



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DESARROLLO DE UN
ELECTROMIOGRAMA CON REGISTRO
MÉDICO PARA PACIENTES CON
ENFERMEDADES NEUROMUSCULARES**

Autores: Libre F. Katherine N.
Rojas M. Simón J.
Romero A. Manuel A.

Urb. Yuma II, Calle N° 3, Municipio San Diego
Teléfono: 0241-8714240 (Master) Fax: 0241-8712394



FI-T/E/C -003 -2019-2CR (TG)

Valencia, 19 de Julio de 2019

Ciudadanos:
Katherine Libre
C.I: 26.493.592
Simón Rojas
C.I: 25.591.917
Manuel Romero
C.I: 25.040.970
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2019 de fecha 19-07-2019 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **DESARROLLO DE UN ELECTROMIOGRAMA CON COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA LA DETECCIÓN DE ENFERMEDADES NEUROMUSCULARES**. Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Se ratifica la designación del Ing. Wilfredo Mendoza C.I: 22.744.494 y la Ing. Alicia De Pizzela C.I: 4.598.880 como Tutores Académicos y Metodológicos que los asesoraran en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Luis Lira

Decano de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE COMPUTACIÓN Y
ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, ingeniero Wilfredo Elías Mendoza Chirno portador(a) de la cédula de identidad N° 22.744.494, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por la ciudadana Katherine Nayarit Libre Ferreira, portadora de la cédula de identidad N° 26.493.592, el ciudadano Simón José Rojas Meléndez, portador de la cédula de identidad N° 25.591.917 y el ciudadano Manuel Alejandro Romero Arzola, portador de la cédula de identidad N° 25.040.970, titulado **DESARROLLO DE UN ELECTROMIOGRAMA CON REGISTRO MEDICO PARA PACIENTES CON ENFERMEDADES NEUROMUSCULARES**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero de Telecomunicaciones, Ingeniero de Computación e Ingeniero Electrónico considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, Octubre 2019

Ing. Wilfredo E. Mendoza C

C.I: 22.744.494

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	xii
ÍNDICE DE FIGURA	xiii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación.....	3
1.3 Objetivos de la Investigación.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivo Específicos.....	4
1.4 Justificación de la investigación.....	4
1.5 Alcance.....	5
II MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Bases Teóricas.....	7
2.2.1 Actividad eléctrica de los músculos.....	7
2.2.2 Señal electromiográfica.....	8
2.2.3 Electrodo.....	9
2.2.3.1 Distancia entre electrodos.....	10
2.2.3.2 Posicionamiento de los electrodos.....	10
2.2.4 Electromiógrafo.....	11

2.2.4.1	El funcionamiento del Electromiógrafo.....	11
2.2.5	Electromiografía.....	12
2.2.5.1	Razones por la que se hace una electromiografía	12
2.2.6	Tipos de electromiografías.....	12
2.2.6.1	Electromiografía Superficial.....	12
2.2.6.2	Electromiografía tipo aguja.....	12
2.2.7	Valores Normales.....	13
2.2.8	Enfermedades Neuromusculares.....	14
2.2.8.1	Clasificación de las enfermedades neuromusculares.....	14
2.2.9	Plataforma de desarrollo Arduino.....	14
2.2.10	Python.....	16
2.2.11	Framework.....	16
2.2.12	Django.....	17
2.2.13	SQL.....	17
2.2.14	PostgreSQL.....	17
2.3	Definición de términos básicos.....	18
 III MARCO METODOLÓGICO.....		19
3.1	Tipo de investigación.....	19
3.2	Diseño de la investigación.....	19
3.3	Nivel de investigación.....	19
3.4	Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos.....	20
3.4.1	Técnicas empleadas.....	20
3.4.2	Instrumentos empleados.....	21
3.5	Fases de la Investigación.....	21

IV RESULTADOS.....	23
4.1 Fase I: Estudio del funcionamiento de los electromiogramas comerciales.....	23
4.1.1 Observación directa.....	23
4.1.2 Revisión documental del funcionamiento de un electromiograma.....	24
4.1.2.1 Etapas de la electromiografía.....	26
4.2 Fase II: identificación de las debilidades existente de un electromiograma actual.....	30
4.3 Fase III: Elección de la arquitectura del Hardware, Software y medio de comunicación del electromiograma.....	31
4.3.1 Tipos de requerimientos.....	36
4.3.1.1 Requerimientos funcionales.....	36
4.3.1.2 Requerimientos no funcionales.....	37
4.3.2 Establecimiento de casos de uso.....	38
4.3.3 Diseño de diagrama entidad relación de la base de datos.....	40
4.3.4 Selección de lenguajes de programación.....	42
4.3.3.1 Ruby.....	42
4.3.3.2 Ruby on Rails.....	43
4.3.3.3 Python.....	44
4.3.3.4 Flespi.....	44
4.3.3.5 Vuetify.....	45
4.3.5 Diagrama de procesos entre Arduino a la interfaz.....	45
4.4 Fase IV: Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica del electromiograma.....	46
CONCLUSIONES.....	48

RECOMEDACIONES.....	49
ANEXOS.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	54

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	Actividad eléctrica muscular.....	8
Figura 2	Circuito equivalente de un electrodo bipolar.....	9
Figura 3	Señal EMGS y Señal EMG tipo aguja.....	13
Figura 4	Dispositivo Arduino.....	15
Figura 5	Plataforma de desarrollo Arduino.....	16
Figura 6	Electromiografo NNEURONIC.....	24
Figura 7	Ubicación de electrodos en el antebrazo.....	25
Figura 8	Etapas de un electromiograma.....	25
Figura 9	Diagrama de un convertidor ADC.....	28
Figura 10	Diagrama de bloques del funcionamiento del electromiograma.....	32
Figura 11	Electrodo superficial.....	33
Figura 12	Cables para la conexión de electrodos	34
Figura 13	Tarjeta de adquisición AD8232.....	35
Figura 14	Diagrama de bloques funcional.....	35
Figura 15	Arduino Uno, Especificaciones y característica.....	36
Figura 16	Conexión de Arduino	37
Figura 17	Cable de alimentación de Arduino.....	38
Figura 18	Diagrama de caso de uso del actor “administrador”	41
Figura 19	Diagrama de caso de uso del actor “Doctor”	42
Figura 20	Diagrama entidad relación de base de datos	43
Figura 21	Diagrama de flujo de la arquitectura MCV.....	45
Figura 22	Diagrama de flujo de protocolo MQTT Arduino a interfaz.....	47

Figura 23	Diagrama de proceso entre Arduino y la interfaz.....	48
-----------	--	----

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1	Arduino Uno, Características técnicas.....	37
Tabla 2	Reporte general de tablas en base de datos.....	44



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE COMPUTACIÓN
ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES

DESARROLLO DE UN
ELECTROMIOGRAMA CON REGISTRO
MÉDICO PARA PACIENTES CON
ENFERMEDADES NEUROMUSCULARES

Autores: Libre Katherine, Rojas Simón, Romero Manuel.

Tutor: Ing. Wilfredo Mendoza.

Fecha: Octubre 2019.

RESUMEN

La electromiografía juega un papel fundamental para el análisis de pacientes que sufren de trastornos musculares, lo que permite determinar si existe algún problema con el sistema nervioso. El objetivo principal de un electromiograma es localizar las posibles lesiones musculares mediante el análisis de las señales bioeléctricas obtenidas por el equipo de tal manera de que se puedan tratar. En el presente proyecto de investigación se tiene como objetivo general la propuesta del desarrollo de un electromiograma con registro médico para pacientes con enfermedades neuromusculares, el cual permitirá registrar la actividad eléctrica presentes en los músculos en su estado de relajación y de excitación mediante un electromiograma. Para llevar a cabo este proyecto se utilizará la tecnología Arduino y una interfaz gráfica computarizada basada en JavaScript.

Descriptores: electromiograma, interfaz gráfica, computarizada.

INTRODUCCIÓN

Los músculos de los seres humanos son capaces de convertir la energía en movimiento de una manera eficiente, son extremadamente resistentes e incluso se curan así mismos. Estos al ser trabajados de manera adecuada pueden fortalecerse, en caso contrario los músculos pueden ser lastimados ocasionando daños irreversibles o incluso por motivos genéticos pueden padecer de alguna enfermedad neuromuscular.

Estas enfermedades neuromusculares (ENM) son de naturaleza progresiva cuya característica principal es la pérdida de fuerza muscular lo cual trae como consecuencia que afecta la movilidad del paciente. Son enfermedades crónicas que generan gran discapacidad, pérdida de la autonomía personal y cargas psicosociales, su aparición puede producirse en cualquier etapa de la vida y todavía no se dispone de tratamientos efectivos, ni curación. Las ENM afectan a la musculatura y al sistema nervioso pudiendo estar afectados la unión neuromuscular (donde se junta el nervio con el músculo), el nervio periférico (en brazos, piernas, cuello y cara) y la motoneurona espinal (células nerviosas que controlan la acción de los músculos).

El electromiograma (EMG) es un dispositivo que permite analizar de forma gráfica los impulsos eléctricos que están presentes en los músculos del paciente, el análisis de estos impulsos permite conocer si el músculo presenta alguna lesión o alguna ENM, dependiendo de cómo se muestre la señal, el especialista o médico podrá diagnosticar si es que la persona padece de una enfermedad. Por lo que su uso es muy generalizado tanto en consultas médicas con un neurólogo o incluso con algún fisioterapeuta, todo esto es debido a que el EMG es una herramienta que proporciona una cantidad de datos elevada sobre el funcionamiento muscular, permitiendo conocer el estado del músculo analizado. Estos equipos pueden ser portátiles permitiendo que el paciente se sienta más cómodo a la hora de ser analizado e incluso le permite facilidades al médico para que este pueda trabajar de manera eficiente.

Normalmente estas enfermedades son incurables, pero esto no quiere decir que no puedan ser tratadas, es por ello que si el paciente padece de una ENM este se chequee frecuentemente y he ahí la importancia de tener un historial médico que le permita al especialista comparar la información obtenida por el EMG con la anterior.

En este orden, el objetivo general del trabajo de grado se fundamenta en una propuesta de diseño de un electromiograma con registro médico, que conlleva a la realización de una interfaz gráfica desarrollada bajo el lenguaje de programación Javascript el cual a través de ella permite observar, registrar y monitorear la actividad eléctrica presente en los músculos del paciente a tiempo real.

El presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos, con el fin de cumplir las normativas establecidas por la Universidad José Antonio Páez, dichos capítulos se describen a continuación:

Capítulo I: Referido al problema, su planteamiento el cual se trata de comprobar durante todo el curso de la investigación por medio del objetivo general y objetivos específicos, así como la justificación del estudio y su alcance.

Capítulo II: Se hace hincapié en los antecedentes y bases teóricas,

Capítulo III: Marco Metodológico se plantea la naturaleza de la investigación, la cual, por sus características, se trata de una investigación documental con carácter descriptivo, de modo que la estrategia metodológica seleccionada sirvió de guía para el desarrollo del trabajo de grado.

Capítulo IV: Este capítulo se hablará sobre todos los recursos y métodos que se utilizaron para realizar este proyecto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En el transcurso del tiempo el ser humano ha padecido de diversos tipos de enfermedades, entre estas se encuentran las enfermedades neuromusculares, el cual son enfermedades de naturaleza progresiva que en su mayoría son de origen genético y cuya principal característica es la pérdida de fuerza. Estas enfermedades generan gran discapacidad, pérdida de la autonomía personal y cargas psicosociales. Es por ello que existen equipos diseñados especialmente para la detección de dichas enfermedades, entre estos equipos tenemos el electromiograma (EMG).

Actualmente en Venezuela se presenta un grave problema en la red médica y hospitalaria, los precios de los EMG son muy altos, más aún si se desea obtener un sistema en el cual sea un dispositivo portátil, de bajo consumo de energía, poco peso, que transmita y reciba las señales para su procesamiento digital, este puede tener un precio aún mayor y la adquisición de estos se ve mermada en hospitales con presupuesto limitado. Venezuela se queda atrás en cuanto al uso y diseño de tecnología en medicina, a comparación de otros países del mundo. Sin embargo, el recurso humano, como lo son los fisioterapeutas y los especialistas en el área neuromuscular, están totalmente capacitados para atender a pacientes con estos equipos de manera que puedan facilitarles de gran manera su trabajo. Cuando se habla de los equipos actuales son generalmente muy robustos y costosos, lo que trae como consecuencia que no puedan ser de fácil movilidad a la hora de trabajar.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo será el desarrollo de un electromiograma con registro médico de los pacientes con enfermedades neuromusculares?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Proponer el desarrollo de un electromiograma con registro médico para pacientes con enfermedades neuromusculares.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el funcionamiento del electromiograma mediante la búsqueda y consulta de información en documentos de interés.
- Identificar las debilidades existentes en un electromiograma actual.
- Diseñar los elementos, esquemas, medios de comunicación y programa de cómputo para el óptimo desempeño del electromiograma.
- Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica del electromiograma propuesto.

1.4 Justificación de la investigación

El electromiograma es un dispositivo electromédico muy utilizado en el área de la medicina, ya que permite adquirir las señales bioeléctricas presentes en el cuerpo humano, pero estos dispositivos suelen ser costoso, robusto y complejo. Por este motivo, con el presente trabajo de investigación se propone desarrollar un equipo electromédico, el cual sea portátil ya que ocuparía menos espacio, siendo práctico y económico para la obtención del mismo por parte de los centros de salud públicos y privados, pudiendo además mejorar la atención, diagnóstico y cuidado de los pacientes de un hospital o consultorio fisiátrico, adicionalmente es una herramienta que permite facilitar el trabajo al especialista.

Por otro lado, la importancia de mantener un historial clínico es fundamental a la hora de tratar un paciente, ya que con este historial se puede ver el progreso del mismo y comparar los resultados nuevos con los viejos. De tal forma, beneficia a los expertos, aprendices en el área, y abre las posibilidades de progreso a nivel médico tecnológico en Venezuela.

También, este trabajo de grado ofrece a la Universidad José Antonio Páez la iniciativa e incentivo a los demás estudiantes de indagar un poco más en el área de la electromedicina, pues ésta es bastante amplia junto a la tecnología y pueden jugar un papel fundamental para futuras propuestas e implementaciones dentro del país.

Asimismo, permite resaltar y comprobar la manera en la que ciertas carreras se complementan una de la otra para lograr resultados innovadores que impulsan el conocimiento, experiencia y el crecimiento profesional y personal.

1.5 Alcance

Con la investigación se pretende llegar al diseño de un electromiograma, el cual cumpla con mostrar la señal EMG en tiempo real entre el dispositivo y una computadora, en conjunto con un diseño de una base de datos que contenga el registro médico de los pacientes vistos por el equipo, para así el especialista pueda dar un diagnóstico adecuado.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Para el desarrollo de este proyecto se tomaron en cuenta trabajos realizados por otros autores como referencias que contribuyan y/o complementen el proceso de alcanzar los objetivos y resultados esperados. Estos proyectos se describen brevemente en orden cronológico a continuación:

Zambrano S, (2019), realizo un trabajo de grado **“Diseño de un electrocardiógrafo con una interfaz gráfica computarizada en tiempo real”** con el fin de optar por el título Ingeniero Electrónico presentado a la Universidad José Antonio Paz, Venezuela, el siguiente trabajo se realizó con la intención de diseñar un electrocardiógrafo con tecnología moderna para monitorear los parámetros cardiacos, el ingeniero utilizo la tecnología Arduino en conjunto con una interfaz gráfica hecha en Labview para llevar a cabo su proyecto.

La investigación citada, se vincula con este proyecto en el uso del Arduino. La elección de los dispositivos electrónicos para el proyecto de grado es esencial y por ello es necesario considerar toda la información disponible y herramientas empleadas que sean los más actualizados y seguro posible.

De la misma manera Granados L, (2018), desarrollo un proyecto nombrado como **“Diseño e implementación de un sistema con electrogoniometría y electromiografía para análisis de movimiento”** presentado en la Universidad Autónoma de Aguascalientes ubicada en México. Este proyecto describe el comportamiento de las señales bioeléctricas presentes en los músculos en su estado de reposo y de excitación mediante un electromiograma.

Dicha información es fundamental para este trabajo de grado ya que las señales bioeléctricas es el medio por donde el profesional determinara si el paciente posee algún tipo de enfermedad neuromuscular presente en el cuerpo.

Por último, Flores C, (2015), realizó un trabajo de grado nominado como **“Diseño e implementación de un sistema de electromiografía computarizada”** con el fin de optar por el título de Ingeniero Electrónico presentado a la Universidad de las fuerzas armadas-ESPE, Ecuador, este trabajo de grado se basó en la obtención de las señales bioeléctricas presentes en los bíceps y tríceps y la transmite mediante Bluetooth a una computadora.

La investigación citada, se vincula con este proyecto en el uso del Bluetooth, ya que una vez que la señal ha sido acondicionada y filtrada, está lista para visualizarla en un computador, información necesaria para desarrollar un sistema inalámbrico y así poder cumplir con dicho objetivo.

2.2 Bases Teóricas

Las bases teóricas son el sustento de la investigación, comprendiendo un conjunto de conceptos y proporciones, que constituyen un punto de vista o enfoque determinado y que de esta manera se observa una visión más amplia sobre la investigación y esto sirve como punto de partida de la misma. A tal efecto, se consideró oportuno profundizar algunas teorías en función de los tópicos que integran el desarrollo de esta investigación.

2.2.1 Actividad eléctrica de los músculos

La contracción muscular típica proviene del acortamiento de sus células, el cual se realiza por medio del estrechamiento activo de filamentos de proteínas conocido como actina y miosina, estos filamentos están divididos en secciones llamados sarcómero, cada sarcómero es capaz de tener contracción independiente y es por esto que cuando muchos sarcómeros se contraen al mismo tiempo, producen la contracción del músculo. (ver figura 1)

Durante la contracción muscular los filamentos de actina se contraen hacia adentro, entre los filamentos de miosina. Esto hace que el músculo desarrolle una tensión que es activado mediante un impulso nervioso que proviene del sistema nervioso central (SNC).

El proceso opuesto se le conoce como la relajación muscular, es la vuelta de las fibras a un estado de baja tensión y se da en ausencia de estímulo nervioso. Como dicho anteriormente la contracción muscular se origina mediante un impulso nervioso que es transmitido hacia el musculo atreves de neuronas, estas neuronas son conocidas como neuronas motoras (motoneurona).

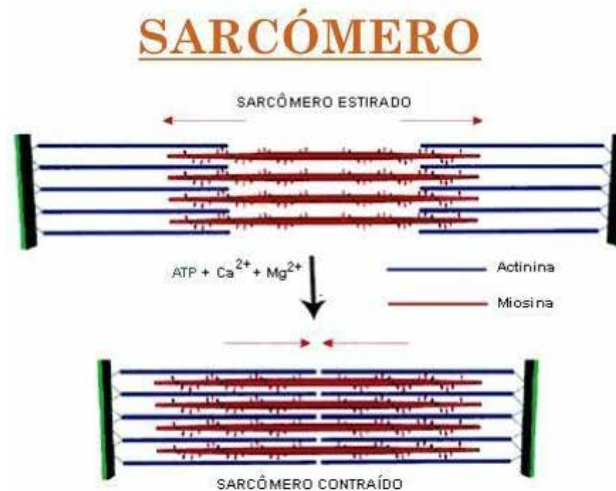


Figura 1: Actividad eléctrica muscular

Fuente: Rigor Mortis

La sinapsis entre la motoneurona y las fibras musculares forman la placa motora, a través de esta sinapsis se transmite un impulso eléctrico desde la neurona generando una despolarización de la membrana de la fibra muscular. Esta despolarización desencadena la contracción de los filamentos proteicos de las fibras musculares y con ello la contracción del músculo, la despolarización trae como consecuencia que inicie un impulso eléctrico que se distribuye a lo largo del sarcolema, también conocido como potencial de acción.

2.2.2 Señal electromiográfica

Las señales EMG pueden ser medidas utilizando elementos conductivos o electrodos sobre la superficie de la piel, o de manera invasiva sobre el músculo utilizando agujas. Sin embargo, la electromiografía de superficie es el método más

común de medida, puesto que es no invasiva y puede ser realizada con un mínimo de riesgo sobre el paciente.

2.2.3 Electrodo

Son dispositivos que recogen la actividad eléctrica dentro del músculo, así sea por inserción en el mismo (electrodo de aguja) o a través de la piel que lo cubre (electrodo superficial).

Se observa en la figura 2, un circuito equivalente para un electrodo de biopotencial en contacto con un electrolito quien tiene el potencial de media célula, R_1 y C son la impedancia asociada con la interfaz electrodo electrolito y los efectos de polarización, y R_2 es la resistencia en serie asociada con los efectos de interface y debido a la resistencia en el electrolito.

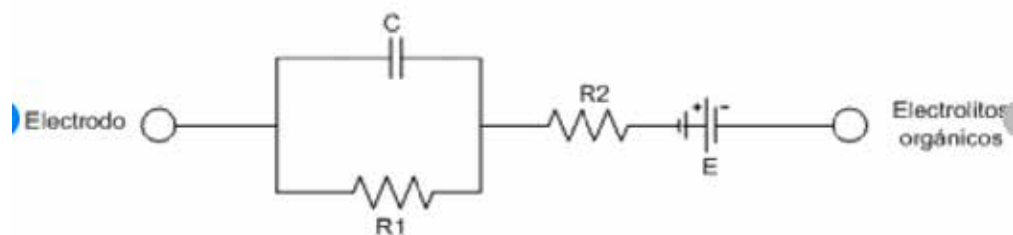


Figura 2: Circuito equivalente de un electrodo bipolar

Fuente: Medición de Impedancia Eléctrica en Tejido Biológico

La amplitud y anchura de banda de la señal EMG no están determinada únicamente por las fuentes electrofisiológicas y sus distancias hasta los electrodos, sino también por los tipos y tamaños de electrodos utilizados y por el espaciamiento entre electrodos. Los electrodos de superficie van unidos a la piel sobre el segmento muscular que se está estudiando.

Los electrodos de superficie se utilizan para estudiar la actividad de todo el músculo superficial. El espaciamiento entre electrodos determina el volumen de registro o recepción del tejido, resultando los espaciamientos más pequeños en registros más selectivos. Los electrodos de superficie suelen ser de ranura, con pasta de electrodo llenando la cavidad para conseguir más contacto con la piel y reducir la impedancia de los electrodos.

La amplitud de las señales EMG varía desde los μV hasta un bajo rango de mV (menor de 10mV), es por ello que la amplitud, y las propiedades de las señales EMG tanto en el dominio del tiempo como en la frecuencia dependen de factores tales como:

- El tiempo y la intensidad de la contracción muscular.
- La distancia entre el electrodo y la zona de actividad muscular.
- Las propiedades de la piel (por ejemplo, el espesor de la piel y tejido adiposo).
- Las propiedades del electrodo y el amplificador. • La calidad del contacto entre la piel y el electrodo.

2.2.3.1 Distancia entre electrodos

La normatividad define la distancia entre electrodos como "la distancia entre centros de las áreas de conductividad de los electrodos". Con respecto a la distancia entre electrodos, la normatividad recomienda que:

- Los electrodos bipolares EMG de superficie tengan una distancia entre electrodos de entre 20mm y 30mm.
- Cuando los electrodos bipolares están siendo aplicados sobre músculos relativamente pequeños, la distancia entre electrodos no debe superar 1/4 de la longitud de la fibra muscular. De esta forma se evitan los efectos debidos a tendones y terminaciones de las fibras musculares.

2.2.3.2 Posicionamiento de los electrodos

Las señales electromiográficas dan una muestra de la actividad eléctrica en los músculos durante una contracción. Sin embargo, estas señales están altamente relacionadas con la posición del electrodo sobre el músculo de interés. Debido a esto, es necesario que la ubicación de los electrodos sea consistente en sesiones consecutivas de estudio y sobre diferentes pacientes. Para determinar la ubicación de los electrodos es recomendado utilizar la normatividad correspondiente donde se encuentran sugerencias para la ubicación de los electrodos sobre 27 zonas musculares distintas. El objetivo al ubicar los electrodos es conseguir una ubicación estable donde se pueda

obtener una buena señal electromiográfica. Los electrodos se pueden ubicar sobre la superficie de la piel de manera longitudinal, o transversal.

- **Longitudinal:** la recomendación es ubicar el electrodo bipolar en la zona media del músculo, esto es, entre la terminación de la neurona motora que envía el impulso eléctrico al músculo (aproximadamente línea media del músculo) y el tendón distal.
- **Transversal:** la recomendación es ubicar el electrodo bipolar sobre la zona media del músculo, de tal forma que la línea que une los electrodos, sea paralela con el eje longitudinal del músculo.

2.2.4 Electromiógrafo

El electromiógrafo es un instrumento de medición biomédico el cual realiza un examen de la actividad eléctrica de una unidad motora, útil para determinar el sitio de la lesión de un nervio periférico y en las lesiones de las raíces nerviosas espinales. Sin embargo, este dispositivo también es utilizado para estudiar los diversos tipos de enfermedades musculares presente en el cuerpo humano.

2.2.4.1 El funcionamiento del Electromiógrafo

Su funcionamiento se basa en la instalación de electrodos (superficiales o de aguja) sobre el musculo que se desea tratar, estos son los encargados de captar la actividad eléctrica muscular. Las fibras musculares, al contraerse, producen descargas que, recogidas por estos electrodos, dan unos patrones normales o indicativos de lesión a distintos niveles del sistema neuromuscular.

Es por eso que se conoce que la electromiografía consiste básicamente en la adquisición, registro y análisis de la actividad eléctrica generada en nervios y músculos a través de la utilización de electrodos. La electromiografía es usada por científicos para estudiar el sistema neuromuscular, por médicos para el diagnóstico de enfermedades neuromusculares, y por fisioterapeutas para monitorear la activación de músculos de un paciente.

2.2.5 Electromiografía

La electromiografía (EMG) es un procedimiento de diagnóstico que se utiliza para evaluar la salud de los músculos y las células nerviosas que los controlan (neuronas motoras). Los resultados de la electromiografía pueden revelar una disfunción nerviosa, una disfunción muscular o problemas con la transmisión de señales de nervios a músculos. Basado en lo anterior, según Julio Pardo (2015) define la electromiografía como:

“Es una técnica relativamente sencilla y accesible para todos los pacientes, que nos permite conocer la afectación de las funciones sensitiva y motora, porque aporta información sobre la situación en la que se encuentran los nervios periféricos y el músculo”

2.2.5.1 Razones por la que se hace una electromiografía

Una electromiografía se aplica normalmente cuando las personas tienen algún síntoma de debilidad muscular y es por ello donde la evaluación muestra el deterioro de la fuerza muscular. Este examen puede ayudar a diferenciar entre una debilidad muscular causada por lesión de un nervio fijado a un musculo y una debilidad debido a trastornos neurológicos.

2.2.6 Tipos de electromiografías

2.2.6.1 Electromiografía Superficial

La electromiografía de superficie (EMGS) o cinesiológica permite estudiar la actividad muscular en acciones dinámicas, siendo aplicable al análisis biomecánico de un gesto, al análisis de la marcha, en estudios de fatiga muscular y de rendimiento deportivo y en áreas como la medicina laboral y la ergonomía (ver figura 3(a)).

2.2.6.2 Electromiografía tipo aguja

Para llevar a cabo una EMG intramuscular, se usa una aguja electrodo, se inserta a través de la piel hasta que entre al tejido muscular. Un profesional entrenado como un neurólogo, fisiatra, o terapeuta físico va observando la actividad eléctrica mientras inserta el electrodo. Mientras se va insertando el electrodo provee una información valiosa en cuanto a la actividad muscular como al nervio que inerva ese músculo. Los

músculos cuando están en reposo muestran señales normales eléctricas, cuando el electrodo es insertado, es por ello que la actividad eléctrica se estudia cuando el músculo está en reposo. La actividad anormal espontánea indica un daño en el nervio o en el músculo (ver figura 3(b))

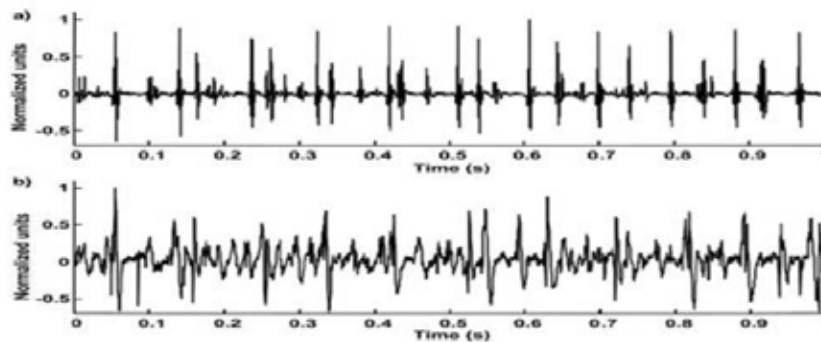


Figura 3: a) Señal EMGS b) Señal EMG tipo aguja

Fuente: Diseño y construcción de un sistema de adquisición y visualización de señales electromiográficas.

Después se le pide al paciente que contraiga el músculo suavemente para poder realizar un análisis con más profundidad. El tamaño, la frecuencia y la forma resultante de la unidad potencial motora son analizados. Posteriormente el electrodo es retirado unos pocos milímetros e insertado nuevamente para analizar la actividad, la cual debe tener unidades por lo menos entre 10–20. Cada trazo del electrodo da una imagen muy local de la actividad del músculo completo. Debido a que el músculo esquelético difiere en su estructura interna, el electrodo debe ser puesto en varias localizaciones para obtener resultados confiables de estudio. El método intramuscular EMG puede ser considerado demasiado invasivo o innecesario en algunos casos.

2.2.7 Valores normales

Normalmente hay muy poca actividad eléctrica cuando un musculo está en reposo, pero es verdad que al introducir las agujas este puede causar una actividad electro, sin embargo, una vez que los músculos se calman, se debe detectar muy poca actividad de este tipo.

Cuando el musculo es flexionado, la actividad comienza a aparecer y es por eso que a medida que se contrae más el musculo, la actividad eléctrica comienza se incrementa y se puede observar un patrón.

Este patrón ayuda al especialista a determinar si el musculo está respondiendo como se debe y en caso de que los resultados sean anormales, la electromiografía puede detectar problemas con los músculos durante el reposo o en la actividad.

2.2.8 Enfermedades neuromusculares

Las enfermedades neuromusculares (ENM) engloban más de 150 entidades diferentes en las que se afecta alguno de los componentes de la llamada “unidad motora”, ya sea el músculo propiamente dicho (miopatías), el nervio periférico (neuropatías) o el trayecto del mismo desde la médula espinal hasta la unión neuromuscular (zona de unión del nervio con el músculo).

2.2.8.1 Clasificación de las enfermedades neuromusculares

En función de dónde resida el daño se puede distinguir cinco grupos:

- **Enfermedades con afectación de la neurona motora de la médula espinal:** La atrofia muscular espinal sería la entidad principal.
- **Enfermedades de las raíces nerviosas:** son aquellas que salen de la médula espinal a lo largo toda la columna vertebral.
- **Enfermedades de los nervios periféricos que se distribuyen por todo el organismo:** Hay formas genéticas (por ejemplo, el síndrome de Charcot-Marie-Tooth) y adquiridas (síndrome de Guillain Barré).
- **Enfermedades de la unión neuromuscular:** La miastenia gravis es el cuadro principal de este grupo.
- **Enfermedades del músculo:** Aquí se engloban las distrofias musculares (distrofia muscular de Duchenne), las miopatías congénitas, las miotonías y las enfermedades metabólicas que afectan al músculo.

2.2.9 Plataforma de desarrollo Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo (software), diseñada para facilitar el uso

de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Es un dispositivo que conecta el mundo físico con el mundo virtual, o el mundo analógico con el digital.

El hardware consiste básicamente en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada y salida. El software es consistente en un entorno de desarrollo IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) que implementa el lenguaje de programación de Arduino y el bootloader ejecutado en la placa (ver figura 4).



Figura 4: Dispositivo Arduino uno
Fuente: Desarrollo de un dispositivo Arduino, Página 5

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida. Es por esto que el Arduino es considerado como una placa basada en un microcontrolador ATMEL

Ahora, para empezar a programar la placa del Arduino UNO es necesario descargarse el programa de la página web de Arduino el entorno de desarrollo IDE. Este dispone de versiones para Windows y para MAC, en la Figura (5) se muestra el aspecto del entorno de programación, el cual está constituido por un editor de texto para escribir el código, una consola de texto, un área de mensajes, una barra de

herramientas con botones para las funciones más comunes, y una serie de menús. Una vez escrito el programa que se quiera que el Arduino ejecute, lo cargaremos a través del USB y Arduino comenzará a trabajar de forma autónoma.



Figura 5: Plataforma de desarrollo Arduino
Fuente: Desarrollo de un dispositivo Arduino, Página 5

2.2.10 Python

Python es un lenguaje de programación creado en el año 1991 por Guido van Rossum, un científico de la computación conocido por dicho hecho. Python se utiliza como lenguaje de programación interpretado, lo que ahorra un tiempo considerable en el desarrollo del programa, pues no es necesario compilar ni enlazar. El intérprete se puede utilizar de modo interactivo, lo que facilita experimentar con características del lenguaje, escribir programas desechables o probar funciones durante el desarrollo del programa.

2.2.11 Framework

No es más que un marco de trabajo, esquema o estructura que se aprovecha para el desarrollo de una aplicación. En otras palabras, es el entorno pensado para hacer más sencilla la programación de cualquier aplicación o herramienta actual. Plantea muchas ventajas y, además, es capaz de hacer que se realicen incluso labores mucho más

complejas que, por otros medios, serían imposibles de plantear siquiera a la hora de programar algo.

2.2.12 Django

Es un framework encargado de automatizar los procesos y facilitar la programación. Está escrito en lenguaje Python. Fomenta el desarrollo rápido y el diseño limpio y pragmático. Entre sus filosofías se tienen:

- DRY: Django utiliza esta filosofía para no crear bloques de código iguales y fomentar la reutilización del mismo.
- Admin: Django es el único framework que “por defecto” viene con un sistema de administración activo, listo para ser utilizado sin ningún tipo de configuración.
- ORM: Object Relational Mapping es un modelo de programación cuya misión es transformar las tablas de una base de datos de forma que las tareas básicas, que se realizan como programador, estén simplificadas. Al hacer esto, se puede ahorrar mucho tiempo, ya que cada vez la información es mayor y más cambiante. Dicho de otro modo, es una herramienta que permite realizar consultas a la base de datos sin utilizar SQL.

2.2.13 SQL

Structured Query Language o SQL, que no es más que un lenguaje estándar de utilizado por la mayoría de gestores de bases de datos relacionales, permitiendo así la conexión y comunicación a la misma a través de sentencias de código, las cuales, de alguna manera, pueden lograr crear, modificar, y/o eliminar cualquier registro o elemento de la base de datos.

2.2.14 PostgreSQL

Para llevar a cabo el registro médico que en el presente trabajo de investigación se establece, es necesario contar e implementar con una base de datos capaz de almacenar y manejar todos los datos de la manera más eficiente posible, es por ello

que, se elige PostgreSQL como la principal, pues ésta es gratuita y libre, aparte permite establecer funciones personalizadas por medio de varios lenguajes como PHP, Python, Ruby, Perl, Java, entre otros. Asimismo, la misma estará enlazada una interfaz gráfica (entiéndase esto como un conjunto de elementos visuales en pantalla que permiten al usuario realizar ciertas acciones sobre la aplicación que está utilizando), permitiendo una interacción fácil, intuitiva y directa entre el doctor(a) y el registro mencionado.

2.3 Definición de términos básicos

- **Sinapsis:** pequeño espacio que existe entre las neuronas
- **Membrana:** Lámina o tejido orgánico que cubre al órgano o conducto.
- **Sarcolema:** Es la membrana citoplasmática de las fibras musculares.
- **Electromiógrafo:** Dispositivo electrónico que capta las señales bioeléctricas presentes en los músculos y nervios del cuerpo.
- **Electromiograma:** Registro de la actividad eléctrica de algún musculo en sus dos estados (reposo y excitado), ya sea de forma impresa o digital.
- **Electrodo:** Transductor que convierte corriente iónica en corriente eléctrica, el cual es utilizado para capturar la actividad eléctrica de los músculos.
- **Bootloader:** software alojado en la memoria flash que nos permite programar Arduino a través del puerto serie sin necesidad de usar un programador externo.

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

La naturaleza propia del proyecto, hace que la investigación entre en la clasificación de proyecto factible, puesto que se desarrollará un plan de trabajo para el diseño de un electromiograma que se utilizara para monitorear la señal los músculos en su estado de reposo y excitado a tiempo real, esto con fin de solventar los inconvenientes que presentan los equipos actuales. Basado en lo anteriormente descrito Mijares y García (2007) definen como proyecto factible a:

“... la investigación elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas tecnologías, métodos o procesos. El proyecto factible debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades...” (p5).

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es el conjunto de directrices que toma el investigador con el fin de observar, analizar y plantear una solución de ser posible a la problemática objeto de la investigación. Según Palella y Martins (2012) definen como investigación de campo a:

“La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta...” (pag.88).

3.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación se refiere según Arias:(2012) “al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno” (p.47). Así pues, el nivel de investigación establece hasta qué punto se llevará a cabo el estudio del tema o 28 problema planteado. Tomando en cuenta el tipo de investigación, se conocerá el nivel en el cual se basa todo el estudio. También el nivel permite saber qué factores tienen que intervenir para el desarrollo de toda la investigación.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, el nivel de investigación que se emplea es descriptiva definido por Hurtado de B. (2010), como: “Los estudios descriptivos miden de forma independiente las variables, y aun cuando no se formulen hipótesis, las primeras aparecerán enunciadas en los objetivos de investigación” (p.223).

Lo mencionado por Hurtado, se aplica a todas las investigaciones que conllevan a diseños dirigidos a cubrir necesidades y que están basados en conocimientos anteriores.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos

Los instrumentos de investigación son parte fundamental de la misma ya que son los medios por los cuales el investigador puede recolectar datos sobre la problemática en la que está trabajando, teniendo esto en cuenta Sabino (1992) lo define como:

“Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en sí toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados” (p.149,150).

Y por técnica se va a anotar la definición que nos da el diccionario de metodología anteriormente citado, el cual establece que las técnicas de investigación son: “Conjunto de mecanismos, medios y sistemas de dirigir, recolectar, conservar, reelaborar y transmitir los datos sobre estos conceptos” (p.150).

3.4.1. Técnicas empleadas

- **Revisión Documental:** La revisión documental es hacer una recopilación de información sobre textos e investigaciones generados por otros investigadores que tienen relación directa o 29 directa con la problemática que es razón de estudio. Hurtado (2010) define este concepto como: “es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros como texto en sí mismo constituyen los eventos de estudio” (p.427).

- **Observación directa:** La observación directa es el proceso en el cual el investigador recolecta datos directamente desde el medio ambiente del fenómeno a estudiar, por otro lado, Hurtado (2010) la define como: “un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información para el cual el investigador se apoya en sus sentidos” (p.459).

3.4.2. Instrumentos empleados

- **Instrumento de registro:** Permite poseer un soporte de la información en periodos de tiempo relativamente largos de modo que el investigador pueda recuperar la información cuando lo necesite.
- **Instrumento de observación técnicamente asistida:** Principalmente se contará con el empleo de algún dispositivo de medición de variables físicas de interés presentes en la realización de todas las experiencias que tenga el investigador con el fenómeno a estudiar.

3.5 Fases de la Investigación

Fase I: Estudio del funcionamiento de los electromiogramas comerciales.

Se inició con el estudio del funcionamiento de los electromiogramas. Para ello es necesario realizar una profunda y asertiva revisión bibliográfica sobre dichos equipos, por otra parte, es necesario saber exactamente cuál debe ser la posición adecuada de los electrodos ya que ellos son los encargados de tomar la señal EMG. Para culminar esta primera fase es importante realizar una entrevista a varios especialistas, ya sean neurólogos o fisiatras que usan día a día un electromiograma.

Fase II: Identificación de las debilidades existente de un electromiograma actual

Después de conocer el electromiograma actual se identificó las desventajas que este posea con respecto al diseño propuesto.

Fase III: Elección de la arquitectura del Hardware, Software y medio de comunicación del electromiograma.

Luego de culminar con las debilidades del electromiograma actual se procede con la elección del Hardware, lenguaje de programación y programas utilizados para el proyecto.

Fase IV: Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica del electromiograma.

En esta fase se evaluó el impacto económico y social del electromiograma propuesto, sus beneficios que tiene el diseño y si es factible o no su implementación.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Fase I: Estudio del funcionamiento de los electromiogramas comerciales.

4.1.1 Observación directa

El electromiograma es un dispositivo medico electrónico el cual se encarga de captar y ampliar las señales bioeléctricas presentes en los músculos del cuerpo humano, cuando un individuo se somete a un análisis electromiográfico, estará supervisado por un especialista en el área. Dicho especialista proseguirá en insertar unos electrodos que le brindara la información necesaria para hacer el análisis y es por ello que se le pedirá al paciente que someta al musculo a tres estados, el primero será en reposo, se proseguirá con una leve excitación y culminara con una excitación con mayor esfuerzo. Esto ayudara al especialista a determinar si el musculo se encuentra en buenas condiciones o si padece de alguna lesión o enfermedad. Existen diversos equipos profesionales se tomará como referencia un electromiógrafo “NEURONIC” que posee las siguientes características:

- Brinda la posibilidad de estimulación en modo periódico o aleatorio.
- Permite el registro y análisis de la gráfica obtenida por la diferencia de potencia obtenida por el equipo
- Permite la visualización de los promedios durante la recolección y edición de la señal obtenida por el equipo, en adición con los cálculos estadísticos para evaluar la señal
- El equipo posee un Software Modular en Windows que es de fácil manejo con aplicaciones para estudios de la electromiografía.
- Software Modular en Windows de fácil manejo con aplicaciones para realizar Estudios de Electromiografía, Estudios de Conducción Sensitiva y Motora, Onda F, Reflejo H, Reflejo de parpadeo y Estimulación repetitiva.
- Posibilidad de tener varias bases de datos de pacientes que se pueden encuestar cómodamente para revisión de los casos.

- Toda la información acerca de la recogida (datos del paciente, protocolo de estimulación, potencial evocado y EMG) es guardada en una base de datos que puede ser operada con facilidad.

El electromiógrafo NEURONIC mostrado en la figura 6 es un equipo bastante completo que tiene múltiples funciones que le facilita el trabajo al especialista en el área aumentando la eficiencia del análisis de las señales bioeléctricas.

Figura 6: Electromiógrafo NEURONIC

Fuente: Catalogomedico NURONIC

4.1.2 Revisión documental del funcionamiento de un electromiograma

Para la práctica de una electromiografía se puede usar cualquier tipo de electrodo (superficial o intramuscular), sin embargo, hay que tomar en cuenta que para estudios más detallados es necesario utilizar los electrodos intramusculares ya que son más precisos e inmunes al ruido que los superficiales. Cuando se trabaja con electrodos superficiales se debe tomar en consideración que la impedancia de la piel esta alrededor de los 0.5k

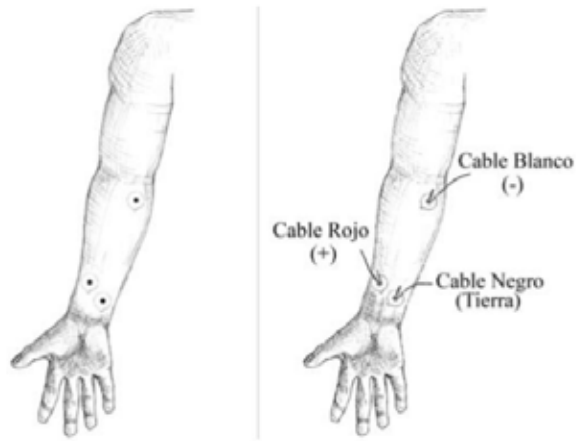


Figura 7: Ubicación de electrodos en el antebrazo

Fuente: Manual de laboratorio de prácticas de fisiología UNAM

En este momento se deberá analizar el estado del miembro cuando este en reposo, con una contracción suave y culminando con una contracción con esfuerzo. Básicamente el electromiograma se divide en varias etapas, como muestra el diagrama de la figura 8

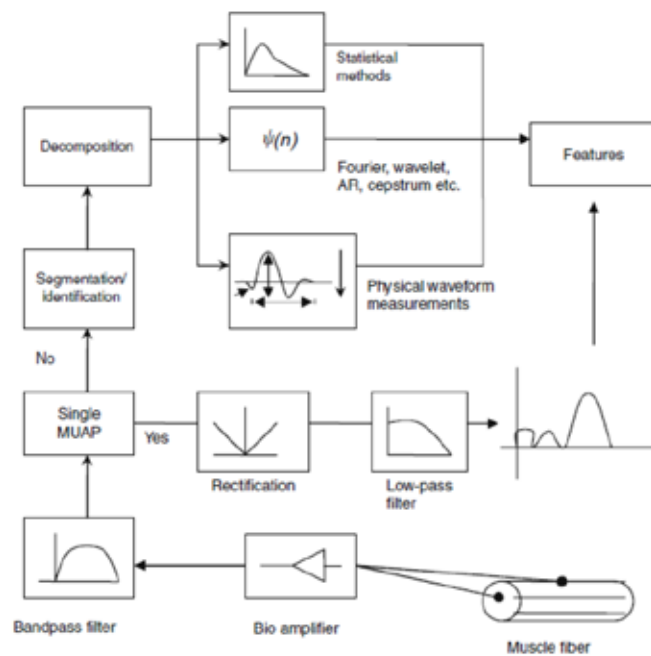


Figura 8: Etapas de un electromiograma

Fuente: Procesado de señales EMG en Trastornos Neuromusculares PDF

4.1.2.1 Etapas del electromiograma

Un electromiograma debe tener las siguientes etapas para que pueda funcionar de manera óptima, entre estas etapas tenemos: la adquisición, amplificación y filtrado de la señal, Digitalización mediante un convertidor ADC, Visualización y almacenamiento de la señal.

- **Adquisición de la señal**

La primera etapa del equipo consiste en adquirir la señal bioeléctricas mediante los electrodos, como la diferencia de potencia adquirida es muy pequeña, esto supone un inconveniente para el procesado de la señal ya que las hace susceptibles a la interferencia y el ruido. Existen diferentes tipos de electrodos, pero todos cumplen con la función de obtener la señal bioeléctricas emitida por el musculo analizado.

Electrodo de placas metálicas

Este electrodo consiste en un botón metálico de contacto hecho de plata o de cloruro de plata en la parte alta de la columna, el cual se rellena con una especie de gel o pasta conductiva. Este electrodo mantiene su posición mediante un disco de hule espuma cuya superficie tiene una sustancia adhesiva.

Electrodos de succión

A diferencia de los electrodos de placas metálicas, este tipo de electrodos no requiere cintas ni adhesivos para conservarse en su lugar, ya que consisten en un electrodo cilíndrico metálico hueco que hace contacto con la piel en su base y se adhiere a la piel mediante un gel electrolítico.

Electrodos Flotantes

Los electrodos flotantes son prácticamente inmunes. En ellos se elimina el contacto directo entre ellos y la piel. La parte metálica es un disco o una bolita de plata recubierta con cloruro de plata, que entra en contacto eléctrico con la piel a través de la pasta electrolítica contenida en su cavidad.

Es por este motivo dichas señales se deben amplificar, aislar y filtrar para tener una correcta lectura de los puntos de interés. Por lo tanto, para la solución a este

problema se usará un amplificador instrumental que pasará la señal en el orden de los micro-voltios hasta el orden de los voltios

- **Amplificación de la señal**

Luego de culminar con la adquisición de la señal se procede con la amplificación de esta misma, en donde el objetivo principal es lograr llevar la señal a valores apreciables y para ello es necesario la utilización de un amplificador instrumental

Amplificador instrumental

El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial, cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y ha sido optimizado para que opere de acuerdo a sus propias especificaciones aún en un entorno hostil. Es un elemento esencial de los sistemas de medida, en los que se ensambla como un bloque funcional que ofrece características funcionales propias e independientes de los restantes elementos con los que interacciona. Estos circuitos amplifican la diferencia entre dos señales de entrada y rechazan cualquier señal que sea común a ambas señales. Estos circuitos se utilizan principalmente para amplificar señales diferenciales muy pequeñas en muchos procesos industriales, medición, adquisición de datos y aplicaciones médicas. Ante las exigencias de medida que imponen los sensores, estos circuitos deben cumplir unos requisitos generales:

Ganancia: seleccionable, estable y lineal.

Entrada diferencial: con alto rechazo al modo común (CMMR).

Error despreciable debido a las corrientes y tensiones offset.

Impedancia de entrada alta.

Impedancia de salida baja.

Para trabajar con la señal bioeléctricas tomada por los electrodos, esta debe ser amplificada ya que la de una persona es demasiado pequeña, la cual varía entre los 0.5mV y 4mV en función del tiempo-amplitud, a esta señal se le amplifica dándole una ganancia de 1000.

- **Filtrado de la señal**

El ruido del ambiente es uno de los principales problemas que tiene el equipo y es por ello que se debe utilizar dos tipos de filtros: el primero es un filtro rechaza banda que normalmente su rechazo estará orientado a los 60 Hz, este circuito se ve expuesto al ruido ambiental que proviene de las lámparas fluorescentes y otros ruidos que emiten ruido a través de ondas de 60Hz. El segundo filtro usado es conocido como filtro Buttherworth, este filtro estará ubicado en el 6to orden que solo permitirá el paso de señales cuyas frecuencias este entre 0.5 Hz a 150Hz.

- **Digitalización de la señal**

Para que el equipo pueda funcionar, es necesario tener un módulo que se encargara de convertir la señal adquirida (señal analógica) a una señal que pueda ser procesada por el controlador lógico programable (señal digital).

Convertidor ADC

Como se habló con anterioridad la señal adquirida por los transductores estará expresada de manera analógica y el convertidor se encargará de buscarle un análogo en número digital a cada muestra obtenida por el equipo. En la figura 9 se muestra el diagrama básico de un convertidor analógico/digital.

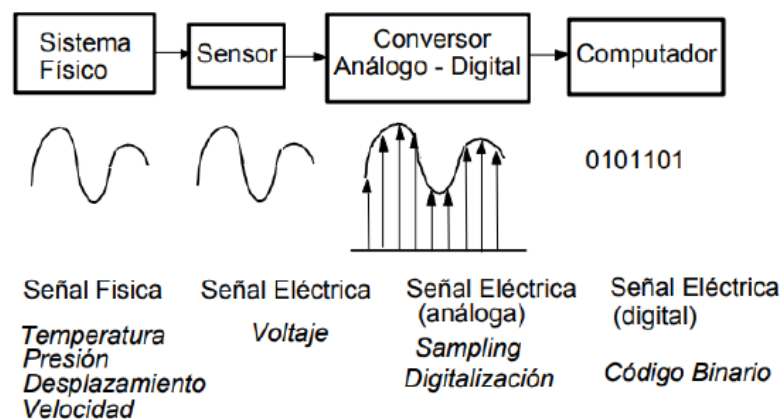


Figura 9: Diagrama de un convertidor ADC
Fuente: Tesis de desarrollo de un electrocardiógrafo de la UJAP

En dicho diagrama se muestra la secuencia desde que la variable física entra al sistema hasta que es transformada a señal digital (código binario). Para dicha señal ingrese al convertidor análogo - digital, ésta debe ser muestreada, es decir, se toman valores discretos en instantes de tiempo de la señal análoga, lo que recibe el nombre de *sampling*. Matemáticamente es el equivalente a multiplicar la señal análoga por una secuencia de impulsos de periodo constante. Como resultado se obtiene un tren de impulsos con amplitudes limitadas por la envolvente de la señal analógica. Para realizar esa tarea, el conversor ADC (Conversor Analógico Digital) tiene que efectuar los siguientes procesos:

Muestreo de la señal analógica

Definimos muestreo como la cantidad de veces que medimos el valor de la señal en un periodo de tiempo (usualmente en 1 segundo). Según el teorema de Nyquist-Shannon la cantidad de veces que debemos medir una señal para no perder información debe de ser al menos el doble de la frecuencia máxima que alcanza dicha señal. En otras palabras, si deseamos grabar una conversación telefónica, como el ancho de banda de la red telefónica es de 3khz, para no perder información deberemos tomar del orden de 6.000 muestras/segundo

Cuantización y codificación de la señal obtenida.

Definimos cuantificación como el número de símbolos que utilizamos para guardar una medida de una señal. Para guardar la medida la codificamos con un conjunto de bits. A mayor número de bits empleados para guardar la medida mayor exactitud. Habitualmente se emplean valores de 8 y 16 bits por canal de información para almacenar los valores de las medidas adquiridas. Con respecto a la codificación digital, esta consiste en la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos que ya han sido cuantificados (ponderados) al sistema binario, mediante códigos preestablecidos. La señal analógica va a quedar transformada en un tren de impulsos de señal digital (sucesión de ceros y unos). Esta traducción es el último de los procesos que tiene lugar durante la conversión analógica-digital. El resultado es un sistema binario que está basado en el álgebra de Boole.

- **Transmisión de datos.**

La transmisión de datos digitales es la transferencia física de datos (un flujo digital de bits) por un canal de comunicación punto a punto o punto a multipunto. Ejemplos de estos canales son cables de par trenzado, fibra óptica, los canales de comunicación inalámbrica y medios de almacenamiento. Es importante resaltar que los datos se representan como una señal electromagnética, una señal de tensión eléctrica, ondas radioeléctricas, microondas o infrarrojos.

Transmisión digital

En el momento de hablar de transmisión de datos, hay que tomar en cuenta que las señales digitales no cambian continuamente, sino que es transmitida en paquetes discretos. No es tampoco inmediatamente interpretada, sino que debe ser primero decodificada por el receptor. El método de transmisión también es otro: como pulsos eléctricos que varían entre dos niveles distintos de voltaje. En lo que respecta a la ingeniería de procesos, no existe limitación en cuanto al contenido de la señal y cualquier información adicional.

4.2 Fase II: Identificación de las debilidades existente de un electromiograma actual

Actualmente cuando se habla de electromiógrafo suelen presentar funcionalidades muy completas, como, por ejemplo; la posibilidad de tener múltiples canales permitiendo así que el equipo sea capaz de analizar no solo un musculo, si no varios a la vez. Estos dispositivos poseen un buen rendimiento en cuanto a la amplificación y filtrado de las señales analizadas, muchos de ellos son portátiles, poseen conectividad inalámbrica e incluso una base de datos que les permite llevar un registro de cada paciente analizado.

El problema que presentan estos equipos generalmente tienden a ser que son muy costosos debido a las grandes virtudes que aportan, lo cual hace que sea de difícil adquisición. A la hora de formar especialista en el área de la electromiografía esto suele

ser una complicación, ya que no todas las instituciones tienen la capacidad adquisitiva de tener un equipo de alta tecnología. Otra desventaja que tiene estos equipos es que suelen traer periféricos (monitor, teclado, mouse, entre otros) que son diseñados exclusivamente para trabajar con ellos, esto trae como consecuencia que en el momento de que uno de esos periféricos se dañe, la posibilidad de cambiarlo no es tan accesible puesto a que sus costos son muy elevados o simplemente son difíciles de conseguir.

Por otro lado, los equipos actuales suelen ser equipos muy robustos, considerados como equipos muy grandes y de difícil traslado. Esto trae como consecuencia de que el equipo no sea capaz de ser una herramienta médica personal impidiendo el principio de la Telemedicina, que se define como la prestación de un servicio médico a distancia. Cuando hablamos de un electromiógrafo normalmente suelen estar diseñados únicamente para cumplir una función. Esto conlleva a desaprovechar la capacidad que tiene la nueva tecnología de aplicar la instrumentación virtual, por lo que se define como la capacidad que tiene el usuario de elegir como se comportara el hardware mediante la programación indicada, esto quiere decir que un mismo dispositivo se comportara dependiendo de lo que necesite el técnico especializado. Un ejemplo de esto es el diseño de un dispositivo que sea capaz de realizar una electromiografía, electrocardiograma o una electroestimulación dependiendo de cuál sea el caso.

4.3 Fase III: Elección de la arquitectura del Hardware, Software y medio de comunicación del electromiograma

Luego de una serie de estudios y análisis de funcionalidad respecto al electromiograma actual, haber identificado las fallas y/o debilidades del mismo, fue necesario proceder con la elaboración de ciertos elementos que permitieron tener una visión a priori de lo que se deseaba realizar, con el fin de atacar estos contras con el equipo y mejorarlo. Por esta razón, para llevar a cabo el diseño y el desarrollo del sistema web como complemento junto al Arduino y demás elementos mencionados en el presente trabajo, se deben conocer los requerimientos funcionales y no funcionales del área al que se busca hacer la mejora, en este caso, todo lo que concierne al estudio de las señales electromiográficas para pacientes con enfermedades neuromusculares. A

continuación, en la figura 10 se presenta el siguiente utilizado diagrama del equipo, el cual representa las cuatro etapas principales que tiene el electromiógrafo desarrollado

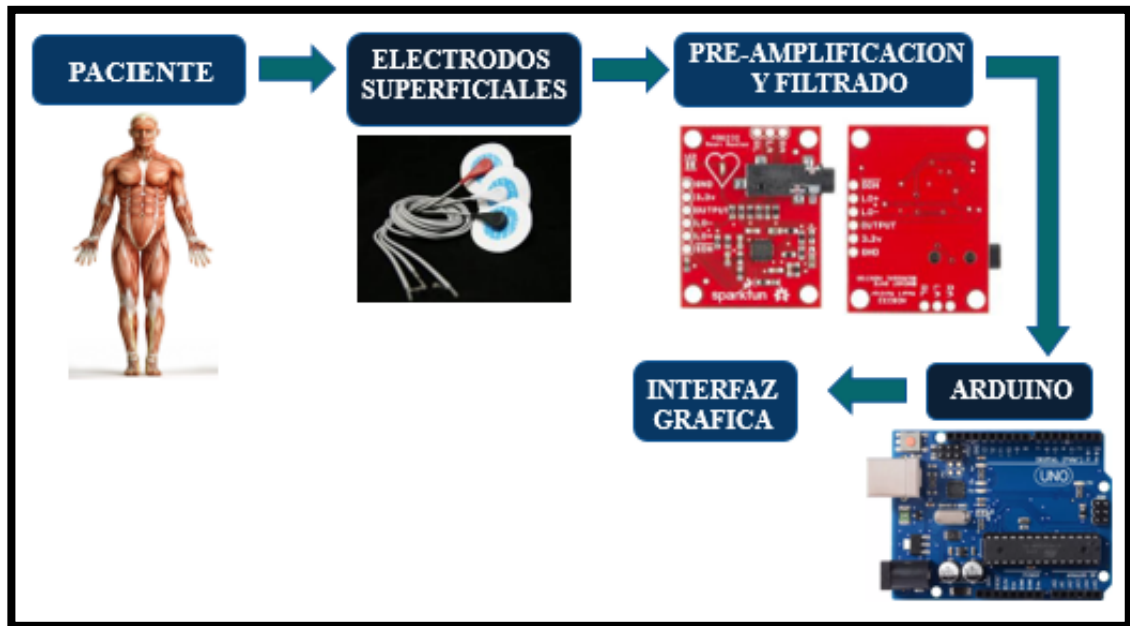


Figura 10: Diagrama de bloques del funcionamiento del electromiograma.

Fuente: Libre K, Rojas S y Romero M

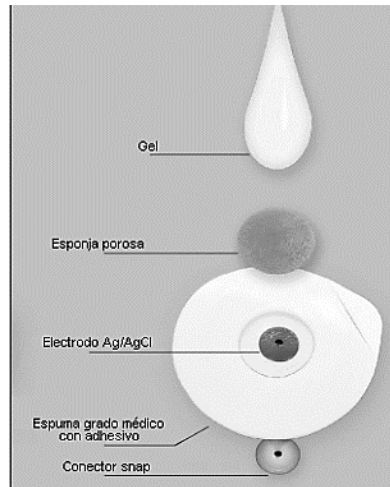
Adquisición

· Electrodo

Una vez estudiado la fase 1 entendemos que las corrientes en el cuerpo humano son conducidas por iones, mientras que en los cables y en la instrumentación electrónica, son conducidas por electrones. Por lo tanto, para poder registrar señales bioeléctricas es necesario un elemento que sea capaz de actuar como transductor entre ambos tipos de corriente: este elemento es el electrodo, este puede ser de tipo superficial o intramuscular decisión que queda por parte del médico cual usar según sea su conveniencia sobre el caso o prueba a realizar.

Los electrodos seleccionados son de superficie ver figura 11 estos son de tipo no invasivo, compuestos por un electrodo de metal y unidos a la superficie del cuerpo mediante un electrolito, son electrodos desechables pre-gelicados con contenido de plata-cloruro de plata, debido a su composición son los más estables en cuanto a

fluctuaciones de tensión que pueden producir los electrodos sin señal fisiológica alguna, es decir, al ser más estables producen menos ruido en la señal eléctrica.



Fi gura 11 Electrodo Superficial

Fuente: Sensor inalámbrico de ECG conectado vía bluetooth a aplicación de análisis automático en el teléfono móvil

Es de importancia conocer los requerimientos en cuanto a separación y posición de los electrodos en los músculos, ya que este determina el volumen de registro o recepción del tejido pues mientras más pequeño sea el espacio entre ellos más selectivo es su registro, según las recomendaciones presentadas por la norma SENIAM (Surface ElectroMyoGraphy para la evaluación no invasiva de los músculos) la distancia entre los electrodos debe ser aproximadamente dos centímetros, teniendo un tercer electrodo de referencia sobre un lugar distinto al musculo que se medirá, preferiblemente sobre una zona donde exista un hueso próximo a la piel.

- **Cable para electrodos**

El cable utilizado para conectar los electrodos a la placa de adquisición consiste de tres conectores tipo snap hembra, en un extremo, y en el otro un conector de 3.5 mm macho, dado que la placa tiene una entrada para ese tipo de conector. Los cables se pueden observar en la figura 12.



Figura 12 Cables para la conexión de electrodos.

Fuente: Electronicaestudio

Tarjeta front-end analógico

Para poder tener una muestra de la señal censada esta debe primero ser amplificada ya que su amplitud varía desde las centenas de microvoltios hasta las unidades de milivoltios lo que no es suficiente para su utilización directa como señal de control, y por ser una señal de baja amplitud se suma la componente de ruidos propios del cuerpo y ajenos a él, por lo que es necesario filtrarla para discriminar las señales no deseadas.

Para este proyecto se seleccionó la tarjeta front-end AD8232 marca sparkfun mostrado en la figura 13 este es un integrado que está diseñado para extraer, amplificar y filtrar pequeñas señales biopotenciales en presencia de condiciones ruidosas como las creadas por el movimiento o colocación remota de electrodos, dedicado al acondicionamiento de señales de electrocardiograma (ECG), pero por las características que presenta también nos resulta funcional, aparte de su bajo costo.



Figura 13 Tarjeta de adquisición AD8232 Sparkfun

Fuente: Desarrollo de un electrocardiógrafo con interfaz gráfica computarizada en tiempo real

El integrado AD8232 requiere una tensión de alimentación de entre **2 V** y **3.5 V** y presenta un Coeficiente de Rechazo al Modo Común **CMRR** de 80dB y El integrado AD8232 cuenta con un amplificador de instrumentación, permite realizar un filtrado tanto pasa-alto como pasa-bajo de la señal y cuenta con un amplificador operacional que puede ser utilizado para amplificar aún más la señal, también destaca su bajo consumo de corriente, de sólo 170 μA , Ver figura 14

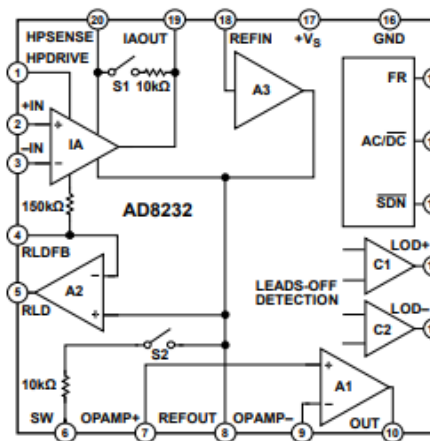


Figura 14. Diagrama de bloques funcional.

Fuente: Datasheet AD8232

Plataforma de desarrollo Arduino.

La plataforma de desarrollo seleccionada para este proyecto es Arduino, debido a las características que presenta, algunas de ellas como su bajo costo, hardware de código abierto y su gran versatilidad a la hora de desarrollar proyectos numerosos y de diversos ámbitos, su estructura está basada en una sencilla placa Ver figura 15 con entradas y salidas, analógicas y digitales, cuenta con un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing (Hodges et al.,2012), se utilizó para convertir la señal analógica entregada por la tarjeta AD8232 a digital y entregarla así mediante el puerto serial a la interfaz Python.

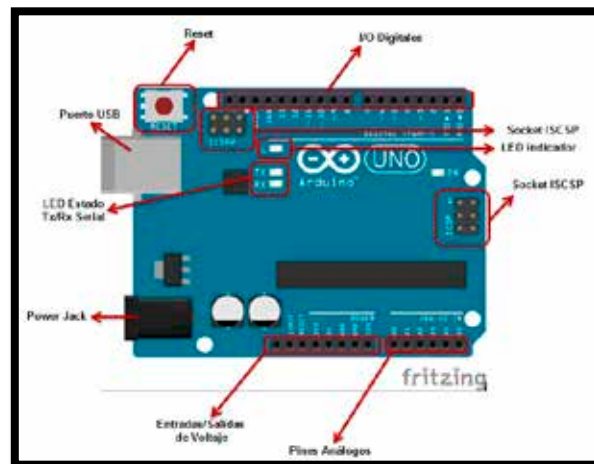


Figura 15: Arduino Uno, Especificaciones y características.

Fuente: Pluselectric

Arduino Uno es una placa que está basada en un microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteado. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador. Ver tabla 1.

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Límite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Tabla 1 Arduino Uno, Características técnicas.

Fuente: Arduino

Conexión de tarjeta AD8232 con Arduino Uno

Luego de ya definido y resaltado las características de cada una de las tarjetas en la figura 16 se puede observar la conexión entre ellas.

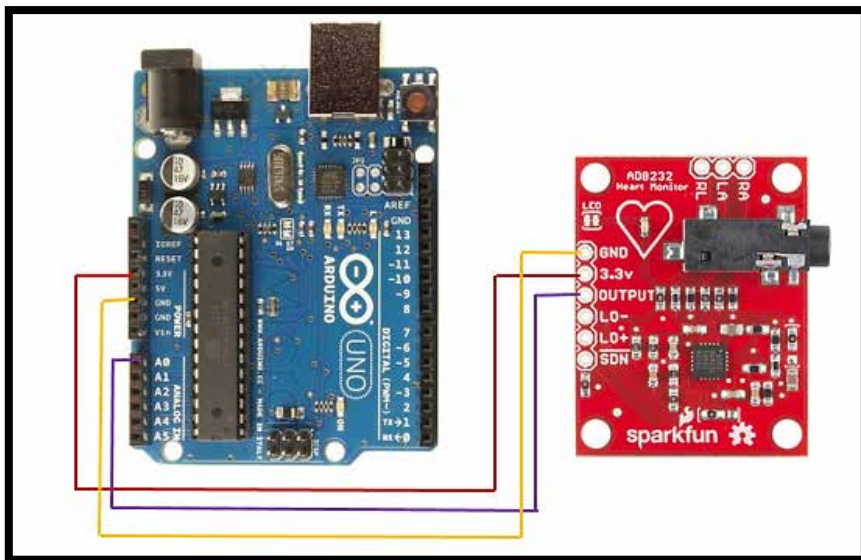


Figura 16: Conexión de Arduino

Fuente: Libre K, Rojas S, Romero M.

Conexión de Arduino a Python mediante puerto serial

Después de realizada la conexión de la tarjeta AD8232 con arduino y su conversión de la señal adquirida analógica a digital mediante el convertidor ADC se realizó el envío de datos hacia Python mediante el puerto serial es cuál es la forma principal de conectar una placa Arduino con un ordenador, enviando la información mediante una secuencia de bits. Por defecto el puerto serial está configurado por el mismo cable de alimentación mostrado en la figura 17.



Figura 17: Cable de alimentación del Arduino

Fuente: Arduino

4.3.1 Determinar requerimientos funcionales y no funcionales

Una vez realizada la observación directa y el aglomerado de información reunida por pequeñas entrevistas indirectas con personas dedicadas al área de salud, se pudo plasmar los requerimientos funcionales y no funcionales que se explican a continuación.

4.3.1.1 Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales en el desarrollo de software corresponden a la declaración de los servicios o funcionalidades que prestará el sistema, incluyendo a veces lo que el sistema no debe hacer. A continuación, se proceden a explicar estos.

- **Administrador del sistema:**

Gestión y creación de áreas de especialización (traumatología, medicina general, neurología, entre otras)

Gestión y creación de usuarios (doctores), permitiendo la visualización de los mismos a través de una tabla de elementos.

Gestión de historias clínicas mediante una tabla de elementos y posibilidad de ver detalles de cada una.

Gestión de sesiones para estudios de enfermedades neuromusculares

No debe tener la posibilidad de eliminar historias, pacientes, ni estudios.

- **Usuario del sistema (doctores):**

Creación y visualización de historias clínicas

Creación y visualización de sesiones para estudios de enfermedades neuromusculares

Creación y visualización de comentarios a sesiones asociadas a una historia clínica

No debe tener la posibilidad de eliminar historias, pacientes, estudios ni tampoco los comentarios asociados a éste.

4.3.1.2 Requerimientos no funcionales

Cuando se habla de éste tipo de requerimientos se hace énfasis no en las funcionalidades del sistema en sí, sino a las propiedades que éste pueda o deba tener para asegurar un buen desempeño. Básicamente se habla de cómo lo hace, y depende de las necesidades del usuario, sus restricciones y demás.

- **Interfaz:** Cuenta con una interfaz simple, agradable y con colores suaves relacionados generalmente con el área médica.
- **Idioma:** Idioma seleccionado para el desarrollo es el español de Latinoamérica (Venezuela).
- **Seguridad:** Autenticación de usuario para los especialistas, puesto que son los únicos capaces de registrar pacientes y demás información. Por otra parte, el

uso de un servidor local para mantener un grado de seguridad medio-alto y el acceso a la información dentro del recinto de salud.

- Rendimiento y escalabilidad: La obtención de los datos se produce en tiempo real, graficando los mismos al momento de estar conectados los electrodos y demás circuitos conectados a la zona de estudio, asimismo, el motor de base de datos permitirá el buen y rápido uso de la información y a gran escala.
- Fiabilidad: Debido a que la aplicación se estima para uso intranet, está exenta de percances con fallas referentes al internet. En caso de fallas de luz al momento de la sesión, se borran los datos de la electromiografía para evitar guardar información errónea, pero se mantiene a salvo la información personal del paciente.
- Facilidad de uso: La aplicación mantiene un diseño simple y fácil de manejar sin conocimiento alguno, por lo que mejora en gran parte la adaptabilidad del usuario con la misma.
- Hardware: Es necesario que para el uso del sistema se tenga al menos una computadora o equipo portátil con acceso a un navegador web, a su vez, se requiere de un servidor local para correr de forma intranet dentro del lugar donde se desee recibir, manejar y transmitir toda la información entre los especialistas y/o doctores.

4.3.2 Establecimiento de casos de uso

Para efectos de visualizar con más claridad las actividades del sistema, se realizaron los respectivos diagramas de casos de uso, siendo ésta una herramienta importante para el diseño. En cuanto a los actores del sistema se definen dos de la siguiente manera:

- A. **Administrador:** Éste tiene acceso total a todos los módulos, incluyendo permisos para borrar y editar especialidades y doctores, sin embargo, no puede crear pacientes, historias clínicas ni sesiones de estudios. En la figura 18.

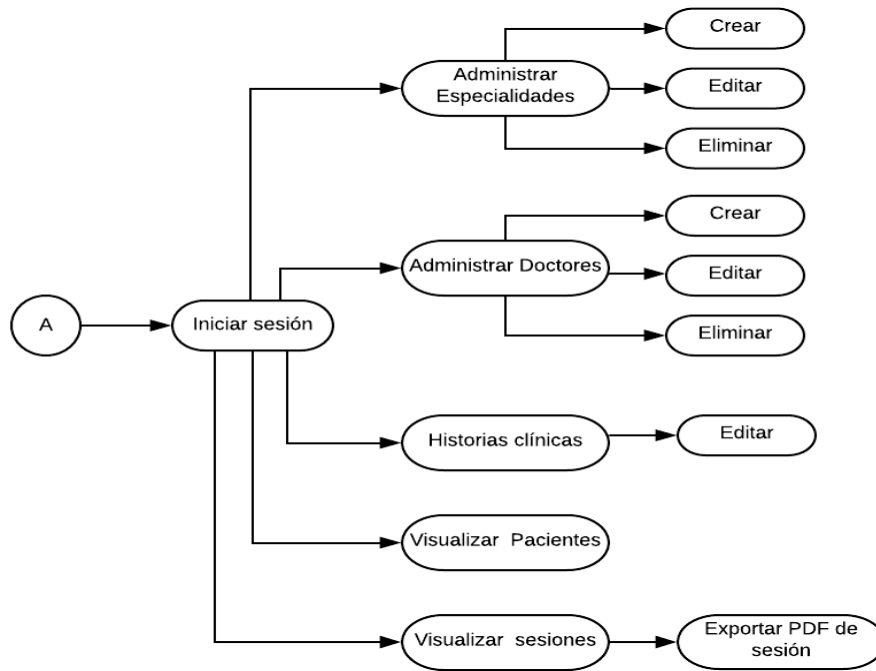


Figura 18: Diagrama de caso de uso del actor 'Administrador'

Fuente: Tesis de desarrollo de un electrocardiógrafo de la UJAP

- B. **Doctor:** El doctor puede ingresar a la plataforma y corresponde al segundo y único nivel después del administrador, éste puede crear pacientes, historias, sesiones de estudios y realizar comentarios en cualquier sesión correspondiente a cualquier historia, pero, sin poder realizar modificaciones en ninguna de las anteriores. En la figura 19 se puede observar el diagrama de caso de uso del actor.

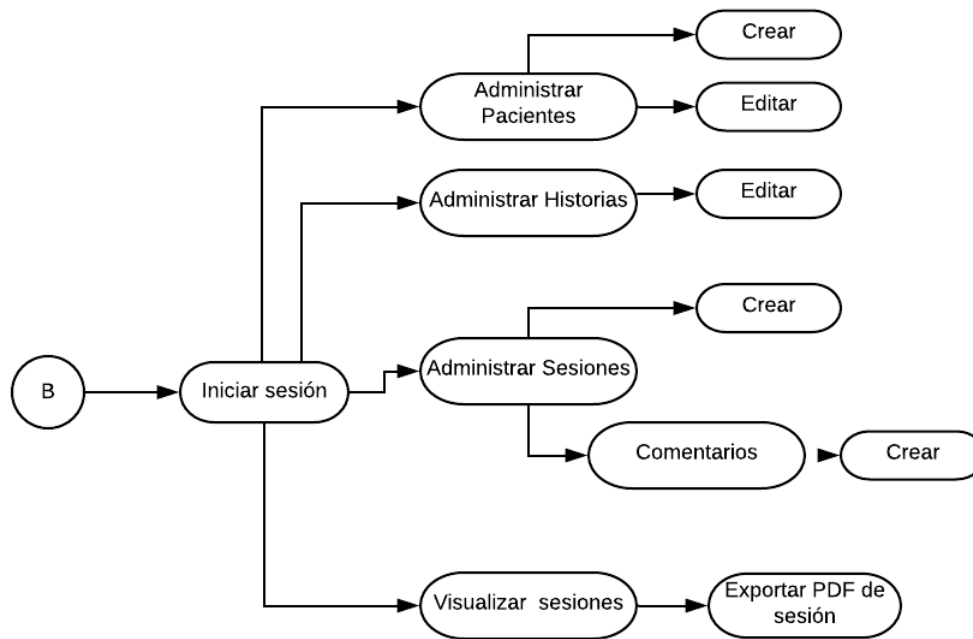


Figura 19: Diagrama de caso de uso del actor ‘Doctor’

Fuente: Tesis de desarrollo de un electrocardiógrafo de la UJAP

4.3.2 Diseño de diagrama entidad relación de la base de datos

Siendo ésta una herramienta para el modelado de la base de datos, fue necesario y como buena práctica, realizar lo que corresponde para tener una mejor visualización a nivel estructural y relacional. Para ello, se procede a mostrar el diagrama a través de la figura 20 y posterior a ella un reporte general mostrado en la tabla 2. Asimismo, en los anexos se podrá visualizar el diccionario de datos para complementar esta información.

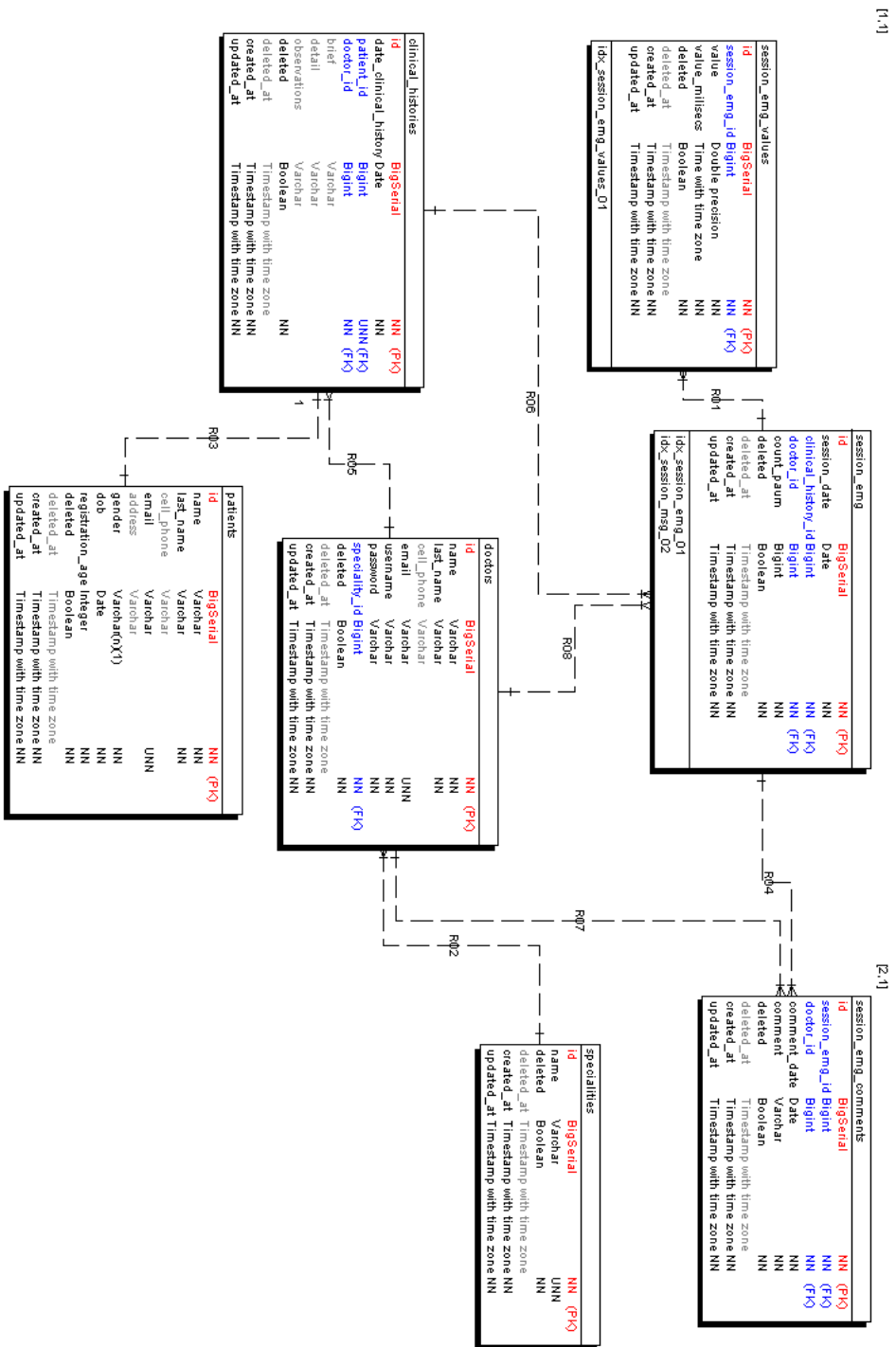


Figura 20 : Diagrama entidad relacion de base de datos Fuente: Tesis de desarrollo de un electrocardiógrafo de la UIAP

Nombre de identidad	Tipo de identidad	Llave primaria	Cant. De Atributos
clinical histories	independiente	id	11
doctors	independiente	id	12
patients	independiente	id	13
session emg	independiente	id	9
session emg values	independiente	id	8
session_emg_comments	independiente	id	9
specialities	independiente	id	6

Tabla 2: Reporte general de tablas en base de datos

Fuente: Tesis de desarrollo de un electrocardiógrafo de la UJAP

4.3.3 Selección de lenguajes de programación

Fue necesario realizar una investigación profunda para la selección de los lenguajes de programación a utilizar, así como el motor de base de datos y los servicios requeridos para la implementación de la interfaz, dicho esto se explica a continuación los recursos utilizados a nivel de software.

4.3.3.1 Ruby

Es un lenguaje de programación dinámico y de código abierto y de alto nivel, caracterizado por ser reflexivo y de alto nivel, lo cual lo permite ser mucho más fácil de entender, y de implementar, el mismo trabaja bajo un esquema MVC (Modelo, Vista Controlador) y fue publicado en 1995 por Yukihiro Matz Matsumoto (programador japonés), la sintaxis principal del lenguaje fue inspirada en Python y Perl. En cuanto a la flexibilidad de dicho lenguaje, se dice que es así ya que permite a los usuarios alterarlo libremente. Se puede agregar funcionalidad a partes ya existentes, en otras palabras, Ruby intenta no restringir al desarrollador.

- **Modelo Vista Controlador (MVC)**

Es una arquitectura de software que separa los datos de una aplicación en tres partes. El modelo, que contiene una representación de los datos que maneja el sistema en base de datos. La vista, la cual corresponde a la información que se muestra o que

se envía al cliente (navegador). Y el controlador, que actúa de intermediario entre el modelo y la vista, ayudando a gestionar el flujo de información entre ellos y poder adaptar los datos como sea necesario, reflejado en la figura 21.

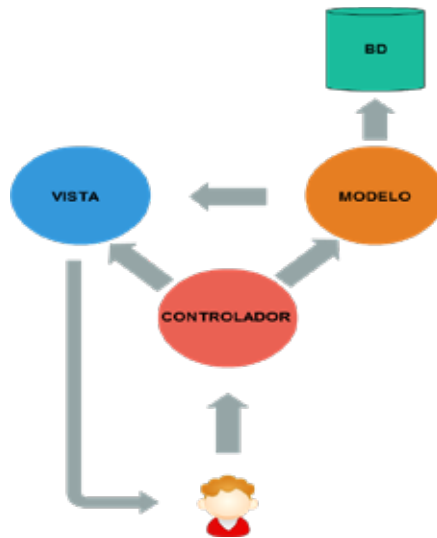


Figura 21: Diagrama de flujo de la arquitectura MVC

Fuente: Edson Mollericona Marin (2014)

4.3.3.2 Ruby on Rails

Cuando se habla de ruby on rails, básicamente se refiere usar el lenguaje de programación ruby a través de Rails. Para entender un poco más cabe explicar que rails es un entorno de desarrollo que hace mucho más amigable la programación, facilitando muchos procesos y estructuras que de forma manual serían mucho más tediosos. Rails permite que el usuario escriba menos código, logrando aún más respecto a otros lenguajes. La filosofía principal del mencionado entorno se basa en dos principios:

- **DRY**

Por sus siglas en inglés que definen Don't Repeat Yourself, lo cual hace referencia que escribir el mismo código una y otra vez es una mala práctica en programación, de esta forma, ayuda a los programadores a mejorar su productividad y calidad.

- **Convención sobre configuración**

Básicamente se refiere a que Rails asume lo que se quiere desarrollar y éste crea y coloca lo que se necesite, sin tener que especificar cada pequeña cosa que se requiera o un sinfín de archivos

4.3.3.3 Python

Python es un lenguaje de programación multiparadigma, es decir, es orientado a objetos. También es considerado un lenguaje de alto nivel al igual que Ruby, y en el presente trabajo fue necesaria su implementación en el sistema para realizar la comunicación directamente desde arduino a la interfaz, y desde arduino a la base de datos.

4.3.3.4 Flespi

Para poder realizar la comunicación entre arduino y una interfaz web, fue necesario utilizar un broker, es decir, una instancia que sirve de intermediario entre un dispositivo y otro para realizar las comunicaciones de datos. Flespi, el cual fue desarrollado por Gurtam (empresa Bielorrusia de desarrollo de software) hace la función mencionada anteriormente. Esto es utilizado en el internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés), su conexión entre un dispositivo y otro se hace a través de un protocolo de mensajería llamado MQTT. El mismo fue utilizado para el envío de datos del arduino al mencionado broker, y de esta manera recoger los datos desde la interfaz web.

- **MQTT Message Queue Telemetry Transport**

Es un protocolo de transporte de mensajes entre cliente y servidor basado en publicaciones y suscripciones a los denominados tópicos, que corresponden a una especie de canal por el cual viajan los datos y todos los equipos suscritos a dicho tópico reciben la información enviada desde un publicado.

Para efectos del trabajo de grado éste protocolo permitió la comunicación desde arduino a flespi a través de un tópico arduino/values/ (ver figura 22).

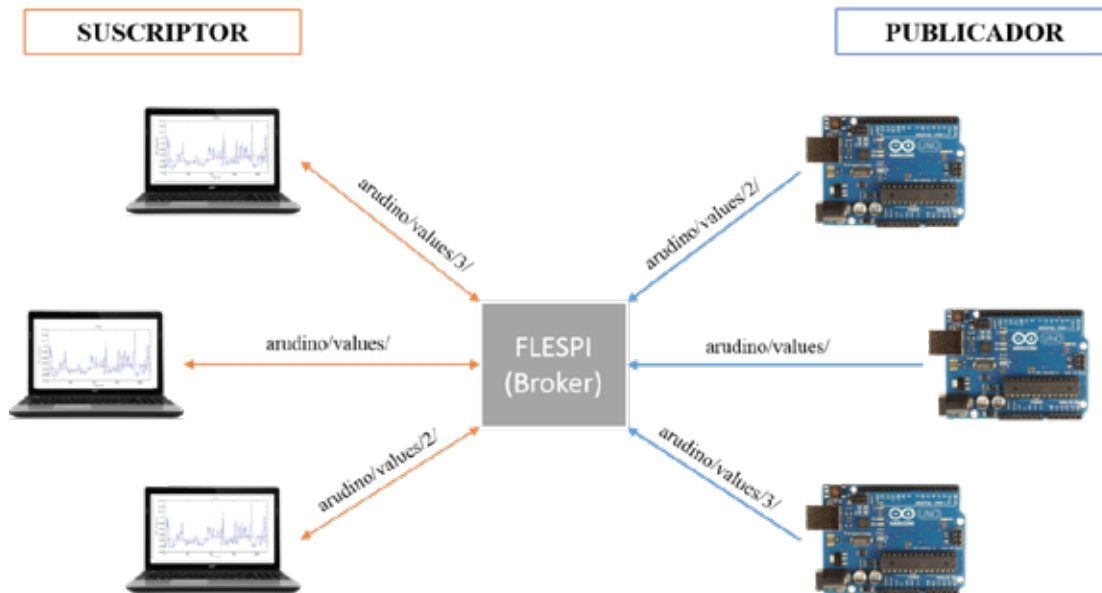


Figura 22: Diagrama de flujo de protocolo MQTT arduino a interfaz
Fuente: Tesis de UJAP 2019

4.3.3.5 Vuetify

Vuetify es un framework o entorno de trabajo que combina la potencia de VueJs (marco de trabajo basado en javascript) con la estética de Material Design. Permite acelerar el desarrollo de aplicaciones web complejas, incorporando una gran cantidad de componentes listos para usar y haciendo que las aplicaciones sean mucho más bonitas, y fluidas al momento de ejecutarse, lo que genera una aplicación de gran escalabilidad a nivel de interactividad de usuario. Este framework fue utilizado para realizar toda la interfaz que requiere el administrador y el doctor al momento de crear las historias y realizar estudios de electromiografía.

4.3.4 Diagrama de proceso entre Arduino a la interfaz

Para poder realizar el proceso que se establece en el presente trabajo de grado fue necesario hacer uso de diferentes tecnologías que permitieran una comunicación entre el Arduino y la interfaz, para ello se utilizó Python, lenguaje de programación que con ayuda de sus librerías, en especial la de PySerial se hizo la lectura del puerto serial, permitiendo de esta manera recibir los datos enviados desde él hacia la computadora, asimismo, esos datos son enviados por el protocolo de mensajería explicado

anteriormente (mqtt) a Flespi y, a su vez, enviados directamente a la base de datos, es decir, con ayuda de Python se establecieron dos procesos simultáneos que permitieran por una parte enviar los datos a Flespi, y por el otro almacenarlos en el motor de base de datos escogido (Postgresql). Una vez que los datos están recibiendo en Flespi, la interfaz web hace una suscripción al tópico Arduino/values y comienza a recibir todos los valores y los pinta en una gráfica (ver figura 23).

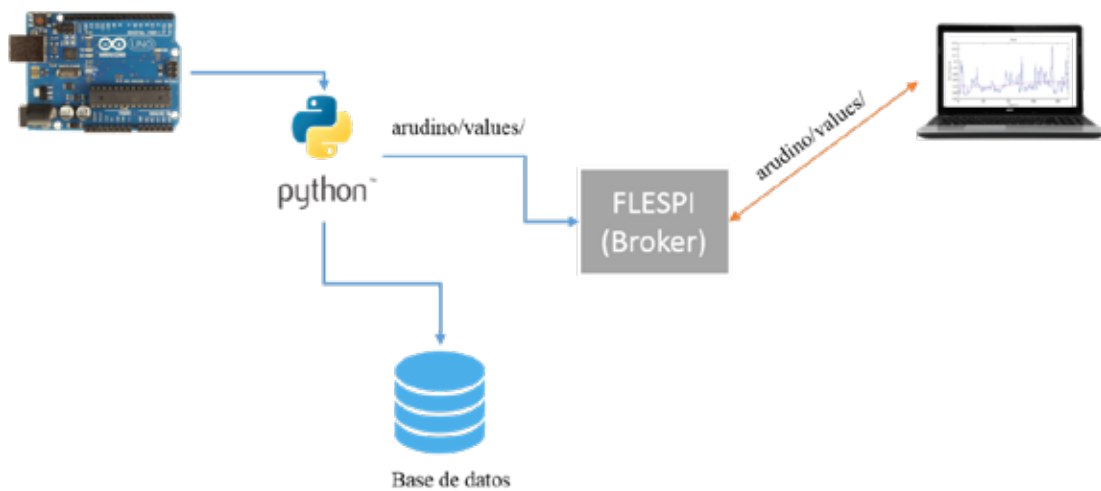


Figura 23: Diagrama de proceso entre Arduino y la interfaz

Fuente: Libre K, Rojas S, Romero A.

4.4 Fase IV: Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica del electromiograma

Cuando se desarrolla un trabajo de investigación se debe hacer un estudio de factibilidad en todos los sentidos y es por ello que se presenta lo siguiente: los electromiógrafo actuales son dispositivos muy completos y costosos, trayendo como consecuencia de que no cualquier persona puede tener la capacidad de tener su propio equipo electromédico, esto cambia en el momento de utilizar la tecnología Arduino que tiene la capacidad de crear un equipo lo suficientemente bueno para realizar estudios complejos como la electromiografía y además que sus costos no son tan elevados. Esto permitir el inicio de la telemedicina en donde los pacientes pueden adquirir su propio electromiograma y mediante un instructivo enviarle la información almacenada en la

base de datos del equipo al médico especialista en el área. Por otro lado el uso de un Arduino y la tarjeta AD8232 están contruidos bajo la microelectrónica permitiendo ser lo suficientemente pequeños y cómodos a la hora de ubicarlos en su puesto de trabajo, en adición a esto; utilizar la electrónica para el desarrollo de una PCB, tiende a ocasionar problemas con la eficiencia de la eliminación del ruido y la amplificación de la señal y es por eso que se usa el AD8232 el cual contiene un amplificador instrumental, filtros paso alto, pasa bajo e incluso filtro de rechazo de banda de buena calidad todos útiles a la hora de trabajar con señales bioelectricas. Es por todo esto que el proyecto se considera como una idea factible a diseñar e implementar con una gran capacidad exponencial de escalabilidad.

CONCLUSIONES

Cerrando con este proyecto se puede decir que un electromiografo es un dispositivo electromedico capaz de medir las señales bioelectricas cuyo origen proviene de la excitación de una unidad motora. El problema más común de estos equipos es que al analizar una señal tan pequeña, es muy tendente a que sea perturbada por ruidos externos dificultando la visualización de dicha señal y es por eso que el instrumento tiene un amplificador instrumental y una etapa de filtrado que se encarga eliminar dichas perturbaciones. En el momento de utilizar algún sistema de cómputo es necesario pasar la señal adquirida a una señal digital para que esta pueda ser tratada por la interfaz gráfica. Este dispositivo es indispensable en clínicas y centros hospitalarios encargados del estudio de las enfermedades neuromusculares, normalmente estos dispositivos son costosos y robustos, haciendo que sean de difícil su adquisición y es por eso que usando la tecnología Arduino se puede desarrollar un dispositivo pequeño capaz de cumplir con los requisitos necesario para analizar un electromiograma, que con la ayuda de una interfaz gráfica pueda facilitarle el trabajo al especialista, ya que además de eso el equipo cuenta con una base de datos orientada al almacenamiento de los estudios realizados permitiendo que cada paciente tenga un historial médico.

Recomendaciones

Toda aquella persona que desee desarrollar su propio equipo se le recomienda lo siguiente:

- No utilizar el conjunto de electrodos más de 15 sesiones ya que la calidad de contacto entre el electrodo y la piel tiende a desgastarse.
- En el momento de realizar una sesión se debe tomar la precaución de retirar al paciente todo tipo de artefactos y prendas que puedan ocasionar ruido externo.
- Se recomienda usar alcohol para obtener una buena limpieza de la piel en la zona donde van conectados los electrodos con la finalidad de reducir la resistencia ocasionada por la grasa y vello.
- Utilizar un servidor privado que permita que el equipo no requiera internet para poder funcionar.
- Añadir un módulo bluetooth que permita que el equipo no esté conectado por cable permitiendo una mejor movilidad.
- Se puede diseñar una app que funcione con tecnología Android para poder aplicar el principio de la telemedicina y así poder apoyar al paciente desde la comodidad de su casa.

ANEXOS

Diccionario de datos

- **Tabla doctors (atributos)**

Llave	Nombre	Tipo de dato	Comentarios
PK	id	BigSerial	Llave principal
	name	Varchar	Nombre del doctor
	last name	Varchar	Apellidos del doctor
	cell phone	Varchar	Teléfono celular codificado en código de área y número abonado
	email	Varchar	Correo electrónico válido, debe ser único
	username	Varchar	Nombre de usuario para acceder a la aplicación
	password	Varchar	Contraseña para acceder a la aplicación, debe estar encriptada
FK	id/speciality id	Bigint	Clave foránea de la especialidad médica del doctor
	deleted	Boolean	Marca para borrado lógico
	deleted at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo para la marca de borrado
	created at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de crear el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoría
	updated at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de actualizar el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoría

- **Tabla 'specialities' (atributos)**

Llave	Nombre	Tipo de dato	Comentarios
PK	id	BigSerial	Llave principal
	name	Varchar	Denominación de la Especialidad Médica
	deleted	Boolean	Marca para borrado lógico
	deleted at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo para la marca de borrado
	created at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de crear el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoría
	updated at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de actualizar el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoría

· **Tabla ‘patients (atributos)**

Llave	Nombre	Tipo de dato	Comentarios
PK	id	BigSerial	Llave principal
	name	Varchar	Nombres del paciente
	last name	Varchar	Apellidos del Paciente
	cell phone	Varchar	Teléfono celular codificado en código de área y número abonado
	email	Varchar	Correo electrónico válido, debe ser único
	address	Varchar	Dirección de habitación del paciente
	gender	Varchar(n)	Género Masculino o Femenino
	dob	Date	Fecha de nacimiento del paciente, para determinar su edad cronologica
	registration age	Integer	Edad al momento de registrarlo, es distinto a la edad cronológica
	deleted	Boolean	Marca para borrado lógico
	deleted at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo para la marca de borrado
	created at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de crear el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria
	updated at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de actualizar el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria

· **Tabla ‘clinical_histories’ (atributos)**

Llave	Nombre de atributo	Tipo de dato	Comentario
PK	id	BigSerial	Llave principal
	date clinical history	Date	Fecha de la historia clínica
FK	id/patient id	Bigint	Clave del paciente asociado a esta historia clínica
FK	id/doctor id	Bigint	Doctor asociado a esta historia clínica
	brief	Varchar	Breve resumen de la historia clínica del paciente
	detail	Varchar	Detalle amplio de la historia clínica del paciente
	observations	Varchar	Observaciones adicionales sobre la historia clínica del paciente
	deleted	Boolean	Marca para borrado lógico
	deleted at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo para la marca de borrado
	created at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de crear el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria
	updated at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de actualizar el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria

· **Tabla ‘sessions’ (atributos)**

Llave	Nombre	Tipo de dato	Comentarios
PK	id	BigSerial	Llave principal
	session date	Date	Fecha de la sesión
FK	id/clinical history id	Bigint	Historia clínica asociada a esta sesión de EMG
FK	id/doctor id	Bigint	Doctor asociado a esta sesión EMG, puede ser el mismo Doctor que registro la historia clínica u otro que este de turno en ese momento
	deleted	Boolean	Marca para borrado lógico
	deleted_at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo para la marca de borrado
	created at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de crear el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria
	updated at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de actualizar el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria

· **Tabla ‘session_emg_values’ (atributos)**

Llave	Nombre	Tipo de dato	Comentarios
PK	id	BigSerial	Llave principal
FK	id/session emg id	Bigint	Sesión EMG asociada a este registro de valores
	value	Double precision	valor leído del dispositivo Arduino
	value_milisechs	Time with time zone	Sello de tiempo del valor leído del dispositivo Arduino, se toma en consideración los milisegundos
	deleted	Boolean	Marca para borrado lógico
	deleted_at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo para la marca de borrado
	created at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de crear el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria
	updated at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de actualizar el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria

· **Tabla 'session_emg_comments' (atributos)**

Llave	Nombre	Tipo de dato	Comentarios
PK	id	BigSerial	Llave principal
FK	id/session emg id	Bigint	Clave de la sesión EMG para este comentario
FK	id/doctor id	Bigint	Doctor asociado a este comentario
	comment date	Date	Fecha del Comentario, no puede ser menor a la fecha de la sesión EMG
	comment	Varchar	Comentario detallado sobre el análisis de la sesión EMG
	deleted	Boolean	Marca para borrado lógico
	deleted at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo para la marca de borrado
	created at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de crear el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria
	updated at	Timestamp with time zone	Sello de tiempo al momento de actualizar el registro, automático por el sistema, para efectos de auditoria

Relaciones

Relationship name	Parent entity	Child entity	Card.
R01	session emg	session emg values	1:N
R02	specialities	doctors	1:N
R03	patients	clinical histories	1:1
R04	session emg	session_emg_comments	1:N
R05	doctors	clinical histories	1:N
R06	clinical histories	session emg	1:N
R07	doctors	session_emg_comments	1:N
R08	doctors	session emg	1:N

REFERENCIAS

- Arias, F. (1999). **El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica**. Caracas: 3ra Edición, Editorial Episteme.
- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica**. Caracas: Editorial Episteme.
- Attack, N. (2018). **Concepto de framework**. Obtenido de:
<https://neoattack.com/neowiki/framework/#mas-informacion>
- Becerra. (14 de Abril de 2011). **Sistemas Expertos para la realizacion de diagnostico de trastornos neuromusculares con electromiografía** . Obtenido de Proyecto de tesis, Universidad de Aconcagua.
- Flores C. (2015). **Diseño e implementación de un sistema de electromiografía computarizada**. Obtenido de Proyecto de tesis de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, Ecuador
- Flores Celis, D. (2015). **Software interactivo controlado por un sistema electromiografico para mejorar la comunicacion en pacientes con paralisis cerebral infantil en el Hogar clinica San Juan de Dios**. Obtenido de: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/usat/541>
- Gila, L. (2009). **Metodos de procesamiento y analisis de señales electromiograficas**. Obtenido de:
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600003
- Granados. (2018). **Diseño e implementación de un sistema con electrogoniometría y electromiografía para análisis de movimiento**. Obtenido de Proyecto de Tesis de la Universidad Autonoma de AguasCalientes, Mexico
- Hurtado. (2010). **El proyecto de investigacion, introduccion a la metodologia**. Caracas: Quiron.
- Jaime C. (2007). **Diseño y construccion de un sistema de adquisicion y visualizacion**. Obtenido de:
http://www.laccei.org/LACCEI2007Mexico/Papers%20PDF/BT116_Delgado Saa.pdf

- Martins y Palella. (2012). **Metodología de la investigación cuantitativa**. Caracas: Fedupel.
- Mijares y Garcia. (2007). **Normas para la Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado**. Carabobo: UJAP.
- Pardo, J. (26 de marzo de 2015). **La electromiografía es una excelente técnica para el diagnóstico precoz de las enfermedades neuromusculares**. Obtenido de:

https://www.pfizer.es/noticia/electromiografia_es_una_excelente_tecnica_diagnostico_precoz_enfermedades_neuromusculares.html
- Perez, F. **Tutorial de Arduino**. OpenWebinars.Net.
- Sabino. (1996). **Introducción a la Metodología de Investigación**. Caracas: Panapo. Obtenido de Electromiografía (EMG):
<http://www.dalcame.com/emg.html?fbclid=IwAR0Z4T7S8m7iWc3yDQYwU0iEFve3gqpCKwnu8KupRry0vm4LNWwd3SXP84w#.XLkuGon0nMwemg%20por%20aguja>
- Sanchez, E. (28 de Julio de 2015). **Sistema de adquisicion de señales EMG para la deteccion de fatiga muscular**. Obtenido de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322016000100017
- Vidal, J. (2004). **Diseño de sistemas interactivos centrados en el usuario**. Obtenido de Tesis Doctoral, Ingeniería de la usabilidad:
<http://reader.digitalbooks.pro/book/preview/28398/chap0.xhtml/-?1557930475509>
- Zambrano. (Enero de 2019). **Diseño de un electrocardiografo con interfaz grafica computarizada en tiempo real**. Obtenido de Proyecto de tesis de la Universidad Jose Antonio Paez, Carabobo, Venezuela.