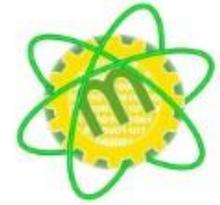




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



TEMA: “DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE BANDA REHABILITADORA QUE UTILICE TERAPIA VIBRATORIA COMO TRATAMIENTO PARA PACIENTES CON ESCLEROSIS MÚLTIPLE VALIDADO POR UN ESPECIALISTA”

AUTOR:

- PUCUJI PANCHI, DARWIN ISMAEL

DIRECTOR:

ING. MENDOZA
CHIPANTASI, DARÍO JOSÉ



CONTENIDO

Resumen

Objetivos

Diseño del sistema de adquisición de datos de la actividad muscular

Diseño de los motores vibradores

Diseño de la aplicación

Pruebas y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

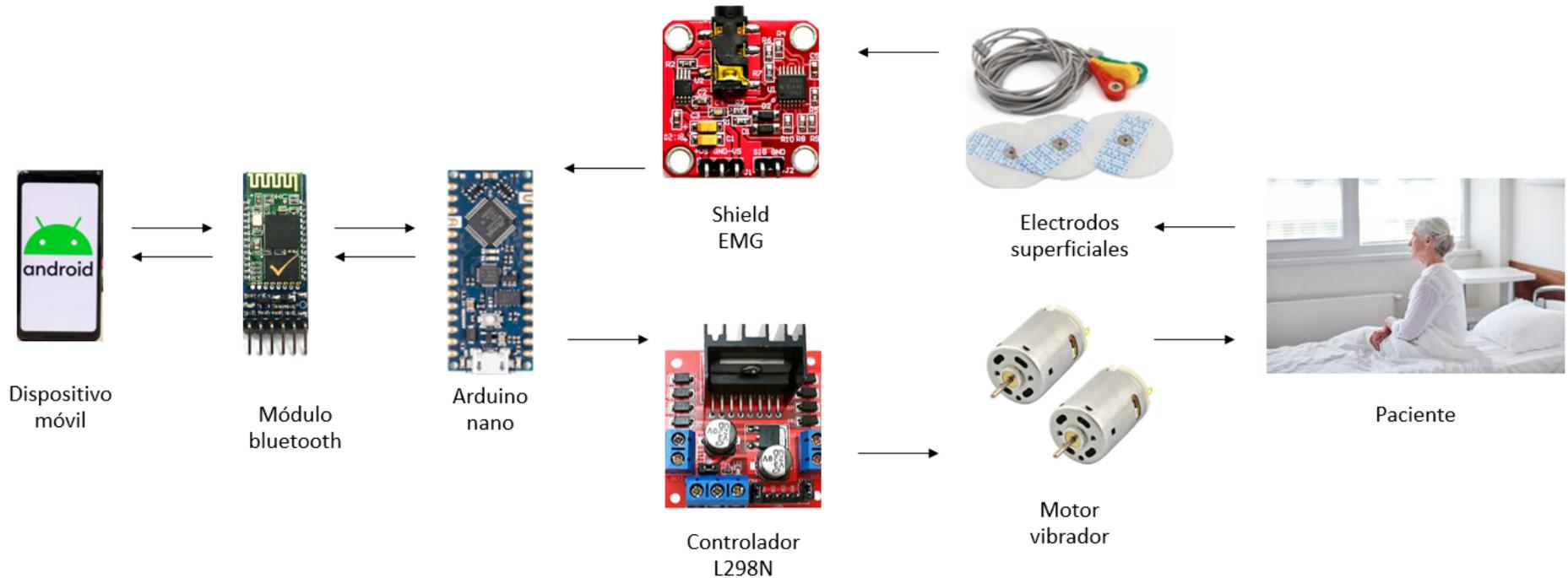
RESUMEN



En el presente trabajo se realizó el diseño y desarrollo de un prototipo de banda rehabilitadora con aplicación de terapia como tratamiento para pacientes con esclerosis múltiple. Este proyecto incluyó un sistema de adquisición de datos de actividad muscular, un sistema de actuación de tipo vibratorio a través de motores y una aplicación móvil que controla el funcionamiento íntegro de toda la banda rehabilitadora.



Esquema general del proyecto



OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar y desarrollar un prototipo de banda rehabilitadora que utilice terapia vibratoria como tratamiento para pacientes con esclerosis múltiple validado por un especialista.

Objetivo Específicos

- Investigar las últimas tecnologías que emplean terapia vibratoria en el tratamiento de los síntomas provocados por la esclerosis múltiple
- Establecer los diversos módulos que conformarán la banda rehabilitadora.
- Diseñar el sistema electrónico que conformará la banda rehabilitadora.



Objetivo Específicos

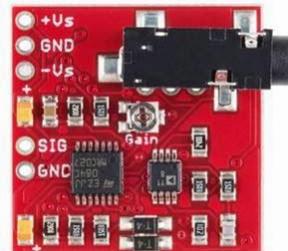
- Diseñar el algoritmo de control que empleará la banda rehabilitadora.
- Diseñar el aplicativo móvil de la banda rehabilitadora.
- Implementar el sistema mecatrónico compuesto de cada módulo desarrollado.
- Probar y valorar el equipo por parte de un especialista
- Validar la hipótesis planteada



Diseño del sistema de adquisición de datos de la actividad muscular

Adquisición de datos de actividad muscular

El sensor medirá la actividad eléctrica filtrada y corregida del músculo



Criterios de selección del dispositivo móvil

PARÁMETROS	DEFINICIÓN
Conectividad	Debe tener la posibilidad de usar bluetooth como medio de comunicación.
Popularidad S.O.	Debe contar con el sistema operativo más utilizado a nivel mundial
Procesador	Debe tener la capacidad de ejecutar aplicaciones superiores a la versión de Android 5.0
RAM	Debe poder almacenar datos en su memoria RAM superior a 4GB para un funcionamiento fluido de las aplicaciones



Selección del dispositivo móvil

Dispositivo móvil
Huawei P20 Lite



CARACTERÍSTICA	VALOR
Pantalla	5.84 pulgadas (con ceja superior), proporción de 18.7:9
S.O.	Android Oreo 8.0, EMUI 8.0
Procesador	Kirin 659, ocho núcleos
Almacenamiento	64GB (con ranura para microSD)
RAM	4GB
Conectividad	4G/LTE, Wi-Fi, Bluetooth, NFC, USB Tipo C



Criterios de selección del sensor muscular

PARÁMETROS	DEFINICIÓN
Dimensiones	El sensor debe ser pequeño, se establece 5 centímetros cuadrados como máximo.
Compatibilidad	El sensor debe ser compatible con Arduino.
Puertos de conexión	El sensor debe ser de entrada común.
Costo	Se requiere el menor costo posible.



Selección del sensor muscular

Sensor muscular V3



CARACTERÍSTICA	VALOR
Alto	2.54 cm
Ancho	2.54 cm
Puerto de entrada	<i>Jack estándar</i>
Sistema de control	<i>Diseño especial para microcontroladores</i>
Ganancia	<i>Ajustable</i>



Criterios de selección del microcontrolador

PARÁMETROS	DEFINICIÓN
Memoria SRAM	La capacidad debe oscilar entre 1KB y 3KB.
Memoria EEPROM	Debe estar entre 1KB y 2KB
Tamaño	Máximo 5 centímetros cuadrados.
Pines digitales	Debe tener un mínimo de 5 y un valor máximo de 10.



Selección del microcontrolador

Microcontrolador Arduino nano



CARACTERÍSTICA	VALOR
Pines I/O digitales	20
Canales PWM	7
SRAM	2.5 KB
EEPROM	1 KB
Dimensiones	3 x 1.8 cm



Criterios de selección del dispositivo de comunicación inalámbrica

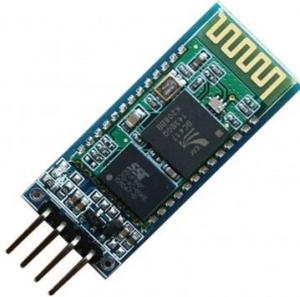
PARÁMETROS	DEFINICIÓN
Método de comunicación	Que sea compatible con la mayoría de tecnologías de comunicación
Dimensiones	Se requiere que sea lo más pequeño posible.
Tratamiento de datos	Se requiere que se pueda enviar y recibir datos.
Alcance	Es necesario un rango de alcance de por lo menos 5 metros.



Selección del Dispositivo de comunicación inalámbrica

Dispositivo de
comunicación
inalámbrica

Módulo HC 05



CARACTERÍSTICA	VALOR
Bluetooth	V2.0+EDR
Alcance	10 metros
Velocidad de transmisión	1200 bps hasta 1.3 Mbps
Potencia de emisión	4 dBm, clase 2
Dimensiones	4.4 x 1.6 x 0.7 cm.



Criterios de selección de los electrodos

PARÁMETROS	DEFINICIÓN
Grado de invasión.	Implica que los datos puedan ser obtenidos de manera que no sea incómodo para el usuario
Calidad de recepción de datos.	Los datos deben acercarse lo mayor posible a la actividad muscular que presenta el paciente
Costo.	Los electrodos serán utilizados frecuentemente y no deberían incurrirse en un costo adicional.



Selección de los electrodos

Electrodos Superficiales

ELECTRÓDOS

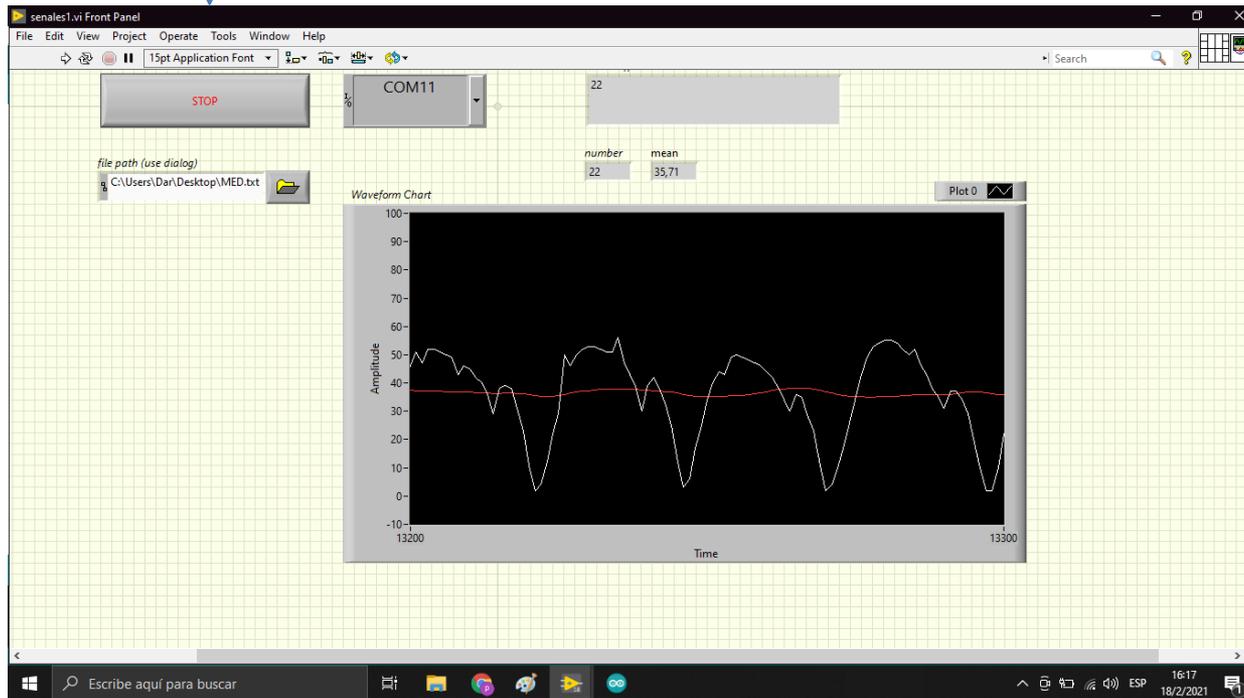


CARACTERÍSTICA	VALOR
Hidrogel	Excelente conductividad y adhesión para detectar pequeña corriente entre la piel y el electrodo.
Sensor	Reduce el ruido por impacto y tiene excelente conductividad.
Conector o broche metálico	Excelente conductividad, fabricado en carbono y acero inoxidable.
Protector	Un lado del forro está recubierto de silicona, por ello es sencillo separar la almohadilla del mismo



Programación del sistema de adquisición de datos

Recepción de la señal dada por el sensor



Escalamiento de 0 a 100. Porcentaje de afectación

Almacenado del valor máximo alcanzado

Establecimiento de rangos de afectación



A través de la simulación de los diversos tipos de contracción se establecen los rangos de afectación y se clasifica el tipo de tratamiento requerido para los músculos flexores de las manos y de los pies

Rangos de afectación para los músculos flexores de las manos

Rango de valores EMG [% Porcentaje de actividad muscular]	Tratamiento requerido
0 – 11	No requiere
12 – 24	Leve
25 – 38	Medio
39 – 99	Fuerte



Rangos de afectación para los músculos flexores de las manos

Rango de valores EMG [% Porcentaje de actividad muscular]	Tratamiento requerido
0 – 38	No requiere
39 – 51	Leve
52 – 69	Medio
70 – 100	Fuerte



Diseño del sistema de los motores vibradores



Terapia vibratoria



Implican sesiones de máximo 30 minutos a frecuencias de vibración de 90 Hz, 110 Hz y 120 Hz con una amplitud de vibración de 0.10 mm a 2mm



Criterios de selección de los motores

PARÁMETROS	DEFINICIÓN
Alimentación	Debe ser de tipo eléctrico.
Voltaje	Debe ser de máximo 12 V.
Tamaño	Debe ser de máximo 10 cm.
Velocidad	Debe alcanzar las 7200 RPM



Selección de los motores

Motores *Uxcell KBPC35*



CARACTERÍSTICA	VALOR
Voltaje nominal:	DC 6V – 12V
Velocidad sin carga	6V–5000RPM, 12V–10000RPM
Tamaño del eje	13 x 2,3 mm / 0,51 pulgadas x 0,09 pulgadas (L * D)
Diámetro del cuerpo del motor	28 mm / 1.1 pulgadas; Longitud del cuerpo del motor: 37 mm / 1,46 pulgadas; Longitud total (pin incluido): 58 mm / 2,3 pulgadas



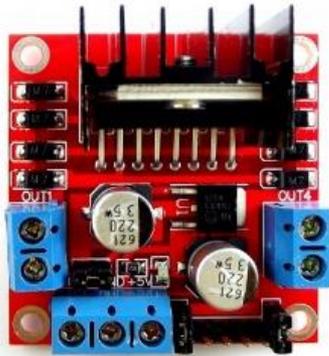
Criterios de selección del controlador de los motores

PARÁMETROS	DEFINICIÓN
Voltaje de salida	Debe proporcionar una salida de 12 V.
Corriente soportada	Debe soportar una corriente de 2 A.
Potencia	Su potencia debe ser de al menos 24 W.
Voltaje lógico	Debe proveer 5V en su voltaje lógico.



Selección del controlador de los motores

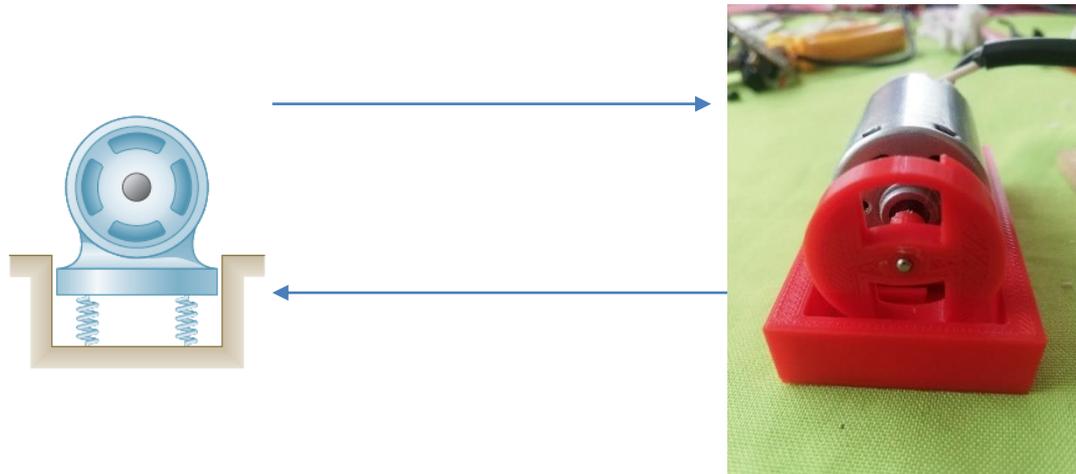
Controlador de motores *L298N*



CARACTERÍSTICA	VALOR
Voltaje lógico:	5V
Voltaje de potencia	5V – 35V DC
Capacidad de corriente	2A (picos de hasta 3A)
Potencia máxima	25W



Modelo matemático del motor vibratorio



CÁLCULOS DE VIBRACIÓN

Se demuestra, a través de cálculos, la vibración requerida en términos de amplitud

Para 90 Hz, es:

Con la velocidad forzada ω_f , que es igual a la velocidad a la que se hace girar el motor ω , los valores de deflexión estática $\frac{P_m}{k}$ y ω_n , se calcula la amplitud de vibración X_m

$$X_m = \frac{\frac{P_m}{k}}{1 - \left(\frac{\omega_f}{\omega_n}\right)^2} = \frac{2.57 \times 10^{-4} \text{ ft}}{1 - \left(\frac{565.487 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{293.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}\right)^2} = -9.475 \times 10^{-5} \text{ ft} = -0.029 \text{ mm}$$



CÁLCULOS DE VIBRACIÓN

Para 110 Hz, es:

$$X_m = \frac{\frac{P_m}{k}}{1 - \left(\frac{\omega_f}{\omega_n}\right)^2} = \frac{3.84 \times 10^{-4} \text{ ft}}{1 - \left(\frac{691.15 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{293.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}\right)^2} = -8.448 \times 10^{-5} \text{ ft} = -0.026 \text{ mm}$$



CÁLCULOS DE VIBRACIÓN

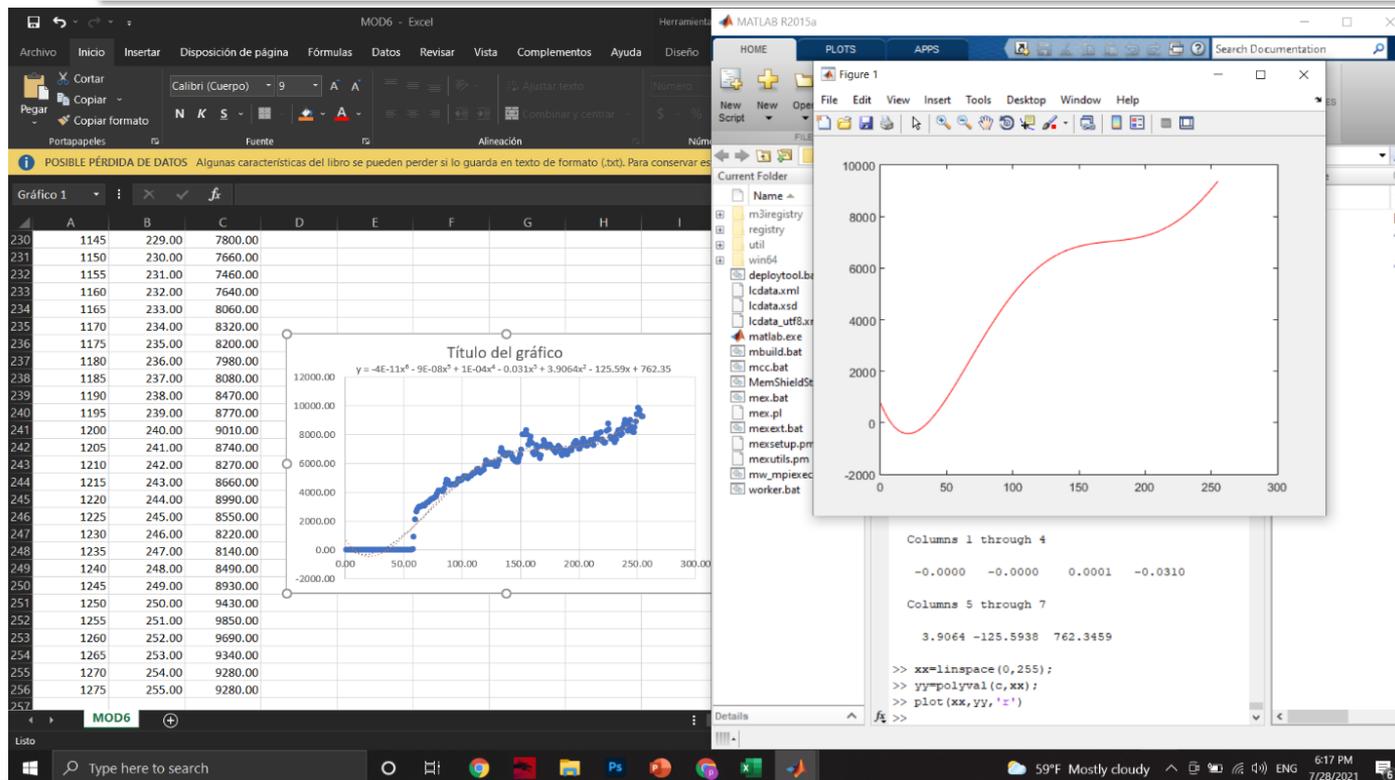
Para 120 Hz, es:

$$X_m = \frac{\frac{P_m}{k}}{1 - \left(\frac{\omega_f}{\omega_n}\right)^2} = \frac{4.58 \times 10^{-4} \text{ ft}}{1 - \left(\frac{753.982 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{293.49 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}\right)^2} = -8.179 \times 10^{-5} \text{ ft} = -0.025 \text{ mm}$$



CÁLCULOS DE VIBRACIÓN

Para determinar la vibración a 90 Hz, 110 Hz y 120 Hz, se obtiene el modelo matemático del motor



Se observa el comportamiento del motor cuando se varía el voltaje de 0 a 5V



CÁLCULOS DE VIBRACIÓN

Ecuación del motor

$$y = -4E-11x^6 - 9E-08x^5 + 1E-04x^4 - 0.031x^3 + 3.9064x^2 - 125.59x + 762.35$$

Así, con un valor de:

101 PWM, el motor gira a 5405 RPM (90 Hz aprox.)

118 PWM, el motor gira a 6622 RPM (110 Hz aprox.)

127 PWM, el motor gira a 7192 RPM (120 Hz aprox.)



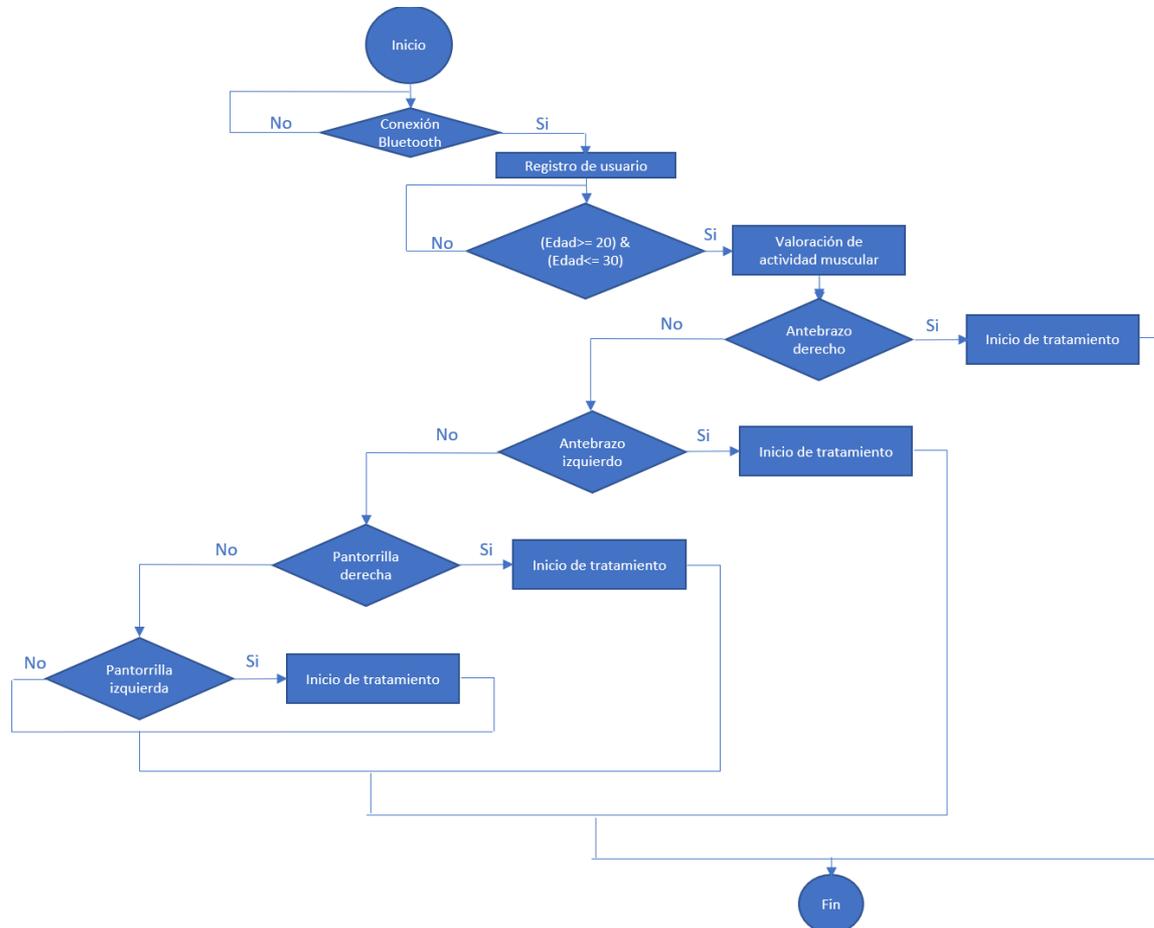
Diseño de la aplicación



La aplicación controla al sensor, al actuador y guía al usuario en el uso de la banda rehabilitadora



Diagrama de flujo de la aplicación



Actividad 1: Tratamiento

Esta actividad muestra una descripción corta de la aplicación y posteriormente un botón que conduce al usuario a una nueva actividad que le permitirá conectar la banda rehabilitadora con el dispositivo móvil.



Actividad 2: Dispositivos.

Esta actividad conecta el dispositivo móvil con el módulo HC-05 para que haya transferencia de información con el Arduino nano.



Actividad 3: Usuarios

En esta actividad se puede hacer el ingreso de datos para un usuario nuevo o el acceso a algún usuario ya registrado anteriormente.



Actividad 4: Nuevo usuario

Luego de haber presionado el botón “+”, se presenta al usuario una nueva actividad que solicita al usuario los datos de “nombre” y “fecha de nacimiento” para su ingreso al registro de datos de la aplicación.



The screenshot shows a mobile application interface for creating a new user. The title bar is teal and contains a back arrow and the text "Nuevo Usuario". Below the title bar is a header area with a teal background, featuring a circular icon with a white plus sign and the text "Nuevo Usuario". A message in Spanish reads: "Por favor, ingrese los datos requeridos. La edad debe estar comprendida entre 20 y 30 años." Below this are two input fields: the first contains the name "Marco Pérez" and the second contains the date "25/06/1995". At the bottom, there are two buttons: a red "CANCELAR" button with a back arrow and a teal "REGISTRAR" button with a document icon. The Android navigation bar is visible at the very bottom.



Actividad 5: Valoración de paciente

Cuando se hace clic sobre alguno de los pacientes ya registrados, la aplicación direcciona al usuario a una nueva actividad en la que se pueden observar registros anteriores de la actividad muscular del paciente o también empezar una nueva actividad de adquisición de datos



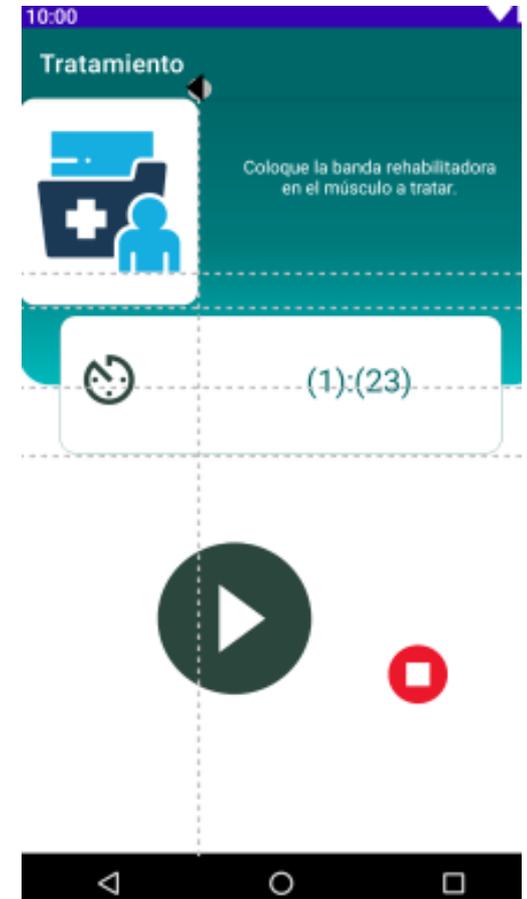
Actividad 6: Ingreso lecturas

se muestra información que enseña al paciente como deben conectarse los electrodos en los músculos que desean ser evaluados. Finalmente, una vez que se hayan seguido las indicaciones, el usuario tiene dos posibles opciones: iniciar el proceso de adquisición de datos o guardar el dato que se ha adquirido.



Actividad 7: Tratamiento

Aquí se puede observar información para la correcta ubicación de la banda rehabilitadora y dos botones que le permiten controlar el uso de la misma.



PRUEBAS Y RESULTADOS

Al realizar una prueba de la efectividad del sensor se concluye que el sensor presenta mediciones similares en cada toma de datos con un porcentaje de variación de $\pm 4\%$ en la medida del nivel de afectación.



PRUEBAS Y RESULTADOS

La efectividad del sensor para el diagnóstico de caso de espasticidad es definida mediante el cálculo del promedio de la suma de los dos valores de porcentaje de acierto (el porcentaje dado en pruebas supuestas y el porcentaje obtenido en pruebas reales), de modo que, se obtiene un 47.63% de acierto total, lo cual no representa un porcentaje adecuado para realizar diagnóstico de enfermedades de este tipo y por lo tanto se excluye la efectividad del sensor de la máquina rehabilitadora.



PRUEBAS Y RESULTADOS

De acuerdo a lo observado en cada una de las tablas, el médico especialista determina que la banda rehabilitadora es capaz de ayudar a la rehabilitación del síntoma de espasticidad con la ayuda de otros medios de rehabilitación como la fisioterapia y siempre que el tratamiento sea temprano luego de haber sido detectado el síntoma



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Mediante la metodología de chi cuadrado, se obtuvo que

Chi calculado > Chi tabulado

12.35 > 9.49

Por lo tanto, se da por aceptada la hipótesis alternativa, es decir, el diseño y desarrollo de un prototipo de banda rehabilitadora con aplicación de terapia vibratoria sirve como tratamiento para pacientes con esclerosis múltiple validado por un especialista.



CONCLUSIONES

- Los electrodos que se emplean para la adquisición de señales tienen un corto tiempo de vida útil para la recepción efectiva de señales, luego, empiezan a fallar notoriamente debido a que el adhesivo pierde su agarre con la piel, dando falsas mediciones.
- Los motores poseen características de velocidad diferente a la especificada debido a la masa de desbalance implementada en su rotor de giro para que se realicen las vibraciones requeridas para el tratamiento del síntoma de espasticidad.



CONCLUSIONES

- A pesar de haber seguido la metodología de diseño adecuada para la banda rehabilitadora, se pudo observar que los motores tienden a calentarse al extender su periodo de uso por más de 30 minutos consecutivos debido a que el actuador vibrador está recubierto de tela y eso hace que a pesar del diseño que permite la entrada de aire para enfriar los motores se requiera un flujo de aire mayor.

- Luego de haber analizado el síntoma de espasticidad y habiendo concluido que el síntoma era más representativo en el área de actividad muscular, se utilizó un sensor para este tipo de mediciones, por lo cual, se hizo posible la detección del síntoma con un 47.63% de acierto, sin embargo, no puede calificarse como un dispositivo apto para el diagnóstico porque existen diversos casos en los cuales intervienen rigidez articular, contracturas y distonía según el especialista.



CONCLUSIONES

- El nivel de rehabilitación positiva del paciente al aplicar la terapia vibratoria de la banda rehabilitadora va relacionado al número de sesiones que se aplican, es decir, a mayor número de sesiones mayor nivel de rehabilitación.
- La conexión bluetooth con el módulo HC-05 en muy pocas ocasiones presenta un fallo de conexión debido a que realiza una ejecución en segundo plano y de constante concurrencia, es decir, detrás de la aplicación se están ejecutando una serie de mecanismos informáticos para recibir solicitudes de conexión, enviar solicitudes de conexión e intercambiar datos, constantemente.



CONCLUSIONES

- La construcción de la parte gráfica de la aplicación debe ser desarrollada mediante líneas guía para una mejor distribución de cada objeto (botones, imágenes, cuadros de texto, etc...) presentado en pantalla, pues de no ser así estos objetos tienden a ocupar posiciones muy diferentes a las vistas en el entorno de desarrollo de la aplicación cuando se ejecutan en el dispositivo móvil.



RECOMENDACIONES

- A pesar de que el módulo de comunicación bluetooth HC-05 cumple con la tarea de comunicación, en muy raras ocasiones presenta un fallo de conexión que se debe a la ejecución concurrente y de segundo plano. Esto puede solucionarse mediante la utilización de un módulo que utilice tecnología WiFi ya que emplea un método de comunicación diferente.
- El apartado de diagnóstico de la banda rehabilitadora presenta un porcentaje de acierto cercano al 50%, por lo que se considera que puede ser empleado para la detección temprana del síntoma de espasticidad, se recomienda, que, aunque sea un método un poco invasivo se utilicen electrodos de tipo aguja, ya que tienen un contacto más directo con el músculo y mejorarían notablemente el porcentaje de acierto en el diagnóstico del síntoma.



RECOMENDACIONES

- El diseño de los motores que producen la vibración varían de acuerdo a diversos parámetros, como: masa de desbalance, peso del motor, velocidad de giro, etc., por lo que, será posible hacer un diseño cada vez más óptimo de la banda rehabilitadora variando dichos parámetros, lo cual se recomienda para poder abaratar costos de fabricación.
- El proyecto fue realizado considerando los estándares de diseño que permiten la adquisición óptima de señales, que es una parte importante para realizar un diagnóstico efectivo. De ser necesario y sobre todo accesible pueden utilizarse fuentes de poder más compactas y prudentemente aisladas para evitar los problemas de ruido que suelen generar y para que así el equipo de rehabilitación sea más compacto.



RECOMENDACIONES

- Al realizar una optimización de las fuentes de alimentación, aparte de lograr que el dispositivo sea más compacto, también podría lograrse la autonomía del mismo al utilizar baterías de última generación.
- Satisfactoriamente se pudo observar que la banda rehabilitadora cumple su objetivo al servir como tratamiento de los síntomas de espasticidad, pero, no fue suficiente un sensor muscular para poder diagnosticar el síntoma, de modo que, se recomienda acoplar las tecnologías que se desarrollen posteriormente en el ámbito de la neurociencia ya que la espasticidad también implica un trastorno neuronal y en el ámbito de estudio de cartílagos y tendones que influyen en las medidas cuando se trata de casos más severos.



RECOMENDACIONES

- El equipo diseñado abarata los costos de adquisición de un equipo de tratamiento efectivo para la espasticidad y para las personas que mantienen el síntoma como un hecho constante en su vida y que por lo tanto requieren de sesiones constantes de rehabilitación, sin embargo, se recomienda realizar un diseño más ergonómico y con los motores expuestos al ambiente para que pueda ser utilizado en sesiones más extensas.



¡Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA