



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TITULO DE INGENIERO EN ELECTRONICA, AUTOMATIZACION Y
CONTROL**

TEMA:

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INCLUSIVA
ENTRE PERSONAS CON DEFICIENCIA AUDITIVA Y SU ENTORNO:
PRUEBA DE CONCEPTO”**

AUTORES:

SR. ORTEGA SOLÓRZANO, JONATHAN STALIN

SR. TOAQUIZA URREA, DANIEL MESIAS

DIRECTORA: ING. GUAMÁN NOVILLO, ANA VERÓNICA

SANGOLQUÍ

2019

CERTIFICACIÓN



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INCLUSIVA ENTRE PERSONAS CON DEFICIENCIA AUDITIVA Y SU ENTORNO: PRUEBA DE CONCEPTO”* fue realizado por el señor **Ortega Solórzano, Jonathan Stalin** y el señor **Toaquiza Urrea Daniel Mesias** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente

Sangolquí, 20 de noviembre del 2019

Firma

Ing. Ana Verónica Guamán Novillo

C.C.: 1103996946

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Ortega Solórzano, Jonathan Stalin y Toaquiza Urrea Daniel Mesias declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INCLUSIVA ENTRE PERSONAS CON DEFICIENCIA AUDITIVA Y SU ENTORNO: PRUEBA DE CONCEPTO”*, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 20 de noviembre del 2019

Firmas

Ortega Solórzano Jonathan Stalin
C.C.: 171795562-7

Toaquiza Urrea Daniel Mesias
C.C.:172461107-2

AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y

TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y

CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Ortega Solórzano, Jonathan Stalin y Toaquiza Urrea Daniel Mesias**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Título: “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INCLUSIVA ENTRE PERSONAS CON DEFICIENCIA AUDITIVA Y SU ENTORNO: PRUEBA DE CONCEPTO”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 21 de noviembre del 2019

Firmas

.....
Ortega Solórzano Jonathan Stalin

C.C.: 171795562-7

.....
Toaquiza Urrea Daniel Mesias

C.C.:172461107-2

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por mantenerme en pie día a día, dándome fortaleza para resistir todo lo que he enfrentado a lo largo de la realización de mi carrera.

Especialmente a mi madre Isabel Solórzano que era la que me motivaba todos los días brindándome su apoyo incondicional, preocupándose por que estuviera de buen estado de ánimo, por enseñarme a ser una persona de bien y que pese a los problemas siempre debía mostrar una sonrisa y no dejarme vencer por nada, sé que ahora está muy orgullosa de mi desde el cielo viendo como cumpla uno de mis sueños, a mi padre Luis Ortega que día a día se ha esforzado por sacar a su familia adelante, por trabajar incansablemente para que nunca nos falte nada y para ofrecerme sus consejos que fueron muy importantes a lo largo de mis estudios.

A mis hermanos Josep y Jordan por siempre estar prestos para darme su atención y su cariño incondicional, por enseñarme como ser un mejor hermano y expresándome siempre que están orgullosos de mí.

Jonathan Stalin Ortega Solórzano

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico principalmente a Dios, por darme la fuerza para conseguir uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres Alicia y Alberto quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos Luis y Marisol por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A todas las personas que nos han apoyado y hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron sus puertas y compartieron sus conocimientos.

Daniel Mesias Toaquiza Urrea

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme en el sendero del bien ya que sin la bendición de Él esto no hubiera sido posible además regalándome una familia maravillosa.

Expresarle mi más sincero agradecimiento a mi tutora de proyecto Ing. Ana Guamán, quien desde el principio de esta tesis ha depositado su plena confianza y que con sus amplios conocimientos fueron una pieza clave en la realización de cada etapa del proyecto.

A mis padres que con su apoyo a lo largo de los años hicieron posible que se cumpla uno de mis objetivos y por brindarme una de las riquezas más grandes que es la educación, a mis hermanos que con todo el amor que me brindan permitieron que esta etapa sea una de las más bonitas a lo largo de mi vida.

A mis amigos que a lo largo de esta carrera me han podido brindar su apoyo compartiendo buenos y malos momentos.

¡Muchas gracias por todo!

Jonathan Stalin Ortega Solórzano

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo de investigación quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones.

A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido el apoyo durante todo este tiempo.

De manera especial a mi tutora de tesis Ing. Ana Guamán PhD., por habernos guiado y apoyado, en la elaboración este proyecto, compartiendo sus conocimientos y solventando cada una de nuestras dudas.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Daniel Mesias Toaquiza Urrea

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xii
PALABRAS CLAVE:.....	xii
ABSTRACT	xiii
KEYWORDS.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e Importancia	4
1.3. Alcance	6
1.4. Objetivos.....	13
1.5. Descripción del Proyecto	14
CAPITULO II	16
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	16
2.1. Estudio del entorno de las personas con discapacidad auditiva.....	16
2.2. Lenguaje de señas	17
2.2.1. Tipos de movimientos	18
2.3. Adquisición de las señales	20
2.3.2. Análisis de la señal Electromiográfica.....	22
2.3.3. Estudio de señales IMU unidad de medición inercial.....	25

CAPÍTULO III	27
3. SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE PERSONA CON DISCAPACIDAD AUDITIVA	27
3.1. Pre-procesado de la señal EMG	27
3.1.2. Suavizado de la señal	28
3.2. Caracterización de las señales EMG e IMU	30
3.2.1. Interpolación.....	30
3.2.2. Detección de eventos y movimientos musculares.....	32
3.3. Extracción de características.....	37
3.4. Clasificador de palabras: Red Neuronal.....	39
CAPITULO IV	45
4. SISTEMA DE COMUNICACIÓN INCLUSIVO	45
4.2. Escenario de manipulación de usuario con discapacidad auditiva	45
4.2.1. Desarrollo de la interfaz GUI.....	47
4.3. Desarrollo de la Aplicación móvil Señas-EC	48
4.4. Escenario de hablar y traducir a texto.....	50
4.5. Escenario de mostrar frase	51
4.6. Escenario escribir frases.....	51
4.7. Sistema Final SEÑAS-EC.....	53
CAPÍTULO V	54
5. PRUEBAS Y RESULTADOS	55
5.1. Escenarios de Pruebas.....	55
5.2. Resultados de cada escenario.....	59
5.3. Validación del funcionamiento del sistema.....	64
CAPÍTULO VI.....	69
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
6.1. CONCLUSIONES	69
6.2. RECOMENDACIONES.....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Validación de la RNA</i>	43
Tabla 2 <i>Primer escenario</i>	55
Tabla 3 <i>Segundo escenario</i>	56
Tabla 4 <i>Tercer escenario</i>	57
Tabla 5 <i>Cuarto escenario</i>	58
Tabla 6 <i>Quinto escenario</i>	58
Tabla 7 <i>Resultados escenario 1</i>	59
Tabla 8 <i>Resultados escenario 2</i>	60
Tabla 9 <i>Resultados escenario 3</i>	61
Tabla 10 <i>Resultados escenario 4</i>	62
Tabla 11 <i>Resultados escenario 5</i>	63
Tabla 12 <i>Análisis de la encuesta</i>	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general del proceso.....	8
Figura 2. Diagrama de bloques de la aplicación en PC.....	9
Figura 3. Diagrama de bloques aplicación móvil.....	11
Figura 4. Gesto de buenos días.	19
Figura 5. Símbolos de movimiento, trayectoria y dirección para la articulación de una seña.	20
Figura 6. Características Myo Armband	22
Figura 7. señales EMG antebrazo.	23
Figura 8. Señal del acelerómetro del gesto buenos días de sus 3 ejes en función del tiempo.....	26
Figura 9. Rectificación de onda completa de una señal EMG	28
Figura 10. Envoltente de la señal EMG reflejada de los 8 sensores	30
Figura 11. Señales EMG e IMU referentes al Gesto Buenos Tardes.....	31
Figura 12. Señales IMU interpoladas a la misma dimensión de las señales EMG	32
Figura 13. Activación del acelerómetro y las señales EMG	33
Figura 14. Ubicación de coordenadas del acelerómetro al registrar movimientos.	34
Figura 15. Enventanado de señal EMG con señal en x del acelerómetro	35
Figura 16. Ventanas obtenidas de una señal de EMG.....	36
Figura 17. Ventanas Finales luego de eliminar ventanas sin información.....	37
Figura 18. Matriz de extracción de características y distribución.....	38
Figura 19. Estructura específica de la red neuronal para reconocimiento de gestos.....	42
Figura 20. Diagrama de secuencia grabar gesto.....	46
Figura 21. Interfaz de usuario para persona sorda	47
Figura 22. Diagrama de caso de uso "Señas-EC"	49
Figura 23. Diagrama de secuencia traducir audio a texto.	50
Figura 24. Diagrama de secuencia mostrar frases.....	51
Figura 25. Diagrama de secuencia escribir frases.	52
Figura 26. interfaz de la aplicación SEÑAS-EC	53

RESUMEN

En la actualidad el estado ecuatoriano prioriza el desarrollo de los grupos vulnerables. Entre las actividades que realiza están proyectos inclusivos que ayudan a sustentar las necesidades básicas de estos grupos vulnerables como la comunicación, movilidad, salud, educación entre otras. Dentro estos grupos están la comunidad de personas con discapacidad auditiva que en nuestro país Ecuador son un grupo bastante amplio. La principal necesidad de este grupo de personas es la comunicación ya que en el Ecuador la mayoría de habitantes no tiene conocimiento de lenguaje de señas. Con el fin de aportar en la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidad auditiva, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar una comunicación inclusiva entre una persona con discapacidad auditiva y una persona hablante. El sistema de comunicación desarrollado SEÑAS-EC cuenta con dos subsistemas. El primer subsistema se encarga de traducir el lenguaje de señas a texto y audio mediante el uso de un brazalete MYO Armband que envía señales EMG a una PC en la cual, por medio de redes neuronales, realiza el reconocimiento de los gestos. El segundo subsistema se encarga de traducir audio a lenguaje de señas y texto mediante el uso de una aplicación móvil desarrollada en la plataforma Android. La investigación se enfoca en determinar una prueba de concepto del sistema SEÑAS-EC como la comprensión del mensaje, el tiempo de respuesta y la calidad de comunicación entre otras.

PALABRAS CLAVE:

- **LENGUAJE DE SEÑAS**
- **MYO ARMBAND**
- **REDES NEURONALES**

ABSTRACT

Currently, the Ecuadorian state prioritizes the development of vulnerable groups. Among the activities carried out are inclusive projects that help to support the basic needs of these vulnerable groups such as communication, mobility, health, education, among others. Within these groups are the community of people with hearing disabilities that in our country Ecuador are a fairly large group. The main need of this group of people is communication as in Ecuador the majority of inhabitants have no knowledge of sign language. In order to contribute to the improvement of the quality of life of people with hearing impairment, this research work aims to develop inclusive communication between a person with a hearing impairment and a speaking person. The communication system developed by SEÑAS-EC has two subsystems. The first subsystem is responsible for translating sign language into text and audio through the use of a MYO Armband bracelet that sends EMG signals to a PC in which, through neural networks, it recognizes gestures. The second subsystem is responsible for translating audio into sign language and text through the use of a mobile application developed on the Android platform. The research focuses on determining a proof of concept of the SEÑAS-EC system such as the understanding of the message, the response time and the quality of communication among others.

KEYWORDS

- **SIGN LANGUAGE**
- **MYO ARMBAND**
- **NEURONAL NETWORKS**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La Organización Mundial de la Salud (OMS) especificó que más del 5% de la población mundial, es decir 360 millones de personas, padece pérdida de audición discapacitante entre ellos, 328 millones son adultos y 32 millones niños (Centre, 2016). La persona sordomuda es aquella que es sorda de nacimiento y que padece por ello graves dificultades para hablar mediante la voz (Chacón Mosquera, 2013). Según la página del Consejo Nacional para la Igualdad de las Discapacidades (Conadis), en Ecuador hay 64,356 personas con discapacidad auditiva registradas, donde el 54.43% son hombres y el 45.57% son mujeres (Chico Moreno, 2016).

Históricamente las personas con discapacidad auditiva han sido visto excluidas de la sociedad, incluso en la edad media tenían seudónimos desagradables para referirse a ellos, llegando a ser considerados como monstruos de la sociedad. No fue sino hasta el siglo XVI que un médico italiano llamado Girolamo Cardano afirmó que: “el sordomudo puede escuchar por medio de la lectura y hablar por medio de la escritura”. Así fue como en el año 1620 se creó el primer libro de señas publicado por Juan Pablo de Bonet (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2019).

Ecuador ha intentado como plan de inclusión en los medios de comunicación entregar información, a través de un recuadro en los noticieros, que es en ocasiones muy pequeño como para que un sordomudo entienda lo que se quiere decir, y al no haber una carrera universitaria sobre el tema, no siempre el mensaje es expresado correctamente (Duque Arias & Ibarra Caicedo, 2014). Por otro lado, la FENASEC (Federación Nacional de Sordos del Ecuador) junto con el CONADIS y la

Universidad Tecnológica Indoamérica desarrollaron un diccionario del lenguaje de señas ecuatoriano, además de otros proyectos que son apoyados por el Ministerio de Inclusión Económica y Social para solventar en algo las necesidades de la comunidad sorda (Duque Arias & Ibarra Caicedo, 2014).

La comunicación es una de las principales necesidades que tiene el ser humano; es útil desde que se nace, para alimentarse, crecer, aprender, trabajar, e incluso disfrutar de la compañía de nuestros seres queridos. Mayoritariamente la sociedad actual exige un alto dominio de la comunicación oral teniendo en cuenta que para ser parte de ella es necesario transmitir sonido y recibirlo a través del sentido auditivo, es así que surge la interrogante; “¿cómo me comunico con una persona con discapacidad auditiva?” (Corona, 2017). Es por ello que las personas sordomudas utilizan el lenguaje de señas como medio de comunicación.

El lenguaje de señas, es un medio de comunicación muy poco o nada practicado en el Ecuador; usado de forma exclusiva por las personas con la discapacidad y su círculo social más allegado. Esto hace que se vean limitados al realizar cosas sencillas como, ordenar en un restaurante, comprar boletos para ver una película, comprar un pasaje de autobús, e inclusive ayudar con información ante una emergencia (Bedoya, 2011). Lo que ha contribuido a que se sientan excluidos o marginados por la sociedad.

Es por esto que se han implementado herramientas y técnicas para facilitar el modo de vida además, existen países comprometidos con la inclusión social por ejemplo en 1977 en Estados Unidos se creó el primer guante electrónico, posteriormente en el año de 1982 se patentó un guante con

sensores de flexión óptica, los cuales dieron inicio para los juegos de video (Almeida & Viteri, 2016). Se pueden encontrar diseños electrónicos capaces de traducir el lenguaje de señas a lenguaje escrito como es el caso de un guante electrónico desarrollado en la UPS (Universidad Politécnica Salesiana) formado por diversos sensores colocados en los dedos de la mano los cuales son procesados por medio de una tarjeta de adquisición de datos y un CPU (Espinosa Aguilar & Pogo León, 2013). La dificultad de este tipo de elementos es la portabilidad que existe y un diseño no muy ergonómico debido a una cantidad considerable de cables de conexión (El Telégrafo, 2017).

Otro proyecto que fue desarrollado en la UPS es el caso de un mismo guante electrónico encargado de transformar el lenguaje de señas en caracteres y reproducción sonora con voz artificial teniendo la dificultad de la usabilidad de este, debido a que su tiempo máximo de uso es de 30 minutos, otro factor importante es el tamaño de la mano ya que es de un único tamaño, lo cual dificulta su uso en demás personas (El Tiempo, 2017) , (Duque Arias & Ibarra Caicedo, 2014).

En la mayoría de dispositivos electrónicos encargados de este proceso de transformación del lenguaje de señas se emplean guantes como es el caso de un proyecto desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) que consiste en la construcción de un par de guantes electrónicos que traducen a lenguaje escrito, limitando el uso del guante debido a que se posee una talla única y no está estandarizada para otros usuarios (Almeida & Viteri, 2016).

Otro proyecto desarrollado en la UFA-ESPE es el desarrollo de una interfaz gráfica (software) para el reconocimiento automático del lenguaje de señas que ayuda a que las personas sordas aprendan a leer y escribir con la enseñanza del abecedario y los números (Aguilar, Chacón, & Sáenz, 2014).

Las limitaciones que tienen los prototipos antes mencionados es la ergonomía que tiene en sí con la persona sordomuda, debido a que no es estético ya que usan conexiones por medio de cables, un mismo tamaño de guantes dejando por fuera a personas que no tengan un tamaño estándar de mano por ejemplo niños. El principal inconveniente de este tipo de prototipos es que no permite la capacidad de comunicarse, solo buscan traducir un lenguaje a otro.

Un proyecto a gran escala de lo que se pretende realizar es el invento denominado Google Gesture, en donde se utiliza muñequeras electrónicas capaces de reconocer el movimiento de músculos del brazo e impulsos nerviosos, una vez recogidos todas estas señales se utiliza un software capaz de traducir estos símbolos de lenguaje de signos en palabras y voz a través de los altavoces de un smartphone. Google Gesture está en desarrollo y no se conoce el tiempo estimado en el cual saldrá al mercado este producto. Pero una vez esté en lanzamiento, tendrá un gran impacto ante la comunidad sordomuda en donde podrán socializar de una manera más inclusiva con la sociedad hablante sin necesidad de un intermediario (Pascual, CH, 2014).

1.2. Justificación e Importancia

Las funciones sustantivas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, son de investigación, docencia y vinculación, mediante estos promueve el desarrollo de trabajos que apoyen a los grupos prioritarios y vulnerables de la sociedad, como son personas con discapacidad auditiva, con la participación activa y organizada de los miembros de la comunidad universitaria (Hinojosa Raza, Vínculos, 2016).

Por otra parte, el estado ecuatoriano por medio del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES), en conjunto con el Plan Toda una Vida, trabajan para establecer y ejecutar políticas, regulaciones y servicios para la inclusión, no discriminación e igualdad social, de niños, niñas, adolescentes y adultos mayores, a fin de aportar a su movilidad social (Gobierno de la Republica del Ecuador, 2018).

Por las motivaciones antes mencionadas es que se precisa mejorar la inclusión social de personas con discapacidad auditiva para que puedan integrarse a la sociedad, a la educación, al campo laboral, o a cualquier actividad social que sea de su interés sin temor a ser excluido o relegado.

La problemática surge debido a que una persona hablante no practica lenguaje de señas, además de que la sociedad ecuatoriana tampoco lo exige y por ende complica la comunicación con una persona con discapacidad auditiva. Este hecho es de suma relevancia, ya que los problemas de comunicación y comprensión con el medio, pueden llevar a los niños, niñas y adolescentes al fracaso en su proceso de integración, no por disminución de su capacidad, sino por falta de comprensión mutua en la interacción con los oyentes. El Ministerio de Educación, emitió el Acuerdo Ministerial No. 00055-A, el 21 de mayo de 2018, en el cual se da a conocer los procedimientos y orientaciones referentes a los procesos de matrícula, asistencia, planificación institucional, evaluación educativa, calificación, promoción y titulación, para estudiantes con necesidades educativas especiales asociadas a la discapacidad de las Instituciones de Educación Especializada (Gobierno de la Republica del Ecuador, 2018).

El acuerdo manifiesta que estas instituciones cuenten con herramientas que garanticen una gestión y atención de calidad para todos los estudiantes con necesidades educativas especiales asociadas a la discapacidad, siendo de cumplimiento obligatorio para todas las instituciones especializadas de todos los sostenimientos (fiscal, fiscomisional, particular y municipal) (Gobierno de la Republica del Ecuador, 2018).

Con estas premisas el presente proyecto busca generar un prototipo o sistema que permita una comunicación inclusiva de una persona con discapacidad auditiva y su entorno a fin de generar una inclusión social. Como también contribuirá a que las personas hablantes puedan aprender un lenguaje básico de señas. Además, se espera que el sistema sea una herramienta que ayude a mejorar habilidades y potencialidades de las personas con discapacidad auditiva. No obstante, para el desarrollo de este sistema se pretende realizar una prueba de concepto para validar su utilidad en el grupo vulnerable al que va dirigido.

1.3. Alcance

El lenguaje de señas es la lengua nativa de las personas con discapacidad auditiva, se emplean principalmente gestos (manos y brazos) y la percepción visual como canal de comunicación, donde se pueden desarrollar conversaciones extensas, ya que estas comprenden desde las vocales, abecedario, colores frases y todas las palabras usadas por el lenguaje oral. El lenguaje de señas ha conseguido con el pasar del tiempo que este sea un lenguaje totalmente novedoso y que las personas

quieran aprenderla sin importar que no posean esta discapacidad auditiva, ya que este debería ser un lenguaje universal para garantizar la inclusión de la comunidad sorda (Novósti, 2018).

La mayoría de las personas no conoce que el lenguaje de señas es todo un proceso de comunicación que está formado por códigos, sintaxis, y un conjunto de reglas totalmente extensas lo cual hace que este sea todo un arte comunicacional y no sea tan sencillo de aprender. Por lo tanto, el conjunto de palabras básicas necesarias para generar una comunicación simple se la desarrollará con el soporte de una persona capacitada en lenguaje de señas (colaborador).

Cabe destacar que el conjunto de palabras a utilizarse serán palabras básicas que permitan generar una conversación que ayude a solventar una emergencia o motivo de ayuda, ya que estas se verán limitadas a las que puedan ser realizadas por las manos de las personas. Ya que como fue mencionado anteriormente algunas palabras además de usar las manos utilizan posturas y gestos faciales.

Para generar una comunicación inclusiva ambas partes deben poseer un sistema integral que mezcle el lenguaje de señas y otras vías de comunicación para permitir un sistema de comunicación. En el diagrama que se presenta en la figura 1 se bosqueja la idea principal del sistema, donde existirá una etapa de adquisición de información por medio de sensores, una etapa de análisis para que permita transformar la información recibida en un sistema de comunicación que sea fácilmente captado por ambos interlocutores y una presentación de los resultados que podrían ser visuales y/o auditivos si fuera el caso.

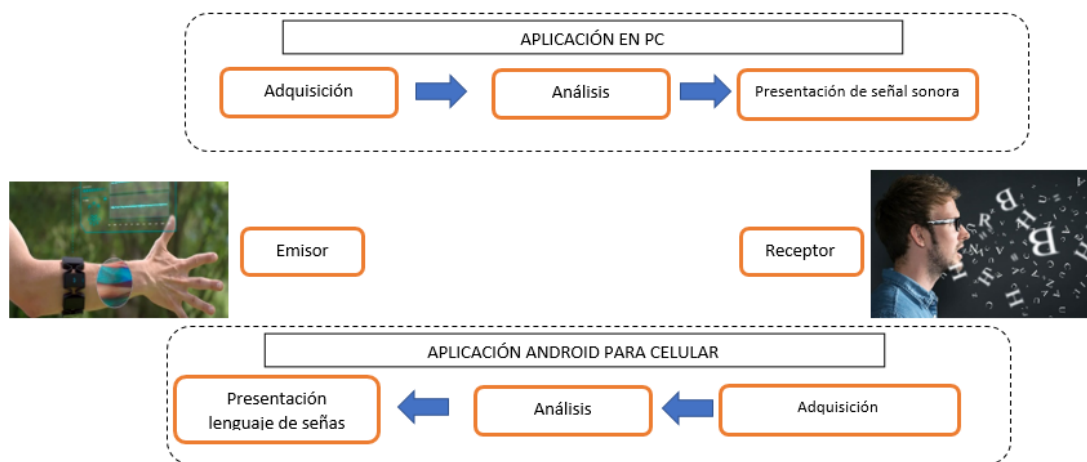


Figura 1. Esquema general del proceso

El principal objetivo del presente proyecto es diseñar e implementar un sistema capaz de generar un lenguaje inclusivo entre personas con discapacidad auditiva y personas que no poseen esta discapacidad. Como se muestra en la ilustración 1 el sistema es bidireccional, así que en lo que corresponde al sistema usado por la persona con discapacidad consta de brazaletes Myo que miden la actividad eléctrica de los músculos y la posición del brazo. Estos brazaletes Myo se conectan por bluetooth o cable, al controlador que será desarrollado y ejecutado en una computadora en la cual se encontrará el algoritmo para reconocimiento del lenguaje básico de signos y la reproducción de audio dependiendo del signo realizado.

Mientras tanto para la persona hablante se pretende desarrollar una aplicación móvil en Android, en la cual el usuario hablará por medio del micrófono del móvil y mediante la aplicación se pueda

traducir este audio en lenguaje de señas; para que la persona con discapacidad auditiva pueda leer y captar el mensaje emitido por la persona hablante.

Para el desarrollo del sistema se va a trabajar en conjunto con una persona capacitada en lenguaje de señas, para conocer cuáles son las formas más eficaces y precisas a la hora de comunicarse entre ambos y que haya un buen entendimiento.

COMUNICACIÓN DESDE LA PERSONA CON DISCAPACIDAD AUDITIVA HACIA LA PERSONA HABLANTE

Una explicación más detallada de lo que se va a realizar en cada proceso se puede encontrar en la Figura 2:

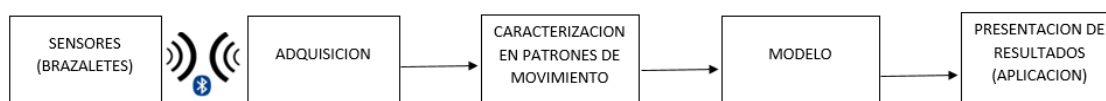


Figura 2. *Diagrama de bloques de la aplicación en PC*

SENSORES

El lenguaje de gestos, para sordomudos consiste en movimientos de manos, brazos, muñecas, inclusive los dedos, y todo este conjunto de movimientos se ve reflejado en cada uno de los músculos de los antebrazos. Con esta premisa se planea usar los brazaletes Myo que tiene ocho sensores EMG de acero inoxidable de grado médico. Asimismo, posee unidades de medida inercial (IMU) que informa acerca de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales del brazo, usando una combinación de acelerómetros y giróscopos (Pascual, CH, 2014). Estos brazaletes son capaces

de recoger los impulsos eléctricos de nuestro brazo ya que en sus músculos se registra gran cantidad de movimientos, incluidos los de la muñeca y los dedos, así el abanico de posibilidades a la hora de configurar gestos es enorme. Siendo esta la principal ventaja ya que se tiene un número considerable de palabras que usan las personas con discapacidad auditiva.

Se debe considerar que para formar palabras en ocasiones se usa las 2 manos, entonces para este efecto, se usará dos brazaletes myo Armband que cumple con las características técnicas antes mencionadas. Considerando también que en el desarrollo del sistema puede presentarse la posibilidad del aumento de más instrumentación.

Por otro lado, para la etapa correspondiente a la persona hablante, consistirá en el uso de una aplicación Android, en donde el micrófono del móvil (sensor) será usado para la adquisición de señales de audio que posteriormente serán traducidas a lenguaje de señas.

CARACTERIZACIÓN EN PATRONES DE MOVIMIENTOS.

Las señales EMG cambian entre personas debido a las diferencias físicas musculares, capacidad de adherencia y ubicación de los electrodos a la piel, e impedancia eléctrica de la misma (Hussein & Granat, 2002).

Una vez que se extraiga las características de las señales EMG será necesario encontrar los patrones que permitan identificar dichas características con los gestos asociados a las palabras del lenguaje de señas, mediante el uso de algoritmos de aprendizaje de máquina.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La presentación de los resultados luego de la clasificación de los gestos, es decir la integración de la información generada en el sistema, se la pretende trabajar con una persona que tiene conocimientos en lenguaje de señas, con el fin de guiar al proyecto en el rumbo correcto al momento de realizar pruebas o incluir palabras y oraciones; con la misión de desarrollar una comunicación inclusiva. Al saber que la persona que recibe mensaje puede escuchar se pretende reproducir un audio dependiendo de la palabra generada con las manos este audio será reproducido en los parlantes del computador en el cual se está ejecutando el software del controlador.

COMUNICACIÓN DESDE LA PERSONA HABLANTE HACIA LA PERSONA CON DISCAPACITADA AUDITIVA

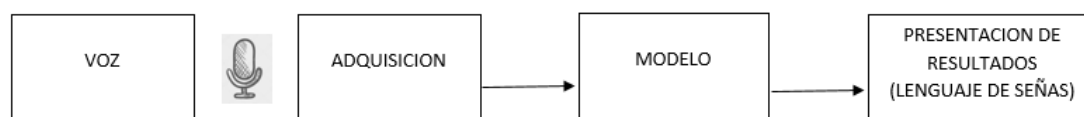


Figura 3. *Diagrama de bloques aplicación móvil*

Además, como se pretende realizar una comunicación inclusiva se realizará una aplicación Android, que permitirá que una persona sin esta discapacidad pueda comunicarse y darse a entender con la otra persona. Para ello se pretende, que esta persona hablante, hable en una aplicación móvil y esta se traduzca a lenguaje básico de signo. Esto último también dependerá de las necesidades o utilidad, que vea el colaborador con el fin de generar una comunicación inclusiva.

Al ser una prueba de concepto el sistema se probará con una persona capacitada en la interpretación de lenguaje de señas. Es así que por lo ya mencionado en los antecedentes e importancia se decide realizar esta prueba para determinar:

- Utilidad
- Beneficio
- Tiempos de respuesta del sistema
- Portabilidad.
- Consumo de energía.
- Grado de dificultad.
- Condiciones de uso.
- Grado de inclusión.
- Impacto en el grupo vulnerable.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema que permita generar una comunicación inclusiva entre una persona con discapacidad auditiva y su entorno empleando los brazaletes Myo y el teléfono celular.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Adquirir y almacenar las señales EMG (electromiográficos) y las señales IMU (unidad de medición inercial) generadas por los brazaletes Myo para la identificación de gestos.
- Elaborar un modelo para la interpretación del lenguaje de signos en base a las señales EMG y las señales IMU.
- Desarrollar una aplicación que permita presentar la interpretación del lenguaje de signos de forma sonora.
- Desarrollar una aplicación Android que permita que la persona hablante se comunique con la persona con discapacidad auditiva.
- Realizar pruebas de funcionamiento con una persona capacitada en lenguaje de signos a fin de corroborar el buen funcionamiento de todo el sistema.

1.5. Descripción del Proyecto

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo el desarrollo de una comunicación inclusiva entre una persona con discapacidad auditiva y una persona hablante, la distribución del trabajo realizado se presenta a continuación con un resumen de cada capítulo.

Capítulo II: Fundamentos teóricos

Esta sección aborda los argumentos teóricos y técnicos necesarios para el desarrollo del sistema, entre ellos están las necesidades de las personas con discapacidad auditiva, un estudio sobre lenguaje de señas en específico el lenguaje de señas ecuatoriano, una revisión breve de las señales electromiográficas (EMG) y las señales inerciales (IMU), y entre los temas técnicos una explicación de las características técnicas del sensor a usarse.

Capítulo III: Sistema de comunicación de personas con discapacidad auditiva

En esta sección se aborda los temas referentes a la etapa del sistema dirigida a la persona con discapacidad auditiva. Lo que engloba el estudio referente el procesado de las señales EMG e IMU, entre los que se encuentran: el pre-procesado de la señal, la detección de eventos, el inventariado de la muestra, la eliminación de ventanas sin información como también la extracción de características.

Capítulo IV: Sistema de comunicación.

En esta sección los contenidos a tratarse están enfocados en el usuario, es decir las interfaces. El primer tema aborda el diseño de la aplicación móvil que es la que solventa la necesidad que tiene el usuario hablante para comunicarse con la persona sorda. En tanto que el segundo tema es el

diseño de la interfaz que ayuda a la persona con discapacidad auditiva a comunicar con la persona hablante. Todo este sistema está desarrollado para que funcione en tiempo real.

Capítulo V: Pruebas y Resultados

En esta sección analiza las pruebas y los resultados obtenidos, en la integración del sistema y la información recolectada con las pruebas realizadas con un grupo de 10 personas en las cuales 4 fueron personas sordas y 6 personas hablantes. Se presenta un análisis de la efectividad del sistema y la respuesta el mismo ante los escenarios planteados. Por último, se formula una encuesta en la que se recoge datos referentes a la funcionalidad, portabilidad y percepción del tiempo de respuesta del sistema.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

El presente capítulo aborda los fundamentos teóricos necesarios para encaminar el proyecto se presenta conceptos, tales como las necesidades de las personas sordas, además de un estudio sobre lenguaje de señas, una revisión breve de las señales electromiográficas (EMG) y las señales inerciales (IMU), y una explicación de las características técnicas del sensor a usarse.

2.1. Estudio del entorno de las personas con discapacidad auditiva.

La comunicación es fundamental en la interacción social y es un proceso por el cual los seres humanos interactúan con su entorno, lo que ha permitido que el mundo se desarrolle (Duque Arias & Ibarra Caicedo, 2014) . No se debe perder de vista aquellas personas con dificultades para comunicarse, puntualmente personas con una discapacidad auditiva. Es por eso que se ha desarrollado la comunicación inclusiva; que ha permitido que se genere diferentes métodos que ayuden a que la comunicación, sea este un mensaje, o un diálogo capaz de ser entendido por una mayor cantidad de personas y en especial por los grupos vulnerables como las personas con discapacidad auditiva (Oviedo, 2015).

De acuerdo a la fundación **Inclúyeme**, indican que las causas más comunes de sordera vienen dadas por condiciones genéticas, adquiridas durante una etapa de su vida y congénitas las cuales son adquiridas en la etapa de embarazo. La discapacidad auditiva viene determinada por el nivel de audición de la persona y se puede distinguir entre personas sordas quienes poseen una deficiencia total o profunda de audición y las personas hipoacusias que tienen una deficiencia parcial de la misma (Fundación Incluyeme, 2015).

Parte fundamental de la cultura es el idioma porque con él los seres humanos pueden comunicarse con su entorno. El idioma de una persona con discapacidad auditiva no es uno que emita sonidos, sino que se expresa con señas. Por eso, es un idioma como cualquier otro. Así como hay una lengua castellana, inglesa o china, también hay una Lengua de Señas. Tiene tanta riqueza en matices y emociones como cualquier otra, además de poseer modismos locales y en Ecuador regionales (Oviedo, 2015).

2.2.Lenguaje de señas

El lenguaje de señas es un lenguaje dactilológico realizado por los movimientos gestuales de la mano, los brazos, el rostro y posturas corporales, en donde se busca interpretar cada letra del alfabeto como también frases concretas a través de diferentes figuras o formas. Este lenguaje varía entre países, donde cada uno maneja un gentilicio para su idioma gestual, por ejemplo, Ecuador tiene un diferente lenguaje de señas frente a Colombia y Perú aun cuando estas se encuentran en la misma región (Betancur Betancur, Vélez Gómez, & Peña Palacio, 2013).

Las personas sordas que aprenden el lenguaje de señas llegan a establecer una comunicación tan rápida como el lenguaje oral debido a omisiones de ciertos artículos o en algunos casos la no conjugación de verbos, por lo tanto, aprender un nuevo idioma como en este caso, el lenguaje de señas es muy productivo debido a que se incrementa la habilidad de aprendizaje y razonamiento (Algueró, 2017).

La lengua de señas es como cualquier otro lenguaje de comunicación, y como tal es diferente en cada país, es decir que, aunque en Sudamérica la mayoría de países son de habla hispana, se tienen

diferente lenguaje de señas con gramática y vocabulario propio. Con esta premisa es necesario tener la colaboración de un profesional en lengua de señas ecuatoriana y la ayuda de un diccionario digital proporcionado por la FENASEC.

Al lenguaje de señas ecuatoriano se lo conoce como LSE y en inglés LSCE cuenta con un diccionario realizado por “Gabriel Román” el cual está conformado con un aproximado de 5000 palabras que contienen gráficos y videos aclaratorios (Ecuador G. d., 2012). Este es un lenguaje bastante desarrollado, y organizado a nivel Ecuador.

2.2.1. Tipos de movimientos

El lenguaje de señas se caracteriza principalmente porque se generan movimientos a través de las manos y antebrazos, gracias al tipo de movimientos que estos generan existen cambios de aceleración y dirección para así poder desarrollar tecnología a fin de solucionar problemas.

Por ejemplo y tal como se muestra la figura 4 para decir “buenos días” el gesto se lo realiza de la siguiente manera: con la mano desde la frente se traslada hacia abajo y posteriormente hacia arriba mientras se abre al mismo tiempo.



Figura 4. *Gesto de buenos días. Tomado del Glosario Básico de Lengua de Señas Ecuatoriana, 2012*

Además, en la figura 5 se puede observar las trayectorias por las cuales todo el lenguaje de señas está regido a la hora de comunicarse, se tienen movimientos tanto lineales, curvos y circulares. Por ejemplo, para decir buenos días se combina dos trayectorias lineales de arriba hacia abajo y posterior diagonal de abajo hacia arriba, que son realizadas por la mano derecha. Otro ejemplo es la palabra cumpleaños que utiliza una trayectoria circular de derecha a izquierda y trayectoria lineal de abajo hacia arriba.




















Trayectoria lineal	 Linea Recta	 De izquierda a derecha  De derecha a izquierda	 Desde abajo hacia arriba	 Desde arriba hacia abajo
		 Diagonal desde abajo hacia arriba	 Diagonal desde arriba hacia abajo	 Realizar trayectoria en zigzag
Trayectoria curva	 Linea Curva	 De izquierda a derecha	 De derecha a izquierda	 Desde abajo hacia arriba
		 Desde arriba hacia abajo	 Realizar trayectoria ondulada	 Desplazamiento en curvas
Trayectoria circular	 Circulo	 De derecha a izquierda	 De izquierda a derecha	 Realizar trayectoria en espiral

Figura 5. Símbolos de movimiento, trayectoria y dirección para la articulación de una seña. Tomado del Glosario Básico de Lengua de Señas Ecuatoriana, 2012.

2.3. Adquisición de las señas provenientes de los movimientos generados por el lenguaje de señas

Para analizar de todos los movimientos generados por el lenguaje de señas se debe buscar sensores que actúen directamente sobre el área de trabajo en este caso serían las manos y antebrazos. La mayoría usan sensores de flexión para detectar la curvatura que es realizada por un objeto, sensores de actividad muscular que mide e incrementa la señal eléctrica del músculo pero de todos estos sensores los que mayor aceptación tienen son los que miden la señal eléctrica de los músculos (EMG) debido a que son más baratos y fáciles de usar (Zea, 2017).

Como ya se mencionó anteriormente y se observa en la figura 4 las frases o palabras generan movimientos a lo largo de todo el gesto, a su vez se puede observar que existen aceleraciones, pausas, cambios de direcciones es por esto que se precisa el uso de un sensor fácil y cómodo de usar que contenga sensores EMG y sensores de aceleración con lo cual se escogió el brazalete denominado Myo Armband.

2.3.1. Características de brazalete Myo Armband

Myo Armband es un brazalete que se comunica de forma inalámbrica por medio de bluetooth, consta de 8 sensores de alta sensibilidad que se ubican de manera uniforme a lo largo de todo el brazalete, los cuales captan las señales eléctricas producidas por las actividades, movimientos, contracciones, efectuadas por el antebrazo.

El brazalete posee un procesador ARM Cortex M4 que es capaz de conectarse a diferentes dispositivos como; Windows, MAC, iOS, Android, enviando información digital por medio de su adaptador bluetooth USB. Está compuesto por sensores EMG de acero inoxidable de grado médico, además posee 9 ejes IMU altamente sensibles que contienen giroscopio, acelerómetro y magnetómetro cada uno conformado por tres ejes. Se conoce que la frecuencia de muestreo de las señales EMG en los brazaletes Myo es de 200 muestras por segundo y 50 muestra por segundo en señales IMU (Myo, 2018).

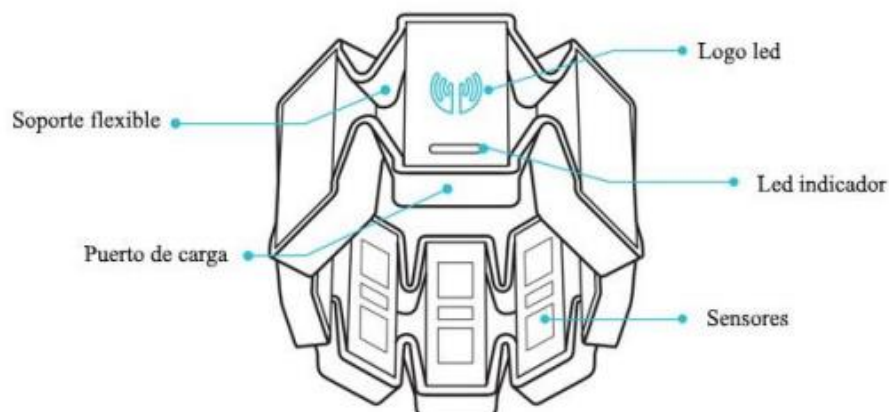


Figura 6. Características Myo Armband

El brazalete tiene una ergonomía muy cómoda como se ve en la figura 6 y que se puede ubicar en el antebrazo facilitando su uso y movilización.

2.3.2. Análisis de la señal Electromiográfica.

La electromiografía se basa en el estudio de la actividad eléctrica generada por el sistema neuromuscular, es decir, detecta, analiza y procesa las contracciones realizadas por los músculos y nervios mediante el uso de electrodos. Estos electrodos pueden ser intramusculares o también superficiales (Lorente, 2017). Su amplitud pico-pico varía desde 0V hasta los 10mV, en función del músculo y las condiciones en las que se aplica. La zona útil de la señal contiene frecuencias entre 0 y 500Hz con una región de energía dominante en el rango 50-150 Hz (Lorente, 2017).

En la figura 7 se puede observar una señal electromiográfica (EMG) tomada cuando se abrió y cerró en tres ocasiones la mano con uno de los sensores superficiales del Myo Armband. Se puede apreciar en la figura 7 tres eventos que conforman las señales EMG. La señal de activación que

indica que en ese instante de tiempo existe actividad muscular, el periodo de descanso o relajación que denota la ausencia de actividad muscular, y los picos generados por el ruido.

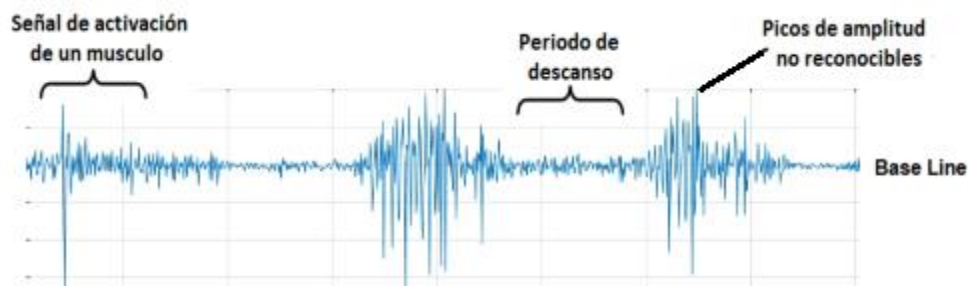


Figura 7. señales EMG antebrazo.

El tipo de información que se obtiene de las señales EMG se pueden definir como señales aleatorias ya que tienen incertidumbre en sus parámetros y no pueden ser descritas como funciones o reglas matemáticas concretas. Por este motivo estas señales EMG son analizadas mediante el uso de técnicas estadísticas que permiten un procesamiento adecuado de las mismas en el dominio del tiempo (Guerrero , 2016).

A continuación, se detalla las técnicas usadas.

- **Desviación estándar:** Indica cuanto se separan los datos con respecto a la media o un valor central (Cifuentes, 2012): En la ecuación (1) se muestra la fórmula de la desviación estándar: donde, X_i representa la señal EMG en un segmento i , \bar{x}_i representa la media de la señal EMG en un segmento i , y N se refiere a la longitud de la señal EMG.

$$STD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

- **Valor medio absoluto:** Se utiliza para calcular el valor promedio del valor absoluto de la señal EMG y está relacionado con los puntos de contracción del musculo de todas las muestras en el tiempo (Chico, 2016). En la ecuación (2) se muestra la fórmula para calcular el valor medio absoluto: donde, X_n representa la señal EMG en un segmento n , N se refiere a la longitud de la señal EMG

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |X_n| \quad (2)$$

- **Energía:** Indica la potencia total que tiene la señal EMG y es un gran indicador de la fuerza con la que se contraen o relajan los músculos dependiendo al gesto realizado. En la ecuación (3) se muestra la fórmula para calcular el valor de la energía: donde, X_i representa la señal EMG en un segmento i , N se refiere a la longitud de la señal EMG

$$MVA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i| \quad (3)$$

- **Raíz media cuadrática (RMS):** La RMS se relaciona con la fuerza aplicada bajo condiciones de no fatiga (Cifuentes, 2012). En la ecuación (4) se muestra la fórmula para calcular el valor de la raíz media cuadrática: donde, X_i representa la señal EMG en un segmento i , N se refiere a la longitud de la señal EMG.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (4)$$

2.3.3. Estudio de señales IMU unidad de medición inercial.

La unidad de medición inercial (IMU) que en su mayoría tienen tres acelerómetros, tres giroscopios y tres magnetómetros cada uno dividido en X, Y, Z miden la aceleración lineal como se muestra en la figura 8, en la cual se puede observar las señales de los 3 ejes a lo largo del tiempo. Por ejemplo, al realizar el gesto “buenos días” se obtiene aceleraciones para el eje X (señal azul), en 4 intervalos; en el intervalo 1 cuando inicia el gesto la aceleración aumenta, luego en el intervalo 2 la aceleración disminuye, en el intervalo 3 la aceleración tiene un aumento leve y en el intervalo 4 la aceleración regresa a su estado inicial. En tanto que en el eje z como en el eje Y la aceleración es muy leve en comparación a la del eje X debido a que en esos planos no se registran movimientos al realizar el gesto.

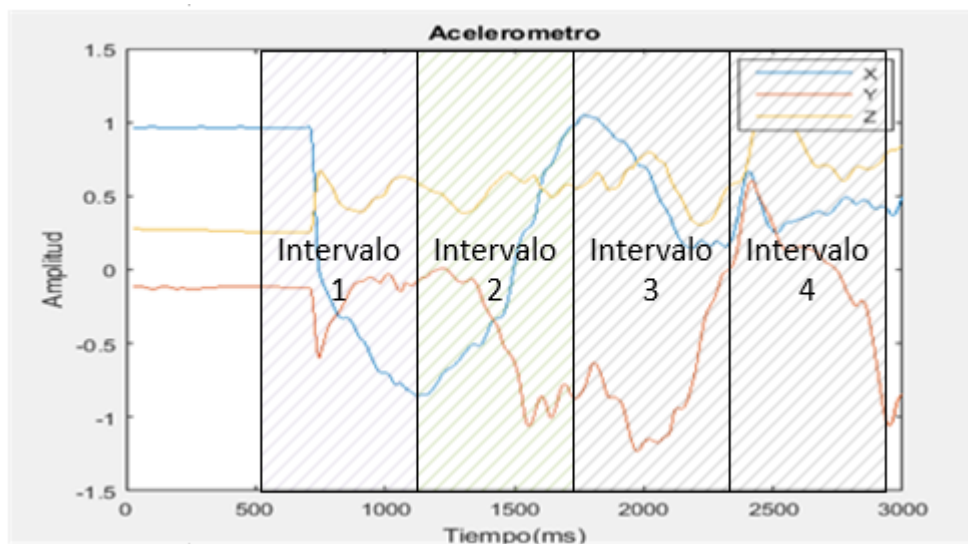


Figura 8. Señal del acelerómetro del gesto buenos días de sus 3 ejes en función del tiempo

Las características más relevantes de los sensores IMU son el rango de trabajo, el ancho de banda y la sensibilidad. Para los acelerómetros, el rango con el que se trabaja son los de la gravedad $g = 9.8m/s^2$, en los giroscopios su unidad de medida es rad/s y en los magnetómetros el rango es igual a $gauss = 1maxwell/cm^2$, las unidades IMU utilizan una frecuencia de operación de 50Hz (Lorente, 2017).

CAPÍTULO III

3. SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE PERSONA CON DISCAPACIDAD AUDITIVA

En este capítulo se presentará los temas referentes a la etapa del sistema de comunicación que va dirigida a la persona sorda, donde se aborda todo lo concerniente al procesado de las señales EMG e IMU, la detección de eventos, el enventanado de la muestra, la eliminación de ventanas sin información como también la extracción de características y el modelo de clasificación.

3.1. Pre-procesado de la señal EMG

Las señales EMG pueden ser modeladas con un proceso estocástico no-estacionario, esto significa que las EMG son una serie de números que cambian de forma caótica en un instante de tiempo (Cifuentes, 2012). Para reducir la no-estacionariedad de la señal EMG se emplea una rectificación de onda completa y suavizado de promedio móvil, para reducir los cambios que sufre la señal en un instante de tiempo (Viviana Cabreara, 2012).

3.1.1. Rectificación de onda completa

El principal objetivo de este procedimiento es, reflejar las amplitudes negativas de las señales EMG respecto al eje del tiempo, lo que se traduce en obtener el valor absoluto de la señal (Viviana Cabreara, 2012). En la figura 9 se muestra una señal EMG rectificada que contribuirá a la determinación de parámetros y características de las señales EMG obtenidas de los músculos del antebrazo, cuando se realiza un gesto del lenguaje de señas (Basmajian & De Luca, 1985) .

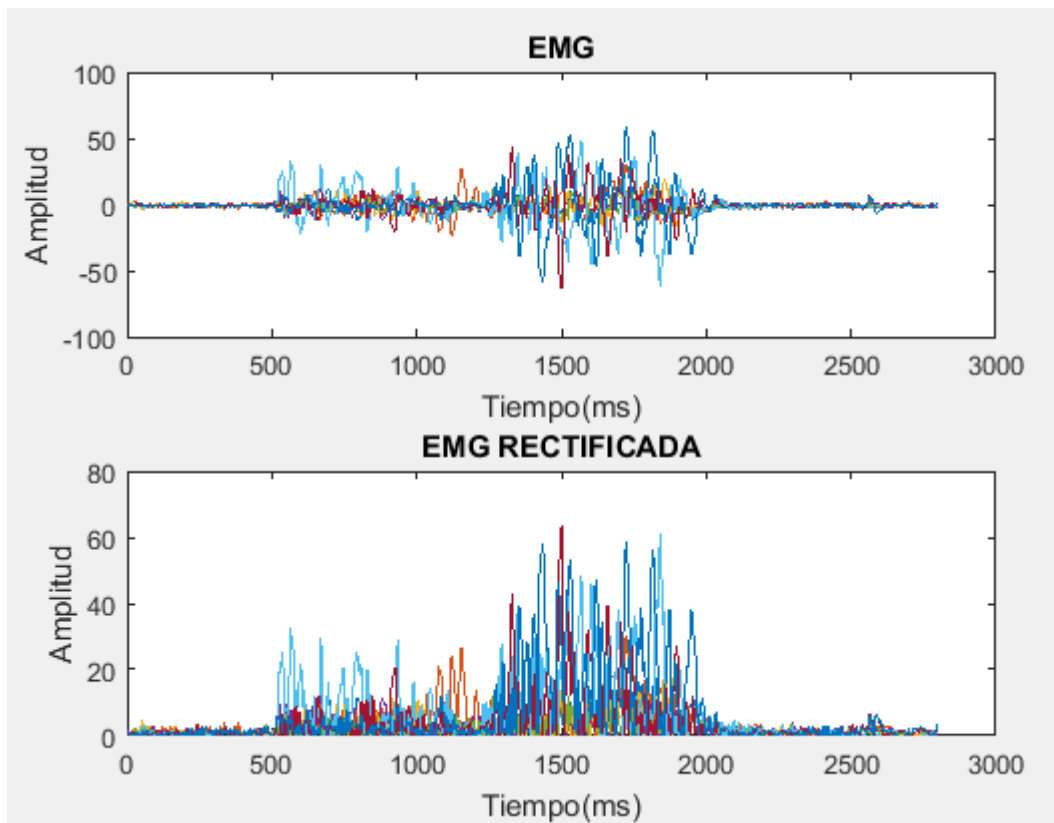


Figura 9. Rectificación de onda completa de una señal EMG

3.1.2. Suavizado de la señal

Mediante el proceso de suavizado se busca obtener una señal con menos rangos de variación en amplitud ya que con señales EMG es prácticamente imposible obtener 2 veces la misma señal (Viviana Cabreara, 2012). Por tal motivo se utilizó el método del valor medio absoluto que se detalla a continuación.

- Valor medio absoluto:** La media del valor absoluto (MAV) expresado por la ecuación 5 se puede calcular utilizando el promedio móvil de onda completa rectificadas de la señal EMG. Es decir, se calcula tomando el promedio del valor absoluto de la señal EMG. Es una manera sencilla para la detección de niveles de contracción del músculo y es una característica popular utilizada en la aplicación de control mioeléctrico (Vimos, 2019). En la ecuación (5) se muestra la fórmula para calcular el valor medio absoluto: donde, X_n representa la señal EMG en un segmento n , N se refiere a la longitud de la señal EMG

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |X_n| \quad (5)$$

Al utilizarse este método se consigue la envolvente de la señal EMG rectificadas como se muestra en la figura 10.

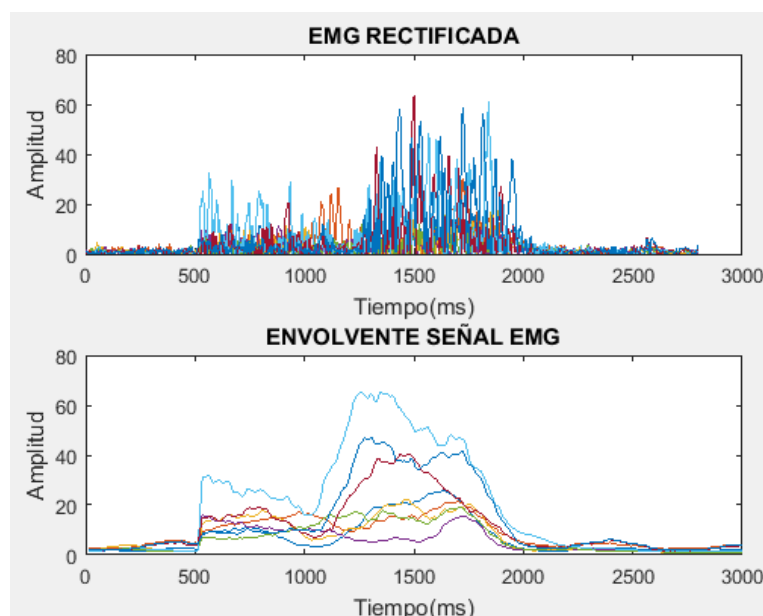


Figura 10. Envolvente de la señal EMG reflejada de los 8 sensores del brazalete Myo Armband.

3.2. Caracterización de las señales EMG e IMU

Para obtener un patrón característica asociado a cada gesto es necesario realizar la caracterización de las señales EMG e IMU. En el caso de la señal EMG se trabajó a partir de la envolvente de la señal EMG.

El proceso de caracterización de la señal EMG fueron los siguientes:

- Interpolación
- Enventanado.
- Eliminación de Ventanas con ruido.
- Extracción de características.
- Concatenación de gestos.

3.2.1. Interpolación

A la hora de realizar un gesto este experimenta varias etapas, como cambio de velocidad, cambio de posición del brazo y pausas dentro del mismo. Es por esto que se decide usar la señal del acelerómetro ya que contiene información importante en las etapas del gesto. Como se observa en la figura 11 la señal del acelerómetro trabaja a diferente frecuencia de las señales EMG se decide interpolar la señal del IMU para detectar diferentes eventos durante la realización de los gestos.

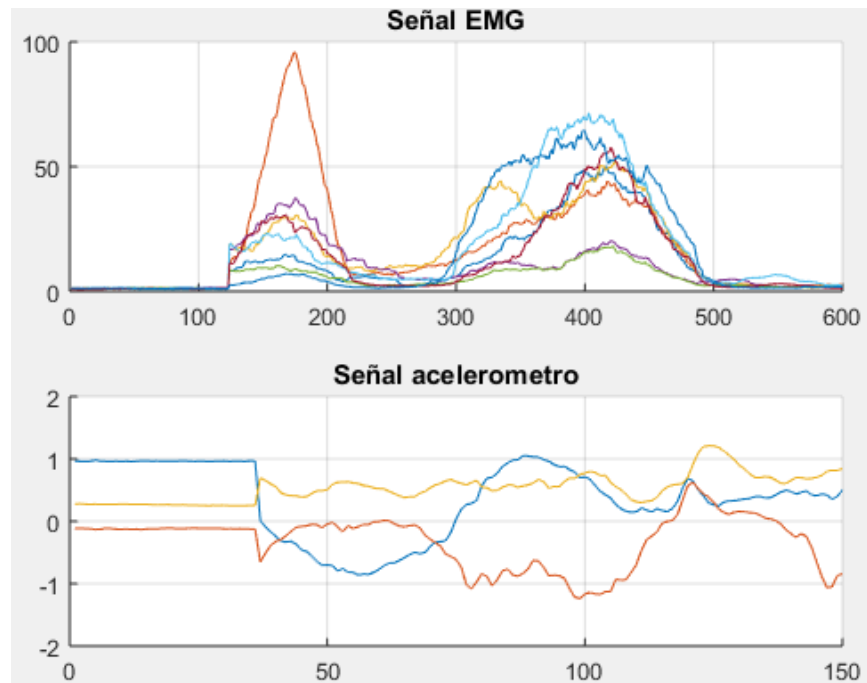


Figura 11. Señales EMG e IMU referentes al Gesto Buenos Tardes.

La interpolación es expresada por la ecuación 6 es un proceso usado en la reconstrucción aproximada o exacta de una señal a partir de sus muestras. Se puede expresar como una función continua en términos de valores equiespaciados (shift-invariant space) (Digital, 2011). Con el uso de este método se interpola la señal del acelerómetro y ahora tanto la señal EMG como el acelerómetro tienen el mismo número de muestras como se puede observar en la figura 12. En la ecuación (6) se muestra la fórmula, para calcular la interpolación: donde, $f_{\phi}(\cdot)$ es la función interpoladora, $\phi(\cdot)$ es la función base que interpola, T periodo, k número de veces que se divide la función.

$$f_{\phi}(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(kT)\phi\left(\frac{1}{T}(x - kT)\right) \quad (6)$$

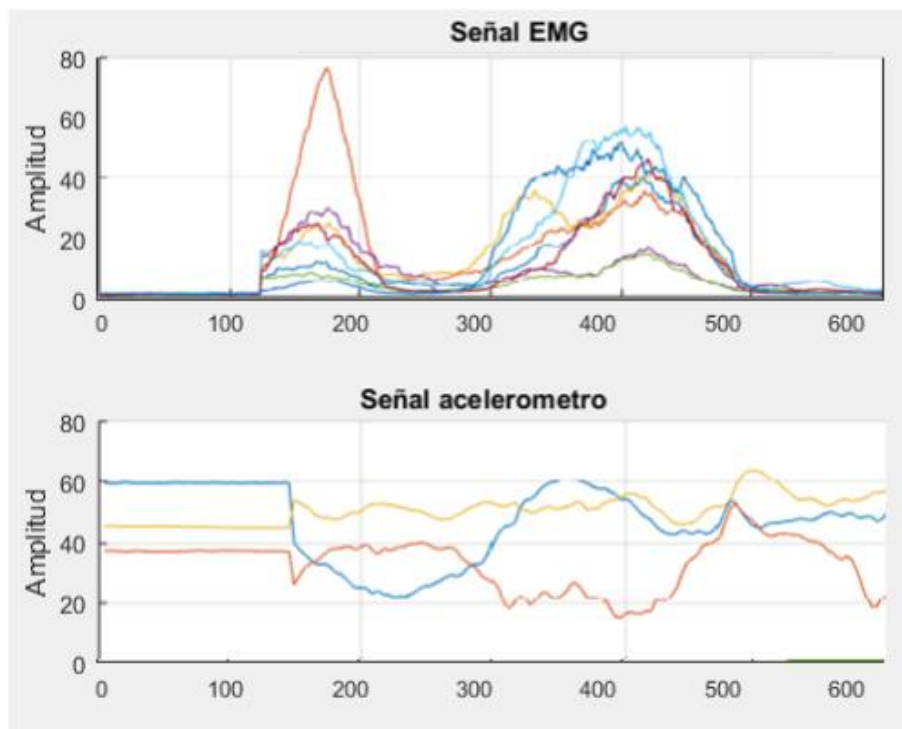


Figura 12. Señales IMU interpoladas a la misma dimensión de las señales EMG

De esta manera se podrá eventanar tramos de las señales donde solo exista información relevante al reconocimiento de gestos.

3.2.2. Detección de eventos y movimientos musculares.

Se conoce que en el instante de tiempo en el cual se realiza un gesto, se percibe una aceleración en los brazos por efecto del movimiento realizado, como se muestra en la figura 13, en donde se puede ver que en los intervalos de tiempo de t_0 a t_1 al no realizar ningún movimiento las señales IMU

permanecen en reposo. Pero cuando se mueven los brazos, se percibe una variación en las señales IMU, siendo más evidente en las señales enviadas por el acelerómetro en los intervalos de t_1 a t_2 . Mientras que en los intervalos de t_2 a t_3 las señales retorna a un estado de reposo que indican que el gesto ha terminado.

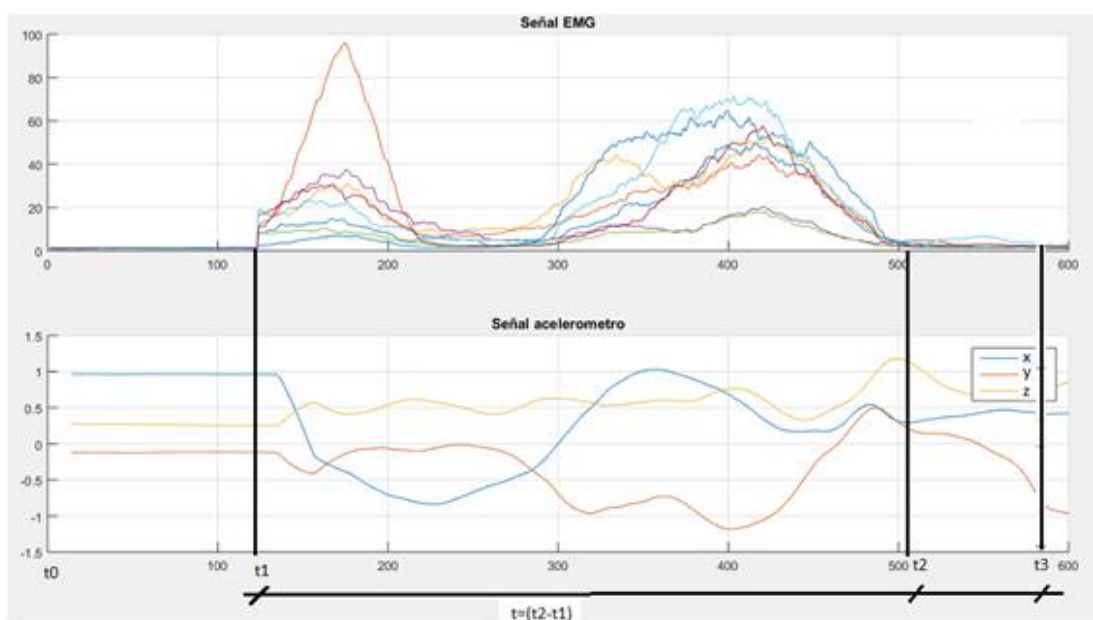


Figura 13. Activación del acelerómetro y las señales EMG al realizar el gesto de buenas tardes.

Partiendo de lo previamente dicho; se plantea inventar las señales EMG con la componente en “x” del acelerómetro. El uso de la componente x del acelerómetro se debe a que, es la señal de mayor variación al momento de realizar un gesto, y esto se atribuye a que los gestos son realizados de arriba hacia abajo en su mayoría, con variaciones de izquierda a derecha representadas por el eje Z, en dirección hacia la persona o personas con quienes se comunica la persona con

discapacidad auditiva como se ve en la Figura 14. El acelerómetro registra variaciones en sus señales cuando hay movimiento en el brazo, mientras que al momento que el brazo se detiene se comienza a realizar el gesto y es ahí cuando empieza la actividad muscular registrada por los sensores EMG, es por esto que se decide inventanar con los cambios que experimenta el acelerómetro.

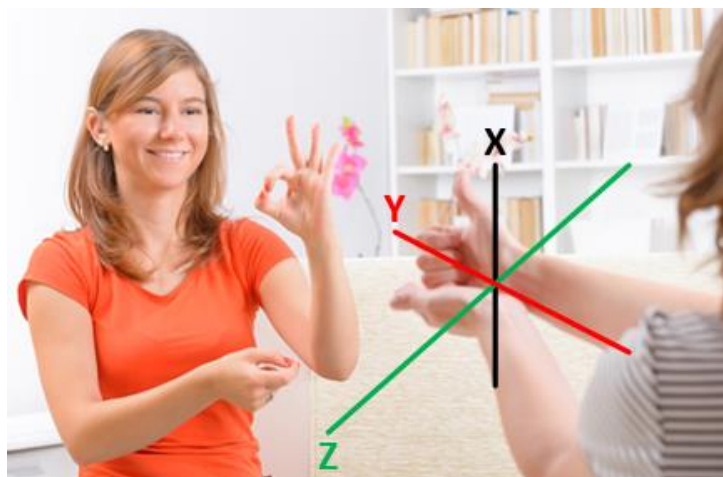


Figura 14. Ubicación de coordenadas del acelerómetro al registrar movimientos. Tomado de la página depositphotos, 24 noviembre 2014

De esto último se planteó reconocer cruces por cero de la señal en X del acelerómetro para encontrar información de las señales EMG. Aunque en ocasiones no se puede registrar un cruce por cero, se inventana toda la señal EMG como se ve en la figura 15 en el intervalo de C2 a Cn. El inventanado parte de C0 hasta el primer cruce por cero C1, de C1 hasta el segundo cruce C2, y de C2 hasta un tercer cruce C3 o en su defecto al no haber un tercer cruce hasta Cn.

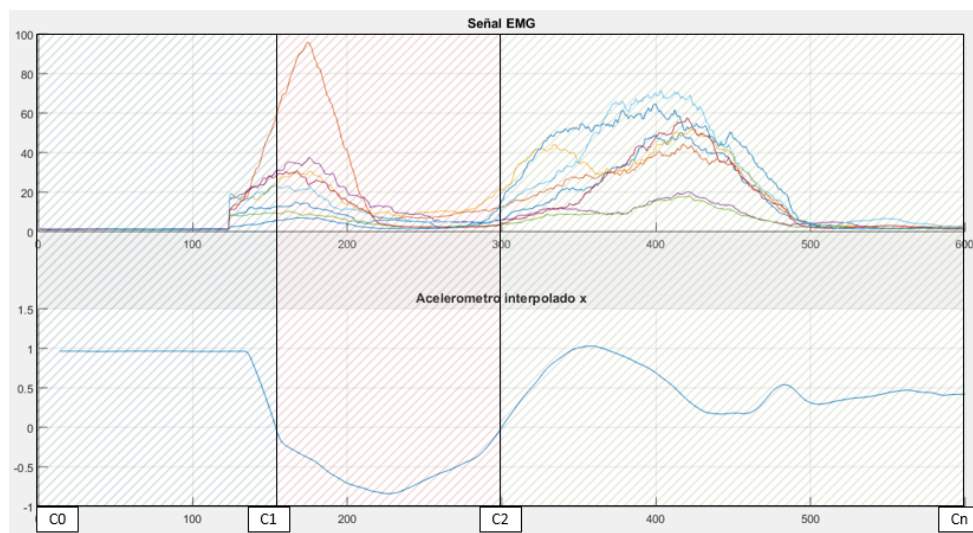


Figura 15. Enventanado de señal EMG con señal en x del acelerómetro

El resultado del enventanado da como resultado tramos o ventanas en las se divide la señal EMG como se muestra en la figura 16. Esto permitirá más adelante eliminar ventanas que no registren movimientos musculares.

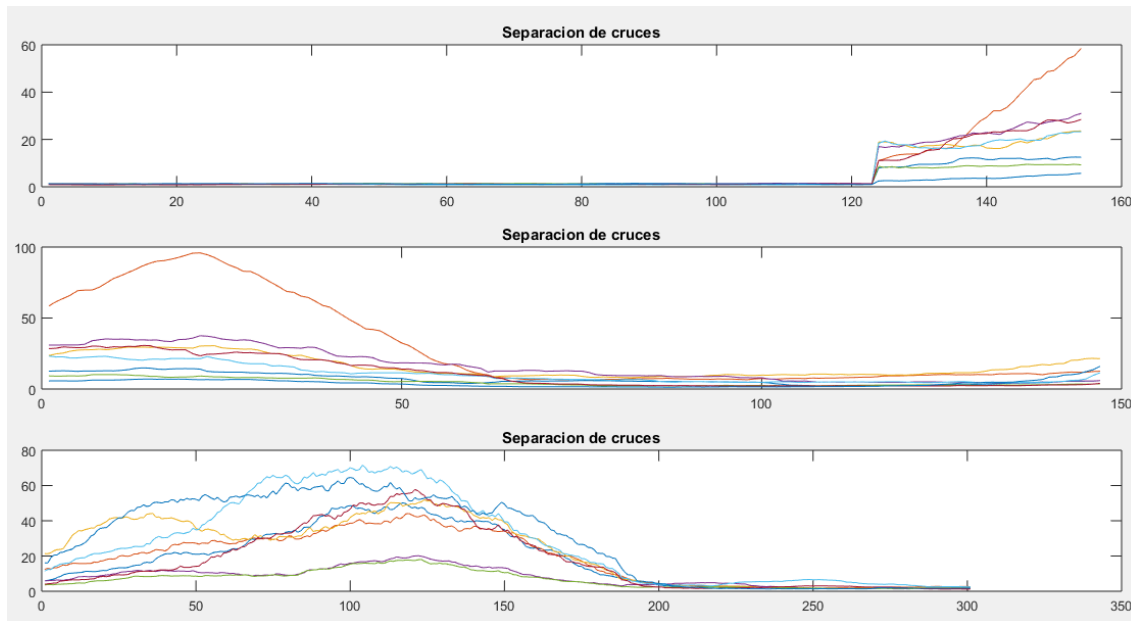


Figura 16. Ventanas obtenidas de una señal de EMG

Para eliminar ventanas sin información se considera calcular la relación señal a ruido. Es decir, lo que se busca es que aquellas ventanas con una potencia baja sean eliminadas del proceso de extracción de características. La relación señal ruido se expresa la ecuación 7 (a menudo abreviado como SNR o S/R) es una medida de ingeniería electrónica que define la relación entre la potencia de una señal con la potencia del ruido que la corrompe (Garai, 2013)

$$\frac{S}{R} = \frac{[Potencia\ de\ la\ señal]}{[Potencia\ del\ Ruido]} \quad (7)$$

Aplicando la ecuación 7 este concepto se puede eliminar la ventana sin información, para este se considera las señales con una potencia mayores a 15dB y menores a 23dB no sean eliminadas del proceso (Eciolaza & Navallas, 2016). En la figura 17 se puede observar que el tramo de Co a C1 que se vio en la figura 16 ha sido eliminado ya que no contiene información es decir tramos en los que no se registraron movimientos musculares.

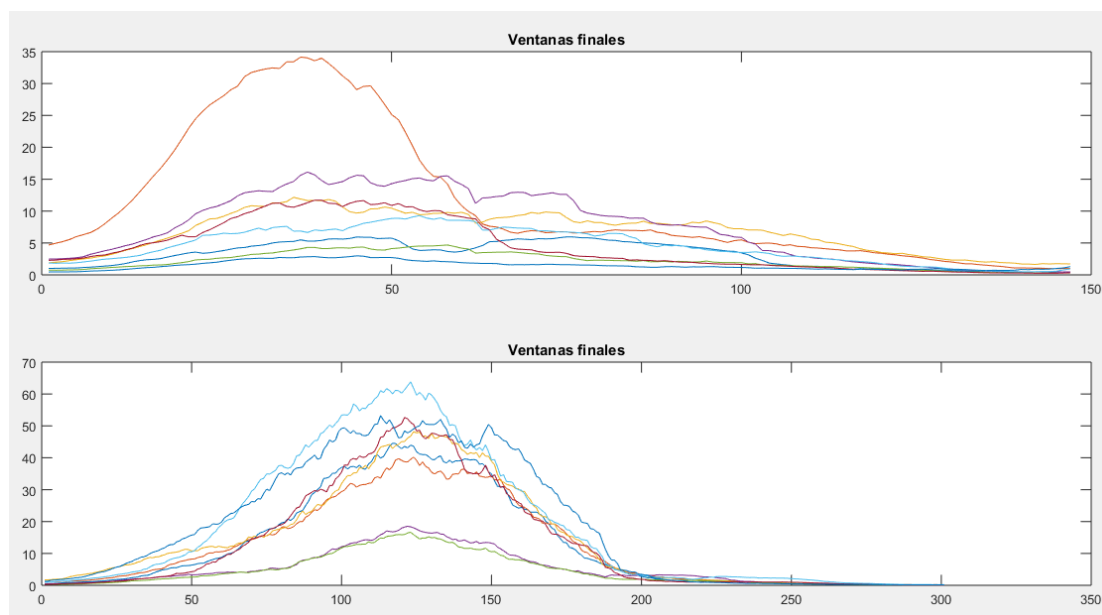


Figura 17. Ventanas Finales luego de eliminar ventanas sin información.

3.3. Extracción de características

Para la extracción de características de las señales EMG e IMU se analizó varios métodos y se verificó uno a uno cuáles eran los que mejor resultados aportan. Los métodos usados trabajan en el dominio del tiempo debido a que son más rápidos de calcular cuando son implementados en tiempo

real. En el algoritmo desarrollado se utilizó la función de extraer características que permite aplicar los métodos de, desviación estándar, valor medio absoluto, energía, raíz media cuadrática, explicados en el capítulo dos tanto para las señales EMG como para las señales IMU. El resultado final es un vector donde se concatenan las 44 características de los 8 sensores y de las 3 señales respectivamente. Estas características obtenidas serán las que se utilicen en el entrenamiento y la clasificación de gestos con las redes neuronales.

En la figura 18 se presenta la distribución de la matriz de características, la izquierda se ve un cuadro previo a la extracción de características en el que se ve que cada frase está compuesta por las 8 señales EMGs y las 3 señales del acelerómetro obtenidas por medio del brazalete, y a la derecha otra tabla que se organiza por frase y cada una de estas con las 44 características obtenidas. Con este conjunto de datos se procede al entrenamiento del clasificador.

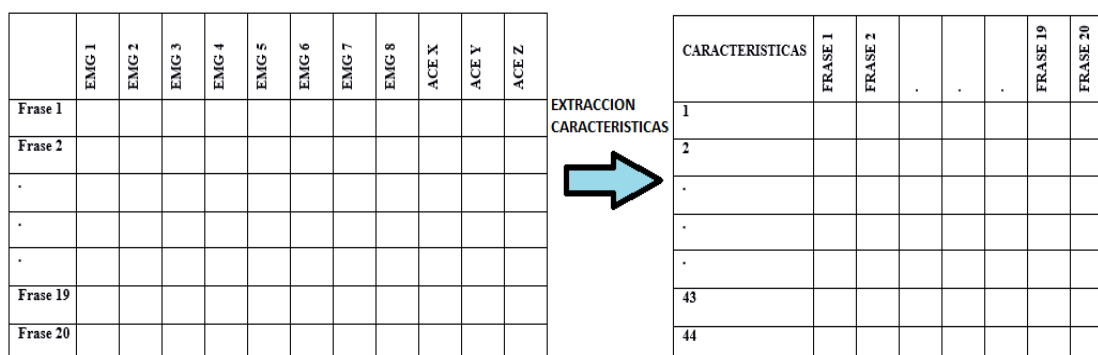


Figura 18. Matriz de extracción de características y distribución

3.4. Clasificador de palabras: Red Neuronal

Con la matriz de características previamente obtenida de las señales electromiográficas y acelerómetro se precisa la clasificación de cada una de las frases que deben ser reconocidas. Para esto se plantea el uso de técnicas de aprendizaje de máquina, capaz de identificar las frases a partir de los vectores de características. Existen diferentes métodos para la clasificación de muestras algunos tales como: Support Vector Machine (SVM), Multi-Layer Perceptrón (MLP) entre otras (Serrano, 2018).

Para el proyecto se utilizó RNA (redes neuronales artificiales) que son métodos que permiten la clasificación de datos a partir de un conjunto de muestras que usan un conjunto de ecuaciones no lineales cuyos parámetros son controlados por algoritmos de aprendizaje tales como: Levenberg-Marquardt backpropagation (trainlm), Gradient descent backpropagation (traingd) y Bayesian regularization backpropagation (trainbr) (Serrano, 2018). Estos algoritmos ayudan a reducir el error entre los datos de entrenamiento y los datos modelados por la red neuronal. Las RNA tienen tres capas, la capa de entrada que tiene la matriz de características, la capa oculta que puede estar conformada por una o más capas y la capa de salida (Serrano, 2018).

El modelo tiene que reconocer un total de 22 frases que son adquiridas de tres personas, cada una realiza diez repeticiones de cada frase y adicionalmente cinco para pruebas dando un total de 30 para entrenamiento y 15 para validación del modelo. El intervalo para la ejecución de cada gesto es de 3000 milisegundos.

Para ello es necesario saber que frases son las esenciales para una comunicación básica. Las frases fueron escogidas del glosario básico de lenguas de señas ecuatorianas proporcionado vía web por la FENASEC (Federación Nacional de Personas Sordas del Ecuador) las palabras y frases seleccionadas más importantes se detallan a continuación:

- Accidente
- Adiós
- Ayúdame
- Buenas noches
- Buenos días
- Buenas tardes
- Como estas
- Estoy enfermo
- Estoy feliz
- Estoy perdido
- Estoy triste
- Gusto en conocerte
- Hoy es mi cumpleaños
- Lo siento
- Muchas gracias
- Perdón puedo pasar
- Qué fecha es

- Qué hora es
- Tengo hambre
- Vamos al Hospital
- Me duele el estomago
- Prestar el celular
- Llama a la policia
- Vamos síganme

El modelo usado se muestra en la figura 19 en donde se puede observar que es un perceptrón multicapa MLP que será implementado con la herramienta de Matlab nprtool. El modelo consta de una capa de entrada con un tamaño de 44x1 que hace referencia al número de características extraídas de cada frase, para la capa de salida el total es de 22 correspondientes a las frases seleccionadas. Para la selección del número inicial de neuronas en la capa oculta, se utilizó la fórmula de la regla de la pirámide geométrica, ecuación (8) que propuso (T. Masters, 1993).

	$h = \sqrt{m \cdot n}$	(8)
--	------------------------	-----

Donde n es el número de entradas y m el número de salidas que tiene la red. Aplicando la fórmula el número inicial de neuronas es de 31, partiendo de este resultado se fue aumentando en uno las neuronas hasta llegar a un error de entrenamiento mínimo usando 35 neuronas.

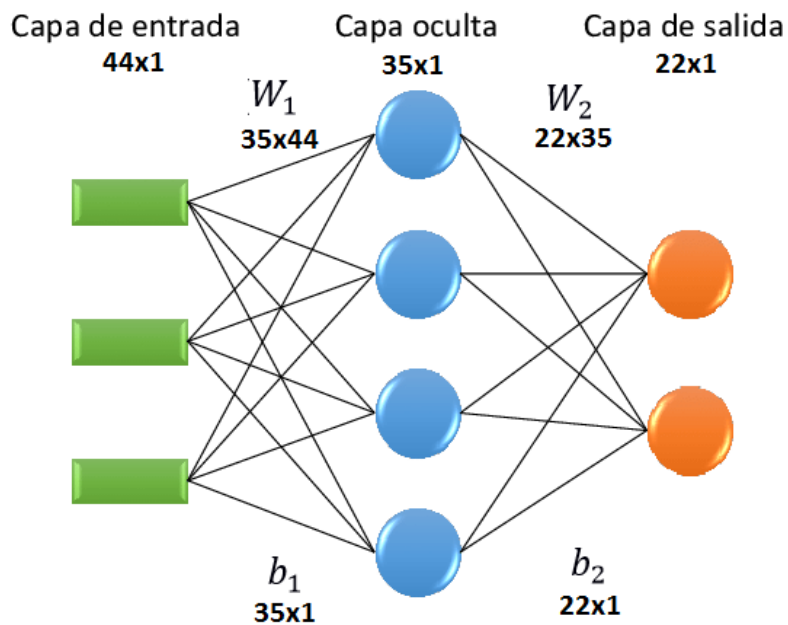


Figura 19. Estructura específica de la red neuronal para reconocimiento de gestos

Finalizado el entrenamiento de la RNA el nprtool de MatLab estimó un porcentaje de aciertos del 93%. Posteriormente se genera el script del modelo matemático con los pesos ya calculados. A continuación, se procedió a integrar el modelo en el algoritmo principal de reconocimiento de gestos para conocer el porcentaje real de aciertos. Como se muestra en la tabla 1 en donde se observa que las palabras con menos aciertos fueron “Gusto en conocerte”, “Estoy Perdido” y “Como estas”. Lo que como resultado dio un porcentaje de acierto del 86.36% que se asemeja al porcentaje estimado por el nprtool de MatLab.

Tabla 1
Validación de la RNA

Frase	Resultado	Aciertos
Hubo un Accidente	Ok	3/3
Adiós	Ok	3/3
Ayúdame	Ok	2/3
Vamos síganme	Ok	3/3
Buenos días	Ok	3/3
Buenas tardes	Ok	3/3
Como estas	Como estas / Muchas Gracias	2/3
Estoy enfermo	Ok	2/3
Estoy feliz	Ok	3/3
Estoy perdido	Estoy perdido/ Hoy es mi cumpleaños	1/3
Estoy triste	Ok	3/3
Gusto en conocerte	Gusto en conocerte/ Estoy perdido	1/3
Hoy es mi cumpleaños	Ok	3/3
Disculpe	Ok	3/3
Muchas gracias	Ok	2/3
Perdón puedo pasar	Ok	3/3
Llama a la policía	Ok	3/3



Continua

Vamos al hospital	Ok	3/3
Tengo hambre	Ok	3/3
Vamos al Hospital	Ok	3/3
Me duele el estomago	Ok	2/3
Prestar el celular	Ok	3/3

Con el modelo ya obtenido y el reconocimiento de gestos funcionando lo siguiente es realizar la integración del sistema con una interfaz de fácil uso, que permita al usuario entender el mensaje que es transmitido a través del reconocimiento del modelo ya establecido que será explicado en el capítulo IV.

CAPITULO IV

4. SISTEMA DE COMUNICACIÓN INCLUSIVO

En este capítulo los temas a tratarse se enfocan en el usuario. En la primera etapa se habla del diseño de la interfaz que ayuda a la persona sorda a comunicar con la persona hablante. Mientras que en la segunda etapa se habla del diseño de la aplicación móvil que es la que solventa la necesidad que tiene el usuario hablante para comunicarse con la persona sorda. Todo este sistema está desarrollado para que funcione en tiempo real.

4.1. Sistema de comunicación

Para generar una comunicación inclusiva ambas partes deben poseer un sistema integral que mezcle el lenguaje de señas y otras vías de comunicación para permitir un sistema de comunicación. Como se muestra en la figura 1 la idea principal del sistema, es captar información mediante los sensores, procesar estas señales y presentarlas. La presentación del mensaje para la persona sorda se la hace mediante texto o ejecución de un gesto con el uso de la ampliación móvil que tendrá la persona hablante. Por otro lado para la presentación del mensaje de la persona con discapacidad auditiva se la realiza mediante un audio dependiendo del gesto realizado, que es reproducido en un celular o en una pc.

4.2. Escenario de manipulación de usuario con discapacidad auditiva

Para el diseño de la interfaz que usará persona con discapacidad auditiva se emplea un diagrama de secuencia el cual se observa en la figura 20 este permite documentar cómo será el proceso por el cual va a pasar la persona en el momento de grabar una frase, hasta el momento en que es

reconocida y traducida a mensaje audible. La interfaz diseñada es fácil de usar y amigable para que no exista confusiones a la hora de ejecutar el programa.

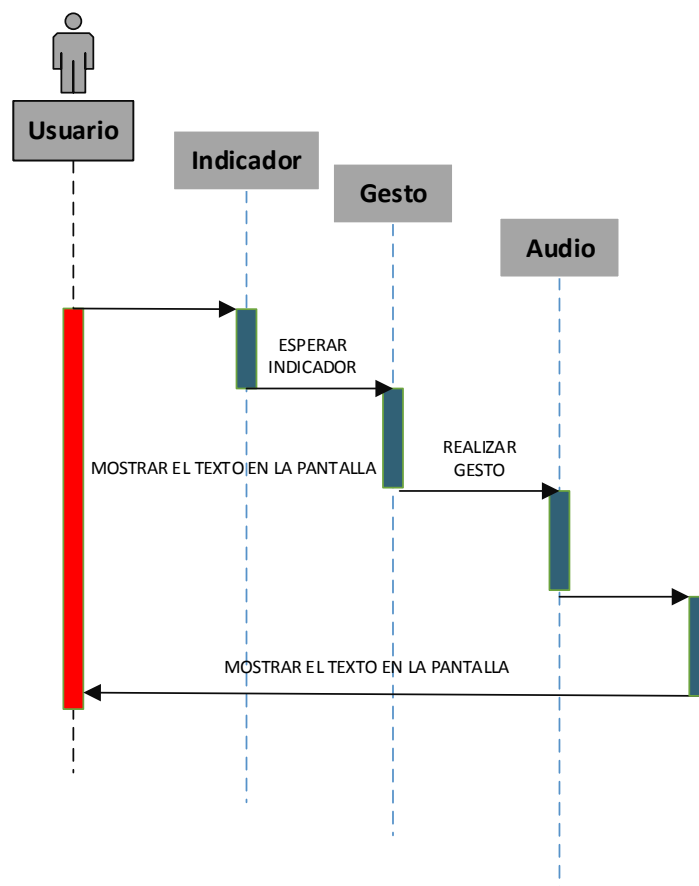


Figura 20. Diagrama de secuencia grabar gesto

En el escenario mostrado el usuario sordo se encuentra en la interfaz en la cual deberá esperar un indicador que le indique que ya puede realizar el gesto esperar unos segundos mientras se procesa los datos EMG grabados y posteriormente escuchará la frase o palabra grabada por medio de audio, así mismo se indicará en un cuadro de texto para que este sea traducido tanto a lenguaje hablado como a lenguaje escrito.

4.2.1. Desarrollo de la interfaz GUI.

Por otro lado para la integración final de todo el sistema que es capaz del reconocimiento de las diversas frases por medio de la red neuronal, se implementó una interfaz de usuario conocida como GUI (Interfaz Gráfica de Usuario) en el mundo de la programación que facilitan un control eficaz de aplicaciones software . Para ello se usó el toolbox de Matlab en el cual incluye objetos como menús, barras de herramienta, botones entre otros, esta GUI genera un código de manera automática para elaborar la interfaz. La interfaz desarrollada fue diseñada de tal manera que sea amigable con la persona sorda sin uso excesivo de colores ni imágenes o botones que dificulten el proceso de reconocimiento de las palabras y un indicador para mostrar al usuario sordo cuando puede volver a realizar un gesto, en este caso se usó un semáforo que es de libre conocimiento para la mayoría de personas tanto sordas como hablantes. En la figura 21 se puede observar los parámetros de la interfaz diseñada.



Figura 21. Interfaz de usuario para persona sorda

Como se puede observar en la interfaz se observa el indicador ya mencionado que es un semáforo, el color verde indica cuando el usuario sordo pueda realizar el gesto, el color rojo representa el instante cuando el gesto ha sido realizado y está siendo analizado por la red neuronal, se detalla también un cuadro de texto en el cual aparecen las frases o palabras reconocidas por el sistema y un botón de inicio que es el que se encarga de realizar la conexión con el brazalete Myo Armband.

4.3. Desarrollo de la Aplicación móvil Señas-EC

En los últimos años se ha desarrollado diferentes sistemas que buscan apoyar o sustenten las necesidades de las personas con discapacidad tales como automóviles con sillas de ruedas, sillas de ruedas trepadoras o como Ablah diseñada para personas con autismo (EcoloNew, 2019). Parte de ellas es la tecnología móvil que es una de las más utilizada a nivel mundial, y por tal motivo considerada una herramienta poderosa para la inclusión e integración de los grupos vulnerables. Solucionando problemas como la movilidad, la comunicación e interacción con su entorno.

Con base en lo antes mencionado se plantea una aplicación Android, que no va directamente dirigida hacia la persona con discapacidad auditiva, sino hacia el otro lado es decir a la persona sin discapacidad auditiva. Lo que se busca es que las personas hagan el intento por comunicarse, y no solo se busque que la persona con discapacidad auditiva haga todo el trabajo.

El diseño de la aplicación Señas-EC parte de un diagrama UML (Lenguaje de Modelamiento Unificado.) que permite visualizar, construir, especificar y documentar, las necesidades del software a diseñar (Zamora, 2013).

Se plantea que esta aplicación este dirigida a una persona sin discapacidad auditiva. Por lo tanto la aplicación tendrá los siguientes requerimientos: Una etapa para reconocimiento de voz y traducción

a texto, una etapa que permita que la persona pueda escribir el mensaje que desee comunicar que puede ser usado ya sea por una persona que tenga o no discapacidad auditiva, por último se añadirá una función que muestre frases que permitan que la persona aprenda un gesto y de esta manera crezca el interés por aprender el lenguaje de señas. En la figura 22 se muestra el diagrama UML de la aplicación Android en la que se especifica las funciones que el usuario puede utilizar.

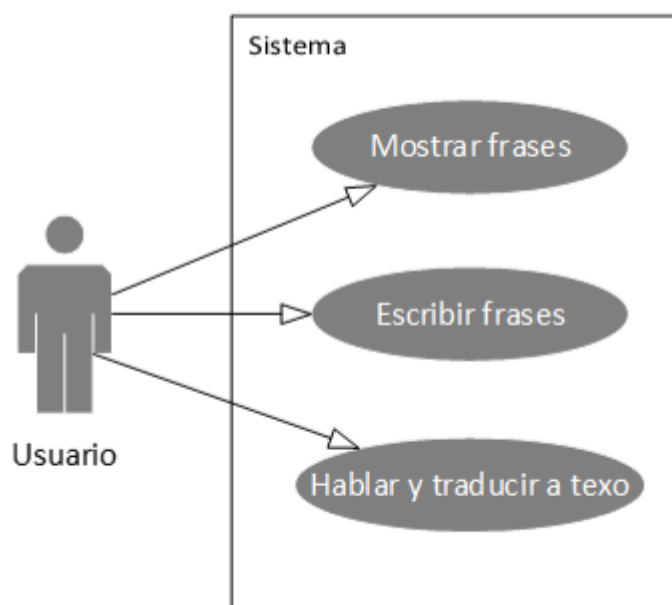


Figura 22. Diagrama de caso de uso "Señas-EC"

Para representar la interacción de los objetos de la aplicación se hace uso de los diagramas de secuencia, que permiten ver cómo será el comportamiento de la aplicación en el tiempo. Para esto se parte de los tres escenarios presentados en el diagrama UML.

4.4. Escenario de hablar y traducir a texto

En la figura 23 se puede ver que el usuario de entrada encuentra una primera interfaz que consta de tres botones uno para escribir, otro para ver las frases y un último botón que al pulsarlo le permite hablar y grabar un mensaje que enseguida es traducido a texto. Luego del proceso anterior este texto ya puede ser interpretado por una persona con discapacidad auditiva. Si la frase que el usuario exprese pertenece a la base de datos del sistema la aplicación le mostrará un video en el que se podrá apreciar ejecución de manos perteneciente a la frase. Para comprender como funciona este escenario se lo muestra en la siguiente figura.

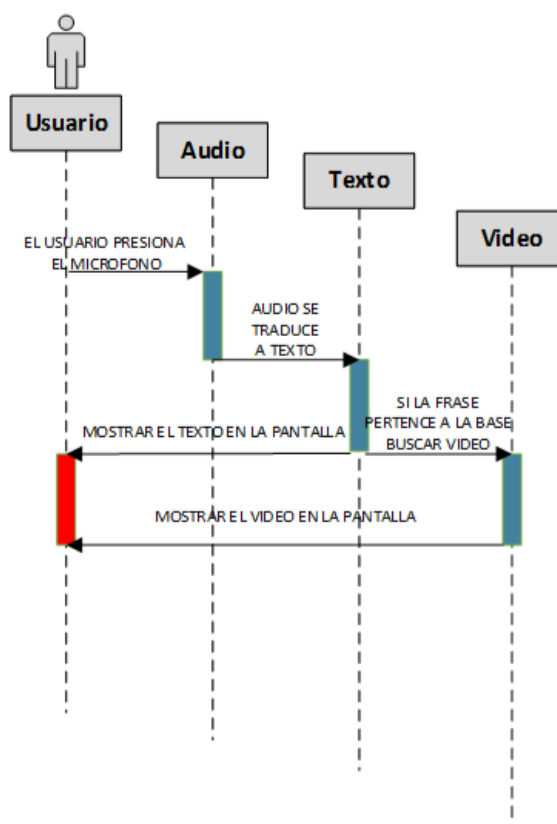


Figura 23. Diagrama de secuencia traducir audio a texto.

4.5. Escenario de mostrar frase

En la figura 24 se muestra otra opción de la app en la que si el usuario lo desea puede ingresar a la interfaz de muestra de frases a través del botón frases. En donde podrá encontrar las frases con las cuales se puede realizar una comunicación básica. Cada una de estas frases tiene un video demostrativo del gesto al que pertenece cada frase, para ver el video el usuario tendrá que volver a la página principal y hablar por el micrófono la frase a la cual quiere conocer el gesto.

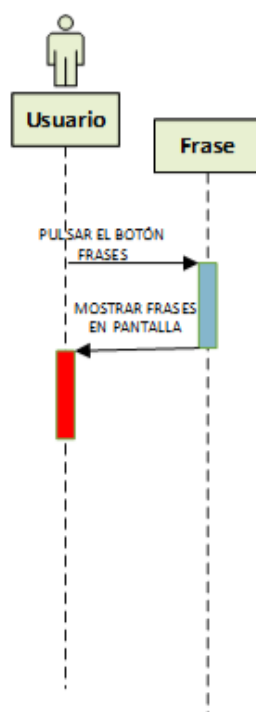


Figura 24. Diagrama de secuencia mostrar frases.

4.6. Escenario escribir frases

En la figura 25 se muestra la tercera interfaz a la que se ingresa por el botón de escribir, presenta un cuadro de texto en el que se puede ingresar un mensaje, esta interfaz es de uso destinado al

usuario con discapacidad auditiva. Como el sistema de comunicación inclusiva tiene un glosario de frases básico, habrá un momento en el que la persona con discapacidad auditiva tenga la necesidad de expresarse con una frase que no está en la base de datos; así usará esta interfaz para poder expresarse y no perder el hilo de la conversación.

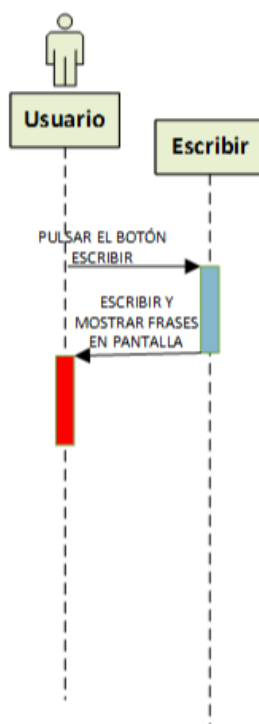


Figura 25. Diagrama de secuencia escribir frases.

Para el diseño y desarrollo de la aplicación se utilizó la plataforma ANDROID STUDIO IDE en lenguaje Java, con las librerías y paquetes necesarios para el desarrollo de aplicaciones Android. Como se puede observar en la figura 26, la interfaz es más atractiva para el usuario al evitarse el

uso excesivo de textos y mostrar iconos más amigables que permita que la aplicación sea más funcional y amigable.



Figura 26. interfaz de la aplicación SEÑAS-EC (Hablar y traducir a texto, mostrar frases, escribir frases.)

4.7. Sistema Final SEÑAS-EC

El sistema SEÑAS-EC está compuesto por dos sub sistemas que ya se detallaron previamente, consiste en el uso del brazalete Myo Armband que está conectado a la PC a través del módulo bluetooth propio del brazalete con el código de programación implementado en Matlab. La persona sorda se coloca el brazalete y presiona inicio lo que le permite reconocer gestos y reproducirlos de forma audible o en texto. El mensaje al ser audible es interpretado por la persona hablante quien con el uso de la aplicación móvil puede responder dicho mensaje con gestos o con un mensaje de texto. SEÑAS-EC está diseñado para la inclusión de las personas con discapacidad auditiva por tal

motivo el sistema debe ser sometido a pruebas que permitan determinar la utilidad y beneficio que este pueda otorgar al grupo vulnerable. Las personas con discapacidad auditiva como los hablantes serán quienes prueben el sistema y que a su vez darán sus impresiones sobre el mismo, en el capítulo siguiente se detallan las pruebas y los resultados obtenidos con el sistema SEÑAS-EC.

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

El presente capítulo aborda las pruebas y los resultados obtenidos, en la integración del sistema y la información recolectada con las pruebas realizadas con un grupo de 10 personas en las cuales 4 fueron personas sordas y 6 personas hablantes. Se presenta un análisis de tiempos de respuesta sistema, reconocimiento de gestos, y nivel de comprensión de la comunicación de los escenarios planteados. Por último, se formula una encuesta en la que se recoge datos referentes a la funcionalidad, portabilidad y percepción del tiempo de respuesta del sistema entre otras.

5.1. Escenarios de Pruebas

Para realizar las pruebas de funcionamiento en tiempo real del sistema de reconocimiento de gestos, se plantea unos escenarios básicos en los cuales una persona con discapacidad auditiva (Pda) necesite comunicarse con una persona hablante (Ph).

ESCENARIO 1

El objetivo de este escenario es que la persona con discapacidad auditiva pueda iniciar una conversación básica sobre un instante de su vida tal como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2

Primer escenario

Pda	Buenos días
Ph	Buenos días
Pda	Como estas

Ph	Muy bien y tu
Pda	Estoy feliz
Ph	Porque
Pda	Hoy es mi cumpleaños
Ph	Felicidades
Pda	Muchas gracias
Pda	Gusto en conocerte
Ph	Igualmente
Pda	Adiós

ESCENARIO 2

En este escenario es un claro ejemplo de cuando te encuentras perdido en algún lugar y necesitas comunicarte con alguien, para conseguir ayuda; que es una de las dificultades más comunes y poco solventadas para la comunidad sorda.

Tabla 3

Segundo escenario

Pda	Buenos tardes	
Ph	Buenas tardes	
Pda	Estoy perdido	
Ph	Como te puedo ayudar	Donde vives



Continua

Pda	Llamar a la policía	No tengo idea
Ph	Listo enseguida	Que quieres que haga
Pda	Muchas gracias	Llamar a la policía
		Listo enseguida
		Muchas gracias

ESCENARIO 3 Y 4

Los próximos escenarios van enfocados en la necesidad de una persona sorda para solventar problemas de su diario vivir como pueden ser pedir ayuda en caso de estar sufriendo algún dolor o necesidad de alimentarse como se muestran en las tablas 4 y 5

Tabla 4

Tercer escenario

Pda	Buenos días
Ph	Buenos días
Pda	Estoy enfermo
Ph	Que te pasa
Pda	Me duele el estomago
Ph	¿Qué quieres que haga?
Pda	Llévame al hospital

Tabla 5
Cuarto escenario

Pda	Buenos días
Ph	Buenos días
Pda	Disculpe
Ph	Si, dígame como le puedo ayudar
Pda	Por favor tengo hambre
Ph	Que quieres comer
Pda	Préstame el celular

ESCENARIO 5

El ultimo escenario y no menos importante es cuando una persona sorda presencia un accidente y trata de dar un auxilio o informar a alguien sobre el mismo ya que es complicado para él comunicarse por medios telefónicos.

Tabla 6
Quinto escenario

Pda	Perdón puedo pasar
Ph	Claro siga
Pda	Accidente fuerte
Ph	Donde, que paso
Pda	Vamos sígame

5.2.Resultados de cada escenario

En este apartado se muestra los resultados obtenidos en el funcionamiento del sistema de comunicación inclusiva en cada uno de los escenarios propuestos. Los puntos a medir son el número de palabras reconocidas, el tiempo de respuesta del sistema frente a cada frases y tiempo en que cada escenario es completado y la capacidad de comprensión del diálogo por los usuarios que intervienen. Los escenarios son interpretados por dos personas con discapacidad auditiva (Pda) y dos personas hablantes (Ph); quienes formaron 2 parejas (Pda 1-Ph 1) y (Pda 2-Ph 2), por obtener dos perspectivas de un mismo escenario.

5.2.1. Resultados escenario 1

En tabla 7 se muestra los resultados obtenidos del escenario 1.

Tabla 7
Resultados escenario 1

ESCENARIO 1	DIALOGO 1		DIALOGO 2	
	Pda 1	Ph 1	Pda 2	Ph 2
Número de palabras reconocidas	7/7	5/5	7/7	5/5
Tiempo de respuesta por frase	5 s	3 s	5 s	3 s
Tiempo de respuesta por diálogo	35 s	15 s	45 s	15 s
comprensión del diálogo	Buena	Buena	Buena	Buena

* s=segundos

Los resultados obtenidos muestran un reconocimiento de todas las palabras del diálogo 1 tanto de la persona con discapacidad auditiva como de la persona hablante dando una buena comprensión del diálogo como también un tiempo de respuesta apropiado de 50 segundos en su desarrollo. Por otro lado, en el diálogo 2 se aprecia un incremento de tiempo de respuesta de 10 segundos debido a gestos que el sistema no logro reconocer, los gestos que no son reconocidos tienen que volver a ser realizados lo que incide en el aumento en el tiempo de respuesta. Cabe destacar el sistema no confunde el gesto realizado con otro, lo que permite que no se pierda la sintaxis del diálogo.

5.2.2. Resultados escenario 2

En tabla 8 se muestra los resultados obtenidos del escenario 2.

Tabla 8
Resultados escenario 2

ESCENARIO 2	DIÁLOGO 1		DIÁLOGO 2	
	Pda 1	Ph 1	Pda 2	Ph 2
Número de palabras reconocidas	4/5	4/4	4/4	4/4
Tiempo de respuesta por frase	5 s	3 s	5 s	3 s
Tiempo de respuesta por diálogo	30 s	12 s	20 s	12 s
comprensión del diálogo	Buena	Buena	Buena	Buena

* s=segundos

Los resultados obtenidos muestran un reconocimiento de 4 de las 5 palabras del diálogo 1 la frase no reconocida fue “estoy perdido” las misma que fue cambiada por la **Pda** a la frase “préstame el celular”, que es una forma de continuar el diálogo para solventar el problema planteado en el escenario 2. Con el inconveniente antes mencionado el tiempo de duración del diálogo aumenta 10 segundos debido a que el usuario intento repetir el gesto fallido una vez más 1 vez, que son 5 segundos adicionales más 5 segundos de la nueva frase externa al diálogo. No obstante, la comunicación entre las dos personas fue calificada como buena ya que consiguió el objetivo deseado que es ayudar a una **Pda** que esta perdida. Por otro lado, en diálogo 2 no existieron inconvenientes en la comunicación ya que todas las frases fueron reconocidas, lo que ayudo a mejorar el tiempo de respuesta en 10 segundos, y por ende la comprensión de la comunicación se calificó como buena.

5.2.3. Resultados escenario 3

En tabla 8 se muestra los resultados obtenidos del escenario 3.

Tabla 9

Resultados escenario 3

ESCENARIO 3	DIÁLOGO 1		DIÁLOGO 2	
	Pda 1	Ph 1	Pda 2	Ph 2
Número de palabras reconocidas	4/4	3/3	4/4	3/3
Tiempo de respuesta por frase	5 s	3 s	5 s	3 s
Tiempo de respuesta por diálogo	20 s	9 s	20 s	9 s
comprensión del diálogo	Buena	Buena	Buena	Buena

* s=segundos

Los resultados obtenidos muestran un reconocimiento de todas las palabras del diálogo 1 tanto de la persona con discapacidad auditiva como de la persona hablante dando una buena comprensión del diálogo como también un tiempo de respuesta apropiado de 29 segundos en su desarrollo. De igual manera en el diálogo 2 el sistema no tuvo inconvenientes en su funcionamiento todas las frases fueron reconocidas, un tiempo similar al diálogo 1 de 29 segundos calificándose la comunicación como buena.

5.2.4. Resultados escenario 4

En tabla 8 se muestra los resultados obtenidos del escenario 4.

Tabla 10

Resultados escenario 4

ESCENARIO 4	DIÁLOGO 1		DIÁLOGO 2	
	Pda 1	Ph 1	Pda 2	Ph 2
Número de palabras reconocidas	4/4	3/3	4/4	3/3
Tiempo de respuesta por frase	5 s	3 s	5 s	3 s
Tiempo de respuesta por diálogo	20 s	9 s	20 s	9 s
comprensión del diálogo	Buena	Buena	Buena	Buena

* s=segundos

Los resultados obtenidos muestran un reconocimiento de todas las palabras del diálogo 1 tanto de la persona con discapacidad auditiva como de la persona hablante dando una buena comprensión del diálogo como también un tiempo de respuesta apropiado de 29 segundos en su desarrollo. De igual manera en el diálogo 2 el sistema no tuvo inconvenientes en su funcionamiento todas las frases fueron reconocidas, un tiempo similar al diálogo 1 de 29 segundos calificándose la comunicación como buena. En los diálogos no se

considera continuar desde la frase “préstame el celular” ya que el problema que plantea el escenario ya fue solventado.

5.2.5. Resultados escenario 5

En tabla 8 se muestra los resultados obtenidos del escenario 4.

Tabla 11
Resultados escenario 5

ESCENARIO 5	DIÁLOGO 1		DIÁLOGO 2	
	Pda 1	Ph 1	Pda 2	Ph 2
Número de palabras reconocidas	3/3	2/2	3/3	2/2
Tiempo de respuesta por frase	5 s	3 s	5 s	3 s
Tiempo de respuesta por diálogo	15 s	6 s	15 s	6 s
comprensión del diálogo	Buena	Buena	Buena	Buena

* s=segundos

Los resultados obtenidos muestran un reconocimiento de todas las palabras del diálogo 1 tanto de la persona con discapacidad auditiva como de la persona hablante dando una buena comprensión del diálogo como también un tiempo de respuesta apropiado de 21 segundos en su desarrollo. De igual manera en el diálogo 2 el sistema no tuvo inconvenientes en su funcionamiento todas las frases fueron reconocidas, un tiempo similar al diálogo 1 de 21 segundos calificándose la comunicación como buena.

5.3. Validación del funcionamiento del sistema.

Para la validación de todo el sistema se procedió a realizar un total de diez encuestas (VER ANEXO 2) entre personas sordas y personas hablantes los resultados de la misma se detalla a continuación en la tabla:

Tabla 12
Análisis de la encuesta

Preguntas	Análisis
1. ¿Cuál es el nivel de utilidad que ve en el sistema?	El 80% de las personas encuestadas definió que es de gran utilidad el sistema debido a la ayuda que ofrece a las personas con discapacidad auditiva ya que es un sistema innovador.
2. ¿Qué grado de beneficio cree usted que tenga el sistema?	El grado de beneficio del sistema sigue siendo considerablemente alto con un 70% entre las personas encuestadas debido al impacto que tiene ya que es capaz de permitir comunicarse entre personas sordas y personas hablantes.
3. ¿Cómo vio la velocidad de respuesta del sistema?	Hubo un 60% de personas que afirman que el sistema tiene una velocidad de respuesta moderada esto es debido a que se tiene un



Continua

conjunto amplio de frases almacenadas y la velocidad de adquisición del sistema dura un total de tres segundos una vez procesada por la red neuronal se tarda un segundo más en traducir a lenguaje hablado.

4. ¿cree usted que el sistema es incómodo de usar?

En su totalidad las personas encuestadas respondieron que el sistema no es incómodo de usar, esto se debe a que el medio por el cual se usa el sistema es un brazalete parecido a una pulsera que se lo puede llevar sin ningún inconveniente en el antebrazo derecho.

5. ¿Cree usted que el sistema es inclusivo?

Así mismo todas las personas encuestadas definieron que el sistema es totalmente inclusivo porque tiene dos caminos de ida y vuelta, como son que la persona con discapacidad auditiva puedan expresarse por medio de señas y este traducido a lenguaje hablado y viceversa las personas hablantes

Continúa 

expresarse a través de aplicación y esta le enseña cómo se son las señas de la misma.

-
- 6. ¿Cuál de los siguientes aspectos le atraen del sistema?** La mitad de la población encuestada define que lo que más le atrae del sistema es la simplicidad, porque el sistema se conecta mediante bluetooth a una computadora portátil y el programa con el que las personas hablantes se comunican se instala en cualquier dispositivo Android

-
- 7. ¿Cuál o cuáles de los siguientes aspectos no le atraen del sistema?** La mayoría de casos de las personas encuestadas indican que son otros puntos los que no les atraen del sistema como son la implementación de nuevas frases, más videos explicativos en la aplicación móvil etc. Como es un sistema de primera fase queda abierto para que en futuros trabajos se puedan implementar un número más grande de frases, un diccionario más amplio para el programa en el dispositivo Android.



Continua

8. ¿Cree usted que los escenarios propuestos son suficientes para una comunicación básica? El 70% de los encuestados afirman que en los escenarios descritos anteriormente se puede realizar una comunicación básica que es de gran importancia para las personas sordas.

9. ¿Cree usted que este sistema debería salir al mercado? La totalidad de encuestados afirmaron que el producto debe de salir al mercado, pero al momento este se encuentra en una fase de desarrollo, con futuras investigaciones y análisis del proyecto se puede extender al punto de traducir un lenguaje completo de señas a lenguaje hablado y escrito.

A pesar de los resultados favorables y no favorables obtenidos, no cabe duda que la base de esta investigación a contribuido a brindar un camino que permite la interacción de forma inclusiva entre las personas con discapacidad auditiva y su entorno, dando la oportunidad a que este proyecto sea un inicio o guía de nuevos proyectos que permitan mejorar la calidad de vida de las personas de este grupo vulnerable. El empleo del brazalete Myo y la aplicación móvil han permitido que se facilite el uso del sistema SEÑAS-EC para que el proyecto cree una expectativa de comodidad en el usuario lo que permitirá que varias personas se interesen en usarlo. Cabe destacar que el proyecto

puede mejorar con modificaciones futuras en velocidad y reconocimiento lo podrá potencializar su funcionamiento y su empleo en la vida cotidiana.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo se determina que tan efectivos fueron los resultados obtenidos durante la realización de todo el proyecto de titulación, indicando las conclusiones que se obtiene del presente trabajo y recomendaciones para trabajos futuros.

6.1. CONCLUSIONES

Se diseño e implemento un sistema que permite la comunicación inclusiva entre una persona con discapacidad auditiva y una persona hablante, mediante el uso de la información que entrega el brazalete Myo, como también una computadora en la que se ejecuta la aplicación de reconocimiento de gestos en tiempo real y una aplicación Android, obteniendo resultados de un 86.36% de precisión en el reconociendo de gestos y un 98% de precisión en la traducción de voz a texto respectivamente dando como resultado una precisión global del sistema comunicación inclusiva del 92.18%.

Se adquirido y almaceno las señales EMG (electromiográficas) y las señales IMU (acelerómetro) generadas por los brazaletes MYO mediante el uso de librerías desarrolladas en C++, las cuales fueron enlazadas a la plataforma MatLab para el análisis y procesamiento las señales EMG e IMU esto ayudo a que el sistema pueda trabajar en tiempo real.

El modelo generado en el presente trabajo fue capaz de reconocer 22 frases o gestos con una precisión del 93%, mediante la interpretación de las señales EMG e IMU generadas por el brazalete myo. Con las pruebas realizadas se pudo determinar que el modelo puede ser estandarizado ya que

fue probado por personas que no pertenecían a la base de datos con una precisión del 78% lo que puede mejorar con el aumento de datos de entrenamiento.

Se desarrollo una aplicación mediante el uso de script y GUIs para la integración del sistema de interpretación de gestos y la reproducción de audio, como resultado esta aplicación a permitido que los usuarios con discapacidad auditiva vean al sistema como una herramienta para solventar sus necesidades básicas de comunicación, ya que aseguran que es cómoda y fácil de usar.

Se desarrollo una aplicación Android la cual dio como resultado que la persona hablante pueda comunicarse con una persona con discapacidad auditiva, el 80% de los usuarios de la aplicación aseguran que el sistema es cómodo y fácil de usar demás que aprenden a realizar ciertos gestos gracias a los videos suministrados en la aplicación. Por otro lado, el 60% de los usuarios ven la necesidad de un aumento de frases con videos explicativos de cómo realizar los gestos, esto es un indicador claro de que se logró generar cierto interés en aprender lenguaje de señas por parte de las personas hablantes.

Se realizo pruebas funcionamiento del sistema de reconocimiento de gestos con dos personas expertas en lenguaje de señas que son docentes en una escuela de niños sordos, como resultado se obtuvo primero una gran aceptación del proyecto, segundo al ser expertos los gestos fueron realizados a mayor velocidad, lo que permitió ver la respuesta del sistema. Los tiempos de respuesta no variaron debido a que el tiempo de recolección de datos es el mismo. Lo que si vario fue la precisión en el un usuario fue del 85% ya que ella está en la base de datos pero para el otro usuario

fue 71% , aseguran que el sistema no es rápido sino de una velocidad moderada, pero cumple función de realizar una comunicación inclusiva.

6.2. RECOMENDACIONES

Utilizar herramientas que sirvan para la extracción automática de características de las señales EMG adquiridas como son los autoencoders el cual determina características propias de la señal y estas son mucho más efectivas que las características adquiridas manualmente debido al bajo tiempo de procesamiento que requieren.

Incrementar el número de frases y palabras en el aplicativo móvil generando así un diccionario completo de traducción del lenguaje de señas debido a que no existen aplicaciones móviles perfectamente estructuradas y actualizadas en el Ecuador.

Al momento de grabar los gestos en la base de datos extraer los pelos del antebrazo o aplicar un poco de solución salina para disminuir la corriente estática generada por el antebrazo a la hora de realizar un gesto.

Aumentar los posibles escenarios de comunicación para la persona sorda dando así la facilidad de expresarse de una mejor manera con una persona hablante y poder hacer más inclusiva la comunicación por ambas partes.

BIBLIOGRAFÍA

Betancur Betancur, D., Vélez Gómez, M., & Peña Palacio, A. (2013). Traducción automática del lenguaje dactilológico de sordos y sordomudos mediante sistemas adaptativos. *Ingeniería Biomédica*, 18-30.

Algueró, M. (4 de Diciembre de 2017). *Guia Infantil*. Obtenido de <https://www.guiainfantil.com/articulos/educacion/las-ventajas-de-usar-el-lenguaje-de-signos-con-los-ninos/>

Almeida, L. C., & Viteri, P. A. (2016). Diseño e implementación de un par de guantes intérpretes del lenguaje de señas elementales a lenguaje escrito mediante software libre para facilitar el aprendizaje en la Unidad educativa especializada cotopaxi. Latacunga: Espe.

Basmajian, J. V., & De Luca, C. J. (1985). *Muscles Alive*. Baltimore: Williams and Wilkins.

Bedoya, J. (23 de Septiembre de 2011). *El Pais*. Obtenido de https://elpais.com/diario/2011/09/23/sociedad/1316728801_850215.html

Centre, K. (2016). Prueba de concepto. *Un fragmento de la Enciclopedia Ipsos, 1, 7*. Obtenido de <https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2017-10/Prueba%20de%20concepto.pdf>

Chacón Mosquera, E. F. (2013). *Desarrollo de una interfaz para el reconocimiento del lenguaje de signos*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas Espe.

- Chico Moreno, J. C. (2016). *Desarrollo de prototipo de prótesis de mano emulado en un ambiente virtual*. Bogotá: Universidad nacional de Colombia.
- Chico, C. (2016). *Desarrollo de prototipo de prótesis de mano emulada en un ambiente virtual*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Cifuentes, A. (2012). *Extracción de Características y Clasificación de Señales Electromiográficas Utilizando la Transformada Hilbert-Huang y Redes Neuronales*. INAOE.
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (2 de Febrero de 2019). *consejodiscapacidades*. Recuperado el 17 de Febrero de 2019, de <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Corona, L. (13 de Octubre de 2017). *Después del silencio*. Obtenido de <https://despuesdelsilencio.org/2017/10/13/como-comunicarse-con-una-persona-con-discapacidad-auditiva/>
- Digital, P. (2011). Quito: EPN.
- Duque Arias, D. F., & Ibarra Caicedo, M. R. (2014). *Diseño e implementación de un guante electrónico que permite transformar el lenguaje de señas en caracteres y reproducción de voz artificial*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- EcoloNew. (3 de Mayo de 2019). *Ecolohosting*. Obtenido de <https://ecolohosting.com/8-tecnologias-que-ayudan-a-personas-discapacitadas/>

El Telégrafo. (28 de septiembre de 2017). *El Telégrafo*. Recuperado el 19 de febrero de 2019, de

<http://tinyurl.com/y7swoqe4>

El Tiempo. (27 de Septiembre de 2017). *Discapacidad auditiva un reto para la inclusión*. (El

tiempo) Recuperado el 2019 de Febrero de 18, de

<https://www.eltiempo.com.ec/noticias/cuenca/2/inclusion-un-reto-para-la-inclusion>

Elamvazuthi, D. (2015). Electromyography (EMG) based Classification of Neuromuscular

Disorders using Multi-Layer Perceptron. *ELSEVIER*.

Espinos Aguilar, A. A., & Pogo León, H. A. (2013). *Diseño y construcción de un guante*

prototipo electrónico capaz de traducir el lenguaje de señas de una persona sordomuda al lenguaje de letras. Cuenca: UPS.

Espinosa Aguilar, P. A., & Pogo León, H. A. (2013). *Diseño y construcción de un guante*

prototipo electrónico capaz de traducir el lenguaje de señas de una persona sordo muda al lenguaje de letras. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.

Esteban, C., Darwin, A., & Fabián, S. (2014). Desarrollo de una Interfaz para el Reconocimiento

Automático del. 8. Sangolqui: Publicaciones .

Fundación Includeme. (11 de Junio de 2015). *Includeme.com*. Obtenido de

<https://www.includeme.com/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-discapacidad-auditiva/>

Garai, J. (6 de Enero de 2013). *nireleku.com*. Obtenido de

<https://www.nireleku.com/2013/01/entendiendo-la-relacion-senal-ruido-y-la-atenuacion/>

GLIPTODONTE. (2015). La educación de los sordos en el Uruguay. Montevideo.

Gobierno de Chile. (2017). Necesidades educativas especiales a discapacidad auditiva. Santiago de Chile: Fundacion HINENI.

Gobierno de la Republica del Ecuador. (21 de Mayo de 2018). *Ministerio de Educación*. Recuperado el 18 de febrero de 2019, de <https://educacion.gob.ec/ministerio-de-educacion-emitio-acuerdo-de-gestion-y-atencion-educativa-para-estudiantes-con-necesidades-educativas-especiales/>

Gobierno de la Republica del Ecuador. (Octubre de 2018). *Plan Nacional Todo una vida*. (Secretaria nacional de planificación y desarrollo) Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de <http://www.planificacion.gob.ec/senplades-presenta-plan-para-el-buen-vivir-en-braille-y-lenguaje-de-senas/>

Guerrero , G. E. (2016). *Análisis de señales electromiográficas provenientes del movimiento de flexo-extensión de la rodilla*. Ibarra: Universidad tecnica del norte.

Hinojosa Raza, C. M. (Enero de 2016). *Vínculos*. Obtenido de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/vinculos/article/view/202/694>

Hussein, S. E., & Granat, M. H. (2002). Intention Detection Using a Neuro-Fuzzy EMG Classifier. *Engineering in Medicine and Biology IEEE*, 123-129.

Lorente, L. E. (2017). *Matriz de electrodos EMG para detección*. Madrid: Universidad Carlos III de MADrid.

- Myo. (12 de octubre de 2018). *Northon*. (Myo Team) Recuperado el 15 de Julio de 2019, de <https://support.getmyo.com/hc/en-us/articles/202648103-Myo-Gesture-Control-Armband-tech-specs>
- Oviedo, A. (2015). *Cultura Sorda*. Obtenido de Ecuador, Contenidos: <https://cultura-sorda.org/ecuador-atlas-sordo/>
- Pascual, J. A. (21 de Junio de 2014). *CH*. Obtenido de Google Gesture, la voz de las personas sordomudas: <https://computerhoy.com/noticias/hardware/google-gesture-voz-personas-sordomudas-14631>
- Pascual, J. A. (2014 de Junio de 21). *Noticias* . (Compuete Hoy) Recuperado el 2019 de Febrero de 28, de <https://computerhoy.com/noticias/hardware/google-gesture-voz-personas-sordomudas-14631>
- Piña, G. D. (2017). *Sistema inteligente de clasificación para apertura y cierre de la mano utilizando señales*. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás.
- Serrano, G. (2018). Clasificación de Gestos de la Lengua de Señas Colombiana a partir del Análisis de Señales Electromiográficas utilizando Redes Neuronales Artificiales . *información Tecnológica*, 10.
- T. Masters. (1993). *Practical Neural Networks recipes in C++*. Academic Press.
- Unidad de vinculacion con la sociedad. (Enero de 2016). *Vínculos*. Recuperado el 18 de febrero de 2019, de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/vinculos/article/view/202/694>

- Vimos, I. V. (2019). *Operación remota y control adaptativo de un manipulador virtual de 3 grados de libertad usando 2 brazaletes Myo y reconocimiento de gestos de la mano*. Quito: Escuela Plitecnica Nacional.
- Visualfy. (8 de Octubre de 2018). *Sordo o sordomudo*. Recuperado el 19 de Febrero de 2019, de <https://www.visualfy.com/es/sordo-o-sordomudo-como-se-dice/>
- Viviana Cabreara, E. I. (2012). *Obtención y analisis de señales electromiograficas de las Articulaciones tibiofemoraly femororotulina a la detencion y rehabilitación de problemas musculares en el movimiento de la rodilla*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.
- Vladimir, B. V. (2018). *Modelado y simulación del Robot Mitsubishi RV-2JA controlado mediante señales electromiográficas*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Zamora, L. B. (2013). " Manos Que Hablan " . Prototipo de Aplicación en Android Para el Aprendizaje del Alfabeto Dactilológico Para Colombia. *researchgate*.
- Zea, A. (2017). *Implementacion de un sistema de clasificacion de gestos del brazo humano utilizando Myo Armband Para un mando a distancio de un brazo robotico*. Quito: Universidad politécnica salesiana.