Becas de la UNAN-Managua.

VIII. DESARROLLO

8.1 Diagnóstico para determinar las necesidades del dispositivo, mediante visita in-situ a la clínica universitaria del Departamento de Becas de la UNAN-Managua.

Por medio de este diagnóstico se llevará a cabo la parametrización necesaria del dispositivo bajo los alcances y objetivos de este proyecto como los son:

- Ubicación del lugar.
- Instalaciones e infraestructura preexistentes.
- Equipos o instrumentos médicos disponibles en el lugar.
- Analizar los resultados de la encuesta y entrevista realizada.

8.1.1. Localización

Acá se detallará la ubicación y los puntos de referencia donde se desarrollará el presente proyecto, tomando en cuenta tanto la macro localización como la micro localización para tener una mayor precisión de su ubicación, de igual manera se detallará las condiciones y estructura de la clínica universitaria del departamento de Becas de la UNAN-Managua.

8.1.2. Macrolocalización

La Universidad Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua, se encuentra ubicada de la Rotonda Universitaria Rigoberto López Pérez 150 Metros al Este, su construcción se dió en 1968, las Facultades de Economía y de Ingeniería y la Escuela de Ciencias de la Educación se trasladaron al mismo, en aproximadamente veinte pabellones en los que se incluían las oficinas administrativas, biblioteca, laboratorios, aulas y despachos de profesores, este recinto recibió el nombre de Recinto Universitario Rubén Darío (RURD).

El RURD significó un paso importante en la conformación de la identidad universitaria en Managua, su desarrollo y posterior independencia respecto a León. La población universitaria de la capital representaba los dos tercios del total de la UNAN.

En la sig. Figura se observa un mapa donde se encuentra ubicada la UNAN-Managua.

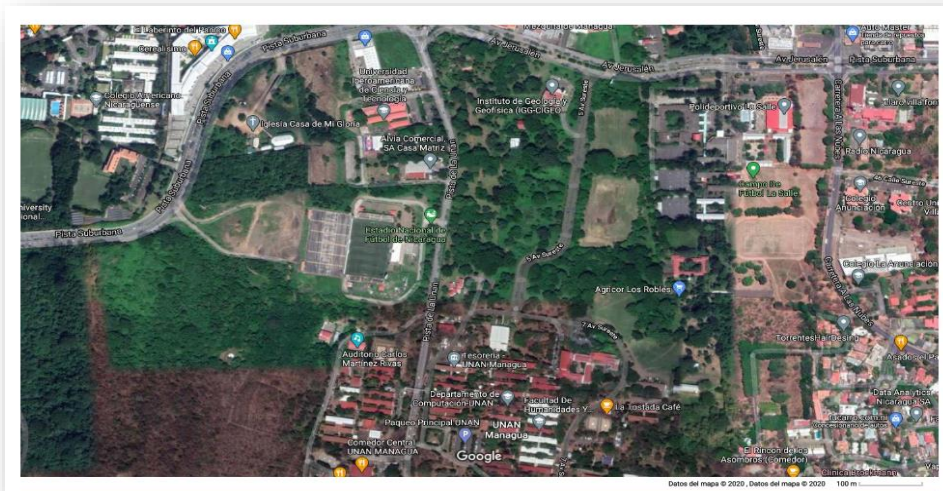


Ilustración 4 Geolocalización UNAN-Managua Recinto Universitario Rubén Darío

8.1.3. Micro localización

La clínica universitaria del departamento de Becas de la UNAN Managua se encuentra del comedor central de la UNAN Managua 3 cuadras al sur, $\frac{1}{2}$ cuadra al oeste. Fundada en 1980, con la necesidad de atender a estudiantes de preparatoria, hoy en día atiende a más de 5300 estudiantes becados internos de la universidad y a miles de deportistas de las diferentes disciplinas deportivas de la UNAN-Managua.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la clínica universitaria del departamento de Becas de la UNAN-Managua.



Ilustración 5 Geolocalización Clínica Universitaria del Departamento de Becas UNAN-Managua

8.1.4. Infraestructura preexistente

En este apartado se dará a conocer la infraestructura preexistente sitio, mediante un plano arquitectónico donde se observa cómo se encuentra dividida la clínica en zonas de trabajo, se detallan cada una de estas zonas, las cuales están segmentadas de tal forma que sean de mejor comodidad para la adecuada atención a los pacientes como se muestra en la siguiente figura:



Ilustración 6 Planta Arquitectónica de la Clínica Universitaria del Departamento de Becas UNAN-Managua

Se observa que, la clínica universitaria del departamento de becas de la UNAN-Managua internamente se ha segmentado para atender a sus pacientes ya sean estudiantes internos como deportistas. Específicamente de color azul se visualiza el área de fisioterapia, por su estructuración arquitectónica esta zona es muy reducida, por la experiencia que tuvimos en el diagnóstico, para atender a un significativo número de pacientes al mismo tiempo, así mismo, la planta arquitectónica del sitio no ofrece espacio suficiente para implementar máquinas o dispositivos que abarquen grandes espacios. Por tal razón el dispositivo a crear sería de mucha utilidad al ser de una forma portátil sin abarcar tanto espacio y

agilizaría el proceso de terapia a los pacientes que lo necesiten, de igual modo este dispositivo se podrá utilizar de forma remota descongestionando el área para atender a los pacientes, cumpliendo así, con uno de los objetivos del presente proyecto que es el distanciamiento social post COVID-19.

8.1.5. Entrevistas

En el diagnóstico realizado ín-situ en la clínica universitaria del departamento de Becas de la UNAN-Managua se realizó una entrevista directa (ver Anexos) a la Lic. Gema Ruiz, quien es la doctora en turno del área de fisioterapia, ella nos dio una visita guiada por toda la clínica, donde se conoció de manera específica los parámetros que cumplen los equipos en el área de rehabilitación y de sus diferentes métodos e instrumentos utilizados. Donde encontramos:

La población de pacientes se encuentra en el rango de 17 a 32 años de edad los cuales son principalmente deportistas de las diferentes disciplinas de la UNAN-Managua. Entre las disciplinas se encuentran:

- Fútbol masculino de segunda división y femenino de primera división.
- Fútbol sala.
- Levantamiento de pesas.
- Esgrima.
- Baloncesto.
- Voleibol.
- Etc.

De esta clasificación se logró cuantificar que las disciplinas deportivas: fútbol, baloncesto y levantamiento de pesas, es donde se encuentra la mayor población de deportistas con lesiones en sus miembros inferiores y superiores, esto debido a que son actividades físicas de alto riesgo de lesiones. Además, en la clínica se brinda servicio a los estudiantes internos de la UNAN-Managua y en algunos casos no muy frecuentes a docentes de esta casa de estudios, pero estas poblaciones muy pocas veces se atienden a la clínica por lesiones en miembros inferiores dado su caracterización y actividad física.

La clínica en su día a día atiende entre 10 a 20 pacientes, lo cual es una cantidad bastante considerable debido a la poca cantidad de especialistas, la clínica cuenta

con 3 especialistas, esto tomado en cuenta que el tiempo de latencia de una terapia dura entre 45 minutos a una hora en dependencia de la lesión que presenta el paciente. La clínica cuenta diferentes medios de rehabilitación como lo son:

- Ultrasonido terapéutico (Actualmente fuera de uso por daño – ver Anexos).
- Electro estimulación (2 equipos portátiles potenciados por pilas alcalinas – ver Anexos).
- Parafina.
- Compresa húmeda y caliente.
- kinesiología.
- Mecanoterapia.
- Terapia ocupacional.

En el área de electroestimulación, los equipos que se poseen tienen daños considerables en su estructura, así como también, estos son alimentados mediante pilas alcalinas, las cuales se desgastan rápidamente debido al uso extensivo de los dispositivos y a que los sistemas requieren bastante potencia para su funcionamiento. Mediante este estudio se pudo observar la necesidad de la creación de un dispositivo de rehabilitación lo cual permita no solo al paciente recibir una mejor rehabilitación, sino también al especialista (fisioterapeuta) tener un mejor método que permita al paciente recuperarse en un menor tiempo.

Se determinó mediante la entrevista las necesidades del área, las cuales se debían considerar para resolver la problemática encontrada, además se realizó una búsqueda bibliográfica de las soluciones comerciales que existen para resolver estos problemas. Se encontró que no solo se deben tener en cuenta las necesidades específicas de los pacientes sino también las necesidades de los profesionales que están a cargo de la recuperación. Además, se debe tener en cuenta que todo dispositivo médico debe cumplir con diferentes normativas, para su debido uso y comercialización, cabe destacarse que entre los alcances de este proyecto no están comercializar el prototipo.

Considerando todo lo anterior se resumieron las necesidades de los pacientes, y profesionales fisioterapeutas de la clínica en contra posición a los requerimientos

normativos en la Tabla 1, además de calificar la importancia de cada una de estas dependiendo de lo que se observó durante las entrevistas y la consulta bibliográfica.

Siendo 5 la máxima calificación en importancia y 1 la menos importante.

NÚMERO	REQUERIMIENTO	IMPORTANCIA
1	Que sea seguro	5
2	Es fácil de usar	3
3	Es de larga duración	4
4	Es fácilmente accesible para su mantenimiento	3
5	Permite un fácil remplazo de partes desgastadas	3
6	Se ajusta a una amplia variedad de señales	1
7	Es poco irritable a la piel	5
8	Sirve para la rehabilitación de pacientes crónicos	5
9	Fácil ensamble a la cama de la clínica	2
10	Fácil comprensión de los resultados	4
11	Fácil de instalar	4
12	Es accesible en cuanto al precio	4
13	La cama soporta el dispositivo	5
14	Resistente a golpes	4
15	Tamaño adecuado	5
16	Produce ruido mínimo	3

Tabla 1 Necesidades de la Clínica Universitaria

A partir de la especificación se generó un valor estimado de las mismas, dado que en estas instancias no se conocían los valores exactos del prototipo se evaluaron valores que fueran ideales para el desarrollo del prototipo y que además cumplirá con estándares de diseño que fueran aceptables.

Número	Necesidad	Medida	Importancia	Valor estimado	Unidades
1	1-7	Produce efectos secundarios en el paciente	4	No	Si/No
2	4-5	Tiempo de desembalaje/ensamblaje para el mantenimiento	2	10-20	Minutos
3	5	Herramientas requeridas para el mantenimiento	2	Lista	Lista
4	13	Masa total	3	0.8	Kg
5	14	Tensión de rotura	4	450 - 1970	MPa
6	6	Señales recibidas	5	2	V
7	3-14	Pruebas de durabilidad	2	5	Años
8	12	Costo de manufactura de unidad	3	160	Dólares Americanos
9	2-10-11-9	Tiempo de preparación	2	5	Minutos
10	8	Cumplimiento de funcionalidad	5	Si	Si/No
11	15	Tamaño del dispositivo	5	15-25	Cm
12	16	Nivel de ruido	3	<200	dB

Tabla 2 Estimación de las Características del Dispositivo

Es menester indicar que el presente proyecto pone de manifiesto la seguridad del paciente de acuerdo a la norma establecida, pero solo se llevará a cabo la norma hasta el alcance del proyecto.

De los datos recabados se ha creado la siguiente matriz de especificaciones vs requerimientos:

	Produce efectos secundarios en el paciente	Tiempo de desembalaje/ensamblaje para el mantenimiento	Herramientas requeridas para el mantenimiento	Masa total	Tensión de rotura	Señales recibidas	Pruebas de durabilidad	Costo de manufactura de unidad	Tiempo de preparación	Cumplimiento de funcionalidad	Tamaño del dispositivo	Nivel de ruido
Que sea seguro	■											
Es fácil de usar									■			
Es de larga duración							■					
Es fácilmente accesible para su mantenimiento		■										
Permite un fácil remplazo de partes desgastadas		■	■									
Se ajusta a una amplia variedad de señales						■						
Es poco irritable a la piel	■											
Sirve para la rehabilitación de pacientes crónicos										■		
Fácil acople a la cama de la clínica									■			
Fácil comprensión de los resultados									■			
Fácil de instalar									■			
Es accesible en cuanto al precio								■				
La cama soporta el dispositivo				■								
Resistente a golpes					■		■					
Tamaño adecuado											■	
Produce ruido mínimo												■

Tabla 3 Matriz de Especificaciones Vs Requerimientos

8.1.6. Encuesta

Se ejecutó una encuesta a una pequeña muestra de pacientes de un día normal de la clínica para reconocer la necesidad del dispositivo, se tomó una muestra discrecional de 18 pacientes de la clínica universitaria. De esta pequeña muestra se determinó que el mayor porcentaje de pacientes que acuden 66.67% (12) eran varones, el rango de edades de la muestra esta comprendidos entre 18 y 25 años, de los cuales 8 eran deportistas de la disciplina de futbol, la que se contó con mayor número de lesionados, suponemos que esto es debido a que la misma exige una mayor resistencia física por un mayor periodo; además del contacto físico que con lleva practicarla, las estadísticas de esta muestra las pueden observar en la siguiente gráfica:

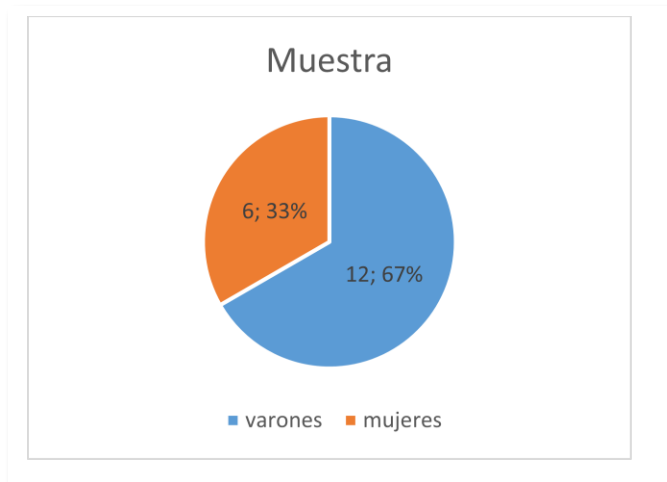


Ilustración 7 Muestra de pacientes según genero

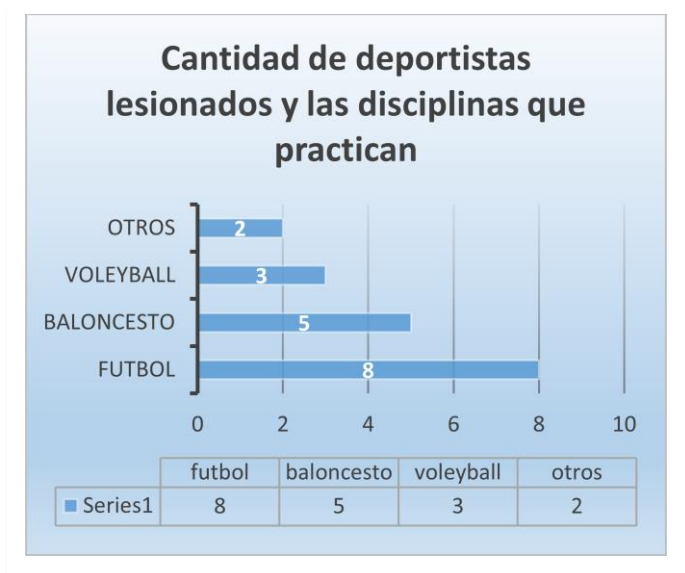


Ilustración 8 Muestra de pacientes según disciplina que practican

Así mismo, se determinó por las incidencias, que los miembros que sufren más lesiones son las extremidades inferiores: las piernas, seguidas por el tobillo y rodillas, y con menos frecuencia los miembros de las extremidades superiores: antebrazos y hombros. En la siguiente grafica se observa la distribución de los datos recabados.



Ilustración 9 Extremidades con mayor número de lesiones

8.1.7. Procesamiento del protocolo de uso actual del fisioterapeuta

Los dispositivos electrónicos de electroestimulación que se encuentran en uso actualmente en la clínica universitaria para el proceso de terapia de rehabilitación están conformados en si por seis interruptores de niveles los cuales permiten la selección de la terapia que se basa principalmente en la fuerza de la tensión eléctrica aplicada al musculo, es decir su intensidad y su frecuencia. El fisioterapeuta hace uso del dispositivo de la siguiente manera:

- Diagnosticar la lesión del paciente.
- Colocación del dispositivo en el miembro afectado.
- Enciende el dispositivo.
- Selección de la terapia o índice de tensión de trabajo a realizar.
- Después del tiempo que determine el fisioterapeuta para la realización de la terapia apagar el interruptor de selección de terapia.
- Apagar el dispositivo.

De igual modo se seguirá utilizando el dispositivo que se desarrollará.

8.2. Diseño del dispositivo a desarrollar

En esta sección se explicará los diversos procedimientos que se llevaran a cabo para el cumplimiento de los objetivos del diseño del prototipo que permitirá dar terapias de rehabilitación electromuscular en miembros superiores e inferiores a pacientes de la clínica universitaria del Departamento de Becas de la UNAN-Managua.

8.2.1. Generación de conceptos

El primer paso para dividir un problema grande en sub-problemas, conocido como descomposición, es representarlo como una caja negra con flujo de materia, energía y señales, donde lo primero está representado con líneas gruesas continuas, lo segundo con líneas delgadas continuas y lo último con líneas discontinuas. Para realizar el diagrama de caja negra se evaluó las entradas y salidas del sistema sin considerar los subprocesos que se debían realizar para cumplir la función de la rehabilitación de miembros superiores e inferiores en pacientes de la clínica universitaria.



Ilustración 10 Caja Negra del Diseño

Luego de trazar la caja negra, es preciso realizar una delineación más específica de las sub-funciones del sistema, esto demanda que se especifiquen los elementos que se deben implementar para desempeñar la función general del producto final. Para el diagrama de caja transparente se evaluó que sub-funciones eran requeridas para acoplar una terapia pasiva con una activa y poder contribuir una rehabilitación integral tanto del miembro superior como inferior. Para esto se

manipulan las entradas y salidas que se especificaron en el diagrama anterior, para la conexión entre las sub-funciones se siguieron las mismas convenciones de líneas utilizadas en la caja negra. Al final se obtuvo un diagrama con el cual se pueden evaluar las diferentes soluciones físicas necesarias para cada subproceso.

8.2.2. Morfología del sistema electrónico y de programación

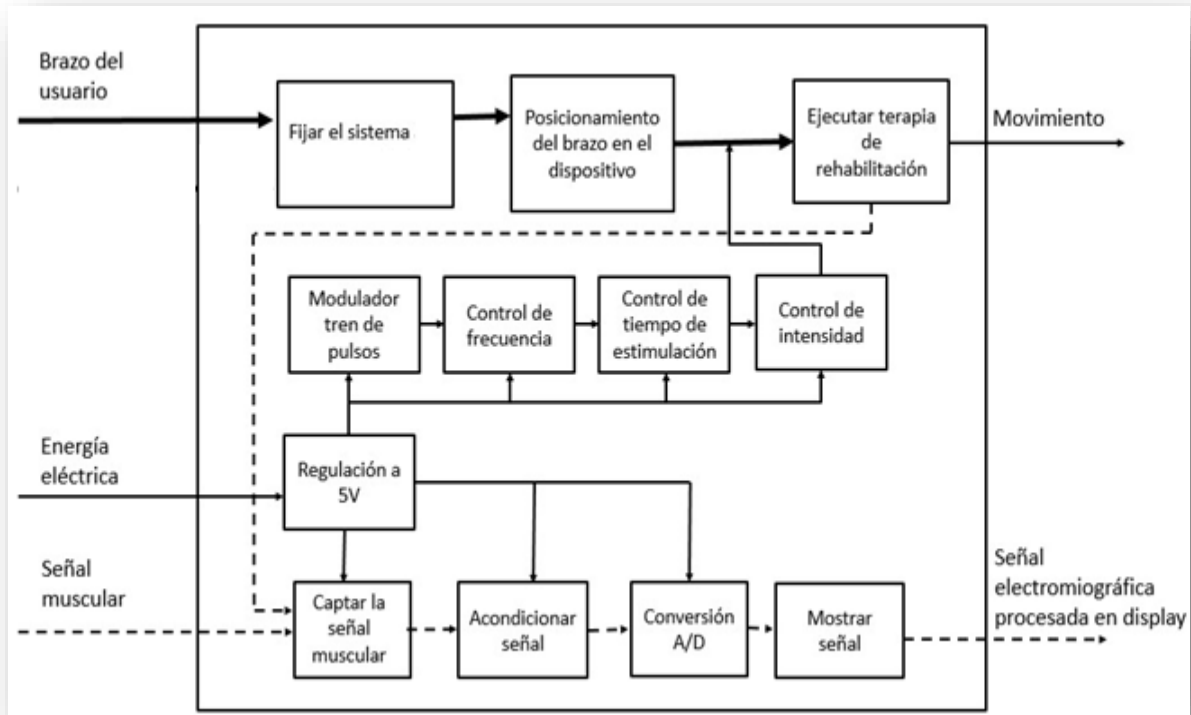


Ilustración 11 Caja Transparente del Diseño

La regulación del voltaje se hizo con un circuito integrado, de esa manera se garantiza de forma efectiva la entrega de voltaje en el tiempo, es fácil de implementar y es un elemento muy comercial. Para el envío de la señal se utilizarán electrodos de superficie, además pueden ser posicionados por cualquier persona si se tiene una guía adecuada, por otro lado, estos electrodos brindan mayor seguridad al paciente ya que tienen menos efectos secundarios que los electrodos de aguja dado que no son invasivos.

Para la preparación de la señal, filtrado y amplificación, se utilizará un circuito analógico dado que su uso es muy extendido en este tipo de dispositivos y se ha estudiado de manera amplia, conociendo así su marcha de forma acertada.

Para la conversión analógico-digital se utilizará un Raspberry Pi 4 Model b, este es útil, ya que es de bajo precio y posee mejores características de almacenaje, memoria y capacidad en comparación con las otras tres opciones comerciales, además tiene la resolución adecuada para lo que se está trabajando. Luego de realizar la conversión, el dispositivo mostrará el detalle de los datos recopilados en pantalla mediante un software previamente programado en su sistema operativo interno.

Para el circuito electroestimulador se utilizarán tres 555 configurados, dos de ellos como astables y otro de forma monoestable de esta forma se garantizará la administración de tiempo y frecuencia, además se utiliza un potenciómetro para regular la intensidad de la corriente que proporciona el transformador utilizado para lograr la contracción muscular, esto debido a que cada paciente es diferente y, por lo tanto, la intensidad debe ser diferente.

Los rangos de frecuencias para el tipo de rehabilitación a utilizar serán:

- 1-3Hz: Efecto relajante y por consiguiente reductor de la tensión muscular.
- 4-7 Hz: Aumenta la segregación de endorfinas y encefalinas, logrando disminución en el dolor y la ansiedad.
- 7Hz: Se consigue un aumento del flujo sanguíneo y una hiperoxigenación, Su aplicación es idónea para evitar calambres, reoxigenar tejidos, acelerar el retorno venoso, eliminar edemas y los metabolitos acumulados.
- 8-10 Hz: Efecto de capilarización, aumenta el flujo sanguíneo y reduce los niveles de cansancio, permite una restauración de los tejidos y un verdadero drenaje venoso.
- 10-33Hz: Activa las fibras lentas y mejora su resistencia a la fatiga, Recluta las fibras ST, lentas, (tipo I) y aumenta la resistencia de las mismas. Los electroestimuladores tienen este programa con el nombre de resistencia aeróbica, iniciación muscular, hipertono, amiotrofia, tonificación, remusculación o firmeza muscular.
- 33-50 Hz: Activa las fibras intermedias y logra el mayor aumento de resistencia a la fatiga, solicita fibras intermedias, concretamente las Ila. Logra el mayor

aumento de resistencia a la fatiga, es ideal para deportes de resistencia. En los electroestimuladores se encuentran estos programas con el nombre de fuerza-resistencia, musculación, anaeróbico o “bodybuilding”.

- 50-70 Hz: Activa las fibras intermedias aumentando la fuerza, la resistencia y la hipertrofia muscular, Se estimulan preferentemente las fibras intermedias tipo IIb, proporciona un aumento de la fuerza y de la resistencia localizada. En los electroestimuladores hallamos los términos, hipertrofia, “bodybuilding” o fuerza-resistencia.
- 75-120Hz: Activa las fibras rápidas a un nivel máximo mejorando la fuerza y la explosividad, Consigue una supratetanización de las fibras FT, rápidas, (tipo IIm). Las mejoras en fuerza y explosividad son mayores que las conseguidas con esfuerzos voluntarios y todo ello sin lesionar. Algunos electroestimuladores tienen programas con el nombre de fuerza, fuerza explosiva sprint o pliometría.

8.2.3. Diagrama del sistema de electroestimulación

Habitualmente las ráfagas de pulsos son de frecuencias variables, estas se generan por medio de un oscilador, que produce una frecuencia moduladora que controla el oscilador que produce el tren de pulsos, que a su vez está conectado con un tercer oscilador con el cual se puede variar el tiempo de contracción muscular, este tipo de terapia debe ser usado con precaución y no puede ser usado en personas con marcapasos, en mujeres embarazadas, con cáncer, con diabetes o epilepsia, con trombosis. (Instituto de Salud Publica Madrid Salud, 2015)

Para el proceso del prototipado del circuito se utilizó el software Altium Designer para diseñar y Proteus para simular cada etapa del circuito teniendo en cuenta los requerimientos necesarios para el buen funcionamiento del Electroestimulador como la frecuencia y la intensidad de corriente, además se hicieron los cálculos necesarios para obtener las frecuencias deseadas antes descritas.

Primeramente, se probará el circuito en una protoboard para garantizar el funcionamiento de todas las etapas del circuito y que se observe en el osciloscopio lo esperado en cada etapa, es decir, que luego de la segunda etapa (generación de

tren de pulsos) se observará una onda moduladora y un tren de pulsos controlada por esta. Luego de la etapa de control de tiempo en alto se debía observar un pulso que se activara en el flanco de bajada de la señal anterior. Además, se verificaron todas las especificaciones, que le frecuencia de la señal moduladora se encontrara entre 1 y 120 Hz, que el voltaje entregado rompa el umbral de resistencia de la piel, mantener una corriente no mayor a 120mA.

Posteriormente, se realizará el montaje del circuito en una baquelita diseñada acorde a la circuitería del sistema y se realizaron las pruebas necesarias para garantizar que el circuito final si cumpliera su función y observar los requerimientos del circuito.

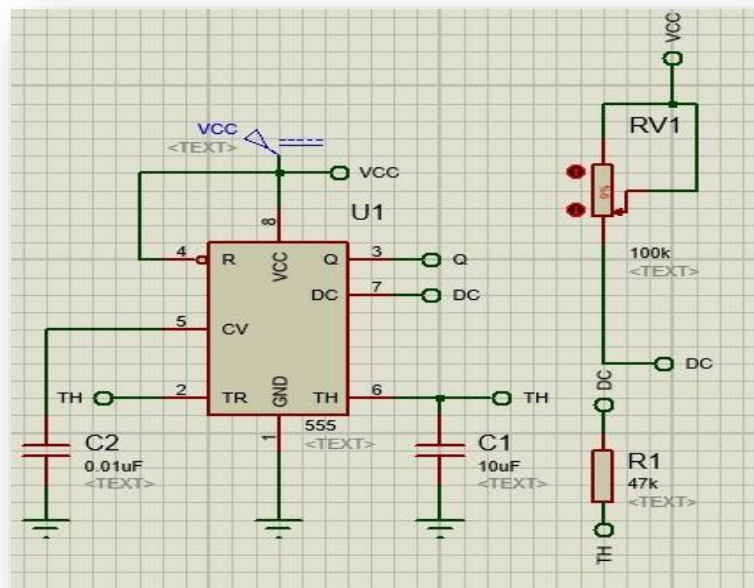


Ilustración 12 Circuito Generador de la Modulación

Se observa del diagrama que por medio de un potenciómetro se controlará la frecuencia de la señal moduladora de los pulsos que permite variar el tiempo en alto y por tanto la frecuencia.

Luego de tener la señal moduladora, se generan los trenes de pulsos para implementar la terapia deseada, esta señal controla que tantos pulsos serán enviados al músculo. Al igual que en la etapa anterior el número de pulsos durante

el tiempo en alto de la frecuencia moduladora puede ser graduado debido a que existe una resistencia variable para controlar estos pulsos.

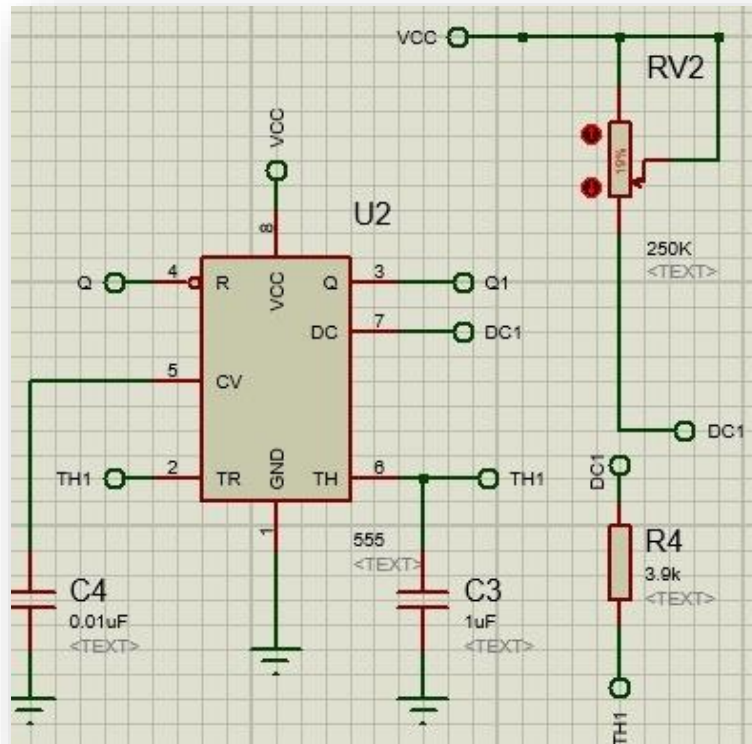


Ilustración 13 Circuito del Tren de Pulsos

Para llevar a cabo el control de tiempo en alto, proceso en el cual se controla cual será la duración del pulso enviado, para ello se configura un Timer 555 como monoestable. Este elemento se activa con el flanco de bajada de la etapa de generación de tren de pulsos. Esta etapa el control de tiempo en alto también se da debido al efecto de la variación de una resistencia por medio de un potenciómetro.

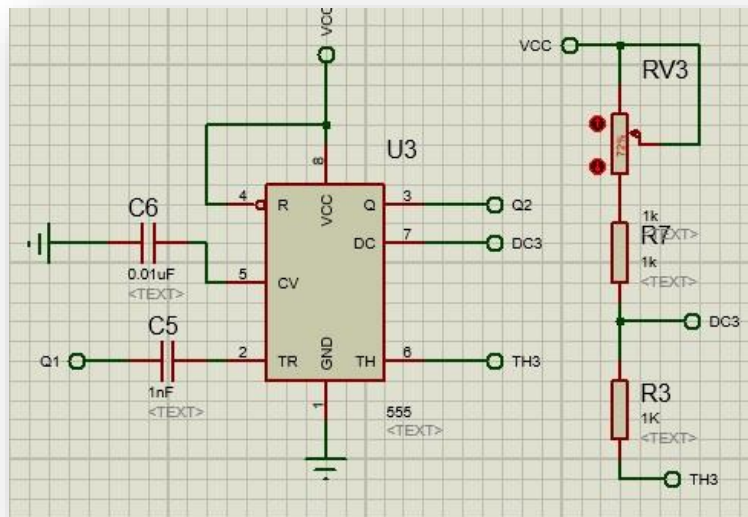


Ilustración 14 Circuito de Control de Tiempo en Alto

En esta última etapa por medio de un amplificador se controla el switcheo de la señal producida en las etapas anteriores.

Como consecuencia de que la señal generada en las etapas anteriores no tiene el suficiente voltaje para llevar a cabo la electroestimulación del musculo, se necesita del uso de un transformador capaz de entregar ese aumento considerable de la tensión de la señal. En este caso se conecta el secundario luego de la etapa de switcheo y el primario se conecta a la etapa de control de intensidad.

Como etapa de Salida final del sistema y debido a que no todos los pacientes soportan la misma intensidad de la señal generada en la rehabilitación, es necesario controlar la intensidad con la cual la señal llega al musculo, esto se hace por medio de un potenciómetro que permite al usuario graduarla dependiendo de sus necesidades. En esta etapa se conectan los electrodos en el área a ser tratada para la electroestimulación.

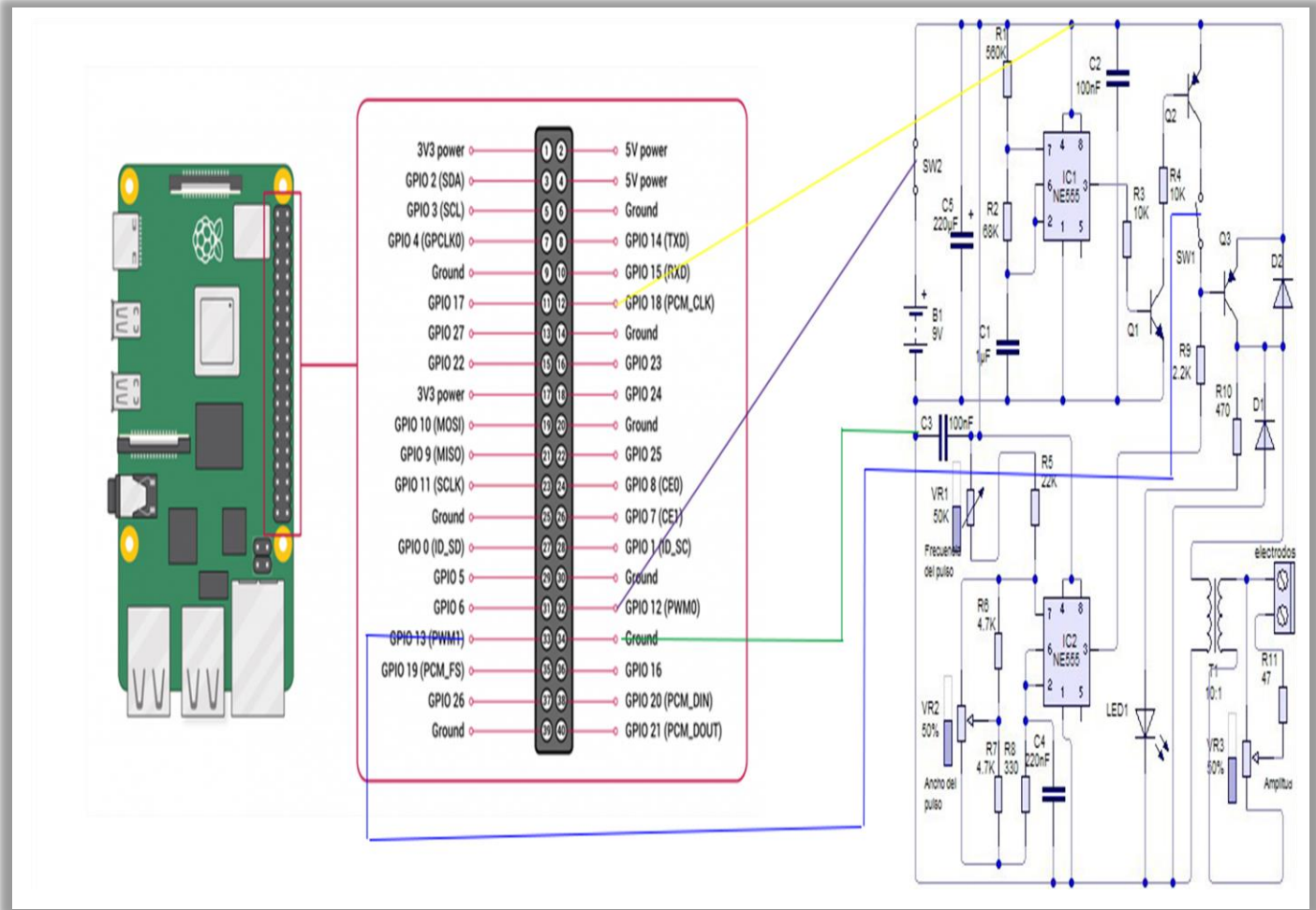


Ilustración 15 Interconexión del Circuito Electroestimador Muscular (Fuente Propia)

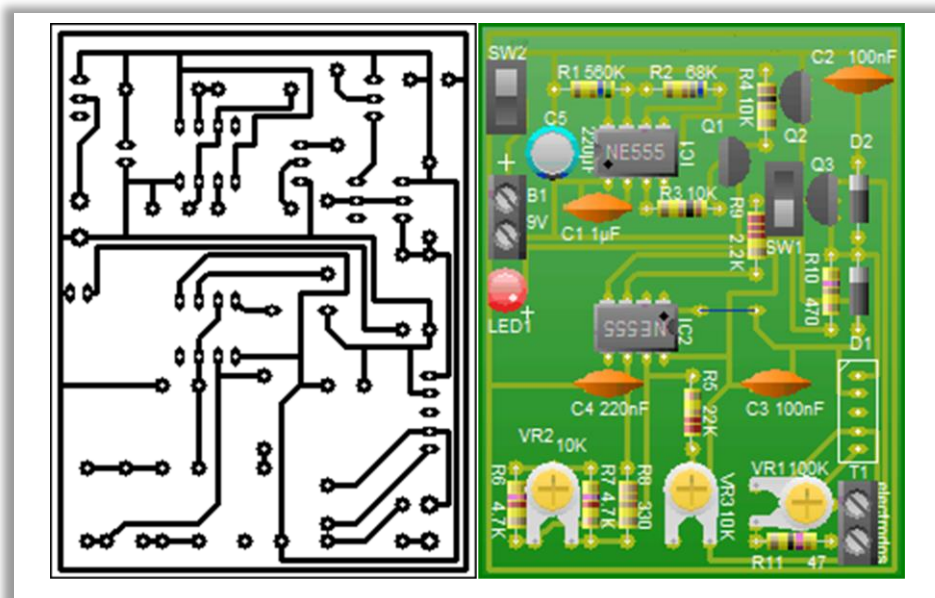


Ilustración 16 Impreso PCB circuito electroestimador (Fuente Propia)

8.2.4. Diagrama del sistema de gestión

En este segmento se detallarán los elementos que conformarán el sistema de gestión que harán posible la automatización del prototipo, el cual permitirá dar terapias de rehabilitación muscular en miembros superiores e inferiores a pacientes de la clínica universitaria del departamento de Becas de la Unan Managua como los son:

- Sistema operativo.
- Lenguaje de Programación.
- Diagrama de Flujo del sistema.

8.2.4.1. Sistema Operativo

Raspberry Pi OS (anteriormente llamado Raspbian) es una distribución del sistema operativo GNU/Linux basado en Debian, y por lo tanto software libre, utilizada como sistema operativo para la SBC Raspberry Pi, orientado a la enseñanza de informática. El lanzamiento inicial fue en junio de 2012. Existen varias versiones de Raspbian, siendo la actual Raspbian Buster.

Raspbian fue creado por Mike Thompson y Peter Green como un proyecto independiente. El lanzamiento inicial fue en junio de 2012. El sistema operativo aún está en desarrollo activo. Raspbian está altamente optimizado para la Raspberry Pi.

Técnicamente el sistema operativo es un port no oficial de Debian armhf para el procesador (CPU) de Raspberry Pi, con soporte optimizado para cálculos en coma flotante por hardware, lo que permite dar más rendimiento en según qué casos. El port fue necesario al no haber versión Debian armhf para la CPU ARMv6 que contiene el Raspberry Pi3 y posteriormente su 4ta. revisión.

8.2.4.2. Lenguaje de programación

La Raspberry Pi cuenta con varios elementos que son muy importantes en esta labor, uno de ellos es Scratch, es lenguaje de programación sumamente amigable, ideal para las personas que se inician en la programación.

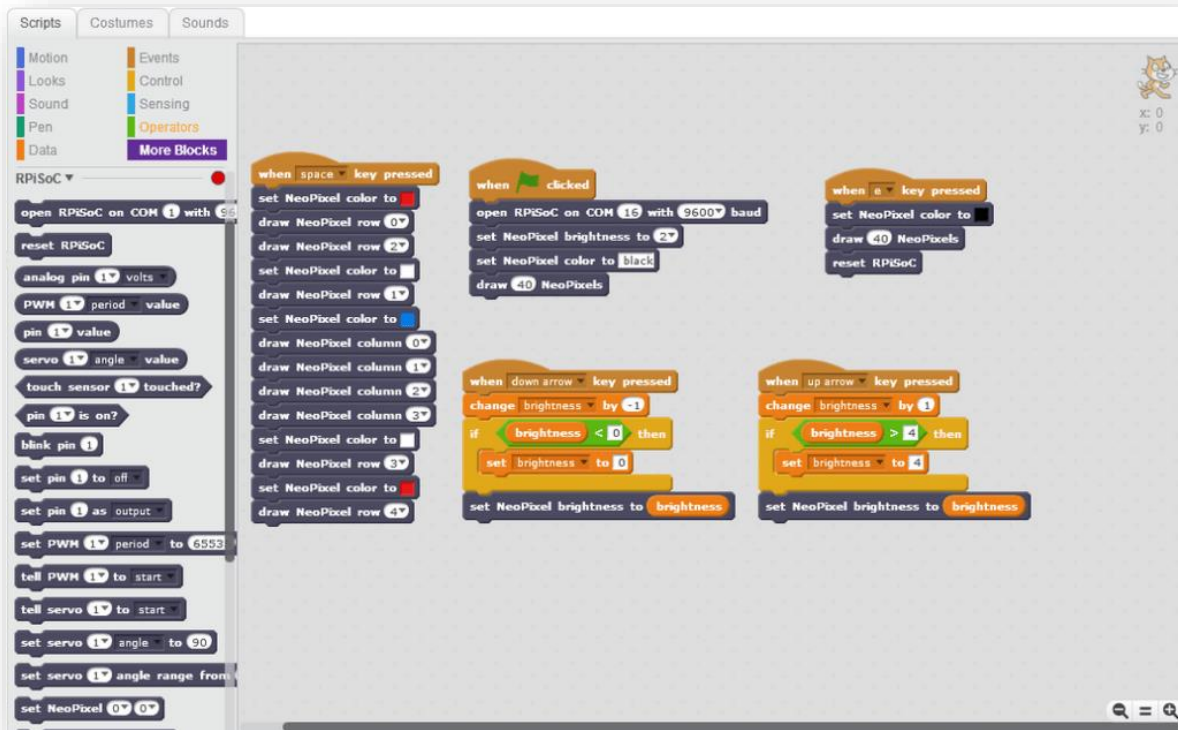


Ilustración 17 Diagrama de Programación SCRATCH

Con scratch puedes controlar motores, luces, cámaras, sensores táctiles y más, todo a través del GPIO.

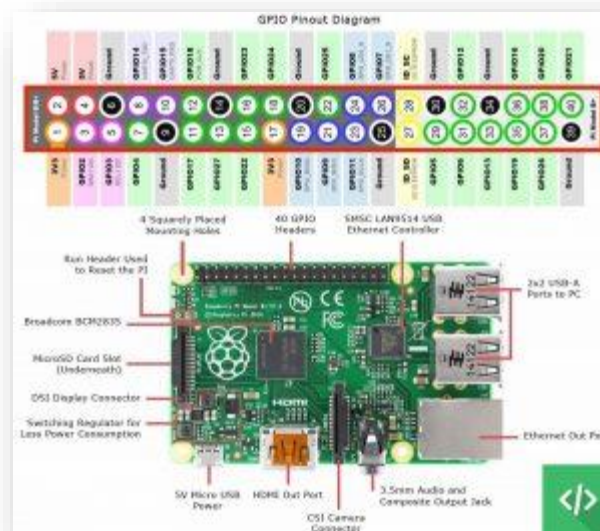


Ilustración 18 Sistema GPIO Raspberry PI 4

8.2.4.3. Diagrama de flujo del sistema

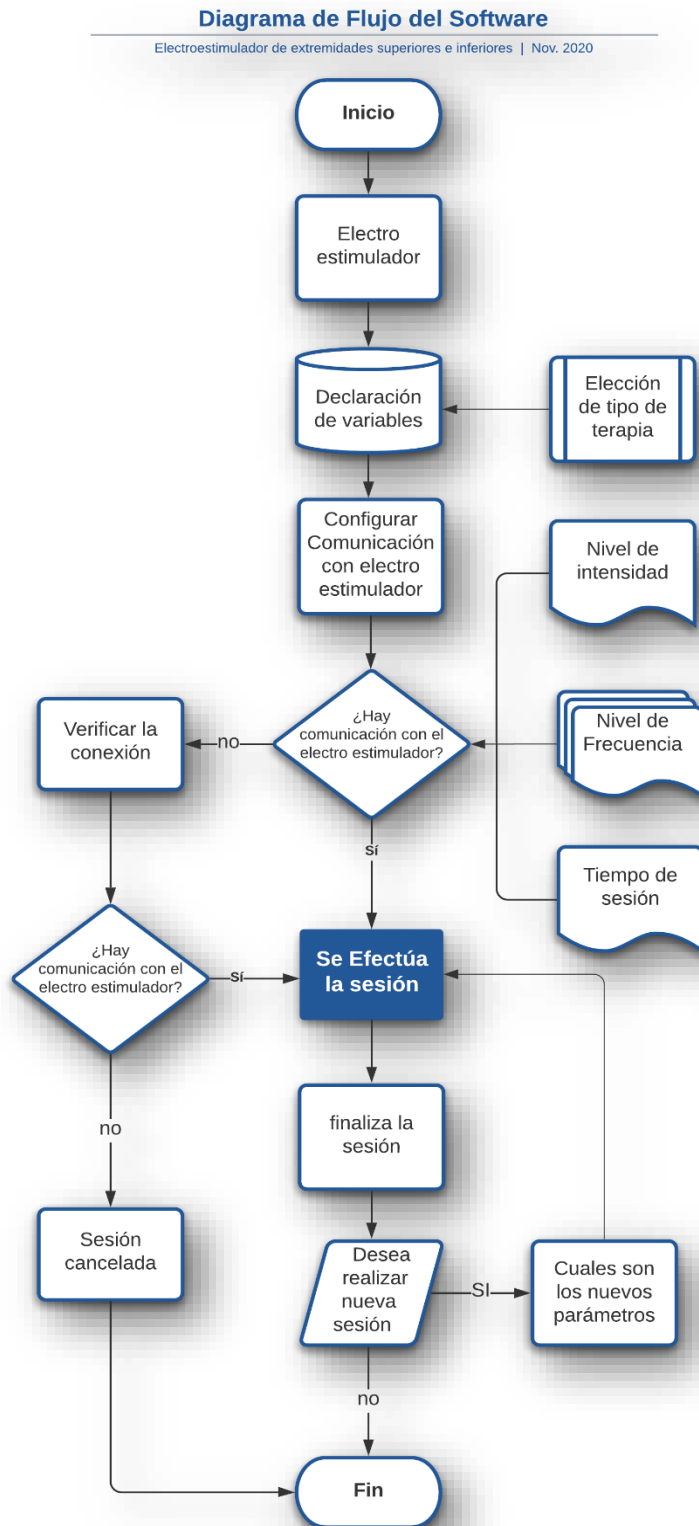


Ilustración 19 Diagrama de flujo del Software

Se Puede visualizar en el diagrama de flujo previo, que el sistema cuenta con sub rutinas predefinidas y un ciclo loop de espera por si el usuario desea continuar con una nueva sesión, en síntesis, el sistema y su rutina de ejecución se pueden definir como:

- El Usuario enciende el sistema.
- Se inicia el Electroestimulador.
- Se selecciona el tipo de terapia
- Se configura la comunicación que se utilizara con el dispositivo
- Si el dispositivo se comunica correctamente con el operador, entonces este le solicita el nivel de intensidad, nivel de frecuencia y tiempo de la sesión.
- Se procede a llevar a cabo la terapia.
- En caso de no haber comunicación con el dispositivo, se deberá verificar la conexión, si esta no se establece, se cancela la sesión.
- Posterior a finalizada la sesión, se hace una consulta si desea continuar con una nueva sesión, en caso de ser afirmativo, se procede a establecer los nuevos parámetros de la nueva sesión, en caso de ser negativo se apaga el sistema.

8.2.5. Presupuesto

En esta sección se hará un análisis de los costos parciales y totales de los costos que se incurren en la creación del presente dispositivo, se tomará en cuenta tanto el costo en el diseño, materiales, y de control para su adecuada implementación.

El material electrónico que se utilizara es fabricado por diferentes casas comerciales por lo que su precio y disponibilidad puede ser modificado en dependencia del distribuidor o del lugar del envío en caso de hacer las compras vía internet, que ha sido el modo de adquisición de la mayoría de los componentes en el presente caso.

En la siguiente tabla se observan los costos de los principales componentes que se utilizarán para la elaboración del dispositivo:

Presupuesto de Creación del Dispositivo		
Materiales	Unidad	Costo Global USD\$
Raspberry Pi 4 b	1	60
LM555	3	24
Transformador Reciclado	1	8
Electrodos Adhesivos	4	20
Capacitores	6	7
Diodos	6	7
Resistencias	9	8
Potenciómetro	3	3
Switch	2	1.50
Encapsulado Raspberry		5
Cable de transmisión	4	4
Presupuesto de elaboración del Dispositivo		
Encapsulado del circuito		5
Mano de Obra		30
Total USD\$		182.50

Tabla 4 Presupuesto de Creación del Dispositivo

El precio total calculado de la creación del dispositivo es de USD\$182.50, este presupuesto es para la realización de un prototipo de sistema de rehabilitación activa mediante electroestimulación muscular para extremidades superiores e inferiores, que consta de 2 ramificaciones transmisoras.

Es un prototipo por lo que en la realización puede haber variantes en el uso de algunos materiales lo que necesitaría un estudio de mercado y un nuevo presupuesto que se adapte a esas nuevas condiciones.

IX. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se presentó el desarrollo de un sistema de electroestimulación muscular que permite tener terapias de rehabilitación más eficientes y de mejor calidad, a pacientes con lesiones en miembros superiores e inferiores que son atendidos en la clínica universitaria del departamento de becas de la UNAN-Managua. Se realizó un diagnóstico de las condiciones preexistentes in-situ, lo que nos permitió recopilar datos acerca de las principales necesidades desde el punto de vista del paciente y así como también del fisioterapeuta.

Gracias a la investigación se pudieron determinar diversos parámetros tanto en el aspecto médico como electrónico para la creación del diseño electrónico y los parámetros de funcionalidad del dispositivo. Se diseñó un sistema que es compacto y portátil, que permite movilidad espacial sin perjuicio de ninguno de los que intervienen en la rehabilitación, así mismo se incorporó al sistema un módulo que le permite ser manipulado a distancia para ampliar la movilidad y la funcionalidad del sistema.

El sistema final permite la rehabilitación activa, adicionalmente posee un subsistema de EMG, que permite monitorear el avance del paciente y como se realiza la actividad de rehabilitación activa, es un sistema innovador que integra diferentes técnicas existentes en un solo dispositivo.

Es importante resaltar que las necesidades planteadas fueron cumplidas con el dispositivo, contrastándose con los objetivos que se han propuesto, además para complementar y hacer más robusto el presente trabajo se realizaron los manuales de usuario final tanto del paciente y clínica, y una app que controla el sistema desde cualquier Smartphone moderno con sistema Android 7+.

Es posible concluir que el sistema tiene posibilidades de ser un producto comercial, pues cumple con las necesidades de los pacientes, pero, además, desde este proyecto se ofrecen los manuales requeridos por la ley que permiten tener un conocimiento de la instalación, los mantenimientos del dispositivo y el funcionamiento correcto de este.

X. RECOMENDACIONES

1. En el proceso del esquema electrónico del prototipo se tomó como función del dispositivo la electroestimulación, pero para futuras mejoras se pueden anexar nuevas funciones como los pueden ser las vibraciones sónicas o eco estimulaciones que permitirán una rápida rehabilitación al paciente y de igual manera se puede hacer uso de sensores de mayor alcance, estos para crear una interfaz gráfica más detallada, que le permitan al fisioterapeuta ver de una manera más dinámica los avances que ha tenido el paciente.
2. En futuros proyectos y como una continuidad al presente, es posible desarrollar diferentes técnicas de rehabilitación que se puedan intercambiar, como, por ejemplo, usar el thera-band y en cuanto a la electroestimulación, pueden proponerse más tipos de onda como por ejemplo triangulares, que permitan diferentes tipos de rehabilitación, además variaciones mayores. También es posible pensar en más canales de electroestimulación para que la terapia sea más integral.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Escortell Mayora, E., Lebrijo Pérezb, G., Pérez Martínc, Y., Asúnsolo del Barcod, Á., Riesgo Fuertese, R., & Saa Requejo, C. (26 de Noviembre de 2007). Randomized clinical trial for primary care patients with neck pain: manual therapy versus electrical stimulation. *Randomized clinical trial for primary care patients with neck pain: manual therapy versus electrical stimulation*. Madrid, España. Recuperado el 20 de Septiembre de 2020, de <https://core.ac.uk/download/pdf/82451067.pdf>
- Espinoza Hernández., Y. M., & Carranza Valle, F. P. (06 de Mayo de 2019). Dispositivo de rehabilitación muscular en miembros inferiores para pacientes. *Dispositivo de rehabilitación muscular en miembros inferiores para pacientes*. Managua, Nicaragua. Recuperado el 28 de Septiembre de 2020, de <https://repositorio.unan.edu.ni/10645/1/99839.pdf>
- Instituto de Salud Publica Madrid Salud. (Julio de 2015). *Electroestimulación y sus efectos en la salud*. Recuperado el 14 de Octubre de 2020, de Madrid Salud: <https://www.scribd.com/document/315720050/Tecnicas-de-Electroestimulacion>
- Johnson, M. I. (2001). *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) and TENS-like devices: do they provide pain relief?*. *Pain Reviews*. Faculty of Health and Environment, Leeds Metropolitan University, Pain Reviews 2001. School of Health Sciences. doi:<http://dx.doi.org/10.1191/0968130201pr182ra>
- Melzack, R., & D. Wall, P. (19 de Noviembre de 1965). Pain Mechanisms: A New Theory. *SCIENCE*, 150(3699), 971-979. doi:10.1126/science.150.3699.971

ANEXOS



Ilustración 20 Instalaciones de la clínica universitaria (Sala de Espera)



Ilustración 21 Equipo de electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).



Ilustración 22 Equipo de electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).



Ilustración 23 Equipo de electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).



Ilustración 24 Equipo de electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).



Ilustración 25 Electrodo para electroestimulación (condición presente en la clínica antes del proyecto).

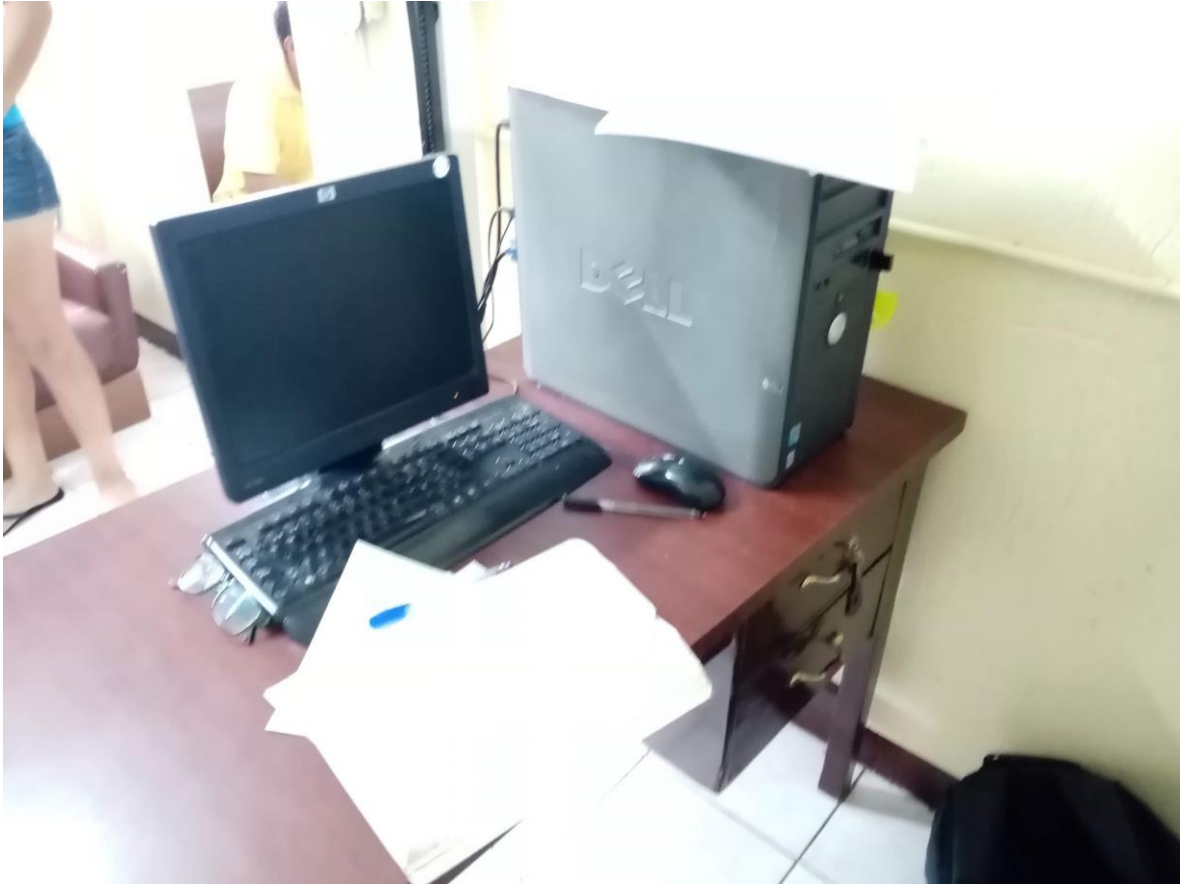


Ilustración 26 Ordenador de Sobre Mesa de la clínica universitaria



Ilustración 27 Dispositivo para terapia Ultrasónica (dañado)



Ilustración 28 Repetidor para conexión a internet por radio enlace en la clínica universitaria

Entrevista

“Clínica Universitaria del Departamento de Becas UNAN-Managua”.

Nombre: _____ **Cargo:** _____

Preguntas:

1. ¿Qué tipo de terapias para miembros superiores e inferiores se tienen actualmente en la Clínica?

2. ¿Qué herramientas utilizan para dar fisioterapia para miembros superiores e inferiores?

3. ¿Existen equipos que permitan dar terapias de manera remota en la Clínica Universitaria?

4. ¿Qué cantidad de pacientes aproximadamente se atienden en la clínica?

5. ¿Un equipo que permita dar terapias de forma remota que beneficios podría traer a la clínica?

6. ¿Cuáles son las patologías más frecuentes en el área de fisioterapia?

7. ¿Quiénes son los más afectados con estas patologías?

8. ¿Entre que edades se encuentran estos pacientes?

9. ¿Cuánto tiempo tarda un paciente en completar su rehabilitación según su patología?

10. ¿Qué tipo de métodos o técnicas se utilizan en la rehabilitación de pacientes en la clínica?

Encuesta

Nombre: _____ **Edad:** _____

¿Cuál es su género?

Femenino

Masculino

¿Qué deporte prácticas?

Futbol

Baloncesto

Vóleibol

Otros

¿Cuántas veces sueles lesionarte por temporada?

Ninguna

Entre 1 y 4

Entre 5 y 9

Más de 9

¿Qué miembros es que más se ha lesionado?

Piernas

Rodillas

Tobillo

Brazos

Otro

¿Considera que los métodos de rehabilitación brindado en la clínica son 100% efectivos?

Si

No

Talvez

¿Cree usted que es útil el desarrollo de un dispositivo para rehabilitación en miembros superiores e inferiores que se pueda controlar de forma remota?

Si

No

Talvez

¿Cuántos días a la semana recibe terapia?

1 vez a la semana

2 veces a la semana

3 veces a la semana

4 veces a la semana

5 veces a la semana

+ 5 veces a la semana

¿Considera que la clínica cuenta con los dispositivos necesarios para realizar todas las terapias?

Si

No

¿Considera que la clínica necesita un dispositivo para realizar terapias que sea alimentado por corriente convencional A/C?

Si

No

SISTEMA DE REHABILITACIÓN ACTIVA



**POR ELECTROESTIMULACIÓN
PARA MIEMBROS SUPERIORES
E INFERIORES**

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

INFORMACIÓN DE SEGURIDAD:

Los signos mostrados a continuación pueden ser usados en el manual de usuario o mantenimiento. Son requisito de la norma y uso. .

	Símbolo para "El manual de usuario debe ser leído"		Símbolo para "Tipo BF"
	Símbolo para "Cumple con los requisitos de la MDD 93/42/EEC"		Símbolo para "Protección ambiental los productos de desecho eléctricos no deben desecharse con la basura doméstica. Por favor, recicle en las instalaciones correspondientes. Consulte con su autoridad local o distribuidor acerca del reciclaje"
	Símbolo para "Fabricante"		Símbolo para "Representante Autorizado en la Unión Europea"
	Símbolo para "Número de Serie"		Solo para uso en interiores
	Símbolo para "Corriente Directa"		Símbolo para "Equipo Clase II"
	TIA/250 V Ø3.6*10CCC		
	Precaución: Estas notas deben ser observadas para prevenir cualquier daño al dispositivo		



ESTE DISPOSITIVO ESTÁ CONTRAINDICADO PARA CUALQUIER PERSONA QUE USE MARCAPASOS, TENGA CÁNCER O LO SOSPECHE, CON DIABETES, EPILEPSIA O CON TROMBOSIS.

- Precaución:

- Este dispositivo está diseñado solo para el uso en adultos.
- Este dispositivo está destinado para la medición y monitoreo de la activación muscular de manera no invasiva y para la rehabilitación en el miembros superiores e inferiores.
- No está destinado para uso en extremidades diferentes al brazo y pierna o para otras funciones distintas de la obtención de la medición de la activación muscular y rehabilitación de esta extremidad.
- El uso de este dispositivo debe estar supervisado por un especialista y no debe usarse sin antes consultar a un profesional.
- Para evitar errores de medición, por favor, evitar lugares radiados con campos electromagnético fuertes, señal de interferencia o señales eléctricas rápidas transitorias / ráfaga.
- El usuario debe comprobar que el equipo funcione de manera segura y ver que está en condiciones de funcionamiento adecuado antes de ser utilizado.
- Este dispositivo está contraindicado para cualquier mujer que tenga sospecha o esté embarazada ya que, los efectos de este dispositivo en el feto son desconocidos.
- Utilice el dispositivo en el entorno que se proporciona en el manual del usuario. De otra manera, el rendimiento y la vida útil del dispositivo se verán afectados.
- Por favor, utilice los accesorios y piezas desmontables especificados y autorizadas por el fabricante. De lo contrario, puede ocasionar daños al dispositivo o peligro para los usuarios.
- Por favor, deseche los accesorios, piezas desmontables y el dispositivo médico de acuerdo a la normatividad local.
- No abra o repare el equipo por sí mismo.
- Por favor use un paño suave para limpiar la unidad entera. No utilice limpiadores abrasivos o volátiles.

INFORMACIÓN DE SEGURIDAD:

Los signos mostrados a continuación pueden ser usados en el manual de usuario o mantenimiento. Son requisito de la norma y uso. .

	Símbolo para "El manual de usuario debe ser leído"		Símbolo para "Tipo BF"
	Símbolo para "Cumple con los requisitos de la MDD 93/42/EEC"		Símbolo para "Protección ambiental los productos de desecho eléctricos no deben desecharse con la basura doméstica. Por favor, recicle en las instalaciones correspondientes. Consulte con su autoridad local o distribuidor acerca del reciclaje"
	Símbolo para "Fabricante"		
	Símbolo para "Número de Serie"		Símbolo para "Representante Autorizado en la Unión Europea"
	Símbolo para "Corriente Directa"		Solo para uso en interiores
	Símbolo para "Fecha de Fabricación"		Símbolo para "Equipo Clase II"
	TIA/250 V Ø3.6*10CCC		
	Precaución: Estas notas deben ser observadas para prevenir cualquier daño al dispositivo		



- Lea las instrucciones cuidadosamente antes de usar el producto.
- Nunca ponga el dispositivo en contacto con líquido, asegúrese que ninguna clase de líquido penetre en su estructura.
- Debido a que el dispositivo no es utilizado en procedimientos quirúrgicos es suficiente desinfectar sus superficies con alcohol luego de ser utilizado, teniendo en cuenta que solo se deben limpiar las partes que no sean electrónicas.
- No use el dispositivo cerca de dispositivos de alta frecuencia pues puede generar errores en la señal electromiográfica.
- Asegúrese de seguir las instrucciones del profesional para ajustar los electrodos.
- Se deben usar electrodos desechables adecuados para la electromiografía de superficie y para la electroestimulación.
- No desensamble la parte electrónica.
- No modifique el dispositivo.
- Nunca conecte el dispositivo a una batería diferente a la recomendada.
- Antes de usar el dispositivo con cualquier paciente asegúrese que este esté limpio en los sitios recomendados.
- No exponga el dispositivo a altas temperaturas o a humedad excesiva.

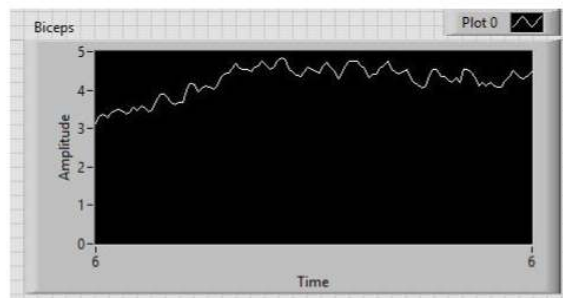
INFORMACIÓN DE INICIO EN PANTALLA:

La pantalla de inicio del sistema



- Precaución:

- Este dispositivo está diseñado para ser utilizado únicamente mediante su interfaz, el fisioterapeuta le indicara su usuario y contraseña para iniciar su sesión.
- Este dispositivo es alimentado mediante corriente interna del sistema, la cual es aplicada cuando se arranca el dispositivo, favor no manipular sus componentes sin protección, puede causar descarga eléctrica.



- Principio de Medición:

El sistema de monitoreo está compuesto por sensores que miden biopotenciales y que por lo tanto pueden detectar la señal de EMG, para esto se realizó una fase de procesamiento análogo por medio de amplificadores operacionales, para observar la señal en el computador se utilizó Raspberry para la conversión análogo/digital y luego se transmitió por un módulo de acople a la máquina, además se utilizó el software CAYENNE para visualizar la señal a través de internet.

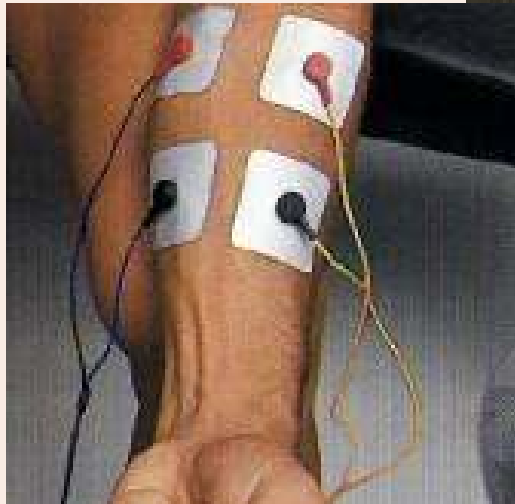
- Principio de electroestimulación:

El sistema de electroestimulación está compuesto por componentes electrónicos que permite graduar la frecuencia, el número de pulsos, el tiempo de cada pulso y la intensidad de los pulsos que será usado para electroestimular al paciente, cada etapa del circuito permite realizar una de las graduaciones mencionadas anteriormente.

- Modo de uso:

El dispositivo es un elemento de estimulación por pulsos con carga graduable para rehabilitación de los miembros superiores e inferiores en pacientes que se encuentran en la clínica universitaria del departamento de becas de la UNAN-Managua, además cuenta con un sistema de monitoreo por medio de electromiografía que permite al fisioterapeuta conocer cómo se está realizando la rehabilitación.

APLICACIÓN



El equipo genera tres tipos de corrientes (Cada una de ellas se usa para distintas finalidades)

CORRIENTE nº 1: Estimulación muscular

Corriente eléctrica usada como terapia para tonificar y rehabilitar el musculo golpeado.

Aplicación:

- El regulador de frecuencia tiene que estar ubicado en posición nº 4 o 5
- El regulador de intensidad/potencia de cada canal tiene que ir subiendo hasta sentir el paso de corriente o ver la contracción del musculo.
- Recomendación: Comenzar con sesiones de 25 minutos y no superar los 40 minutos.

CORRIENTE nº 2: Electro-analgésia

Aplicación de corriente eléctrica para calmar el dolor.

Aplicación:

- El regulador de frecuencia tiene que estar ubicado en nº 8
- El regulador de intensidad/potencia de cada canal tiene que ir subiendo hasta sentir la sensación de hormigueo.
- Recomendación: No realizar sesiones menores a 15 minutos.

CORRIENTE nº 3: Iontoforesis

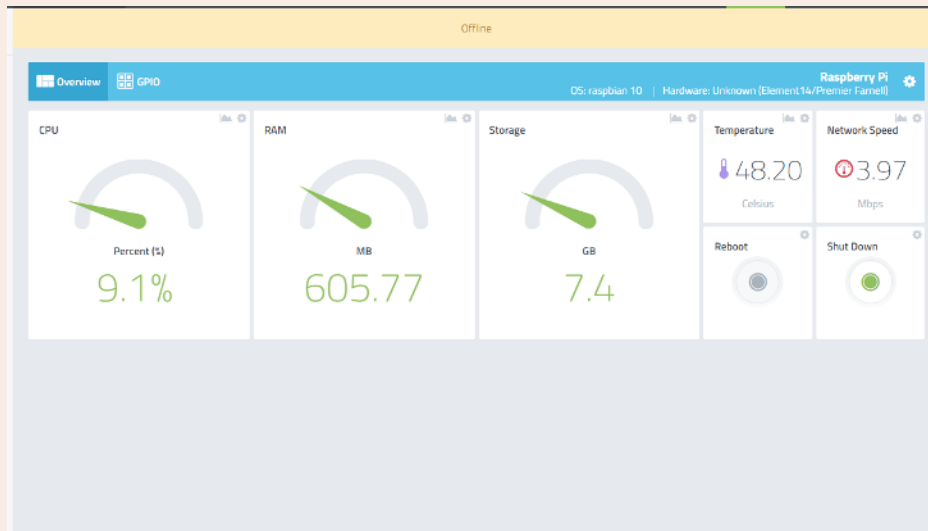
La iontoforesis consiste en introducir determinadas sustancias químicas medicamentosas, con la finalidad de ejercer una actuación de este fármaco en forma localizada.

Los iones conducidos por la corriente eléctrica penetran en los tejidos mas profundos y se distribuyen ampliamente a través de una extensa red de vasos sanguíneos y linfáticos localizados por debajo de la capa cornea de la epidermis. (Corriente galvánica)

Recomendación: Ubicar la perilla en posición de iontoforesis; la frecuencia no superior a 3 o 4 y empezar con polaridad normal. Y la potencia de cada canal no deberá superar la posición nº 5.

Para adiposidades localizadas, celulitis en grandes masas musculares:

Una vez aplicada la solución colocar los electrodos durante 10 minutos, bajar la intensidad del canal para no sentir una mala sensación y luego invertir la polaridad durante 6 minutos.



- Paso nº 1 - Verificamos que el aparato esté apagado y las perillas de intensidad en posición mínima.
- Paso nº 2- Enchufar el cable de alimentación a un toma corriente (110-120 Volt AC).
- Paso nº 3- Luego procedemos a la fijación de los electrodos en la zona a tratar.

□ Tener en cuenta que este aparato consta de cuatro canales corporales, es decir se pueden tratar 4 zonas distintas a la vez, con una intensidad regulable independientemente.

□ Es de suma importancia la correcta colocación de los electrodos, siempre utilizar como medio conductor.

- Hidrogel (neutro), aplicado al electrodo en contacto con la piel.
- Valerina bien húmeda aplicada entre el electrodo y la piel.
- Discos de algodón húmedos aplicados entre el electrodo y la piel.

Estas precauciones van a generar que se consiga una mejor contracción.

Paso nº 4- Una vez efectuado los dos pasos anteriores, se procede al encendido del equipo mediante la llave principal ubicada en la parte posterior del equipo.

Paso nº 5: Seleccionar el tiempo de sesión. (Timer)

Paso nº 6- Preparado el equipo se debe seleccionar la frecuencia deseada y empezar de a poco a regular la potencia de salida de cada canal de acuerdo a la zona donde esté ubicado y hasta lograr la contracción deseada, sin que llegue a producir molestias al paciente.

Utilidades y ubicación de los electrodos

- Donde se ubican los electrodos se genera una respuesta por arco reflejo que provoca perfectos movimientos de diversos paquetes musculares.
- Entre uno y otro electrodo debe haber una distancia no mínima a 2 centímetros.



Vida útil de los electrodos

- Los electrodos son consumibles, ya que el proceso que envuelve la electroterapia es básicamente un proceso electroquímico, donde una corriente eléctrica (la que suministra el equipo) genera por intermedio de los electrodos una corriente de iones dentro del cuerpo humano. Durante las sucesivas sesiones y a lo largo del tiempo se irá formando una película sobre la superficie de los electrodos que hará que estos dejen de conducir electricidad, y deberán ser remplazados por nuevos.

Especificaciones técnicas

- Cantidad de canales: cuatro corporales.
- Electrodos: Goma sintética conductora biocompatible.
- Gabinete: Construido con alto impacto de alta resistencia.
- Temperatura de funcionamiento: 0 a 30 grados Celsius.

Cuidado y limpieza del equipo

- Limpiar la carcasa del equipo con un paño humedecido en agua, evitando así el depósito de polvo y otros agentes atmosféricos.
- Tener en cuenta que este equipo no es apto para el uso en presencia de atmosferas explosivas o mezcla inflamable de anestésicos con aire o con oxígeno u óxido de nitrógeno.
- No utilizar productos de limpieza corrosivos ni oleosos tales como aguarrás.

Tener en cuenta que los electrodos son consumibles y tienen una vida útil determinada, para aprovechar al máximo dichos electrodos, se recomienda:

- Una vez terminada la sesión de terapia y antes de comenzar otra, limpie los electrodos utilizados con alcohol para eliminar cualquier resto de gel, cremas, etc. Usadas durante el trabajo.
- Cuando no vaya a usarlos guárdelos limpios y secos.
- Para mejorar la conducción siempre utilice hidrogel (gel conductor a base de agua).
- Alternativamente al punto anterior puede usar un paño humedecido en agua corriente, agua con sal o solución fisiológica (no utilice agua destilada ya que es una pobre conductora de electricidad), entre electrodo y paciente.
- Tenga en cuenta que la excesiva grasa de la piel, algunas cremas o fangos de belleza, etc. Pueden disminuir la conducción de electricidad, por lo que la zona de la piel donde se apliquen los electrodos debe estar limpia.