

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS**

**TESIS**

**“Síntesis de voz basada en señales EMG”**

**PRESENTA**

**Vanessa Ramírez Pérez**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON OPCIÓN  
A LA COMPUTACIÓN**

**Director:**

Dr. José Antonio Guerrero Díaz de León

Dr. Jorge Eduardo Macías Díaz

**Comité Tutorial:**

Dr. Ángel Eduardo Muñoz Zavala

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Aguascalientes, Ags., 17 de mayo de 2023

**M. EN C. JORGE MARTÍN ALFÉREZ CHÁVEZ**  
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

**P R E S E N T E**

Por medio del presente como **CO-TUTOR** designado del estudiante **VANESSA RAMÍREZ PÉREZ** con ID **190543** quien realizó la tesis titulada: **SÍNTESIS DE VOZ BASADA EN SEÑALES EMG**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"Se Lumen Proferre"**  
**Aguascalientes, Ags., a 18 día de mayo de 2023**



*Dr. José Antonio Guerrero Díaz de León*  
**Co-Tutor de tesis**

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

**M. EN C. JORGE MARTÍN ALFÉREZ CHÁVEZ**  
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

PRESENTE

Por medio del presente como **CO-TUTOR** designado del estudiante **VANESSA RAMÍREZ PÉREZ** con ID **190543** quien realizó la tesis titulada: **SÍNTESIS DE VOZ BASADO EN SEÑALES EMG**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que **ella** pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"Se Lumen Proferre"**

**Aguascalientes, Ags., a 18 día de mayo de 2023 .**



*Dr. Jorge Eduardo Macías Díaz*  
**Co-Tutor de tesis**

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

**M. EN C. JORGE MARTÍN ALFÉREZ CHÁVEZ**  
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

**PRESENTE**

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **VANESSA RAMÍREZ PÉREZ** con ID **190543** quien realizó la tesis titulada: **SÍNTESIS DE VOZ BASADO EN SEÑALES EMG**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"Se Lumen Proferre"**

**Aguascalientes, Ags., a 18 día de mayo de 2023**

  
Dr. Ángel Eduardo Muñoz Zavala  
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 17/05/2023

**NOMBRE:** VANESSA RAMÍREZ PÉREZ **ID** 190543

**PROGRAMA:** Maestría en ciencias con opción a la Computación, Matemáticas Aplicadas **LGAC (del posgrado):** Inteligencia Artificial

**TIPO DE TRABAJO:** (  ) Tesis (  ) Trabajo Práctico

**TÍTULO:** Síntesis de voz basada en señales EMG

**IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado):** la discapacidad al permitir la comunicación a personas con limitantes motrices. Se busca que el dispositivo permita una comunicación de la persona con discapacidad con sujetos fuera de su círculo que. En primera instancia, no conozcan lenguajes de señas o especializado, esto a través de señales

**INDICAR SI NO N.A. (NO APLICA) SEGÚN CORRESPONDA:**

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<b>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</b>				
SI				El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI				La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI				Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI				Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI				Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI				El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI				Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI				Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI				Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<b>El egresado cumple con lo siguiente:</b>				
SI				Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI				Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI				Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
N.A.				Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI				Coincide con el título y objetivo registrado
SI				Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI				Tiene el CVU del Conacyt actualizado
SI				Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<b>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</b>				
N.A.				Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.				El estudiante es el primer autor
N.A.				El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.				En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.				Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.				La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

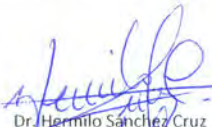
Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Si    
 No

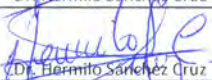
**FIRMAS**

**Elaboró:**

\* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

  
Dr. Hermilo Sánchez Cruz

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

  
Dr. Hermilo Sánchez Cruz

\* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

**Revisó:**

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

  
Dr. Juan Jáuregui Rincon

**Autorizó:**

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

  
M. en C. Jorge Martín Alferez Chavez

**Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado**

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.



# Agradecimientos

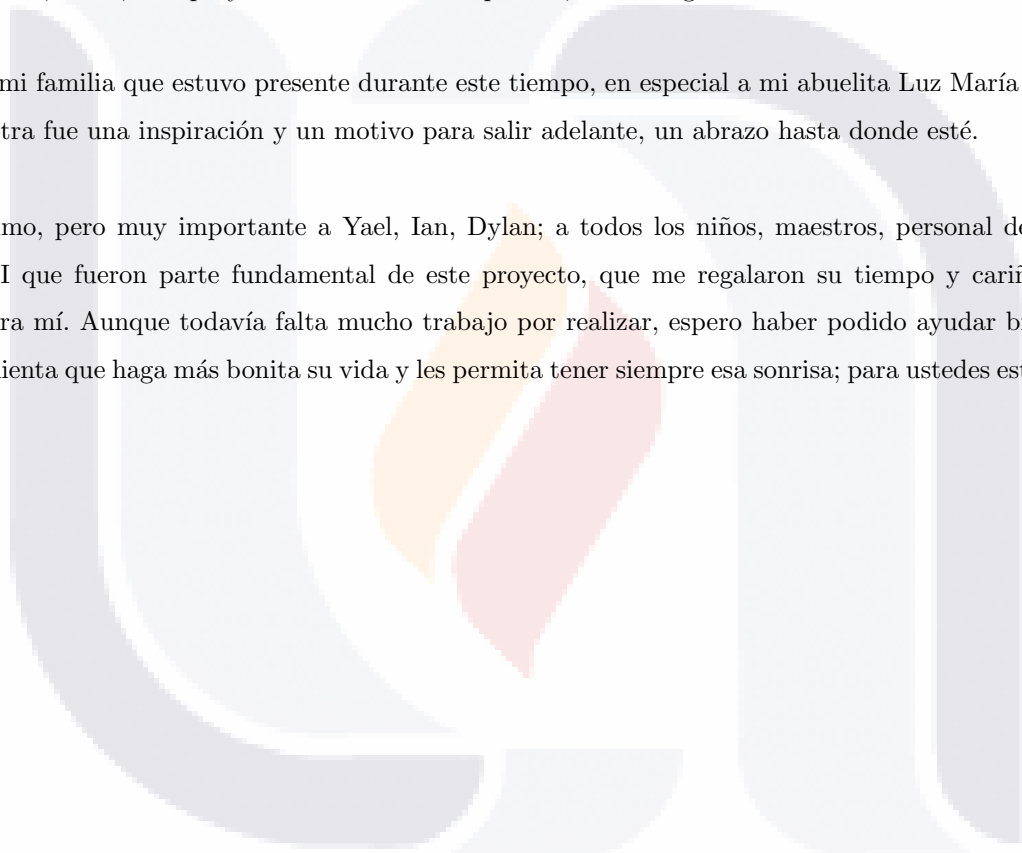
Como diría Hellen Keller: Solos podemos hacer poco, juntos podemos hacer mucho. Este trabajo de investigación no hubiera sido posible sin un gran equipo.

En primer lugar, quiero agradecer a CONACYT por brindarme el respaldo y los recursos necesarios para realizar mi trabajo de investigación. A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por ser cede de mis estudios. A todos los maestros que me brindaron su tiempo, conocimiento y habilidades para completar mi formación.

De manera particular, a mi tutor el Dr. José Antonio Guerrero Díaz de León pues fue el principal motivo por el que decidiera realizar este proyecto; por brindarme todo el tiempo, paciencia y, sobre todo, el conocimiento desde pregrado, sin él, este proyecto no hubiera sido posible, infinitas gracias.

A toda mi familia que estuvo presente durante este tiempo, en especial a mi abuelita Luz María que de una manera u otra fue una inspiración y un motivo para salir adelante, un abrazo hasta donde esté.

Por último, pero muy importante a Yael, Ian, Dylan; a todos los niños, maestros, personal del CAM III y CAM VII que fueron parte fundamental de este proyecto, que me regalaron su tiempo y cariño, son inspiración para mí. Aunque todavía falta mucho trabajo por realizar, espero haber podido ayudar brindándoles una herramienta que haga más bonita su vida y les permita tener siempre esa sonrisa; para ustedes este proyecto.



TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

TESIS

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
1.1. Problemática . . . . .	9
1.2. Preguntas de investigación . . . . .	9
1.3. Objetivos . . . . .	9
1.4. Metodología . . . . .	10
<b>2. Marco teórico</b>	<b>12</b>
2.1. Comunicación . . . . .	12
2.1.1. Sistema de comunicación . . . . .	12
2.1.2. Sistemas alternativos y aumentativos de comunicación (SAAC) . . . . .	14
2.1.3. Software para la comunicación . . . . .	16
2.2. Electromiografía . . . . .	16
2.2.1. Señales EMG . . . . .	17
2.2.2. Formación de señales EMG . . . . .	17
2.2.3. Tipos de EMG . . . . .	19
2.3. Electrooculograma . . . . .	20
2.3.1. Señales EOG . . . . .	21
2.3.2. Formación de señales EOG . . . . .	22
2.3.3. Tipos de EOG . . . . .	23
<b>3. Desarrollo</b>	<b>25</b>
3.1. Características de usuarios . . . . .	25
3.2. Solución propuesta . . . . .	26
3.3. Módulo señales EMG . . . . .	26
3.3.1. Captura señales EMG . . . . .	26
3.3.2. Procesamiento de señales EMG . . . . .	27
3.3.3. Captura de señales EOG . . . . .	29
3.3.4. Procesamiento de señales EOG . . . . .	31
3.3.5. Elección de músculos . . . . .	34
3.4. Módulo sistema de codificación . . . . .	34
3.5. Módulo de interacción . . . . .	36
3.6. Módulo de interfaz . . . . .	36

<b>4. Experimentación</b>	<b>39</b>
4.1. Individuos elegidos . . . . .	39
4.2. Pruebas de integración módulos . . . . .	40
4.3. Resultados . . . . .	42
4.3.1. Prototipo interfaz táctil A . . . . .	42
4.3.2. Prototipo interfaz táctil B . . . . .	44
4.3.3. Prototipo con señales EMG . . . . .	44
4.3.4. Prototipo con señales EOG . . . . .	45
<b>5. Conclusiones</b>	<b>47</b>
5.1. Conclusión . . . . .	47
5.2. Trabajo futuro . . . . .	48





# Índice de figuras

1.1. Metodología. . . . .	10
2.1. Representación de los elementos de un sistema de comunicación. . . . .	13
2.2. Señal EMG del músculo bíceps braquial en un estado de contracción y relajación. . . . .	18
2.3. Envoltorio MA para una señal EMG del músculo bíceps braquial. . . . .	18
2.4. Captura de señales EMG de manera invasiva [44]. . . . .	19
2.5. Captura de señales EMG de manera no invasiva en el músculo masetero. . . . .	20
2.6. Modelación del ojo como un dipolo [47]. . . . .	22
2.7. Colocación de electrodos para la captura de señales EOG. . . . .	23
2.8. Dos tipos de configuración para la toma de señales EOG. . . . .	24
3.1. Centro de Atención Múltiple III. . . . .	25
3.2. Sistema de captura de señales EMG. . . . .	27
3.3. Fases de activación y fases de silencio detectadas por medio de la técnica de umbralizado simple en una señal EMG de un bíceps braquial. . . . .	28
3.4. Gestos para activar diversos músculos del cuerpo. . . . .	29
3.5. Colocación de electrodos en configuración horizontal para obtener señales EOG. . . . .	29
3.6. Señal de movimiento de los ojos con configuración horizontal. . . . .	30
3.7. Colocación de electrodos en configuración vertical para obtener señales EOG. . . . .	30
3.8. Señal de movimiento de los ojos con configuración vertical. . . . .	31
3.9. Gesto establecido para indicar un movimiento voluntario del individuo. . . . .	32
3.10. Señal EOG de doble movimiento hacia la izquierda y derecha. . . . .	32
3.11. Representación de los valores del vector de referencia encontrados en una señal EOG. . . . .	33
3.12. Detección de movimientos oculares mediante vector de referencia. . . . .	33
3.13. Señales obtenidas de diferentes músculos del cuerpo. . . . .	34
3.14. Lenguaje morse utilizado para las pruebas realizadas. . . . .	35
3.15. Sintetizador de voz utilizado. . . . .	36
3.16. Sistema de botones incluido en el prototipo A. . . . .	37
3.17. Pantalla incluida en el prototipo A. . . . .	37
3.18. Interfaz completa. . . . .	38
4.1. Sincronización exitosa de los módulos. . . . .	41
4.2. Primera prueba de integración de componentes con un usuario. . . . .	41

4.3. Individuo I haciendo uso del prototipo para compartir su nombre. . . . . 42

4.4. Individuo III haciendo uso del prototipo para compartir su nombre. . . . . 43

4.5. Uso del prototipo interfaz táctil A con otras funcionalidades. . . . . 43

4.6. Prototipo de interfaz táctil B. . . . . 44

4.7. Gestos relacionados con simbolos del prototipo. . . . . 45

4.8. Prueba con señales EOG para transmitir un mensaje. . . . . 46



En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema alternativo de comunicación para personas con limitantes de habla y motoras.

Se incluyen los procesos de captura, análisis y procesamiento de señales electromiográficas de los individuos, además del uso de un sistema de codificación basado en el lenguaje morse para la construcción del sistema alternativo.

Se creó una serie de prototipos que permitieron establecer algún tipo de comunicación independiente, oral y en tiempo real con otros individuos.



This document presents the development of an alternative communication system for people with speech and motor limitations.

The processes of capture, analysis and processing of electromyographic signals of individuals are included, in addition to the use of a coding system based on Morse language for the construction of the alternative system.

A series of prototypes were created that made it possible to establish some type of independent, oral and real-time communication with other individuals.



# Capítulo 1

## Introducción

Se sabe que el lenguaje oral es una de las formas básicas de comunicación que tenemos los humanos. La capacidad de expresión nos permite manifestar nuestros deseos, tener autonomía de nuestras decisiones y modificar nuestro entorno a partir de las necesidades que expongamos. El no poder comunicarse hace difícil este proceso de independencia, y genera que una persona necesite de otra para expresar lo que necesita o no exprese lo que realmente quiere; provocando que se aisle sin establecer ningún tipo de comunicación [1].

Es por ello que en situaciones donde existe un limitante ya sea motora o de habla, es necesario proporcionarle a estos individuos de herramientas que le ayuden a desenvolverse en el panorama en el que vive.

En el caso de personas con limitantes de comunicación es necesario el uso de herramientas conocidas como sistemas aumentativos y alternativos de comunicación (SAAC, por sus siglas) [2]. Estos sistemas son comúnmente utilizados en el área de educación para permitir a los maestros conocer las necesidades de los alumnos y poder medir su nivel de avance [1].

Los SAAC surgen en la década de los años cincuenta como respuesta a las necesidades de personas que, a pesar de los años de terapia logopédica tradicional [3], es decir, de actividades de respiración y soplo, articulación de voz, entre otras, [4] no conseguían mejorar su lenguaje oral. En el contexto del modelo asistencial, basado en los cuidados, apareció un nuevo enfoque [3] centrado en la necesidad de proporcionar a las personas con discapacidad los apoyos necesarios para que desarrollaran habilidades que les condujeran a una mayor autonomía e independencia [5].

En la década de los setenta aparecieron nuevos planteamientos que permitieron pasar desde intervenciones enfocadas a la enseñanza [3] de las reglas morfológicas y sintácticas de una lengua (morfosintaxis), a otras más centradas en las funciones lingüísticas [4]. El habla dejó de ser el objetivo principal de la intervención para dar lugar a otras modalidades [3], como la lengua de signos o el uso de tableros de comunicación [6]. Los sistemas de comunicación más usados eran clasificados como asistidos (o con ayuda), de baja tecnología (papel, tarjetas, objetos) [3] y sistemas sin ayuda como signos, gestos o lectura labial [3]. Se desarrollaron varios sistemas pictográficos como Bliss [7], Rebus [8] y aparecieron los primeros comunicadores electrónicos [9, 3]. La mayor parte de las intervenciones se realizaban en entornos de aprendizaje cerrados [3], aunque ya en esta época aparecían

los primeros indicios de que las intervenciones en contextos naturales llevaban a mejores resultados [3] en la adquisición y generalización de la competencia lingüística [10, 3].

En paralelo, el desarrollo de la tecnología ha favorecido la expansión de los SAAC [3] y en los últimos años se ha ido perfeccionando distinto software específico [3], junto a otras herramientas tecnológicas para acceder a ellos, tales como los ratones adaptados, o lectores oculares [11], que permiten comunicarse a cada vez más personas [3].

En la actualidad existen software orientados a la adquisición y aprendizaje del lenguaje con los que es posible utilizar diferentes dispositivos electrónicos [12], para facilitar la comunicación de las personas con trastornos graves a nivel motor y de comunicación utilizando lo que se denominó el habla artificial, como lo son el *teclado virtual* de Averroes [13], *RataVirt* de Jordi Lagares [14], *teclado de conceptos* de EATCO [15], *ViaVoice* de IBM [16], *JAWS* de CNICE [17], *ALES* de PNTIC [18], entre otros similares.

Como podemos ver en los ejemplos anteriormente mencionados, toda la literatura nos expone el uso de los SAAC junto con el uso de algún tipo de tecnología para la producción de voz. Estos tipos de SAAC limitan su uso a personas que tengan alguna movilidad y en ocasiones esa movilidad no es del todo voluntaria, provocando que, o bien, se necesite alguna persona externa para su uso de manera adecuado, o que el individuo no lo use correctamente. Es por ello que en esta investigación se busca saber con certeza que los movimientos necesarios para el uso de un SAAC se realicen de manera voluntaria. Se hará uso de herramientas que no necesiten de una persona externa para su uso, y de manera más específica, herramientas que el mismo individuo sea capaz de controlar.

La integración de software a un SAAC es una tarea extensa, pues las personas en situación de discapacidad presentan diferentes necesidades que requieren una planificación y diseño de entornos específicos, que hace realmente complejo de abarcar cualquier tipo de discapacidad, debido que no todas las personas cuentan con el mismo rango de limitación en sus funciones. El asunto se complejiza, empiezan a aparecer una cantidad de elementos que se deben concebir, analizar, conceptualizar, concretar para después formalizar. Es por ello por lo que no vamos a encontrar un solo método que se adapte a todos. El uso de inteligencia artificial (IA) es, en el mejor de los casos, una herramienta que nos va a permitir atacar las dificultades presentadas, pero aun así será necesario emplear otras técnicas.

El uso de la electromiografía para la resolución de problemas relacionados con algún tipo de discapacidad es una técnica que ha sido muy utilizada en los últimos años [19]. Podemos encontrarnos que su uso va desde la manipulación de prótesis, el uso de las señales del cerebro para el control de dispositivos electrónicos [19], hasta el uso de las señales electromiográficas para el control de una silla de ruedas [19]. Todas estas aplicaciones nos indican que incluir esta técnica en el proceso de comunicación nos dará resultados igual de positivos.

En este trabajo se hace uso de la extracción de gestos a partir de la información muscular de cada individuo que requiere un SAAC, lo que nos permite obtener información precisa y verídica acerca de cada individuo. Haciendo uso de la IA y técnicas de extracción de gestos, podemos generar un SAAC más completo que beneficie a más individuos.



## 1.1. Problemática

En la sociedad nos encontramos con casos de personas donde el lenguaje oral al igual que la capacidad motora están gravemente limitados, por lo que es necesaria la utilización de otros sistemas de comunicación que sustituyan la comunicación verbal o incrementen las posibilidades comunicativas.

Lo que se pretende es conseguir una comunicación funcional y generalizable, que le permita a un individuo, con las limitantes mencionadas, expresarse y alcanzar una mayor integración social en su entorno, esto haciendo uso tecnologías de apoyo y herramientas que estén a su alcance (como lo es utilizar sus músculos), que les permitan ser ellos mismos los que generen esta comunicación.

## 1.2. Preguntas de investigación

### Pregunta general

- **¿Cómo se pueden utilizar las señales EMG para construir un dispositivo que actúe como sistema alternativo de comunicación?**

### Preguntas específicas

- ¿Es posible utilizar señales EMG para controlar un dispositivo?
- ¿Cómo procesar las señales EMG de manera rápida para obtener una respuesta en tiempo real?
- ¿Cuáles son las características de los usuarios para que puedan utilizar el dispositivo propuesto?
- ¿Qué sistema de codificación es útil para crear los gestos?

## 1.3. Objetivos

### Objetivo general

- **Diseñar un sistema alternativo de comunicación basado en señales EMG para personas que no pueden comunicarse fonéticamente.**

### Objetivos específicos

- Diseñar un sistema que permita clasificar señales EMG.
- Utilizar los músculos del cuerpo para producir sonido.
- Elaborar un sistema de codificación que permita utilizar los músculos para generar gestos.
- Generar un prototipo funcional que interprete los gestos y los convierta en sonido en tiempo real.

## 1.4. Metodología

El presente trabajo de investigación se realizará en varias etapas. Lo primero y más importante es definir cómo utilizar las señales electromiográficas para producir sonido en tiempo real y a la vez tratar de que esta técnica a implementar sea la más adecuada para cada tipo de individuo con los que vamos a realizar las pruebas.

De manera particular se plantean una serie de pequeños objetivos clave para empezar la investigación, mismos que se planean seguir para poder complementar el curso de la investigación. Las actividades para realizar de manera preliminar son:

- **Definir el grupo de individuos para los cuales se estará trabajando.** En este punto es necesario poner en claro los individuos que, para futuras pruebas, estarán en disposición de trabajar en el proyecto; donde encontrar a estos individuos y tener un primer acercamiento con ellos para conocerlos y así poder trazar el plan de trabajo a seguir.
- **Obtener señales electromiográficas.** Es necesario aprender a tomar señales, identificar como se ven, la correcta forma de obtenerlas, así como discriminar entre señales con información y aquellas que no tienen la información necesaria antes de acudir con los individuos de prueba.
- **Identificar las limitantes en el proceso de comunicación.** Poder distinguir el problema que existe en la comunicación y los recursos que se usan para comunicarse (si es que los hay).
- **Decidir los recursos que se necesitaran.** Dado el trabajo a realizar definir los recursos necesarios para llevarlo a cabo, cuales de ellos es necesario adquirirlos (pues ya se encuentran en el mercado), que recursos se pueden reutilizar (de proyectos ya realizados anteriormente) y cuales hay que comenzar desde cero.

Una vez culminadas estas actividades se traza el proceso para continuar con la investigación. En la Figura 1.1 se muestra el plan de trabajo a seguir:

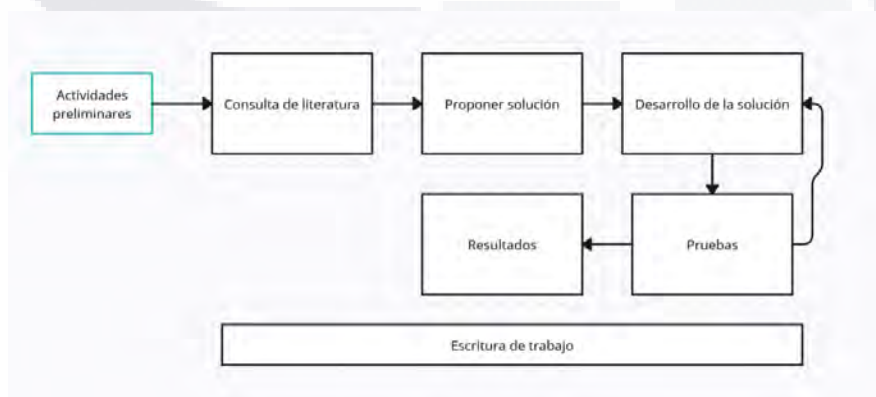


Figura 1.1: Metodología.

En primer lugar esta la realización de las actividades preliminares (que enlistamos anteriormente) que son clave y base del proyecto, luego viene la investigación de trabajos previos para conocer lo que la literatura tiene hasta el momento para resolver el problema que nosotros queremos. El tercer paso del desarrollo es la

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

elaboración de nuestra propuesta de solución, luego vienen la realización de pruebas y al final la entrega de resultados donde integraremos este trabajo escrito así como un artículo relacionado a esta investigación de ser posible.



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

## Capítulo 2

# Marco teórico

### 2.1. Comunicación

La comunicación es la acción consciente de intercambiar información entre dos o más participantes con el fin de transmitir o recibir información u opiniones distintas [20].

La comunicación oral es la transmisión de información entre dos o más individuos a través del habla y del código contemplado en un idioma [21]. Es probablemente la forma más temprana de intercambio de información de nuestra especie, que tuvo su origen en la invención misma del lenguaje verbal. Su elemento fundamental es el habla, sin embargo, no podría existir sin su contrapartida, la lengua o idioma, en la que están contenidos los códigos mentales necesarios para convertir una cadena articulada de sonidos en signos lingüísticos; es decir, en información reconocible. Así, juntas, lengua y habla, componen una enunciación o acto de habla, o sea, la materialización de una porción de información codificada de acuerdo a las normas del idioma [20].

Muchos filósofos e historiadores concuerdan [21] en que la gran capacidad de comunicación oral de nuestra especie fue un factor determinante en su éxito biológico y en el inicio de nuestra civilización, ya que nos permite alcanzar niveles de organización más vastos, complejos y profundos que cualquier otra especie conocida. Además, permite la transferencia y conservación de la información de manera muy eficaz, de una generación a otra [21].

#### 2.1.1. Sistema de comunicación

Los pasos básicos de la comunicación son la formación de una intención de comunicar, la composición del mensaje, la codificación del mensaje, la transmisión de la señal, la recepción de la señal, la decodificación del mensaje y finalmente, la interpretación del mensaje por parte de un receptor [20].

Dicho de otro modo los elementos de todo sistema de comunicación son los mostrados en la Figura 2.1.

- **Emisor.** Es el punto (persona) que elige y selecciona los signos adecuados para transmitir su mensaje. El emisor codifica el mensaje para poder enviarlo de manera entendible al receptor. En el emisor se inicia el proceso comunicativo.

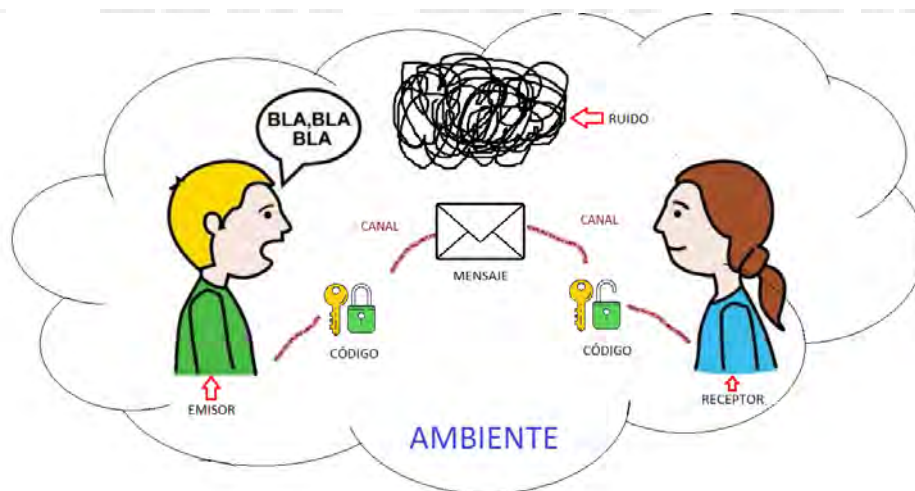


Figura 2.1: Representación de los elementos de un sistema de comunicación.

- **Receptor.** Es el punto (persona) que recibe el mensaje. El receptor descifra e interpreta lo que el emisor quiere dar a conocer.
- **Código.** Es el conjunto de reglas propia de cada sistema de signos y símbolos (lenguaje, idioma) que el emisor utilizará para transmitir su mensaje.
- **Mensaje.** Es el contenido de la información, es el conjunto de ideas, sentimientos, acontecimientos expresados por el emisor. El mensaje es la información.
- **Canal.** Es el medio a través del cual se transmite la información-comunicación, estableciendo una conexión entre el emisor y el receptor.
- **Ruido.** Cualquier perturbación que sufre la señal en el proceso comunicativo, se puede dar en cualquiera de sus elementos.
- **Ambiente.** El contexto en el que se da la comunicación.

Uno de los primeros pasos para enviar un mensaje es codificarlo. La codificación es el proceso mediante el cual la información se convierte en otra forma aceptable para la transmisión. La decodificación invierte este proceso para interpretar la información [23].

En la comunicación oral el emisor comunica su mensaje empleando para ello signos fonéticos, es decir, codifica el mensaje en una serie de sonidos que luego el receptor va a entender. Cuando la comunicación no es oral se pueden utilizar otros signos para comunicar el mensaje como lo son:

- Codificación mediante signos manuales (codificar el mensaje “silencio” al poner el dedo índice verticalmente delante de la boca)
- Codificación mediante signos de escritura (letras o símbolos de un determinado idioma)
- Codificación mediante códigos de representación (ASCII, morse y UTF-8)

Las primeras dos codificaciones son las que se usan para la creación de sistemas alternativos de comunicación (lo describiremos en la siguiente sección) y la tercera es la de manera particular utilizaremos nosotros para la

creación de nuestro sistema alternativo (descrita en sección de experimentación).

### 2.1.2. Sistemas alternativos y aumentativos de comunicación (SAAC)

Se considera comunicación alternativa cuando el medio empleado sustituye a la comunicación oral [3]. Se considera comunicación aumentativa cuando el medio empleado por la persona complementa [3] y acompaña a su comunicación oral [2].

El objetivo primordial y global de la comunicación aumentativa y alternativa es instaurar y ampliar los canales de comunicación social de las personas con alteración o imposibilidad del habla, apoyando así a una mejor calidad de vida [24].

Los SAAC se deben procurar en niños cuando la expresión oral no es posible a la edad habitual [3], y en adultos cuando se produce una enfermedad o accidente que provoca una pérdida del habla [24]. Los SAAC promueven el desarrollo del lenguaje, de la lectoescritura, y permiten la participación activa y el acceso al currículo escolar [3]. Cuanto antes se provea de un SAAC a un niño con riesgo de tener problemas comunicativos importantes mejor [25]. Un SAAC se elige después de una valoración adecuada por parte de un profesional especialista [3], a la que debe seguir un plan de intervención y asesoramiento para conseguir una comunicación eficaz con el mayor número posible de interlocutores y desde la edad temprana [24].

Puede pasar que los padres tengan miedo de que el uso de los SAAC se convierta en una manera para no aprender a comunicarse a través del lenguaje verbal. En realidad, los SAAC representan un medio instrumental para facilitar al niño a alcanzar el nivel de desarrollo en el que podrá utilizar mejor el lenguaje verbal y así, incluso, mejorar su conducta personal y su adaptación social [27].

Podemos encontrar que el uso de los SAAC ayudan de manera satisfactoria en la comunicación, pero como cualquier técnica que ataca un problema cuenta con algunas ventajas y desventajas mismas que listamos a continuación.

Ventajas:

- Mejoran la comunicación.
- Aportan una competencia social al individuo evitando aislamiento.
- Favorecen la capacidad de expresión.
- Son sencillos de utilizar.

Desventajas

- Presenta unidireccionalidad comunicativa.
- El número de interlocutores es reducido.
- Se puede llegar a estilos comunicativos inadecuados.



- Algunos recursos son lentos y requieren memorización.

Es visible que los SAAC no se pueden prestar ni compartir [3], pues cada persona necesita el suyo, adaptado a sus necesidades y su entorno [2].

Distintos autores [24, 28, 29], describen los SAAC según los componentes del sistema. Estos componentes son [3]:

- Un código que puede ser fotográfico, pictográfico o alfabético. Es el contenido del SAAC [3].
- Un medio físico o material donde se organiza y almacena el contenido: es el soporte. Puede ser papel, cartón, dispositivos de baja o de alta tecnología. A veces se usa la palabra “comunicador” (en inglés talker) para denominar al soporte junto con su contenido [3].
- Un modo de acceder al soporte para elegir y señalar el contenido. En el acceso, además de señalar con el dedo (acceso táctil) pueden intervenir tanto productos de apoyo (también denominadas ayudas técnicas) como diferentes opciones o modos para acceder a un contenido deseado (barrido o escaneo de diversos tipos). Los propios comunicadores también son productos de apoyo en sí mismos (productos de apoyo para la comunicación) [3].

Los SAAC los podemos clasificar en:

- **Sin ayuda (a veces también sin apoyo o no asistida)**

La comunicación se aumenta o apoya con signos manuales o alguna parte del cuerpo, sin ninguna herramienta externa para la comunicación. Se incluyen los siguientes sistemas:

- Signos manuales, entre los que se encuentra el alfabeto manual o dactilología [30]. En cambio, la Lengua de Signos no se considera SAAC [3], por el rango de lengua materna que le dan las personas sordas.
- Sistemas bimodales [25, 26] como Makaton [31, 32], Benson Schaeffer [33] y palabra complementada [24, 34, 35], similares entre ellos porque combinan el código oral con el código signado y con la lectura labiofacial.
- Gestos de uso común, aquellos que sin definirlos la mayoría de las personas entienden lo que expresan o las vocalizaciones que se usan para referirse a ciertas palabras sin pronunciarlas como tal, por ejemplo vocalizar el “aja” para decir “sí” o mover la cabeza hacia los lados para indicar “no”.

- **Con ayuda (también comunicación asistida, con apoyo)**

Se apoya la comunicación con la ayuda de objetos, productos electrónicos o tecnológicos. Los SAAC con ayuda o asistida, a su vez, puede clasificarse en [28]:

- De baja tecnología: se utilizan objetos reales, fotografías, pictogramas sobre soportes del papel, cartón, metacrilato, entre otros.
- Con uso de tecnología media: la comunicación se apoya en dispositivos sencillos con grabación manual de mensajes, normalmente con baterías.
- Alta tecnología: se ayuda la comunicación mediante sistemas informáticos, normalmente PCs y dispositivos móviles (tabletas o teléfonos móviles) junto con programas o aplicaciones de SAAC [3].

### 2.1.3. Software para la comunicación

Como se mencionó anteriormente, una de las clasificaciones de los SAAC es la llamada comunicación asistida, en ella se incluyen todas aquellos que involucran algún tipo de tecnología o software asistido para su uso. Este software que incluimos como parte de los SAAC lo solemos encontrar como aplicaciones móviles o dispositivos de entrada al PC, mismas que se podrían complementar en algún tipo de interfaz humano-computadora [36].

Pese al desarrollo científico y tecnológico las interfaces humano computadoras disponibles necesitan un comportamiento humano comunicativo a través de voz, posturas o gestos. Los individuos que necesitan un SAAC actualmente no pueden hacer uso de estas interfaces debido a que: a) las mismas están diseñadas pensando en la movilidad de usuarios tradicionales, sin problemas motores; b) las aplicaciones en su mayoría no están adaptadas a usuarios con discapacidad y requieren múltiples grados de libertad de control motor; c) las técnicas de procesamientos que utilizan las interfaces no contemplan el efecto de las patologías motoras en las señales de los sensores [36].

A pesar de esto, mucho se puede aprender del software actual. En el mercado nos podemos encontrar con interfaces novedosas que utilizan diversas técnicas que podemos utilizar para no limitar los SAAC al uso de software actual. Por ejemplo, tenemos a Kinect, que utiliza cámaras y sensores infrarrojos para obtener imágenes con profundidad. El Leap Motion utiliza tecnología capacitiva para identificar patrones de impedancia correspondiente a gestos. La Wii Fit Balance Board utiliza galgas extensiométricas para medir el centro de presión o apoyo del usuario o también el MYO Gesture Control Arm Band que utiliza una matriz de electrodo de electromiografía superficial para reconocer gestos [37].

Es justamente esta última tecnología la que trataremos en la siguiente sección. La electromiografía ha sido utilizada desde décadas atrás como una posible interfaz alternativa de acceso al computador. Podemos decir que el dispositivo MYO Gesture Control Arm Band es una evidencia clara de la madurez tecnológica y su viabilidad como interfaz humano-máquina (HMI, por sus siglas en inglés “Human Machine Interfac”) [37].

## 2.2. Electromiografía

La electromiografía (EMG) es una técnica relacionada con el desarrollo, registro y análisis de señales mioeléctricas [38]. Las señales mioeléctricas están formadas por variaciones fisiológicas o patológicas en el estado de las membranas de la fibra muscular. La despolarización de las fibras musculares da como resultado un EMG en el cual el potencial eléctrico varía en magnitud y frecuencia en relación con la actividad muscular [39].

Las técnicas electromiográficas se utilizan para el estudio de la actividad de las unidades motoras (unidad funcional más pequeña del musculo que puede contraerse de forma independiente) durante la activación muscular, permitiendo visualizar de forma gráfica un potencial eléctrico, cuya amplitud y frecuencia son correspondientes con la cantidad de unidades motoras activas. Esto permite a los profesionales analizar distintos patrones de activación [39, 40].

### 2.2.1. Señales EMG

La amplitud de las señales EMG varía desde los  $\mu V$  hasta un bajo rango de mV (menor de 10mV). La amplitud, y las propiedades de las señales EMG tanto en el dominio del tiempo como en la frecuencia dependen de varios factores: el tiempo y la intensidad de la contracción muscular; la distancia entre el electrodo y la zona de actividad muscular; las propiedades de la piel (por ejemplo el espesor de la piel y tejido adiposo); las propiedades del electrodo y propiedades del amplificador; y la calidad del contacto entre la piel y el electrodo [41].

La medición y la representación de las señales EMG dependen de las propiedades de los electrodos y su interacción con la piel, el diseño del amplificador, la conversión y subsecuente almacenamiento de la señal de formato análogo a digital.

La calidad de la señal EMG medida es usualmente descrita por la relación entre la señal EMG y las contribuciones de ruido indeseadas por el ambiente. La meta es maximizar la amplitud de la señal mientras se minimiza el ruido [41].

La señal EMG medida puede ser modelada como un proceso estocástico variante en el tiempo con media cero. Ha sido observado que la desviación estándar de la señal EMG (sin procesar) está monoatómicamente relacionada al número de unidades motoras activadas y a la velocidad de su activación [41].

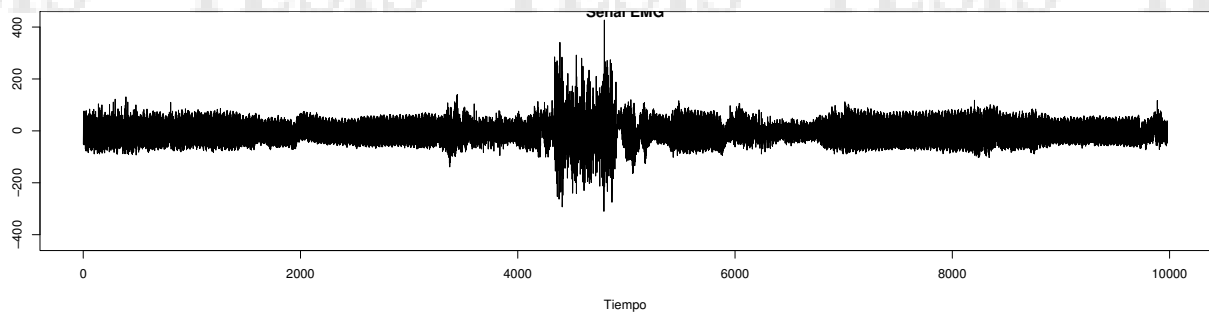
Esta desviación estándar es usada para aproximar la magnitud de la actividad eléctrica muscular, referida como la amplitud EMG. La amplitud EMG tiene una variedad de aplicaciones, tales como la señal de control para prótesis mioeléctricas, estimaciones ergonómicas, sistemas de realimentación (Biofeedback), ha sido usada para estimar el par asociado a una articulación e incluso para la creación de una interfaz humano-computadora.

El instrumento desarrollado capta las señales provenientes de los músculos del individuo por medio de los electrodos localizados en la zona comprometida, mientras el individuo regula de manera consciente o voluntaria la contracción de los grupos musculares a través de los indicadores visuales que posee el equipo [42].

Las señales captadas son integradas y graficadas en forma proporcional a los niveles de contracción y relajación del músculo [41], de manera que cuando el músculo está tenso la gráfica se eleva y cuando el individuo relaja el músculo, la misma desciende. Utilizando un mecanismo subconsciente, el individuo aprende a controlar los niveles de la gráfica y de esta manera se entrena para ir aumentando gradualmente la intensidad de las contracciones [42].

### 2.2.2. Formación de señales EMG

Una señal EMG se ve generalmente como la mostrada en Figura 2.2 que muestra alteraciones alrededor del eje horizontal. Actualmente, la actividad eléctrica medida por EMG se muestra en un monitor de computadora y también se puede imprimir o grabar como un electromiograma gracias a un electromiógrafo. Un electromiógrafo, a grandes rasgos, consta de un amplificador y de un convertidor análogo a digital.

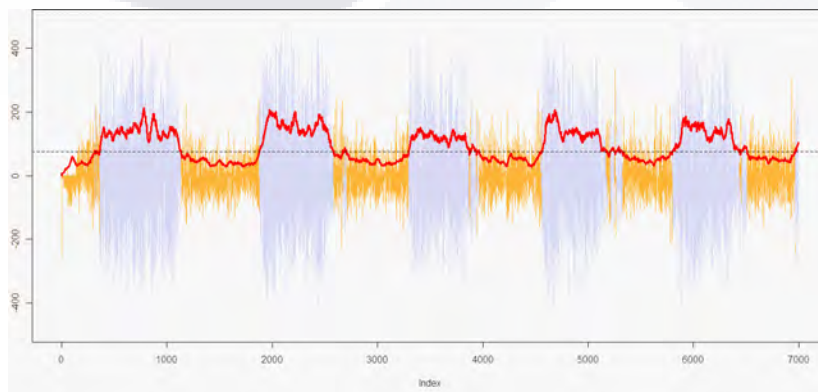


**Figura 2.2:** Señal EMG del músculo bíceps braquial en un estado de contracción y relajación.

El electromiógrafo algunas veces transforma la señal EMG original en otra que nos provea información sobre la activación de los músculos a través del tiempo. La actividad eléctrica se puede registrar porque un electrodo detecta cualquier actividad eléctrica de los músculos. El tamaño exacto y la forma de las ondas que se muestran en el monitor de la computadora brinda información sobre la respuesta del musculo específico a las células nerviosas. Esta forma de onda se llama potencial de acción [43].

Las complejidades extremas involucradas en las señales EMG hacen que sea difícil tener una estructura precisa o un modelo matemático que relacione las señales medidas con el comando de movimiento. Es precisamente en esta parte que existen muchas técnicas de reconocimiento de patrones disponibles para discriminar la funcionalidad de las características, que nos brindaran una manera más eficiente para manejar las señales que se nos presenten. Un primer procesamiento (o preprocesamiento) es obtener la envolvente de la señal EMG. La envolvente de una señal se define como una curva que cubre a la señal.

De manera particular se trabajará con método de envolvente de la media móvil (MA por sus siglas en ingles, Moving average envelope) que calcula con una ventana móvil (se debe fijar el tamaño de la ventana) que va recorriendo la señal y, en cada punto del recorrido, calcula la media del valor absoluto (tambien llamados rectificadas) de los datos de la señal EMG. Este método será utilizado pues requiere menos tiempo y recursos computacionales para su cálculo.



**Figura 2.3:** Envolvente MA para una señal EMG del músculo bíceps braquial.

En la Figura 2.3 podemos ver una señal EMG de un musculo bíceps, en color blanco se representan los periodos de actividad del musculo, de color amarillo los periodos de inactividad y con una línea color rojo la

envolvente calculada para dicha señal.

Este método de procesamiento nos permitirá más adelante conocer diferentes características de la señal que se traduzcan en información útil.

### 2.2.3. Tipos de EMG

Existen varios tipos de electromiografía, los cuales se clasifican según el tipo de electrodos utilizados para adquirir la señal muscular. Existe la electromiografía intramuscular o transcutánea (EMG invasiva) y por otra parte está la electromiografía superficial (sEMG) [43].

La EMG invasiva utiliza agujas para adquirir directamente el potencial de una o pocas fibras musculares penetrando en el músculo de aproximadamente 2.5 a 5 mm de profundidad como podemos ver en la Figura 2.4. La amplitud de la señal registrada por estos electrodos depende del área de registro que ocupan, así como también, de la distancia del electrodo a la fuente de la señal [43].



**Figura 2.4:** Captura de señales EMG de manera invasiva [44].

Este método obtiene señales que pueden enfocarse en una sola unidad motora muscular y usarse para atacar músculos pequeños. Las ventajas de la EMG invasiva son su selectividad, y también su capacidad de detectar otras actividades musculares distantes o de interferencia. La electromiografía invasiva es muy utilizada en el estudio de miopatías y análisis clínicos [45] debido a que es posible registrar el potencial directamente de las unidades motoras, obteniendo así, una señal más libre de ruido. Sin embargo, la EMG invasiva es un método que puede causar estrés y dolor al sujeto involucrado.

En la sEMG se utiliza electrodos no invasivos que se colocan sobre un músculo a nivel piel para adquirir las señales eléctricas de activación como se muestra en la Figura 2.7, mismos que recolectan la información y la pasan a un electromiógrafo. La actividad eléctrica registrada es una superposición de las señales provenientes de varias unidades motoras [46].



**Figura 2.5:** *Captura de señales EMG de manera no invasiva en el músculo masetero.*

Las grabaciones de sEMG proporcionan un método seguro, fácil y no invasivo que puede dar una medición objetiva de las actividades musculares [43]. Esta técnica permite al observador ver la energía muscular en reposo y el cambio continuo en el transcurso de un movimiento. La sEMG obtiene señales generadas por un grupo de músculos en lugar de una sola unidad motora. Con el uso de electrodos de múltiples canales de sensores y la técnica de filtrado espacial, es posible observar diferentes aspectos de las actividades de un grupo de fibras musculares o potencial de acción compuesto de unidades motoras. Esto se ha convertido en el foco de muchos investigadores en términos de sus estudios en el desarrollo de un nuevo diseño de electrodos multicanal, junto con técnicas avanzadas de procesamiento de señales [46].

Debido a que en este tipo de proyectos se trata de continua experimentación, y de obtener señales de la manera más fácil posible, lo que se utiliza para obtener las señales EMG son métodos no invasivos.

Más adelante en la sección de experimentación vamos a ver que al intentar adquirir señales EMG nos encontramos con algunos individuos con limitantes motoras que hacen necesario utilizar la electromiografía para otro tipo de músculos como son los ojos. En la siguiente sección vamos a hablar de este tipo de señales EMG.

### **2.3. Electrooculograma**

El electrooculograma es una herramienta que se utiliza en para estudiar el movimiento de los músculos del ojo. Esta herramienta registra la diferencia de potencia que existe entre la córnea y la retina, además de medir las variaciones eléctricas que se producen en el ojo al realizar un movimiento [47].

A medida que el ojo se mueve, el vector de este campo eléctrico cambia con respecto a los electrodos de grabación colocados sobre la piel en puntos fijos. Los músculos involucrados están inervados por neuronas motoras que tienen actividad eléctrica con un componente tónico que controla la posición del ojo, y un componente fásico que controla la velocidad del movimiento ocular [47].



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Aunque los comandos de posición del ojo y los comandos de velocidad del ojo son funciones lineales de la frecuencia de disparo de la neurona motora, son conjuntos separados de comandos. Los comandos de velocidad ocular se envían a lo largo de un camino directo desde formaciones cerebrales especializadas o campos hasta las neuronas motoras. Sin embargo, los comandos de posición del ojo son el producto de la integración de comandos de velocidad ocular enviados a lo largo de una ruta indirecta a una red de neuronas que funciona como integrador neuronal. Es la salida del integrador la que proporciona comandos de posición del ojo a las neuronas motoras [48].

### 2.3.1. Señales EOG

La integración de señales de diferentes grupos de neuronas en el sistema oculomotor controla cinco tipos de movimiento ocular, cada uno con una función única y propiedades distintivas. Estos tipos son [48]:

- **Movimientos sacádicos:** Las sacadas son los movimientos oculares más rápidos, que redirigen los ojos hacia un nuevo punto del escenario que nos rodea. Durante la sacada, el cerebro es ciego, no procesa información visual, únicamente lo hace cuando estamos fijando un objeto. Para conseguir esto, el sistema de percepción visual se vale de dos mecanismos, el primero se relaciona con la capacidad de resolución de la retina, sólo la mácula tiene un poder de resolución elevado que le permite enviar información de detalles al cerebro, así, hasta que no se fija un objeto, hasta que no se concentra, la información que envía la retina periférica es de una calidad baja, 10 veces inferior a tan solo 20 grados de ésta [49].
- **Movimientos de persecución:** Produce movimientos lentos que tienen como meta mantener el objeto proyectado sobre la fóvea. Son movimientos voluntarios conjugados de ambos ojos para mantener estabilizada la imagen foveal de estímulos que se desplazan lentamente por el campo visual. Su velocidad se adapta a la del objeto, siempre que no supere los 45 grados [49].
- **Movimientos de reflejo ocular vestibular (VOR):** asociado con el reflejo oculo vestibular. Produce un movimiento conjugado lento de ambos ojos en oposición a la rotación de la cabeza. Tiene como principal función estabilizar las imágenes en la fóvea mientras hay cambios en el movimiento de la cabeza. El sistema vestibular, situado en el oído, permite conocer la dirección de los movimientos de la cabeza; ello activa el sistema oculomotor para compensar dichos movimientos (coordinación de los de los ojos con los de la cabeza) y mantener la experiencia perceptiva visual [49].
- **Movimientos de vergencia:** Las vergencias son movimientos lentos y finos, con una latencia de 120 mseg aprox. Se activan tras una disparidad retiniana (macular) y pueden acompañarse de estímulo de acomodación, de reenfoque de la imagen [49].
- **Movimientos de reflejo opto cinético:** posibilita fijar la mirada en un punto del campo visual. Cuando fijamos la mirada en un punto determinado, la imagen procedente del mismo incide en la zona de mayor resolución espacial de la retina, es decir, sobre la fóvea. Pero durante la fijación los ojos no permanecen totalmente inmóviles, por el contrario, realizan constantes movimientos involuntarios (e independientes para cada ojo) de pequeña amplitud (inferior a 1 grado). Inmovilizando completamente el ojo durante

la fijación se esperaba que la agudeza visual aumentara al evitar la borrosidad debida a los pequeños movimientos oculares. Sin embargo en tales circunstancias se comprobó que la percepción de la imagen desaparecía. Este fenómeno de desvanecimiento (fading), debido a la saturación de los fotorreceptores, es evitado por los micro movimientos oculares durante la fijación [49].

### 2.3.2. Formación de señales EOG

La señal EOG se encuentra en el epitelio pigmentario de la retina y permite considerar la presencia de un dipolo, donde la córnea corresponde al extremo positivo y la retina al extremo negativo, como se ve en la Figura 2.6. Si el ojo se mueve desde la posición central directo a la periferia la retina se aproxima a uno de los electrodos, mientras que la córnea al electrodo del lado opuesto. Este cambio en la orientación del dipolo se refleja en un cambio en la amplitud y la polaridad de la señal EOG. Por consiguiente, resulta inmediato que el análisis de estos cambios permite determinar el movimiento de los ojos [50].

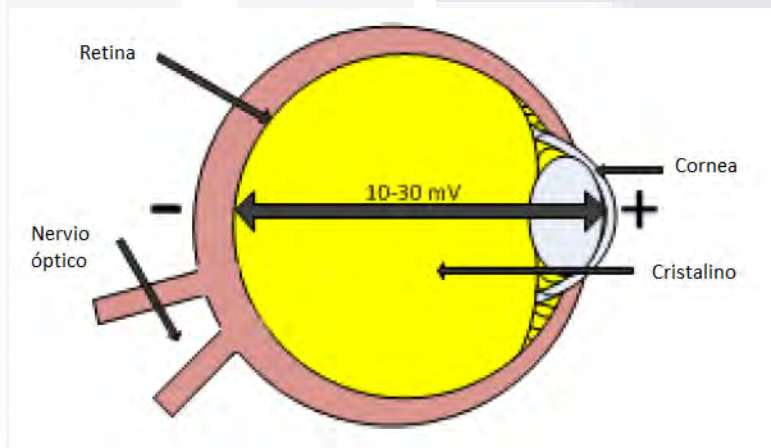


Figura 2.6: Modelación del ojo como un dipolo [47].

La señal EOG puede obtenerse fácilmente mediante un par de electrodos conectados en la vecindad de los ojos más un electrodo de referencia como se muestra en la Figura 2.7. De esta manera se tienen dos canales correspondiendo al movimiento horizontal y al movimiento vertical, respectivamente. De acuerdo con estudios previos, las señales EOG muestran amplitudes de señales que van de 5  $\mu\text{V}$  a 20  $\mu\text{V}$  por grado con un ancho de banda de 0 Hz a 30 Hz [50].

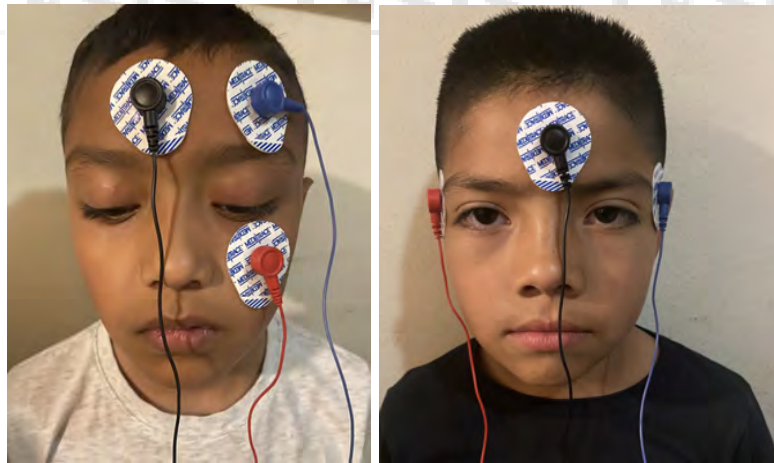


**Figura 2.7:** Colocación de electrodos para la captura de señales EOG.

El movimiento del ojo de persecución mantiene la fovea apuntando a un objetivo en movimiento, como una bola rodando en el horizonte. Los movimientos de persecución suaves pueden ser verticales u horizontales, y cada uno producirá un patrón diferente en el EOG. Hay un retraso inicial (latencia) en el movimiento de persecución porque la señal del ojo, que indica que el objeto se está moviendo, tiene que ser conducida a través de muchas sinapsis hacia el tronco encefálico. Inicialmente, cuando el objeto comienza a moverse, una sacada ayuda a la fovea a alcanzar el objeto hasta que el movimiento de persecución comience a rastrear el objeto. Los movimientos de persecución suaves rastrean continuamente al objetivo en movimiento a través del movimiento ocular, solo (sin movimiento de la cabeza). Los movimientos de persecución suaves son lentos (hasta 30 grados por minuto) y no requieren fijaciones para enfocar [51].

### 2.3.3. Tipos de EOG

Para poder registrar una señal EOG se requiere colocar unos pequeños electrodos sobre la piel cerca de los ojos como se ve en la Figura 2.8. Como podemos ver en le Figura 4.7a para medir el desplazamiento vertical se sitúan dos electrodos, uno sobre un ojo y otro bajo el mismo, conectándolos a posteriori de forma diferencial; y Figura 4.7b para medir el desplazamiento horizontal se sitúan los electrodos a la derecha de un ojo y a la izquierda de otro, conectándolos también en forma diferencial; la referencia es situada en la frente [52].



(a) *Vertical*

(b) *Horizontal*

**Figura 2.8:** *Dos tipos de configuración para la toma de señales EOG.*

Depende del individuo que nos esté ayudando en las pruebas es la elección de señales a utilizar. En la siguiente sección vamos a describir las características de los individuos que, de manera particular, nos ayudaran a la realización de este proyecto, veremos que algunos de ellos si bien no necesitaban de un sistema alternativo de comunicación; su ayuda nos proporcionó información valiosa para aplicarla en el desarrollo de los prototipos.

## Capítulo 3

# Desarrollo

### 3.1. Características de usuarios

Para poder garantizar que la investigación cumpliera con las expectativas y objetivos fijados es necesario tener una pequeña cantidad de usuarios reales con ciertas características que nos hagan ver los alcances del proyecto.

La investigación se centra en individuos que necesitan de un sistema alternativo de comunicación, pero de manera particular para aquellos que tienen una limitante motora. Dado que estos usuarios son una población sensible se optó por acudir a una institución que no solo nos dejara trabajar con ellos, si no que a la vez nos orientara en las necesidades de comunicación que se tienen.

La institución que cumplió con estas características y que además nos facilitó la investigación fue en primera instancia el Centro de Atención Múltiple III (por sus siglas, CAM III).

El CAM III (Figura 3.1) es una modalidad de la educación básica con servicios escolarizados y de apoyo que ofrece atención educativa en los niveles inicial, preescolar, primaria y secundaria a los niños y jóvenes que enfrentan barreras para el aprendizaje y la participación, por presentar una condición de discapacidad, capacidades y aptitudes sobresalientes o dificultades en el desarrollo de competencias de los campos de formación.



Figura 3.1: Centro de Atención Múltiple III.

Para ampliar el panorama se optó por trabajar a la par en otra institución hermana que es el CAM VII donde encontramos individuos con características similares que permitieron probar el prototipo también con ellos y tratar de adaptarlo para que fuera algo base para todos.

Fue necesario tener un primer acercamiento con los niños para conocerlos, saber cómo trabajan y ver cómo se relacionan. Este acercamiento fue a la par de la investigación para poder tener listo un prototipo creado en base a las necesidades detectadas.

Todos ellos de vital importancia en el desarrollo de este proyecto y de gran ayuda para construir la solución propuesta.

## **3.2. Solución propuesta**

Lo que se quiere es realizar un prototipo que funcione como un sistema alternativo de comunicación con ayuda tecnológica utilizando a las señales EMG.

Para poder desarrollar este prototipo fue necesario trabajar en pequeños módulos desarrollados y probados de manera independiente, pero que en conjunto serán nuestro prototipo final.

Los módulos con los que se trabajó fueron el módulo de señales EMG, el módulo de sistema de codificación, el módulo de interacción y por último el módulo de interfaz.

Describiremos a continuación que involucran cada uno.

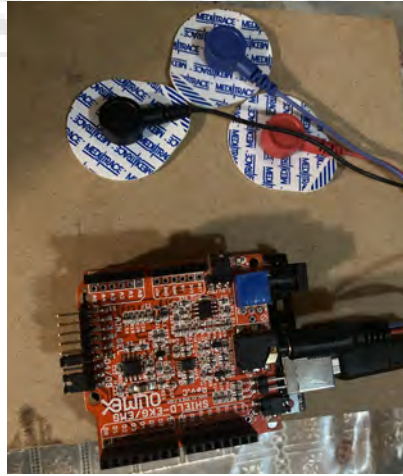
## **3.3. Módulo señales EMG**

En este módulo se trabajó con todo lo relacionado exclusivamente con señales EMG. Desde su captura hasta su procesamiento.

### **3.3.1. Captura señales EMG**

En primer lugar, se diseñó un sistema de captura de señales EMG buscando que fuera de manera sencilla y fácil de obtener. La captura se realizó con un electromiógrafo que utiliza electrodos no invasivos a nivel piel, mismos que son colocados en los músculos de interés. Este electromiógrafo consta de un amplificador y un convertidor análogo a digital que nos permite obtener una señal que nos provee información sobre la activación de los músculos. En la Figura 3.2 podemos ver el sistema utilizado para la adquisición de las señales.

El electromiógrafo utiliza tres cables a presión uno negro que actuará como tierra (será colocado en algún lugar del cuerpo donde no existe demasiada actividad muscular) y dos más: uno azul y otro rojo que serán colocados en el músculo de interés separados entre ellos un poco. Estos cables a su vez actúan gracias a la ayuda



**Figura 3.2:** Sistema de captura de señales EMG.

de los electrodos que se adhieren a la piel de manera sencilla.

Se eligen músculos grandes y de fácil acceso para utilizar aquellos que nos den señales de mayor amplitud puesto que esto nos ayuda a obtener más información. Se comprobó que la toma de señales EMG es de manera sencilla y por lo tanto no tendremos inconveniente en realizar las pruebas con los individuos.

### 3.3.2. Procesamiento de señales EMG

Como ya se habló en el apartado de señales EMG es necesario diseñar un algoritmo que nos permita obtener la envolvente de la señal, misma que nos proporciona información de como se ve la señal y la amplitud que presenta. De igual manera fue necesario diseñar un algoritmo que nos permitiera clasificar cuando un músculo estaba activo, que pudiera diferenciar entre músculos y así saber cuándo hay actividad muscular (fases de activación) y cuando no (fases de silencio) [53].

Para ayudar en este procesamiento utilizamos dos técnicas descritas a continuación.

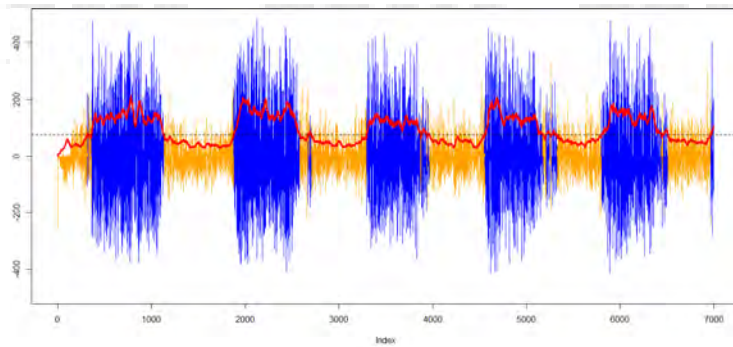
#### Técnica de umbralizado simple

Esta técnica consiste en determinar un valor de umbral donde aquellas fases donde la envolvente este por encima de este valor serán fases activas y las que este por debajo de este valor de umbral no lo serán. Con esta técnica podremos discriminar entre movimiento musculares involuntarios con aquellos voluntarios.

En la Figura 3.3 podemos ver coloreadas de color azul aquellos periodos donde la señal está en una fase de actividad muscular lo que nosotros denominados como fases activas, de color amarillo las fases de no actividad o fases de silencio determinadas gracias a la línea roja que nos muestra la envolvente de la señal y la línea punteada el valor de umbral de este ejemplo.

La señal descrita anteriormente de manera particular trata del músculo bíceps braquial del brazo derecho de una persona que mediante sesiones de movimiento y descanso llega a niveles grandes de amplitud.





**Figura 3.3:** Fases de activación y fases de silencio detectadas por medio de la técnica de umbralizado simple en una señal EMG de un bíceps braquial.

### Técnica de aprendizaje supervisado

Dada la técnica de umbralizado simple podemos ver que este valor de umbral no puede ser un valor fijo para todos los músculos y aún más no puede ser el mismo para cada individuo puesto que la amplitud de cada musculo varia y la amplitud de las señales en cada individuo no es igual; es por ello por lo que es necesario tener un algoritmo que nos ayude a determinar estos valores de umbral de manera automática.

Se hace el uso de aprendizaje supervisado, dada una señal se compraron diversos algoritmos y se elige alguno que nos ayude con la obtención de este valor de umbral.

Ya con nuestro algoritmo elegido lo calibraremos con cada uno de los individuos de prueba haciendo uso de los llamados gestos EMG para obtener el valor de umbral de cada musculo. Así mismo utilizaremos también este algoritmo de aprendizaje supervisado para que nos ayude a distinguir entre los diferentes músculos.

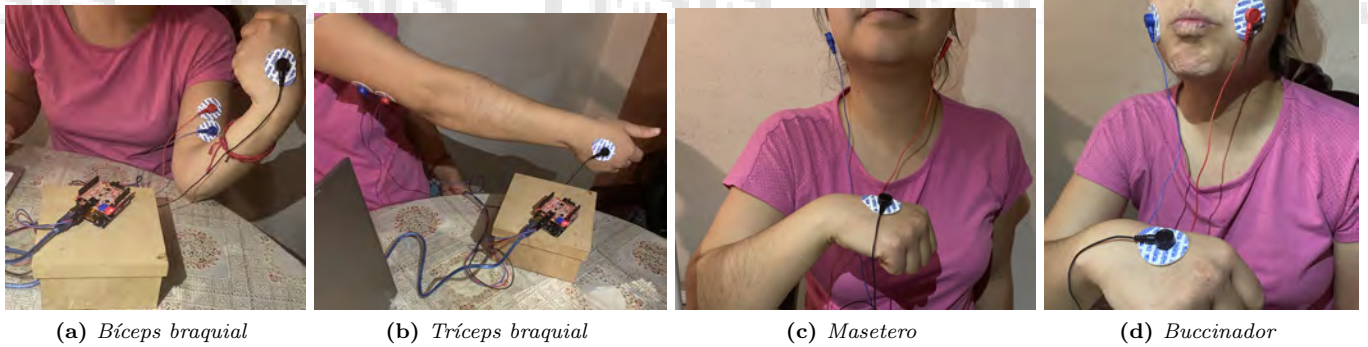
### Gestos EMG

Los “gestos” son los distintos movimientos voluntarios y específicos generados con los músculos elegidos (donde están conectados los electrodos) que producen una amplitud considerable y nos permite discriminarlos de otros movimientos no voluntarios para identificar de que musculo se trata.

Los movimientos y su intensidad dependen del individuo pudiendo tener varios gestos relacionados a un mismo musculo. A grandes rasgos los músculos que más información nos presenten y que puedan mover de manera voluntaria serán músculos grandes como el bíceps braquial, el masetero y el orbicular de los labios que dado su magnitud y posición son ideales para tomar señales de prueba en cualquier individuo sin ninguna dificultad.

En la Figura 3.4 podemos ver ejemplos de gestos para los músculos anteriormente mencionados. En la Figura 3.4a podemos ver que el movimiento para activar el bíceps braquial consiste en cerrar la mano en puño y aplicar fuerza. En la Figura 3.4b se activa el músculo tríceps braquial haciendo un movimiento con la palma hacia abajo. La Figura 3.4c nos muestra que para activar el masetero será necesario que nuestros dientes estén cerrados y apretar. Por último en la Figura 3.4d nos encontramos activando el músculo buccinador esto al silbar. Los gestos





**Figura 3.4:** Gestos para activar diversos músculos del cuerpo.

dependen de los individuos y de los músculo elegidos.

Como ya se ha venido mencionando este sistema alternativo de comunicación se diseñará para aquellos individuos con limitantes motoras, por ello este tipo de señales EMG no era posible obtenerlas para este público en específico, así que se decidió hacer este mismo procedimiento ya dominado, pero para las señales que si se pueden obtener con ellos que en este caso son las señales de los ojos.

### 3.3.3. Captura de señales EOG

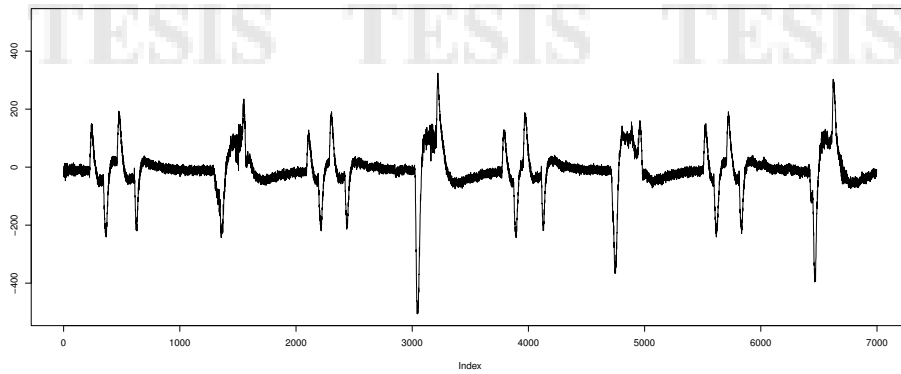
Para la captura de señales EOG se realiza el mismo proceso de las señales EMG, es decir utilizar el electro-miógrafo y colocar los electrodos en este caso en los ojos. Cabe mencionar que existen dos maneras de obtener información útil de las señales oculares mismas que ya se mencionaron anteriormente.

En la Figura 3.5 podemos ver que la colocación de los electrodos se hace a los lados, esta colocación de los electrodos nos dará información cuando el movimiento de los ojos sea a la derecha o a la izquierda utilizando ambos ojos o con cualquier movimiento horizontal de ambos ojos.



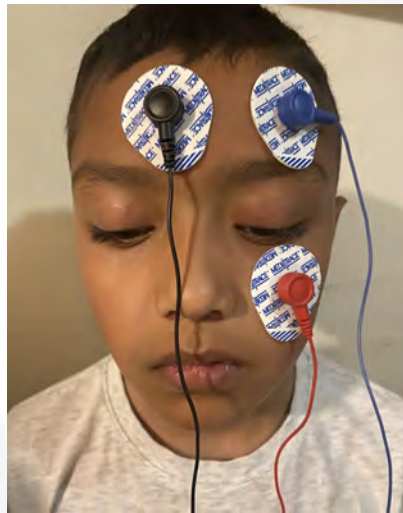
**Figura 3.5:** Colocación de electrodos en configuración horizontal para obtener señales EOG.

En la Figura 3.6 podemos ver una señal EOG con esta configuración mientras se hace un movimiento a la derecha seguido de un guiño.



**Figura 3.6:** Señal de movimiento de los ojos con configuración horizontal.

En la Figura 3.7 podemos ver la segunda configuración que consiste en la extracción de información de un solo ojo (donde se encuentra colocados los electrodos), dada la colocación de los electrodos obtendremos información cuando el ojo haga un movimiento hacia arriba o hacia abajo.



**Figura 3.7:** Colocación de electrodos en configuración vertical para obtener señales EOG.

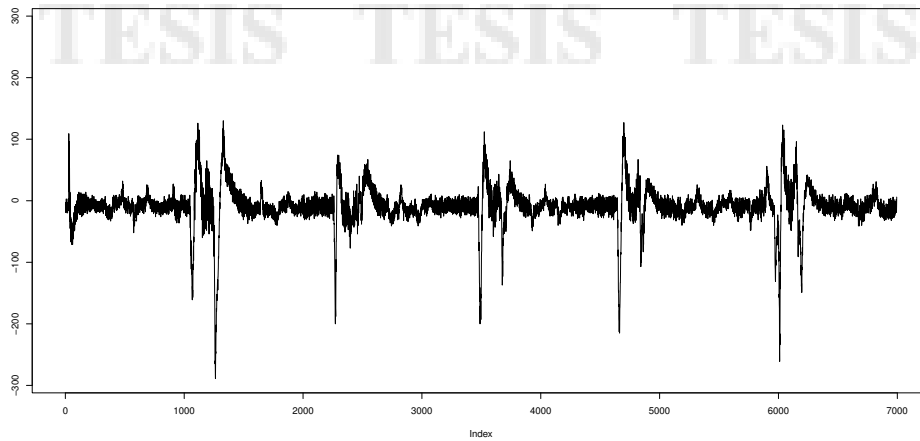
En la Figura 3.8 podemos ver como se ve a nivel señal un movimiento hacia abajo seguido también de un guiño. Es visible que el mismo guiño se ve diferente dependiendo de la colocación de los electrodos.

De manera particular utilizamos la configuración mostrada en la Figura 3.5 puesto que son movimientos más naturales.

### Gestos oculares

A diferencia de los patrones que podemos encontrar en las señales EMG los patrones de las señales EOG deben de estar bien definidos ya que es natural que una persona haga constantemente movimiento con los ojos.

En la Figura 3.8 podemos ver como se ve a nivel señal un movimiento hacia abajo seguido tambien de un guiño. Es visible que el mismo guiño se ve diferente dependiendo de la colocación de los electrodos.



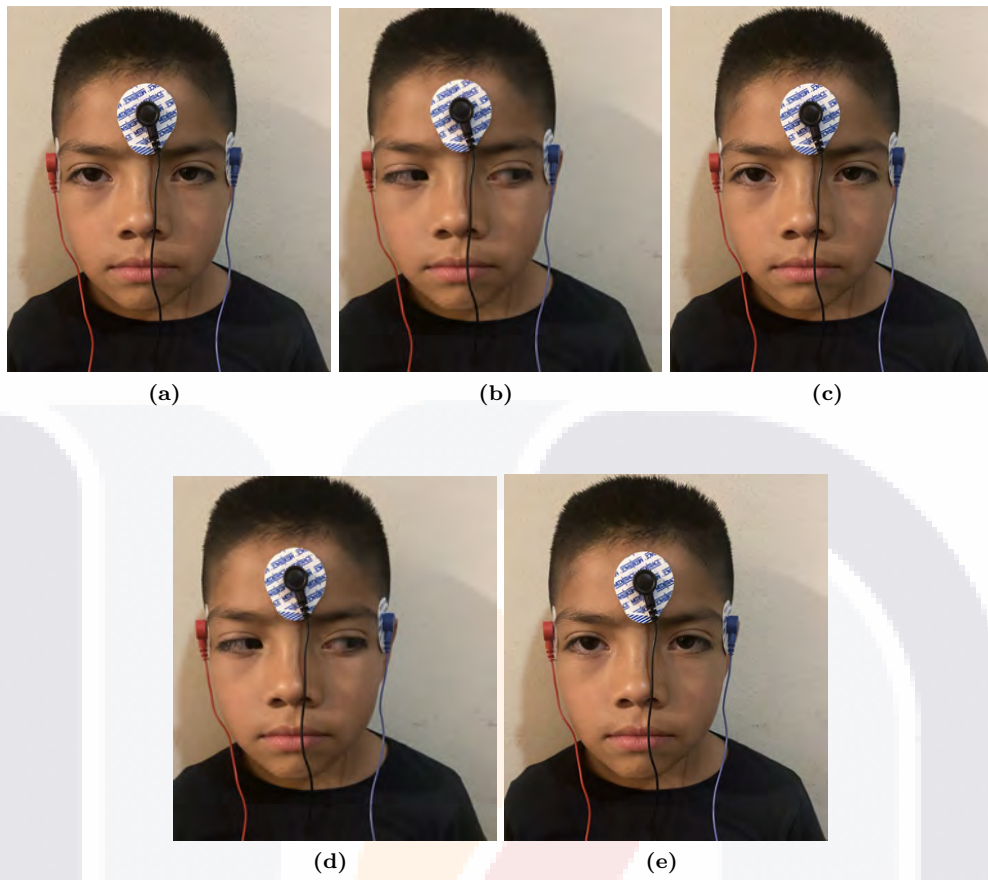
**Figura 3.8:** Señal de movimiento de los ojos con configuración vertical.

Para poder distinguir entre un movimiento involuntario a un voluntario se estableció el uso de “gestos” que serán caracterizados por un doble movimiento ocular. El gesto consiste en partir de la vista al frente (Figura 3.9a), realizar un movimiento hacia algún de los lados en este caso a la izquierda (Figura 3.9b), regresar al frente (Figura 3.9c) y de nueva cuenta realizar al movimiento hacia el lado (el mismo que el anterior Figura 3.9d) y regresar al frente (Figura 3.9e); esto de manera secuencial. Este doble movimiento se presentará como se ve en la Figura 3.9.

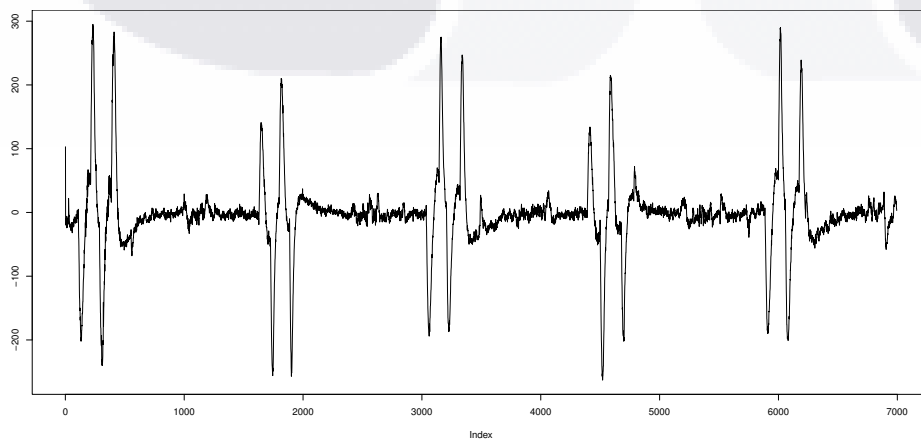
Este gesto es particular para nuestro proyecto por las características que tiene la señal obtenida, mismas que veremos más adelante como usar para como extraer la información que necesitamos.

### 3.3.4. Procesamiento de señales EOG

Es visible que una señal EOG se presenta de manera diferente a una señal EMG, puesto que la actividad muscular no se presenta en variaciones de la amplitud, si no que, los gestos los vamos a determinar por medio de la forma de la señal haciendo que el procesamiento sea distinto. En la Figura 3.10 se presenta la señal EOG con dos patrones de movimiento (izquierda y derecha) alternados. Son precisamente la forma de estos dos movimientos las que procesamos para distinguir entre uno y otro.

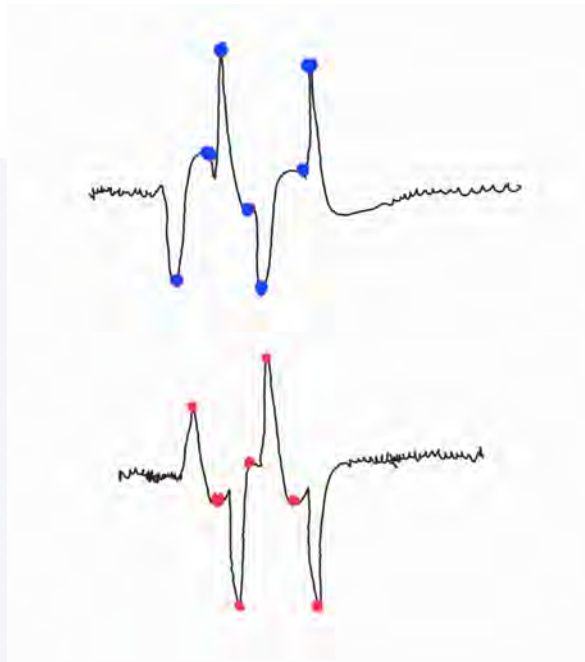


**Figura 3.9:** Gesto establecido para indicar un movimiento voluntario del individuo.



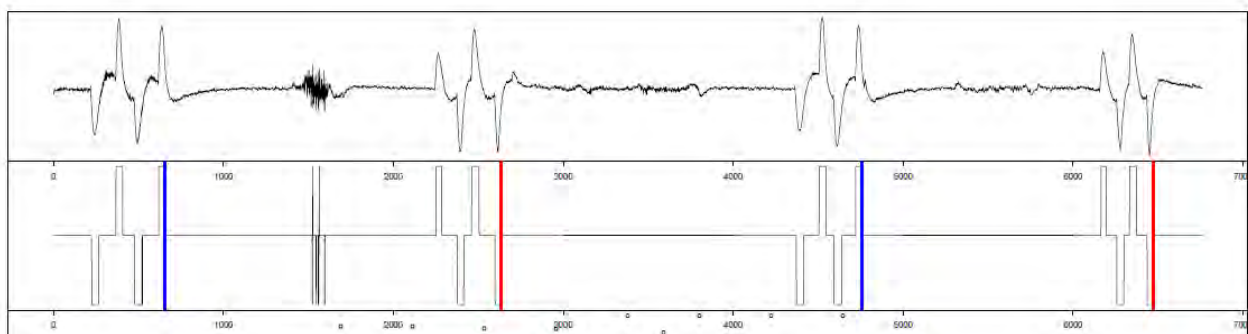
**Figura 3.10:** Señal EOG de doble movimiento hacia la izquierda y derecha.

Para procesar estas señales se utilizaron vectores de referencia dependiendo del patrón que vemos en la forma de la señal. Estos vectores de referencia constaban de siete valores como vemos en Figura 3.11 que son precisamente en los cambios del valor de la pendiente. El primer valor al inicio de la señal nos va a indicar si se trata de un movimiento a la derecha (valor positivo) o un movimiento a la izquierda (valor negativo) no importando su valor numérico. Los valores numéricos del vector se obtuvieron en base a calibraciones con los usuarios visualizando que un mismo vector era suficiente para todos. Cabe resaltar que es necesario determinar un vector de referencia para los movimientos hacia la derecha y un vector de referencia para los movimientos a la izquierda.



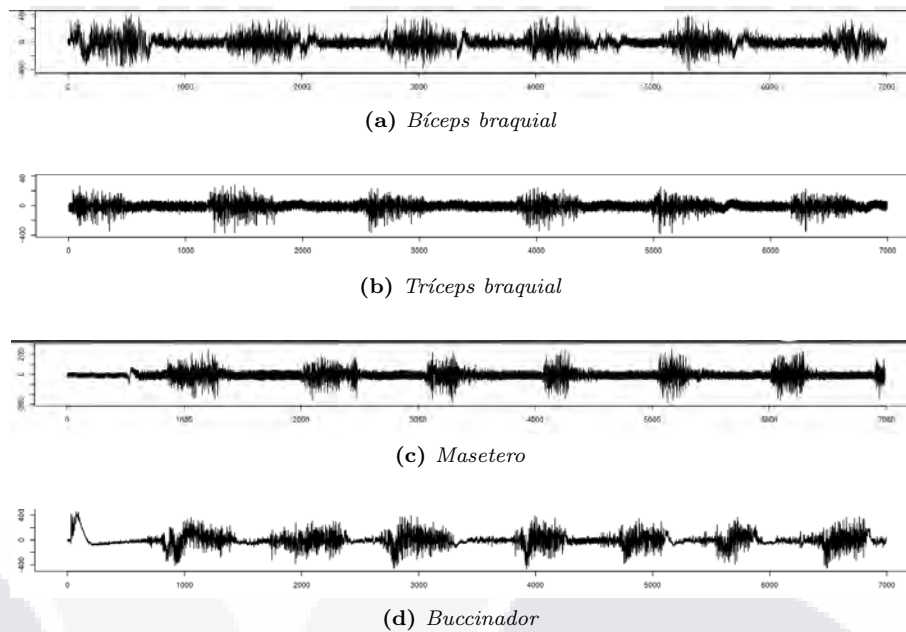
**Figura 3.11:** Representación de los valores del vector de referencia encontrados en una señal EOG.

Una vez realizado nuestro procesamiento podremos distinguir entre los dos distintos movimientos. En la Figura 3.12 tenemos en primer lugar nuestra señal que vimos anteriormente en 3.10, debajo de esta tenemos nuestra envolvente que al final de cada movimiento está indicando con una línea azul un movimiento a la izquierda y con una línea roja un movimiento a la derecha.



**Figura 3.12:** Detección de movimientos oculares mediante vector de referencia.

Ahora tenemos dos gestos distinguibles para poder utilizarlos un doble movimiento a la derecha y un doble movimiento a la izquierda.



**Figura 3.13:** Señales obtenidas de diferentes músculos del cuerpo.

### 3.3.5. Elección de músculos

Tenemos la opción de elegir entre gestos EMG o gestos EOG, esto dependerá de los individuos de prueba. Es necesario saber en qué tipo de músculos hay presente actividad muscular, es decir, de una amplitud de valores altos en el caso de las señales EMG o un gesto distinguible en el caso de las señales EOG, y aquellos músculos en los que se tenga un control voluntario.

En la Figura 3.13 podemos ver distintas señales obtenidas de diferentes músculos que consideramos grandes y de fácil acceso. La Figura 3.13a nos muestra la señal del músculo bíceps braquial, Figura 3.13b la señal de un músculo tríceps braquial, Figura 3.13c la señal del músculo masetero y la Figura 3.13d del músculo buccinador al hacer algún movimiento para generar amplitud en la señal.

Después de ver las señales de los diferentes músculos se decidió hacer las pruebas preliminares con las señales EMG en particular el musculo bíceps braquial de ambas manos, así como el musculo masetero pues son las que más información presentaron. Más adelante en las siguientes pruebas con los individuos elegidos se utilizaron señales EOG con configuración vertical puesto que en otros músculos no se encontraba amplitud para obtener algún tipo de información.

Estos músculos serán parte del proceso de codificación mismo que describiremos a continuación.

## 3.4. Módulo sistema de codificación

En este módulo se buscó crear una técnica que nos permitiera crear un sistema alternativo de comunicación.



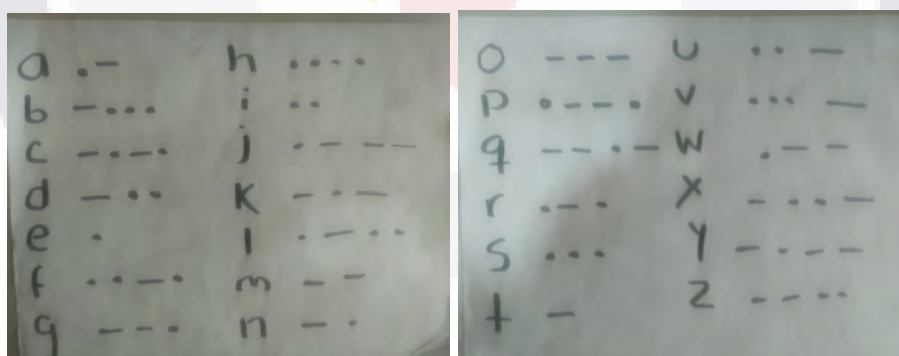
El punto central de toda comunicación como ya se vio es tener un buen canal de comunicación para que el mensaje pueda ser transmitido de manera correcta y la comunicación sea exitosa. Ya que el problema a resolver involucra a individuos que tienen limitantes que hace muy difícil establecer algún tipo de comunicación exitosa es necesario diseñar una técnica que permita a estos individuos comunicarse.

Lo que se optó fue diseñar un sistema de codificación y decodificación que permitiera a los individuos comunicarse para transmitir el mensaje de manera voluntaria y a su vez que el receptor no tuviera ninguna dificultad para recibir el mensaje.

Al conocer a los individuos nos dimos cuenta de que, aunque utilizar las señales EMG nos establece un canal de comunicación muy bueno, también encontramos con la limitante que dichos individuos tenían pocos músculos con los que pueden generar movimientos a voluntad por ello era necesario buscar una solución que involucrara pocos músculos.

Si diseñáramos un sistema como el lenguaje escrito, es decir que cada señal EMG estuviera relacionada con una letra tendríamos que buscar tantos músculos como letras hay, pero esto sería muy difícil además de incómodo para los individuos. Es por ello que se propuso utilizar un sistema de codificación mediante códigos de representación y presentarlo de tal manera que la decodificación sea de manera sencilla para todos los receptores.

Como base se tomó el sistema de codificación que se usa en el lenguaje morse [22] debido a que es un sistema sencillo de codificar y decodificar además de que tiene la ventaja que usa muy pocos símbolos. En la Figura 3.14 se puede ver el abecedario en lenguaje morse que utilizo.



a	.-	h	....
b	-...	i	..
c	-.-.	j	-.--
d	-..	k	-.-
e	.	l	.-...
f	..-	n	-. -
g	-.-		
o	---	u	..-
p	.-.-.	v	...-
q	---.	w	.-.-
r	.-.	x	-.-.-
s	...	y	-.-.-
t	-	z	-.-.-

**Figura 3.14:** Lenguaje morse utilizado para las pruebas realizadas.

Este sistema de codificación relaciona un musculo con un símbolo del lenguaje morse, pero como en el lenguaje morse las letras no tienen el mismo número de símbolos para su representación fue necesario incluir un símbolo que denominamos de control para indicar cuando hemos terminado de escribir una letra; este símbolo de control también se relacionó con un musculo por lo que en total es necesario tener tres músculos.

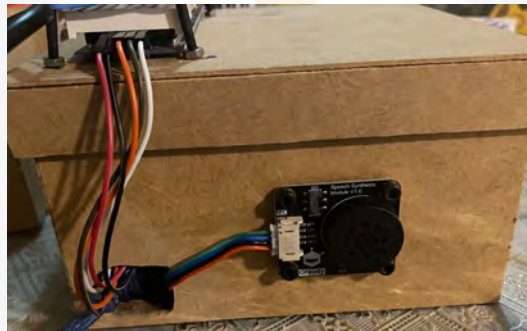
Para poder tener una comunicación exitosa es necesario que nuestro receptor reciba el mensaje de manera sencilla parte de ello lo lograremos gracias a un proceso que vamos a describir en el módulo de interacción.

### 3.5. Módulo de interacción

El objetivo central de este trabajo es tener una herramienta para que aquellos que no pueden comunicarse por limitantes del habla, así como motoras, tenga la oportunidad de establecer una comunicación oral con las personas con quien convive. Es por ello por lo que no solo basta con escribir o transmitir un mensaje, es necesario que este mensaje se escuche para completar este proceso de comunicación.

Para lograr nuestro objetivo es necesario realizar una interfaz humano-computadora que actúe como decodificador del mensaje logrando así, que nuestros receptores puedan ser cualquier persona, es decir, que el mensaje transmitido sea entendible para aquellos que escuchan. Es necesario crear esta interfaz ya que como se describió anteriormente los SAAC con ayuda tecnológica son muy complicados de utilizar haciendo que la comunicación no sea independiente, pero en cambio con nuestra herramienta si podemos tener una interacción más real es por ello el nombre de nuestro modulo.

Este módulo actuara como una ayuda de decodificación pues va a permitir que nuestro receptor complete la decodificación teniendo el mensaje ya en código oral.



**Figura 3.15:** *Sintetizador de voz utilizado.*

Se hace uso de un sintetizador de voz [54], que nos permite reproducir en altavoz el mensaje que nuestro emisor este intentando comunicar. Se agrega el algoritmo necesario para recibir, lo que ya decodifico del lenguaje morse, y en tiempo real reproducirlo. Cabe resaltar que el sintetizador es el mostrado en la Figura 3.15 que está diseñado para el idioma inglés, pero es capaz de reproducir un mensaje en español de manera clara.

Una vez que este módulo trabaja correctamente es necesarios integrarlo junto con los demás en un mismo prototipo.

### 3.6. Módulo de interfaz

Este módulo es la integración de todos los módulos descritos anteriormente.

Aquí construiremos un prototipo que se adapta a nuestros individuos, permitiendo mejorar la realización de las pruebas. Se construyo un prototipo “A” que consiste de dos aparatos, el primero, mostrado en la Figura 3.16,



es un sistema con cuatro botones encargados de transmitirnos un mensaje que esta codificado mediante lenguaje morse. Dos botones etiquetados con “.” y “-” que son los símbolos que utilizamos para representar el lenguaje morse; un botón verde etiquetado con una “X” que borra algún símbolo no deseado y un botón sin etiquetar en color rojo que funciona como control para determinar cuando hemos terminado de escribir un símbolo (pulsando una vez) y utilizado tambien para indicar cuando se ha terminado de formar la palabra (pulsando tres veces).



**Figura 3.16:** Sistema de botones incluido en el prototipo A.

El segundo aparato, mostrado en la Figura 3.17 se trata de una pantalla donde se va mostrando los símbolos en lenguaje morse para que luego de pulsar el botón de control (que envía la información mediante bluetooth) nos muestra su codificación. También tiene integrado el sintetizador de voz (descrito en la Figura 3.15) que, cuando así se desee, reproduce lo que tenemos escrito en la pantalla.



**Figura 3.17:** Pantalla incluida en el prototipo A.

Cabe resaltar que el prototipo con los botones fue usado para la primera experimentación pero luego sería sustituido por el módulo de captura de señales EMG. Así mismo la pantalla es una herramienta auxiliar para comprobar que la información que se está transmitiendo es la correcta; lo importante de este prototipo será el

En la Figura 3.18 podemos la interfaz completa que se creó y utilizara en la experimentación.



**Figura 3.18:** *Interfaz completa.*

## Capítulo 4

# Experimentación

### 4.1. Individuos elegidos

La experimentación fue el momento crucial para ver el avance que íbamos obteniendo hasta el momento. Como ya se menciona se tuvo un acercamiento a dos instituciones que nos ayudaron y facilitaron las pruebas que posteriormente describiremos.

Se hizo un primer acercamiento al CAM III donde conocimos a:

- Individuo I
  - Edad: 11 años
  - Sexo: masculino
  - Diagnostico: Parálisis cerebral infantil (PCI)
  - Movimientos voluntarios: movimiento de brazos y cabeza. No cuenta con prensa fina.
  - Canal de comunicación: gesticulación. No hay comunicación oral.
  - Habilidades para el proyecto: capacidad de seguir instrucciones, conocimiento de algunas letras, participativo y motivación e interes de aprender cosas nuevas.
- Individuo II
  - Edad: 9 años
  - Sexo: masculino
  - Diagnostico: Parálisis cerebral infantil (PCI)
  - Movimientos voluntarios: movimiento leve de brazos. No cuenta con prensa fina.
  - Canal de comunicación: gesticulación, miradas y sonidos expresivos. No hay comunicación oral.
  - Habilidades para el proyecto: participativo, juguetón y motivación e interes de aprender cosas nuevas.

Por otro lado en el CAM VII conocimos y trabajamos con:

- Individuo III

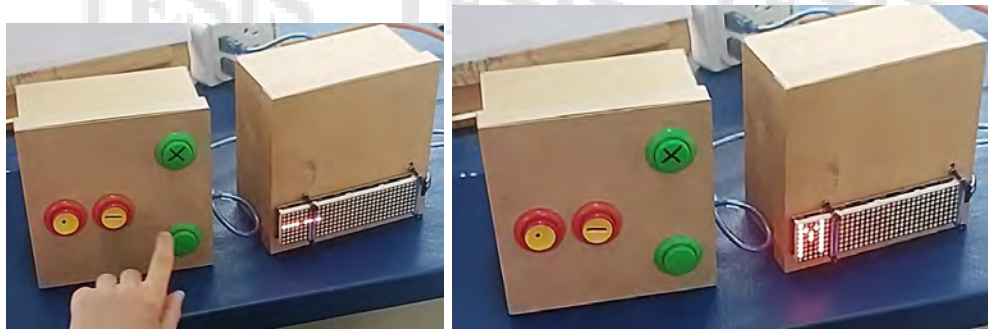
- Edad: 7 años
  - Sexo: masculino
  - Diagnostico: Parálisis cerebral infantil (PCI) además de devilidad visual.
  - Movimientos voluntarios: movimiento de manos y cabeza. No cuenta con prensa fina.
  - Canal de comunicación: gesticulación. No hay comunicación oral.
  - Habilidades para el proyecto: capacidad de seguir instrucciones por medio de voz, conocimiento de algunas letras, participativo y motivación e interes de aprender cosas nuevas.
- Individuo IV
    - Edad: 7 años
    - Sexo: masculino
    - Diagnostico: Parálisis cerebral infantil (PCI).
    - Movimientos voluntarios: solo con los ojos.
    - Canal de comunicación: movimiento de ojos, sonrisas y llanto. No hay comunicación oral.
    - Habilidades para el proyecto: capacidad de seguir instrucciones, participativo, alegre y motivación e interes de aprender cosas nuevas.
  - Individuo V
    - Edad: 10 años
    - Sexo: masculino
    - Diagnostico: Parálisis cerebral infantil (PCI).
    - Movimientos voluntarios: movimiento de algunos dedos mano derecha. No cuenta con prensa fina.
    - Canal de comunicación: gesticulación. No hay comunicación oral.
    - Habilidades para el proyecto: capacidad de seguir instrucciones, conocimiento de algunas letras, gusto por el sonido, participativo y motivación e interes de aprender cosas nuevas.

Este acercamiento fue de suma importancia y afianzo el desarrollo de un prototipo funcional completo que llevamos con otros individuos que tienen limitantes de habla y motoras. Cabe resaltar que se conocio y vio trabajar a los anteriores individuos primero con su grupo y luego se trabajó con ellos de manera individual.

De hecho todos los alumnos y maestros de los dos CAM ayudaron de alguna u otra manera para poder llevar a cabo las pruebas.

## 4.2. Pruebas de integración módulos

Antes de llevar un prototipo funcional con los individuos prueba fue necesario hacer una prueba con todo los módulos integrados, es decir del módulo interfaz. En primer lugar, se probó que la comunicación que existía entre los botones y la pantalla era el correcto, cabe resaltar que dicha comunicación era por medio de bluetooth por ello había que sincronizarlos. En la Figura 4.1 podemos ver que la comunicación fue exitosa y que los botones cumplen su funcionalidad. A la par se probó que el sintetizador de voz estuviera trabajando correctamente.



**Figura 4.1:** Sincronización exitosa de los módulos.

La anterior prueba fue realizada por nosotros por lo que luego fue necesario probarlo con algún alumno del CAM III para poner a prueba las instrucciones y el prototipo. Se trata del individuo I que tiene limitantes en el habla pero es capaz de mover su mano por lo que nos indicaba mediante señas si las instrucciones eran entendibles. En primer lugar, se le indicó que representaba cada botón, los colores, la ubicación y se le hizo una pequeña demostración del funcionamiento. La prueba consistía en darle una palabra con una imagen y su respectiva codificación en código morse, esto solo para que copeara la palabra.

En la Figura 4.2 podemos ver al individuo I que ayudo con esta prueba utilizando el prototipo escribiendo “MESA” palabra que copea desde la hoja de apoyo esto para que viera como se relacionaba cada símbolo con una letra.



**Figura 4.2:** Primera prueba de integración de componentes con un usuario.

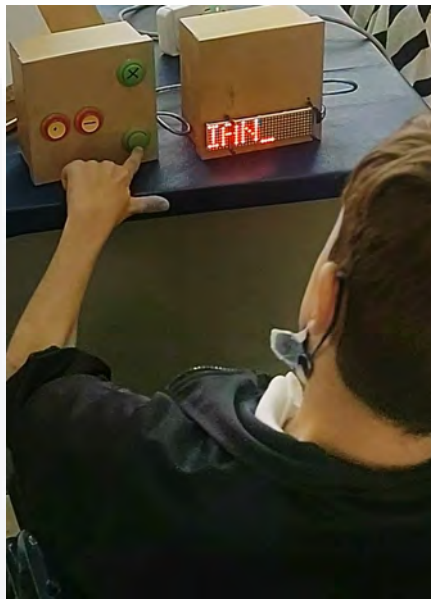
Después de esta prueba vimos que, aunque el módulo de interfaz funcionaba correctamente había detalles a cambiar por ejemplo los individuos estaban acostumbrados a palabras con letras en minúsculas así que fue necesario incluir un comando para cambiar a minúsculas. En general se observó que el prototipo era sencillo de utilizar y que las instrucciones eran entendibles para el individuo I.

## 4.3. Resultados

### 4.3.1. Prototipo interfaz táctil A

Se recurrió de nueva cuenta al individuo I pero ahora en vez de copiar una palabra se le mostro el abecedario morse (Figura 4.2) para ver si era capaz de formar palabras y utilizar el prototipo de manera independiente. Se le pidió que nos indicara cuales eran las vocales mismas que fue capaz de ubicarlas en el abecedario y codificarlas en lenguaje morse para nosotros.

Después de trabajar algunos días para que se familiarizara con el lenguaje morse y el aparato, el individuo I fue capaz de formar palabras como “mama” e inclusive compartirnos su nombre como vemos en la Figura 4.3.



**Figura 4.3:** Individuo I haciendo uso del prototipo para compartir su nombre.

Luego de algunas semanas de trabajar con el individuo I logramos tener una conversación corta con él, que involucraba hacerle preguntas que tuvieran como respuesta solo una palabra. Las pruebas con este individuo llegaron hasta aquí dado que al momento anterior de usar el prototipo sus maestros no pueden comunicarse con él; por lo tanto desconocían sus aptitudes para formar palabras. Una vez con el prototipo fue visible que el individuo I conocía las vocales y las letras entonces ahora fue turno de sus maestros y sus papás trabajar con él para proceder a enseñarle a formar frases e inclusive enseñarle a leer.

La Figura 4.4 nos muestra al individuo III también con limitantes motoras y fonéticas utilizando el prototipo. Este individuo III logro compartirnos su nombre y las vocales. Dada su edad actual esta en proceso de conocer las vocales, pero, gracias a que pudo escribir las vocales con ayuda del prototipo, fue posible avanzar más con él y actualmente esta en proceso de formar palabras por su cuenta.





**Figura 4.4:** Individuo III haciendo uso del prototipo para compartir su nombre.

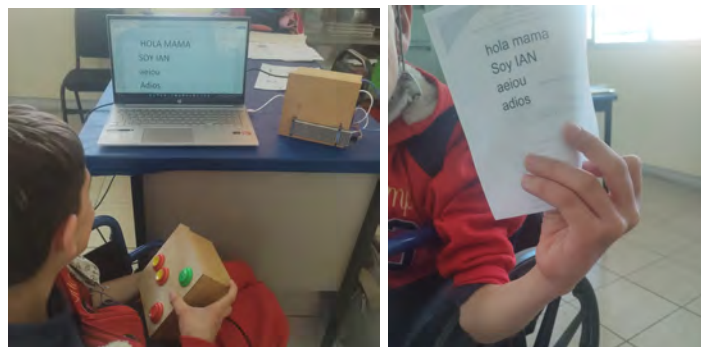
subsubsectionOtras funcionalidades

Dado que nuestros primeros individuos contaban con mayor movilidad en sus manos lo que les permitía comunicar un poco se decidió agregar más funcionalidades al prototipo de interfaz táctil A para atacar otras necesidades más fuertes y aprovechar el aparato para brindarles otro tipo de ayuda.

Se agrego un módulo que permitía a los usuarios no solo ver el mensaje que querían transmitir en la pantalla, si no poder escribirlo en otro dispositivo de salida como lo es la computadora, para poder escribir algún tipo de recado en un editor de textos imprimirlo y compartirlo con sus conocidos. Esta funcionalidad la extendieron hasta realizar búsquedas en la red.

Esta funcionalidad requería de un proceso antes de comenzar a utilizarlo dado el módulo que se le agrego.

Se muestra en le Figura 4.5 como nuestro individuo I escribe un cálido mensaje a su mamá, pero ya que no estaba en ese momento para escuchar le mensaje se le imprimió en papel para que se lo entregara después.



**Figura 4.5:** Uso del prototipo interfaz táctil A con otras funcionalidades.

Con este tipo de funcionalidades impulsamos a tener también una comunicación escrita que les ayuda en su proceso de enseñanza.

### 4.3.2. Prototipo interfaz táctil B

Durante las pruebas nos encontramos con individuos (como el individuo II) donde, además de las limitantes descritas contaban con una limitante visual por lo que, aunque se agregara la pantalla no pueden reconocer si el botón pulsado era el correcto y hacia más difícil que pudieran darse cuenta si el trabajo lo estaban realizando correctamente. Para dicho individuo se creó el prototipo de interfaz táctil B que incluía los botones del lenguaje morse pero más separados y cada uno con un LED que prendía una vez que se pulsaba el botón. Una vez que se familiarizó con la ubicación de los botones y la sincronía de estos con el parpadeo de los led solo se tuvo que familiarizar con el lenguaje morse para indicarnos las vocales. Cabe resaltar que con este individuo en particular se trabajaba con instrucciones mediante voz para que conociera el abecedario.

En la Figura 4.6 se muestra el prototipo de interfaz táctil B montado. Como es visible este prototipo no utilizaría la pantalla solo el sintetizador de voz, sin embargo se utilizó lo que ya se tenía.

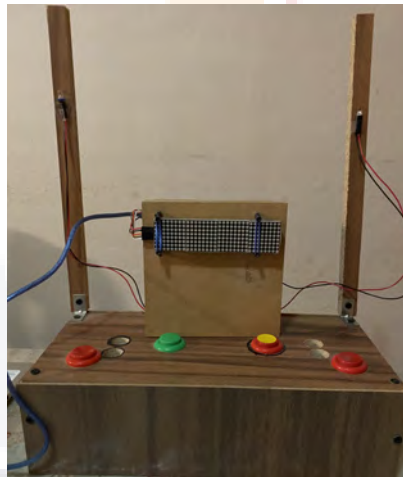


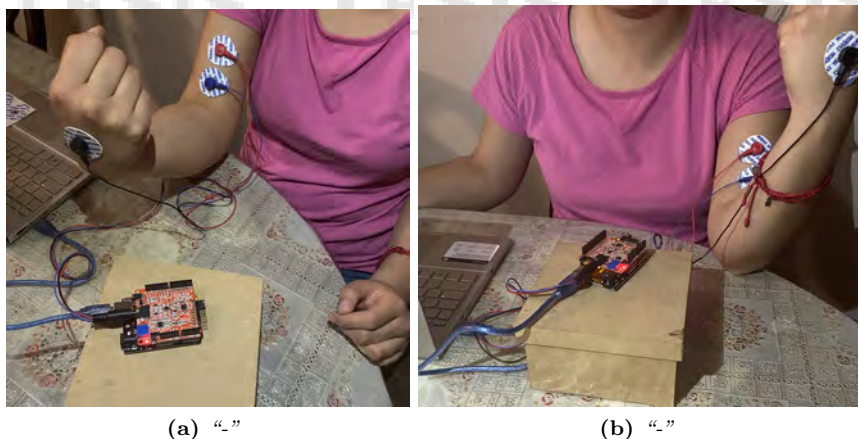
Figura 4.6: Prototipo de interfaz táctil B.

Conocimos a otros individuos prueba que contaba con limitantes motoras extremas por lo que solo contaban con movimiento voluntario en sus ojos es por ello que fue necesario utilizar las señales EOG y otro tipo de instrucciones para utilizar el prototipo mismas que describiremos en la sección siguiente.

### 4.3.3. Prototipo con señales EMG

Nuestro prototipo de interfaz táctil A está completo y es fácil de usar utilizando los botones de apoyo pero nos podemos encontrar con individuos que, si bien tienen movilidad en sus manos, su prensa no era fina por lo que solo pueden presionar un botón o en algunos casos no tenían la fuerza necesaria para accionar el botón. Para ellos se utilizó el prototipo pero con el módulo de captura de señales EMG que se trata del mismo prototipo de





**Figura 4.7:** Gestos relacionados con símbolos del prototipo.

interfaz táctil A que utilizamos anteriormente.

En primera instancia se utiliza el musculo bíceps del brazo derecho para relacionarlo con el símbolo “.”, musculo bíceps del brazo izquierdo para relacionarlo con el símbolo “-” y el musculo masetero para relacionarlo con el símbolo de control. En el caso de que solo se tuvieran dos músculos con movimientos voluntarios que es un patrón que encontramos en la mayoría de los individuos de estas características el símbolo de control de accionaba de manera manual ayudado por nosotros. Era posible agregarle esta funcionalidad a alguno de los ojos, pero encontramos que sería un poco molesto para los individuos tener tantos electrodos conectados además de cansado tener que aprender tantos gestos.

En la Figura 4.7 podemos ver como el movimiento se relaciona con cada símbolo. La Figura 4.7a muestra el movimiento relacionado con el símbolo “.” y en la Figura 4.7b el movimiento relacionado con el símbolo “-”.

Estas pruebas aunque solo relacionaban dos músculos y seis electrodos resultaron ser muy complicadas para nosotros pues aunque si había amplitud en sus señales EMG esta era muy poca. Como resultaron ser a su vez pruebas muy cansadas para nuestros individuos se optó por buscar otro tipo de movimientos voluntarios que implicara hacer uso de menos gestos. La mayoría de nuestros individuos con limitantes del habla se comunicaban solo con movimientos voluntarios en sus ojos es por ello por lo que las pruebas se centraron mejor en ellos.

#### 4.3.4. Prototipo con señales EOG

Como ya se ha venido mencionando los individuos en los que la comunicación esta más gravemente afectada es en aquellos con limitantes motoras severas. Estos individuos por tanto solo tienen canal de comunicación con los ojos. Para ellos utilizamos nuestro prototipo con señales EOG.

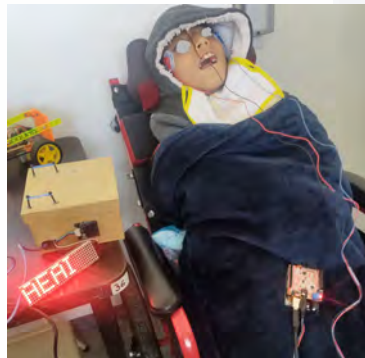
El primer gran reto con estos individuos era el transmitirles las instrucciones y estar seguros de que eran comprendidas por ellos para que se dieran cuenta de lo que estaban realizando. Para comenzar fue necesario tomar señales EOG para hacerles el prototipo familiar siempre se trabajó de la mano de un profesor auxiliar que nos indicaba que todo estaba en orden.

Al individuo IV se le tomo señales EOG mediante instrucciones de seguimiento, es decir, la maestra le hablaba y se movía de lugar para lograr que la siguiera con la mirada y así obtener la señal de ese movimiento. Las pruebas fueron avanzando hasta conseguir que mediante señas de movimiento con las manos se obtuviera las señales y así se logra que comprendiera el gesto de doble movimiento.

Luego fue necesario relacionarle el gesto de doble movimiento con cada uno de los símbolos del lenguaje morse. Este fue el proceso más complicado que llevo varias semanas pero que tuvo el éxito esperado.

Hacer el gesto de doble mirada a la derecha lo relacionaban con el símbolo “.” y la doble mirada a la izquierda se relacionaba con el símbolo “-”. El símbolo de control se hacía de manera manual ayudado por nosotros.

Al final de nuestras pruebas fue posible lograr que nuestro individuo IV se comunicara con nosotros para transmitirnos algunas vocales como vemos en la Figura 4.8.



**Figura 4.8:** Prueba con señales EOG para transmitir un mensaje.

Cabe resaltar que cada una de las pruebas antes mencionadas se trataba que fuera lo más cortas posibles para hacerles amigable los distintos prototipos.

Podemos ver como el simple hecho de que este último individuo nos compartiera las vocales es un gran canal de comunicación y un gran éxito de todo nuestro trabajo de investigación. El individuo V no tuvo este alcance ya que por causas de salud no pudo seguir asistido a la escuela, pero dado el avance que mostro se cree que será capaz de realizar estas pruebas sin dificultad, claro una vez que su salud se lo permita.

Por circunstancias de tiempo y el mismo desarrollo académico de nuestros individuos el alcance de nuestra prueba llego hasta este punto.

## Capítulo 5

# Conclusiones

### 5.1. Conclusión

En este trabajo de investigación se propuso un prototipo de sistema alternativo de comunicación que tiene la innovación de involucrar el uso de las señales EMG.

El sistema de captura de señales EMG trabajo de manera correcta en tiempo real obteniendo señales con información útil y que hacía distinguibles señales de músculos y señales de los ojos para procesarlas cada una como corresponden utilizando técnicas sencillas como lo fue el umbralizado simple o los vectores de referencia que no eran complejos.

Se hizo uso de esas señales para construir un sistema de codificación que no involucraba tantos músculos y que a su vez tenía un proceso de decodificación sencillo que permitía a nuestros individuos comunicarse de manera exitosa sin tener que dotar al receptor de información acerca del sistema de codificación que se estaba utilizando.

Luego de realizar las pruebas con los individuos podemos ver que muchos de ellos a nivel intelectual están a un buen nivel, pero no es posible avanzar en su proceso de aprendizaje porque no pueden comunicar todo lo que están aprendiendo por lo que terminan reclusos, aislados e impotentes de no aprender más.

El prototipo creado se caracterizó por ser utilizado por diferentes individuos con diferentes características cada uno. A su vez nos permitió que los individuos nos transmitieran algún mensaje y en alguno de los casos hasta lograr tener una conversación oral pequeña de manera independiente.

Cada uno de los prototipos propuestos impactaron en el proceso de enseñanza de cada uno de los individuos de alguna u otra manera para proporcionarles algún beneficio no solo e ellos si no tambien a sus maestros y familiares haciendo visible que la falta de comunicación es una barrera enorme que debe tratarse con este sector de la población que tanto lo necesita para una mayor calidad de vida.

Exhorto a todas aquellas personas a que se involucren en este tipo de proyectos que sin duda enriquecen de conocimiento pero sobre todo ayudan a personas que lo necesitan mucho.

## 5.2. Trabajo futuro

Aún existen muchas cosas que mejorar pero sobre todo se abre un panorama muy grande de recursos que explotar y utilizar para resolver problemas tan vitales como es la falta de comunicación en los individuos.

Esta investigación es un preámbulo para muchos proyectos más. El siguiente paso es incluir un prototipo de permita adaptarse de manera particular a cada individuo, es decir poder determinar de qué señales se trate y no hacer dos prototipos para cada una.

Otra gran incorporación podría ser el utilizar un sintetizador de voz que manejo el idioma español e inclusive utilizar señales de audio en lugar de señales EOG.

De manera particular el siguiente paso es patentar este prototipo para que en un futuro contar con ellos en las escuelas.



# Referencias

- [1] M. Bigas Salvador (1996). La importancia del lenguaje oral en educación infantil. *Aula de innovación educativa*, (46), 05-08.
- [2] P. M. González (2003). Sistemas alternativos y aumentativos de comunicación (SAAC) y accesibilidad: Bases teóricas de los SAAC. *Puertas a la lectura*, (4), 129-136.
- [3] A. E. Jacas, A. Medina, B. Bellido, B. Llorens, P. Velasco y R. Candela (2022). AlfaSAAC Todos contamos: CAA. <https://alfasaac.com/comunicacion-aumentativa-y-alternativa/uno>
- [4] C. Sellars et. Al. (2006). Terapia del habla y del lenguaje para la disartria por daño cerebral no progresivo. *La Biblioteca Cochrane Plus*. No. 4
- [5] Zangari, C., Lloyd, L. L., y Vicker, B. (1994). Augmentative and Alternative Communication: An Historic Perspective. *Augmentative and Alternative Communication*, 10(1), 27-59
- [6] Carmen Basil, C. Rosell, E. Soro-Camats (2014). *Sistemas de signos y ayudas técnicas para la comunicación aumentativa y la escritura: Principios teóricos y aplicaciones*. Ed. Masson.
- [7] McDonald, E. T. (1985). *Sistema Bliss. Enseñanza y uso: enseñanza y uso*. Ministerio de Educación.
- [8] Augé, C., y Escoin, J. (2003). Tecnologías de ayuda y sistemas aumentativos y alternativos de comunicación en personas con discapacidad motora. F. Alcantud y FJ Soto (coords.), *Tecnologías de ayuda en personas con trastornos de comunicación*, 139-160.
- [9] Alcantud, F. y Soto, F.J. (coord.) (2003). *Tecnologías de ayuda en personas con trastornos de comunicación*. Nau LLibres.
- [10] . Hourcade, J., Everhart Pilotte, T., West, E., y Parette, P. (2004). A History of Augmentative and Alternative Communication for Individuals with Severe and Profound Disabilities. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 19(4), 235-244.
- [11] Ganz, J. B., Morin, K. L., Foster, M. J., Vannest, K. J., Genc Tosun, D., Gregori, E. V., y Gerow, S. L. (2017). High-technology augmentative and alternative communication for individuals with intellectual and developmental disabilities and complex communication needs: a meta-analysis. *Augmentative and Alternative Communication*, 33(4), 224-238.
- [12] Santiago Torres. José Sanchez (2002) Los multimedia y los sistemas aumentativos de comunicación. *Revista Pixel-Bit: Revista de Medios y Educación*, No. 19. <http://www.sav.us.es/pixelbit/articulos/n19/n19art/art1906.html>

- [13] BAUGMART, JOHNSON Y HELMSTETTER, E. (1996). Sistemas alternativos de comunicación para personas con discapacidad. Madrid: Alianza.  
<https://www.juntadeandalucia.es/educacion/portaerverros/contenidosdigitales/contenido/ndoiaand-20070924-0015-el-teclado-virtual>
- [14] Consuelo Belloch, (1999). Proyecto FRESSA. Unidad de Tecnología Educativa. Universidad de Valencia.  
<http://www.xtec.cat/jlagares/indexcastella.htm>
- [15] De Castro Lozano, Carlos García, Enrique Uceda, José Fernández, Francisco Sainz de Abajo, Beatriz Montoya, Rafael Gea, Miguel González, Remedios Alcantud Marín, Francisco. (2010). iFreeTablet: del Tablero de Conceptos al Escritorio de Conceptos.
- [16] Dragon NaturallySpeaking (1997). ViaVoice.
- [17] Windows (2010). Aviable <http://www.freedomscientific.com>
- [18] Didactalia (2009). Software Aviable <https://didactalia.net/comunidad/materialeducativo/recurso/ales-i-apoyo-al-aprendizaje-de-la-lecto-escritura/4e01e1cd-7f4c-41d7-9a09-2faabae59fe3>
- [19] Carrington, P., Hurst, A., Kane, S. (2004). Wearables and chairables: inclusive design of mobile input and output techniques for power wheelchair users. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 3103-3112.
- [20] Facultad de Ingeniería de la Universidad del Estado de México: Redes y Comunicaciones (2022).  
<https://fi.uaemex.mx/portal/inicio/home.php>
- [21] Concepto, Etecé (2021). Argentina. Comunicación oral. Disponible <https://concepto.de/comunicacion-oral>.
- [22] Concepto,, Etecé. (2022) Argentina. Código morse. Disponible en: <https://concepto.de/codigo-morse>.
- [23] Moodle Cicles Sa Palomera, Appl. Notas. Sistema de Comunicación. Aviable <https://www.sapalomera.cat/moodlecf/RS/1/course/module3/3.1.1.3/3.1.1.3>.
- [24] Torres Monreal, S. (2001). Sistemas alternativos de comunicación. Manual de comunicación aumentativa y alternativa: Sistemas y estrategias.
- [25] Monfort , M., Rojo, A. y Juárez, A. (2010). Programa elemental de comunicación bimodal (12 edición). CEPE.
- [26] Monfort, M. (2006). La comunicación bimodal: una ayuda para el desarrollo del lenguaje y de la comunicación. Revista Virtual Down 21. Disponible en: <https://www.down21.org/revista-virtual/694-revista-virtual-2006/revista-virtual-marzo-2006/articulo-profesional-marzo-2006/2052-la-comunicacion-bimodal-una-ayuda-para-el-desarrollo-del-lenguaje-y-de-la-comunicacion.html>
- [27] Mirenda P. and Locomo T. (2009). Autism spectrum disorder and AAC. Paul H. Brookes Publishing Co., Baltimore.
- [28] Lloyd, L. y Fuller, D. (1990). Toward an augmentative and alternative communication symbol taxonomy: A proposed superordinate classification. *Augmentative and Alternative Communication*, 2 (4), 165-171.

- [29] Gómez Taibo, M. (2003). Acceso léxico en la lectura de personas con parálisis cerebral usuarias de comunicación aumentativa y alternativa. Tesis doctoral. Universidad da Coruña.
- [30] Gascon Ricao, A. y Stoorch de Gracia y Asensio, J. G. (2004). Historia de la educación de sordos en España y su influencia en Europa y América. Editorial Universitaria Ramón Areces.
- [31] Grove, N. y Walker, M. (1990). The Makaton vocabulary: using manual signs and graphic symbols to develop interpersonal communication. *Augmentative and Alternative Communication*, 6(1), 15-28
- [32] Walker, M. y Armfield, A. (1981). What is the makaton vocabulary. *Special Education: forward trends*, 8(3), 19-20
- [33] Schaeffer, B., Musil, A. y Kollinzas, G. (1980). Total communication. A signed speech program for nonverbal children. Research Press
- [34] Cornett. O. (1967). Cued Speech. *American Annals of the deaf*, 112, 3-13
- [35] Nicholls, G. y Ling, D. (1982). Cued Speech and the reception of spoken language. *Journal of Speech and Hearing Research*, 25, 262-269
- [36] L. Ortega Lopez (2020). Utilizacion de software computacional como sistema aumentativo y alternativo de comunicacion en estudiantes del espectro autista Parte I. Revista online Espacio Logopédico. Vease <https://www.espaciologopedico.com/revista/articulo/3574/utilizacion-software-computacional-como-sistema-aumentativo-y-alternativo-de-comunicacion-en-estudiantes-del-espectro-autista-parte-i.html>
- [37] José M. Azorín, Ramón Ceres, Anselmo Frizera, Teodiano Freire Bastos (2013). La Interacción de Personas con Discapacidad con el Computador: Experiencias y Posibilidades en Iberoamérica. Libro Editorial: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).
- [38] J. V. Basmajian y C. J. DeLuca, *Muscles alive: their functions revealed by electromyography*, 5. ed. Baltimore: Williams y Wilkins, 1985.
- [39] D. A. Winter (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*, 4. ed. Hoboken, NJ: Wiley.
- [40] S. K. Sharma (2017). Muscle Activation Profiles and Co-Activation of Quadriceps and Hamstring Muscles around Knee Joint in Indian Primary Osteoarthritis Knee Patients, *JCDR*.
- [41] Guerrero, J.A., Castillo-Galván, M.A., and Macías-Díaz, J.E. (2018). Novel electromyography signal envelopes based on binary segmentation. *Biomed. Signal Proc. and Control*, 45, 225-236.
- [42] F. Brunetti, F. Resquín, V. González, R. Ceres, L. Bueno, T. Bastos (2013). La Interacción de Personas con Discapacidad con el Computador: Experiencias y Posibilidades en Iberoamérica. Capitulo 4. Editorial: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).
- [43] Kuhler, J. L., PhD. (2013). *Electromyography*. Magill's Medical Guide (Online Edition).
- [44] D. Reig (28 de junio de 2018) Fisioterapia y electromiografía en patología neuromuscular. <https://www.clinicadanireig.com/fisioterapia-y-electromiografia-en-patologia-neuromuscular>



- [45] Multi-Channel Surface Electromyography Electrodes: A Review (2016). IEEE Sensors Journal, Sensors Journal, IEEE, IEEE Sensors J, (14), 5510.
- [46] M. J. Zwarts and D. F. Stegeman (2003). Multichannel surface EMG: Basic aspects and clinical utility, Muscle Nerve , vol. 28, no. 1, pp. 1-17.
- [47] Cianda, Alberto Melek, Nélide Oliveri, Nora Garcia, Horado. (1991). Electrooculograma de movimiento: técnica y metodología. Arquivos Brasileiros de Oftalmologia. 54. 10.5935/0004-2749.19910016.
- [48] Gila, L., Villanueva, A., Cabeza, R.. (2009). Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares. Anales del Sistema Sanitario de Navarra, 32(Supl. 3), 9-26.
- [49] Pons AM, Martínez FM (2004). Fundamentos de visión binocular. Valencia: Universidad de Valencia.
- [50] D. C. Mahecha Rojas (2008). Control de mouse a través de señales EOG y algoritmos de boosting. Trabajo de grado. Universidad de los Andes Bogota.
- [51] Teodiano Freire Bastosy, Daniel Cruz Cavalieriy, Mário Sarcinelli Filhoy, José M. Azorínz, Eduardo Iáñezz y Andrés úbedaz (2013). La Interacción de Personas con Discapacidad con el Computador: Experiencias y Posibilidades en Iberoamérica. Capítulo 5. Editorial: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).
- [52] E. Contreras Hernández (2021). Control electrónico de movimiento y posición del ojo. Tesis. Instituto Politecnico Nacional.
- [53] Ramírez-Pérez, V., Guerrero-Díaz-de-León, J.A., Macías-Díaz, J.E. On the detection of activity patterns in electromyographic signals via decision trees. Evol. Intel. (2023). <https://doi.org/10.1007/s12065-023-00844-0>
- [54] DF ROBT (20 de octubre de 2022). Voice Module Text to Voice Serial Port Control Electronic Building Block VoiceBox Pro Module. <https://wiki.dfrobot.com/GraviteSpeechSynthesisModuleSKUDFR>.