



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE GUANTE TRADUCTOR DE  
LAS VOCALES EN LENGUAJE DE SEÑAS

AUTOR

DANILO JOSÉ BARAHONA GUALLICHICO

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE GUANTE TRADUCTOR DE LAS  
VOCALES EN LENGUAJE DE SEÑAS.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Redes y  
Telecomunicaciones

Profesor Guía

Mg. Iván Ricardo Sánchez Salazar

Autor

Danilo José Barahona Guallichico

Año

2020

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Implementación de prototipo de guante traductor de las vocales en lenguaje de señas, a través de reuniones periódicas con el estudiante Danilo José Barahona Guallichico, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.



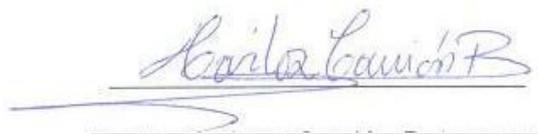
Iván Ricardo Sánchez Salazar

Magíster en calidad seguridad y ambiente

CI: 1803456142

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Implementación de prototipo de guante traductor de las vocales en lenguaje de señas, del Sr. Danilo José Barahona Guallichico, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

A handwritten signature in blue ink, reading "Carlos Enrique Carrión Betancourt", is written over a horizontal line. The signature is cursive and includes a large flourish at the end.

Carlos Enrique Carrión Betancourt

Master en Telecomunicaciones y Telemática

CI: 1103738074

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.



---

Danilo José Barahona Guallichico

CI: 1721637096

## **AGRADECIMIENTOS**

De ante mano a Dios por bendecirme y poner a mi lado personas que me han apoyado a culminar esta etapa de mi vida.

A la Universidad de las Américas y a todos los Ingenieros que tuve el placer de conocer, los mismos que me han enseñado lo necesario para poder alcanzar este objetivo.

A mi familia por nunca dejarme decaer, por darme su apoyo incondicional en todos los sentidos.

**Danilo José Barahona Guallichico**

## **DEDICATORIA**

A mi familia por enseñarme desde el inicio que con sacrificio se alcanzan las metas, sin perder jamás de vista los valores que desde pequeño me inculcaron.

A mi madre, la mujer que siempre estuvo a mi lado brindándome su apoyo incondicional, dándome ánimos cuando lo necesitaba y corrigiéndome cuando era necesario.

**Danilo José Barahona Guallichico**

## RESUMEN

En la actualidad, la tecnología es un enorme recurso del cual se puede disponer para mejorar las vidas de las personas. Sin embargo, existe un extenso grupo de personas que no cuentan con estas facilidades. Las personas con discapacidad forman parte de este grupo.

El presente proyecto tiene como objetivo principal diseñar un prototipo de guante traductor de lenguajes de señas, el mismo que con la ayuda de sensores conectados a los dedos obtendrá, analizará y representará los resultados de los gestos generados por el usuario a través de voz.

Las señales recibidas de los sensores pasarán por una etapa de acondicionamiento la misma que preparará las señales para poder ser tratadas en la etapa posterior (etapa de Procesamiento). Una vez que la información sea tratada se presentará al usuario a través de voz artificial mediante el uso de un parlante conectado a un módulo MP3.

La eficiencia del prototipo dependerá en su mayoría de que tan bien sean tratados los sensores físicamente, la manera de asegurar estos al guante es un aspecto primordial para que las lecturas sean eficientes y no haya falsos positivos.

Con este prototipo se pretende lograr una inserción de las personas discapacitadas a la sociedad, y su libre desenvolvimiento dentro de la misma. Lo que implica una mejor vida para este grupo de personas.

## **ABSTRACT**

Nowadays, technology is a huge resource that can be used to improve people's lives. However, there is an extensive group of people who do not have these facilities. People with disabilities are part of this group.

The main objective of this project is to design a prototype of a sign language translator glove, the same as with the help of sensors connected to the fingers, to analyze and represent the results of the gestures generated by the user through voice.

The signals received from the sensors will go through a conditioning stage which will prepare the signals to be treated in the later stage (processing stage). Once the information is processed, it will be presented to the user through artificial voice through the use of a speaker connected to an MP3 module.

The efficiency of the prototype will depend mostly on how well the sensors are treated physically, the way to guarantee these to the glove is a fundamental aspect so that the readings are efficient and there are no false positives.

With this prototype it is intended to achieve an insertion of disabled people into society, and their free development within it. Which implies a better life for this group of people.

## ÍNDICE

1. Capítulo I. Análisis de la problemática.....	1
1.1 Discapacidad Auditiva.....	1
1.2 Sordera.....	1
1.3 Persona Sorda .....	1
1.4 Lenguaje de Señas .....	1
1.5 Discapacidad en el Ecuador .....	2
1.5.1 Diccionario de Lenguaje de Señas Ecuatoriano.....	4
1.5.2 Alfabeto Dactilológico .....	5
1.6 Sistemas de Traducción y Sistemas de recopilación de datos .....	7
1.6.1 LESI .....	7
1.6.2 Showleap.....	8
1.6.3 Google Gesture .....	8
1.6.4 CyberGlove II.....	9
1.6.5 CyberGlove III.....	10
1.6.6 5DT Ultra Wireless Kit .....	10
1.6.7 5DT Data Glove Ultra y 5DT Data Glove 5 MRI .....	11
2. Capítulo II. Propuesta de Prototipo .....	12
2.1. Diagrama de bloques .....	13

2.2. Etapas del prototipo .....	14
2.2.1. Etapa de Adquisición .....	14
2.2.2. Etapa de Acondicionamiento .....	14
2.2.3. Etapa de Procesamiento de las Señales .....	15
2.2.4. Etapa de Resultados .....	15
2.3. Selección de dispositivos.....	15
2.3.1 Sensores .....	15
2.3.2 Selección del sensor.....	16
2.3.2.1 Sensor Flex .....	17
2.3.2.2 Acondicionamiento de la señal .....	19
2.3.2.3 Sensores de Contacto .....	20
2.3.2.4 Pulsadores .....	20
2.3.2.5 Resistencia Pull - Up .....	21
2.3.2.6 Resistencia Pull - Down .....	22
2.3.3 Tarjeta electrónica .....	22
2.3.3.1 Selección de la tarjeta electrónica.....	25
2.3.3.2 Arduino MEGA .....	26
2.3.4 Módulo sintetizador.....	27
2.3.4.1 Selección de sintetizador .....	27
2.3.4.2 Módulo MP3 – TF – 16P .....	27

2.4. Circuito Electrónico .....	29
2.4.1 Circuito I .....	30
2.4.2 Circuito II .....	31
2.4.3 Circuito III .....	32
2.4.4 Circuito IV .....	33
2.5. Alimentación del circuito .....	34
2.5.1 Circuito Serie de Baterías .....	35
2.6. Esquema de conexión del circuito electrónico de prueba ....	36
2.7. Placa de Circuito Impreso (PCB) para pruebas.....	37
2.8. Esquema de conexión del circuito electrónico final .....	38
2.9. Placa de Circuito Impreso (PCB) Final .....	39
3. Capítulo III. Obtención y Análisis de resultados.....	41
3.1. Prototipo I.....	41
3.1.1 Materiales .....	42
3.1.2 Muestras obtenidas Prototipo I .....	42
3.2. Prototipo II.....	44
3.2.1 Materiales .....	45
3.2.2 Muestras obtenidas Prototipo II .....	46

3.3. Prototipo III.....	48
3.3.1 Materiales.....	49
3.3.2 Muestras obtenidas Prototipo III .....	49
3.4. Prototipo IV .....	52
3.4.1 Materiales IV.....	53
3.4.2 Muestras obtenidas Prototipo IV .....	53
4. Capítulo IV. Periféricos de Salida.....	56
4.1 Monitor Serial .....	57
4.2 LCD 16x2 .....	58
4.2.1 Disposición de pines LCD 16x2 .....	59
4.2.2 Conexión LCD – Tarjeta electrónica .....	60
4.3 Speaker .....	61
4.3.1 Conexión speaker.....	62
5. Capítulo V. Implementación del Prototipo .....	62
5.1 Dimensiones del guante .....	62
5.2 Tipos de guantes.....	63
5.2.1. Guante de cuero grueso .....	64
5.2.1.1 Desventajas Guante cuero grueso .....	27
5.2.2. Guante de cuero fino .....	65

5.2.2.1	Desventajas guante cuero fino .....	27
5.2.3.	Guante de Nylon.....	66
5.2.3.1	Desventajas guante nylon .....	27
5.2.3.2	Ventajas guante nylon .....	27
5.3	Prototipo Final.....	67
5.4	Evolución prototipo final.....	67
5.4.1.	Problemas de sujeción de sensores .....	67
5.4.2.	Conexión sensores – tarjeta electrónica .....	70
5.5	Construcción prototipo final.....	72
5.5.1.	Materiales.....	72
5.5.2.	Circuito impreso.....	73
5.5.3.	Construcción prototipo .....	74
6.	Capítulo VI. Pruebas y Resultados.....	79
6.1.	Pruebas y Resultados Prototipo I .....	80
6.2.	Pruebas y Resultados Prototipo II .....	83
6.3.	Pruebas y Resultados Prototipo III .....	85
6.4.	Pruebas y Resultados Prototipo IV.....	89
7.	Conclusiones y Recomendaciones .....	92
7.1.	Conclusiones.....	92

7.2. Recomendaciones .....	95
REFERENCIAS .....	96
ANEXOS .....	99

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Personas con discapacidad auditiva y verbal por provincia .....	2
Tabla 2. Selección del sensor .....	16
Tabla 3. Comparativa de tarjeta electrónica .....	23
Tabla 4. Comparativa de tarjeta electrónica .....	24
Tabla 5. Asignación de pines Arduino Mega 2560 .....	25
Tabla 6. Selección de Módulo Sintetizador .....	27
Tabla 7. Corriente Circuito .....	34
Tabla 8. Disposición de los sensores sin flexión .....	43
Tabla 9. Valores Vocal "A" .....	43
Tabla 10. Valores Vocal "E" .....	43
Tabla 11. Valores Vocal "I" .....	43
Tabla 12. Valores Vocal "O" .....	44
Tabla 13. Valores Vocal "U" .....	44
Tabla 14. Disposición de los sensores sin flexión .....	46
Tabla 15. Valores Vocal "A" .....	46
Tabla 16. Valores Vocal "E" .....	46
Tabla 17. Valores Vocal "I" .....	47
Tabla 18. Valores Vocal "O" .....	47
Tabla 19. Valores Vocal "U" .....	48
Tabla 20. Disposición de los sensores sin flexión .....	49
Tabla 21. Valores Vocal "A" .....	50
Tabla 22. Valores Vocal "E" .....	50
Tabla 23. Valores Vocal "I" .....	50

Tabla 24. Valores Vocal “O” .....	51
Tabla 25. Valores Vocal “U” .....	51
Tabla 26. Disposición de los sensores sin flexión .....	53
Tabla 27. Valores Vocal “A” .....	54
Tabla 28. Valores Vocal “E” .....	54
Tabla 29. Valores Vocal “I” .....	55
Tabla 30. Valores Vocal “O” .....	55
Tabla 31. Valores Vocal “U” .....	56
Tabla 32. Pruebas funcionamiento Prototipo I.....	103
Tabla 33. Pruebas funcionamiento Prototipo II.....	104
Tabla 34. Pruebas funcionamiento Prototipo III.....	106
Tabla 35. Pruebas funcionamiento Prototipo IV .....	108

## **1. Capítulo I. Análisis de la problemática**

### **1.1 Discapacidad Auditiva**

Se trata de personas que poseen sordera total o parcial, de uno o ambos oídos lo que impide un libre desenvolvimiento con su entorno.

### **1.2 Sordera**

Dificultad al usar el sentido del oído por motivos de poseer sordera total o parcial, la cual puede afectar de manera unilateral o bilateral a los oídos.

### **1.3 Persona Sorda**

Según la Federación Nacional de Sordos de Ecuador, “la persona Sorda se define ante todo como un ser visual que incorpora el lenguaje apoyándose en la visión (señas, grafía, lectura de labios, dactilología) y que se vale de distintos códigos para almacenar la información en su memoria (códigos fonológicos, manuales kinestésicos, etc.)”. FENASEC, 2019.

Entonces diremos que las personas Sordas son aquellas que interiorizan la lengua de señas como su idioma natural con el objetivo de integrarse a la comunidad como una persona discapacitada. CONADIS, 2019.

### **1.4 Lenguaje de Señas**

El lenguaje de señas es el lenguaje utilizado por personas sordas y mudas. Es una combinación de formas y movimientos formados por las diferentes partes del cuerpo. Estas partes incluyen cara y manos. El área de ejecución de los movimientos puede ser desde muy por encima de la cabeza hasta el nivel del cinturón. Un gesto en un lenguaje de señas es un movimiento particular de las manos con una forma específica hecha de ellas. Las expresiones faciales

también cuentan para el gesto, al mismo tiempo. Una postura, por otro lado, es una forma estática de la mano para indicar un signo. Un lenguaje de señas generalmente proporciona signos para palabras enteras. También proporciona signos que representan cada una de las letras las que se usan para interpretar palabras que no tienen una seña correspondiente en ese lenguaje de signos. Entonces, aunque las oraciones se pueden hacer usando los signos de las letras, actuar con signos de palabras es más rápido.

### 1.5 Discapacidad en el Ecuador

Según información rescatada de las estadísticas del CONADIS en Ecuador existen 455.829 personas discapacitadas, de las cuales 66.349 personas tienen discapacidad auditiva y verbal lo que equivale a 14.09% de la población total. CONADIS, 2019.

En la tabla 1. Podemos apreciar el número de personas con discapacidad auditiva y verbal por provincias, notando que la provincia con menos personas discapacitadas es Galápagos y las provincias con mayor cantidad de personas discapacitadas son Pichincha y Guayas.

Tabla 1.

*Personas con discapacidad auditiva y verbal por provincia*

<b>Provincia</b>	<b>Personas</b>
<b>Azuay</b>	3.850
<b>Bolivar</b>	1.546
<b>Cañar</b>	1.274
<b>Carchi</b>	1.101
<b>Chimborazo</b>	3.501
<b>Cotopaxi</b>	2.370
<b>El Oro</b>	2.254
<b>Esmeraldas</b>	1.667
<b>Galápagos</b>	87

<b>Guayas</b>	14.114
<b>Imbabura</b>	3.155
<b>Loja</b>	2.041
<b>Los Ríos</b>	2.241
<b>Manabí</b>	4.479
<b>Morona Santiago</b>	703
<b>Napo</b>	635
<b>Orellana</b>	858
<b>Pastaza</b>	507
<b>Pichincha</b>	12.293
<b>Santa Elena</b>	1.411
<b>Santo Domingo de los Tsachilas</b>	1.492
<b>Sucumbios</b>	785
<b>Tungurahua</b>	3.425
<b>Zamora Chinchipe</b>	560

Tomado de (CONADIS, 2019)

De esta manera CONADIS pone al alcance de todos, las estadísticas acerca de las personas con discapacidad, su estudio estadístico se realizó en base a las siguientes tres consideraciones esenciales:

- Grado de discapacidad, de 30 a 49 % hipoacusia leve, 50 a 74% hipoacusia moderada, 75 a 84 % hipoacusia severa y 85 a 100 % hipoacusia profunda considerada como sordera. Tal como lo indica la Figura 1.
- Edad y Género, se considera pertinente realizar un análisis de la información tomando en cuenta la edad y género ya que de esta manera se puede establecer normativas para evitar la discriminación de este gran grupo de personas e incentivar la inclusión de estas en la sociedad. Figura 2, Figura 3.

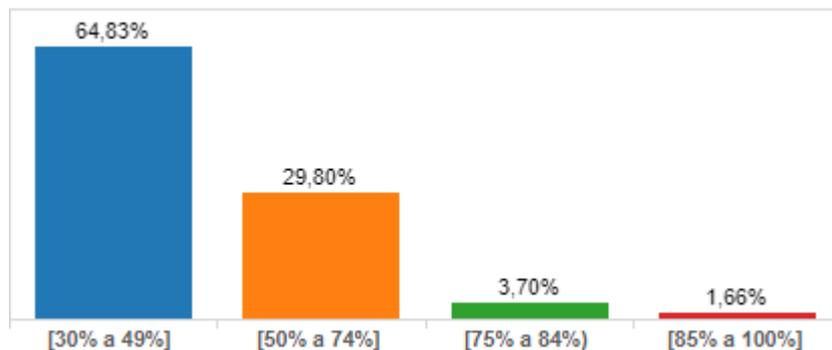


Figura 1. Grado de discapacidad.

Tomado de (CONADIS, 2019).

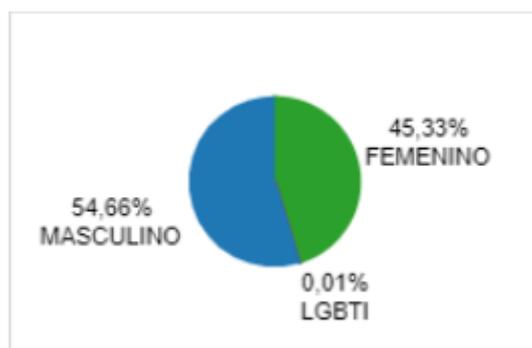


Figura 2. Personas con discapacidad visual y verbal por género.

Tomado de (CONADIS, 2019).

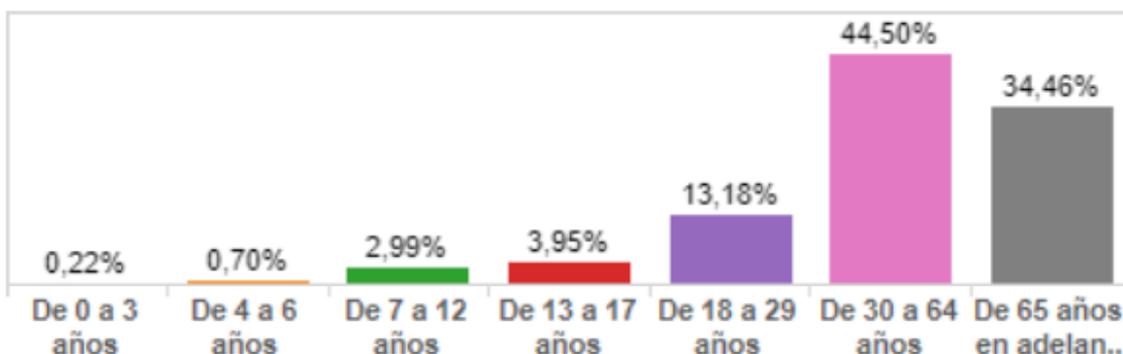


Figura 3. Personas con discapacidad visual y verbal por edad.

Tomado de (CONADIS, 2019).

### 1.5.1 Diccionario de Lenguaje de Señas Ecuatoriano

En Ecuador han existido tres versiones de diccionarios de este lenguaje. El primero fue publicado por la Asociación de Personas Sordas de Pichincha

“ASOP” en el año de 1987 como resultado del proyecto llamado “Mano a Mano”. Después, con el auspicio de la Vicepresidencia de la República fue publicada la versión oficial del Diccionario del Lenguaje de Señas Ecuatoriano el mismo que contenía al menos 4000 símbolos y señas.

Por último, gracias a un convenio entre la Universidad Tecnológica Indoamérica y el CONADIS, se publicó en línea el primer “Diccionario Virtual de Lengua de Señas Ecuatoriano Gabriel Román” en el año 2014. SordosEcuador, 2019.

### 1.5.2 Alfabeto Dactilológico

Las personas con discapacidad auditiva y verbal usan señas como lenguaje nativo, estas personas emplean un grupo de señas realizadas con las manos y la posición de los dedos que representan para ellos el alfabeto con el que pueden representar palabras enteras, esto se conoce como alfabeto dactilológico el que consta de 30 señas en total, las mismas que se representan en la Figura 4.

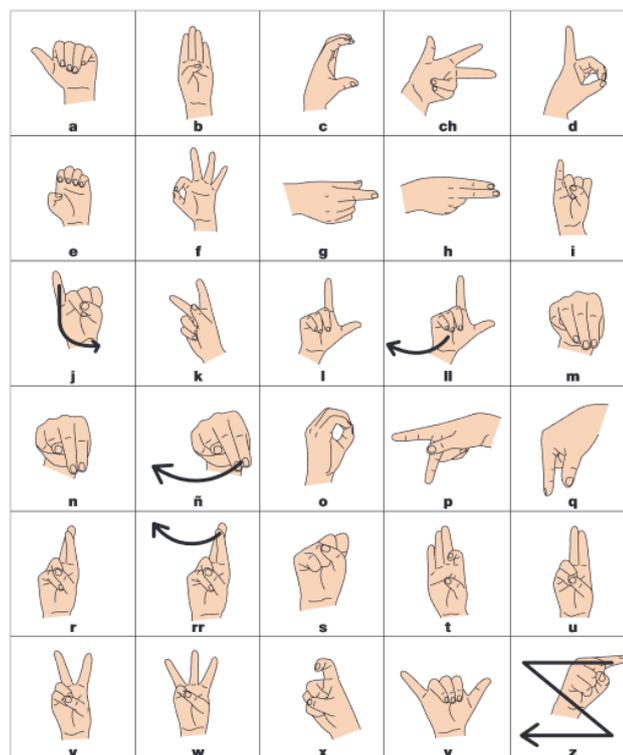


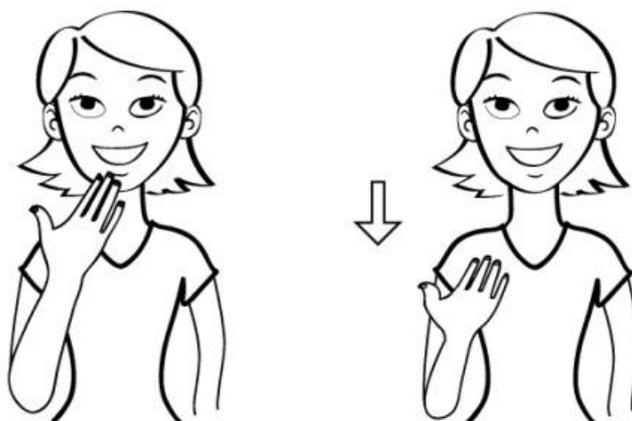
Figura 4. Alfabeto Dactilológico.

Tomado de (turismoaccesibleec, 2019).

Es necesario mencionar que, dependiendo del origen del lenguaje, las señas pueden ser representadas de manera diferente, sin embargo, en este caso se usarán las vocales las mismas que no sufren variación.

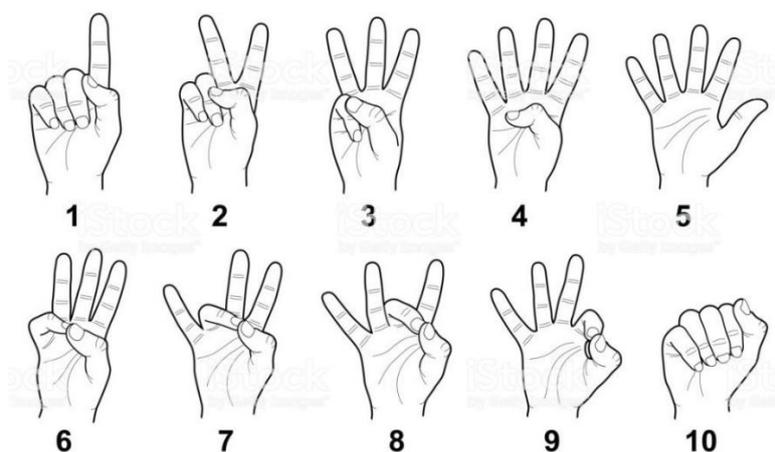
Como se lo expuso con anterioridad el lenguaje de señas a fin de otorgar facilidad de comunicación y de uso del mismo permite no solo formar palabras letra por letra, sino que permite crear palabras predefinidas y representadas con tan solo un gesto que combina el movimiento de manos, dedos, cabeza y rostro. Figura 5.

Así también es evidente que fuese posible representar los números naturales, dependiendo del origen del lenguaje de señas, los números pueden variar en su representación. En la Figura 6. Se puede apreciar la manera de representar los números en el Lenguaje de Señas Ecuatoriano.



*Figura 5.* Representación de la palabra “gracias” en lenguaje de señas.

Tomado de (sindromedownloadmundo, 2012).



*Figura 6.* Representación de los números naturales en lenguaje de señas. Tomado de (istockphoto, sf).

## 1.6 Sistemas de Traducción y Sistemas de recopilación de datos

En el siguiente apartado se describen algunos prototipos de traducción de lenguaje de señas que usan diferentes tecnologías y que de alguna manera se relacionan con el desarrollo de este proyecto.

### 1.6.1 LESI

LESI es un prototipo de traductor de lenguaje de señas que gracias al manejo de Leap Motion ha permitido crear una interfaz de traducción automática de este tipo de lenguaje. El usuario para lograr la traducción debe colocarse delante del ordenador en el cual se encuentra este sensor.

El traductor no necesita ningún tipo de guantes o artefactos especiales debido a que el sensor capta el movimiento en un espacio tridimensional. Por el momento no existe una versión portátil de este prototipo, sin embargo, su creador está trabajando para hacer realidad esto. Youtube, 2019.

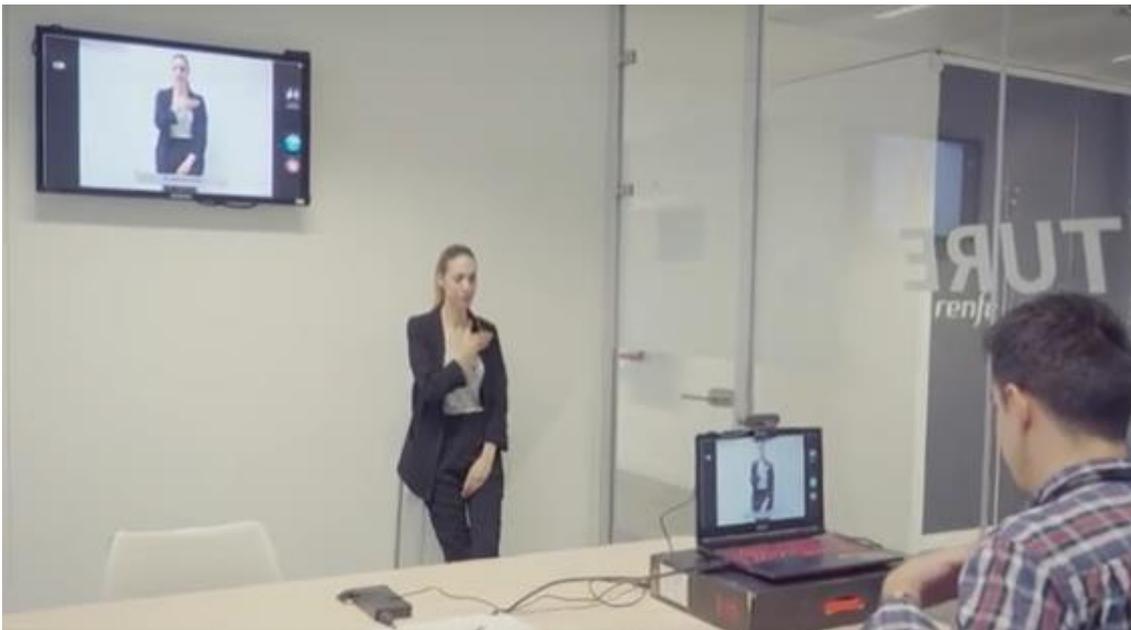


*Figura 7.* Demostración de funcionamiento Prototipo LESI.

Tomado de (youtube, 2019).

### 1.6.2 Showleap

ShowLeap es un prototipo de traductor de lenguaje de señas, este prototipo utiliza diferentes redes neuronales para captar los signos, comprender y cambiar su estructura a la del lenguaje oral. Showleap, 2019.



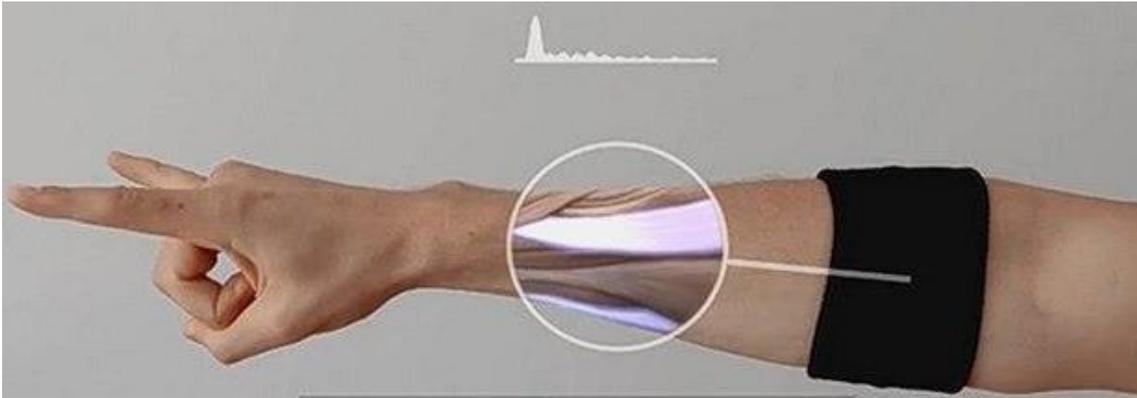
*Figura 8.* Demostración de funcionamiento ShowLeap.

Tomado de (showleap, 2019).

### 1.6.3 Google Gesture

Google Gesture es un traductor del lenguaje de señas que actúa cuando el usuario se coloca dos brazaletes electrónicos en los antebrazos, los mismos que recogen información de la actividad muscular de los brazos y la transmite vía inalámbrica a un teléfono móvil que expresa los resultados obtenidos a través de su parlante.

La información es procesada a través de un software instalado en el dispositivo inteligente.



*Figura 9.* Funcionamiento de Google Gesture.

Tomado de (computerhoy, sf).

#### **1.6.4 CyberGlove II**

Es un prototipo que tiene varios campos de trabajo que van desde la evaluación de prototipos digitales hasta biomecánica de realidad virtual. En este caso puntual hablaremos de su aplicación como traductor de lenguaje de señas, está construido en base de diferentes sensores que permiten captar información del movimiento de los dedos, muñeca y brazo en un espacio tridimensional. Cyberglovesystems, 2019.



*Figura 10.* CyberGlove II.

Tomado de (cyberglovesystems, 2019).

### **1.6.5 CyberGlove III**

CyberGlove III es una mejora a su predecesor, ya que este prototipo adiciona comunicación inalámbrica para la transmisión de datos y aumenta la capacidad de almacenamiento de los mismos. Lo que permite al sistema almacenar mayor cantidad de información y por ende hacer del CyberGlove III un prototipo más efectivo y preciso. Cyberglovesystems, 2019.



*Figura 11.* CyberGlove III

Tomado de (cyberglovesystems, 2019).

### **1.6.6 5DT Ultra Wireless Kit**

Esta tecnología consta de dos guantes que recogen información del movimiento de las manos y dedos, generalmente usados para la animación en tiempo real. Sin embargo, su uso puede ir más allá aplicándose en otras instancias: salud, entretenimiento y comunicación entre otras.

Dependiendo su aplicación se podrá aprovechar la eficiencia de los datos que recoge y enviados a través de manera inalámbrica para darle su respectivo tratamiento. 5dt, 2019.



*Figura 12.* 5DT Ultra Wireless KIT

Tomado de (5dt, 2004).

### **1.6.7 5DT Data Glove Ultra y 5DT Data Glove 5 MRI**

La compañía 5DT especializada en soluciones de realidad virtual y animación de objetos, con el afán de mejoramiento continuo y con la finalidad de satisfacer todas las necesidades del mercado. Lanza dos versiones de sus guantes Figura 13. y Figura 14. La diferencia entre las dos versiones radica en su manera de tratar los datos y la cantidad de sensores flex que estos poseen, lo que implica mayor certeza en la recolección de datos. 5dt, 2019.



*Figura 13.* Data Glove Ultra.

Tomado de (5dt, 2004).



*Figura 14.* Data Glove 5 Ultra MRI.

Tomado de (5dt, 2004).

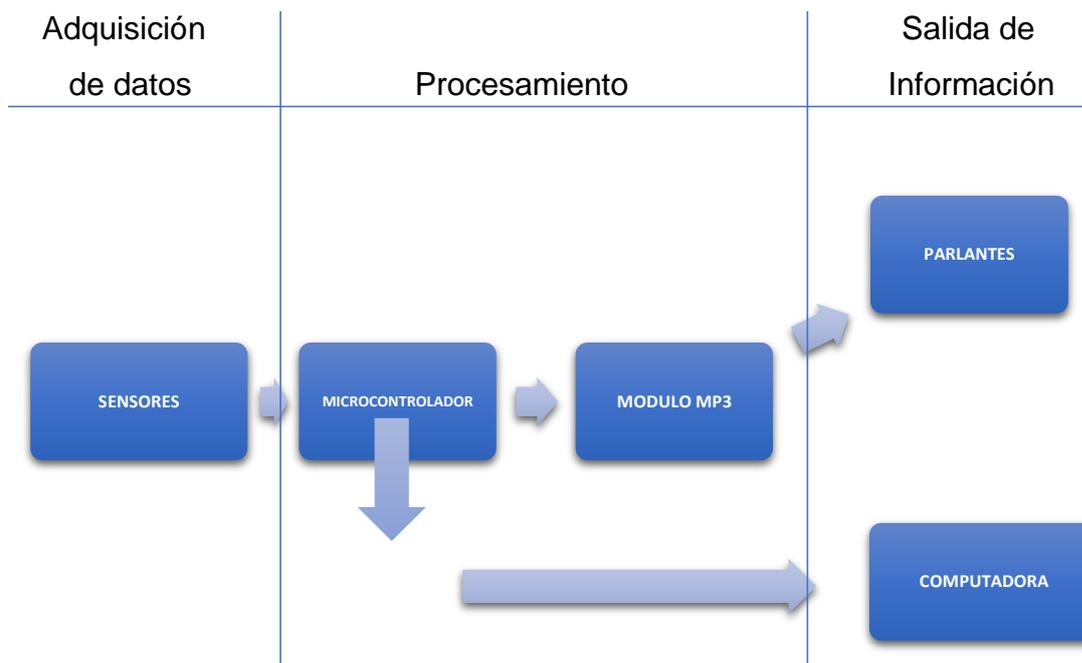
## **2. Capítulo II. Propuesta de Prototipo**

Hoy en día, existen variedad de tecnologías de traducción que son creadas con la finalidad de incluir a las personas con discapacidad auditiva y verbal dentro de la sociedad, estos desarrollos varían dependiendo del fabricante, usan diferentes dispositivos para la traducción e incluso lo complementan con aplicaciones móviles.

Siguiendo este hilo se propone la creación de un prototipo de guante traductor que captará señales resultado del movimiento de la mano, las procesará y entregará resultados al usuario a través de un parlante mediante voz.

Para cumplir el objetivo de traducir los gestos de la mano derecha en vocales se plantea usar un guante adaptado con 5 sensores flexibles que detectarán la posición de los dedos al representar cada una de las vocales

## 2.1. Diagrama de bloques



*Figura 15.* Diagrama de bloques Guante traductor.

En la Figura 15. se muestra un diagrama de bloques general del funcionamiento del prototipo propuesto para esta tesis.

La información será generada por las lecturas de los sensores y posteriormente enviadas al microcontrolador, quién será el encargado de procesarlas y adaptarlas, para enviarlas al módulo MP3. Las mismas que serán presentadas a través de un parlante al usuario. Por otro lado, existirá una línea de pruebas que

permitirá la conexión del prototipo con un computador con la finalidad de mantenimiento y monitoreo.

## 2.2. Etapas del prototipo

En la Figura. 16 se indican las cuatro etapas, las cuales conforman el prototipo:

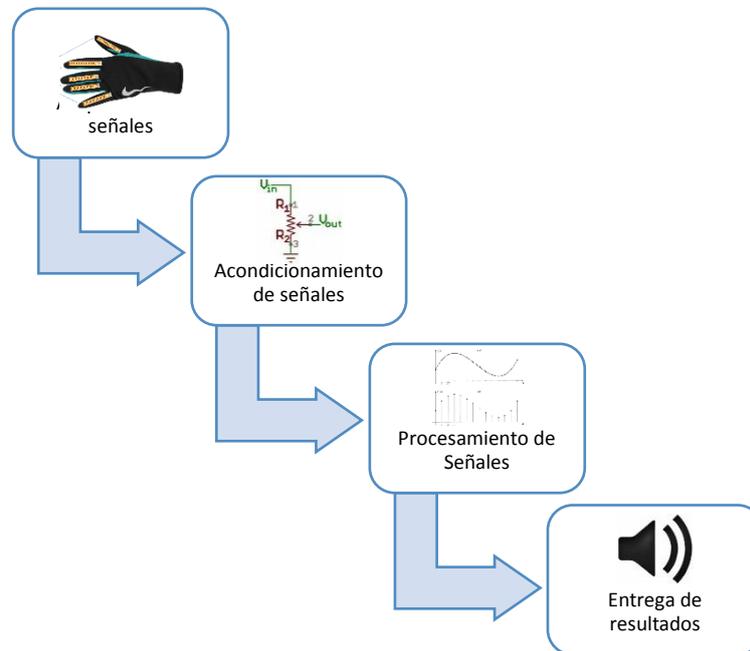


Figura 16. Etapas Guante Traductor.

### 2.2.1. Etapa de Adquisición

Esta etapa se encarga de recibir la información de los gestos generados por el usuario con su mano derecha resultantes de la posición de cada uno de los dedos al momento de representar las vocales del lenguaje dactilológico. Esto con la ayuda de sensores flexibles conectados a cada uno de los dedos.

### 2.2.2. Etapa de Acondicionamiento

Esta etapa es previa a la etapa de procesamiento, ya que es necesario acondicionar las señales recibidas en la etapa de traductor a señales eléctricas,

con la finalidad de formatear la señal para su debido procesamiento en la siguiente etapa.

### **2.2.3. Etapa de Procesamiento de las Señales**

En esta etapa el microcontrolador se encarga de recibir las señales acondicionadas y darle sus debido tratamiento y procesamiento con la ayuda de programación realizada en el software de ordenador Arduino. Además, en esta etapa realizamos la comunicación con el módulo MP3 para reproducir y enviar los datos hacía la siguiente etapa.

### **2.2.4. Etapa de Resultados**

En esta etapa las señales acondicionadas y procesadas son presentadas a los usuarios a través de diferentes dispositivos de salida. Esto dependerá de la forma de presentar los resultados que pueden ser: audio, texto o ambos. Este prototipo representará los resultados a través de:

- **Dispositivo:** Las vocales se reproducen mediante un parlante conectado con el módulo MP3.
- **Laptop:** Es posible la conexión de la computadora y el prototipo a través de usb, esto con la finalidad de realizar mantenimiento y pruebas de funcionamiento del prototipo. Es decir, no será un componente permanente dentro de esta propuesta.

## **2.3. Selección de dispositivos**

### **2.3.1 Sensores**

Para poder obtener información de la ubicación de los dedos al realizar los gestos de las vocales con las manos el sistema requiere el uso de sensores, así

como es necesario disponer de sensores que detecten la unión de algunos dedos para realizar un análisis más preciso y representación más exacta. Es así como, en la Tabla 1. se ha evaluado las características de algunos de ellos para determinar cuál es el adecuado para la construcción de prototipo.

Tabla 2.

*Selección del sensor*

<b>Tipos de Sensores</b>	<b>Galgas Extensiométricas</b>	<b>Sensor Flex</b>	<b>Líneas de posición LVDT</b>	<b>De Contacto</b>
<b>Tipo de salida</b>	Analógica	Analógica	Analógica o digital	Digital
<b>Magnitud</b>	Resistivo	Resistivo	Analógica o Digital	-
<b>Voltaje de entrada</b>	5 a 24 V	5 a 12 V	Voltaje de corriente alterna	Opera con voltaje continuo o alterno
<b>Corriente de Salida</b>	-	0 a 66 mA	-	1 uA a 100 mA
<b>Voltaje de Salida</b>	Depende del tipo de sensor	Voltaje máximo: 7.5 v	0 a 15 Vac 1 a 5 Vac 0 a 10 Vac -10 a 10 Vac -5 a 5 Vac	250 V para AC o DC
<b>Temperatura de trabajo</b>	-45 a 200 °C	-35 a 80 °C	-	-

**2.3.2 Selección del sensor**

Después de analizar las características de los sensores expuestos en la tabla 2. Se ha determinado que los sensores adecuados para la construcción del prototipo son: sensores flex y sensores de contacto los mismos que pueden ser

reemplazados por pulsadores. Para esta elección se han considerado algunos parámetros:

**Dimensión:** los sensores flex miden 11,57 cm de largo y 0,6 cm de ancho, característica esencial ya que se ajustan perfectamente al guante que se empleará.

Los sensores de contacto pueden fabricarse artesanalmente por lo que, se podrán fabricar los necesarios bajo características requeridas por el prototipo. En el caso de usar pulsadores serían adecuados al adherirlos al prototipo en los lados de los dedos.

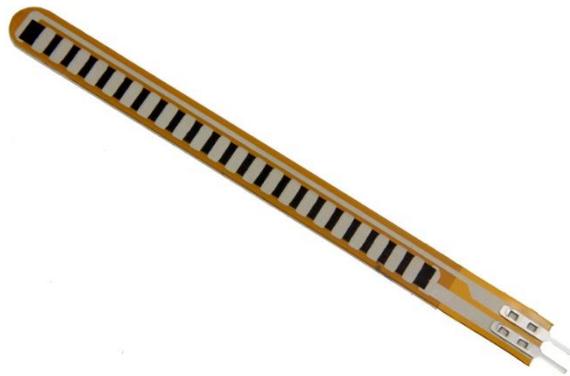
**Flexibilidad:** los sensores flex permiten deformar su estado al realizar movimientos y luego regresar a su posición original. Voltaje de entrada: el sensor flex trabaja en un rango de voltaje de entre 5 a 12 [V], rango adecuado para trabajar con la alimentación de 5 [V] que proporción la tarjeta electrónica.

**Tipo de salida:** adecuado para manejarla en la tarjeta electrónica, en cada uno de los puertos analógicos que esta posee.

Los sensores de contacto o pulsadores enviarán señales digitales al momento de estar en funcionamiento se enviará un [1], caso contrario enviará un estado de [0].

**Vida útil:** el sensor tiene capacidad de realizar hasta 1'000000 de movimientos tomando las protecciones adecuadas, ya que si no se toma las medidas necesarias podrían llegar a romperse por esfuerzos mecánicos.

### 2.3.2.1 Sensores Flex

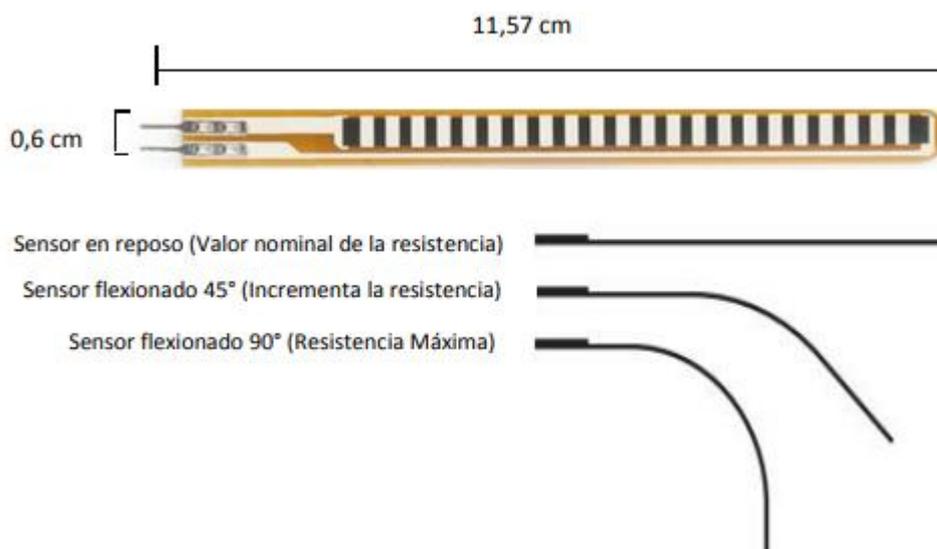


*Figura 17. Sensor Flex.*

Tomado de (centrado-tech, sf).

Son resistencias analógicas que asemejan su funcionamiento a divisores de tensión analógicos variables. Este tipo de sensores producen una resistencia variable en función a la curvatura que sufra dicho sensor.

En condiciones perfectas el sensor tendría el comportamiento indicado en la Figura 18.



*Figura 18. Funcionamiento Sensor Flex.*

Adaptado de (rambal, sf).

### 2.3.2.2 Acondicionamiento de la señal

Para realizar el proceso de acondicionamiento de las señales se ha elegido utilizar un divisor de tensión en la salida de los sensores colocados en cada uno de los dedos, este tipo de circuito acondicionador es el más común en aplicaciones con sensores y microcontroladores. Además, que nos permitirá obtener una variación mucho más precisa para cada uno de los sensores.

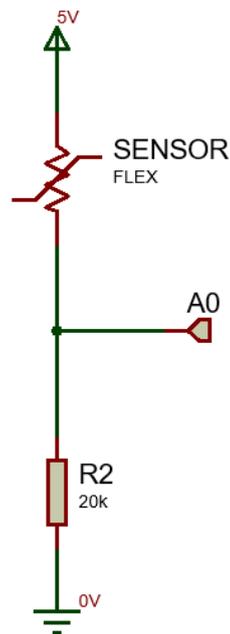


Figura 19. Divisor de tensión

En la figura 19. Se puede observar el circuito acondicionador, el cual consta de una resistencia R1 y el sensor flex que actúa como resistencia variable. El valor de la resistencia R1 es calculado a través de la siguiente fórmula:

$$V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2} V_{in}$$

**(Ecuación 1)**

En donde:

$$V_{out} = \text{Voltaje de salida} \quad 3,3 [V]$$

$$V_{in} = \text{Voltaje de entrada} \quad 5 [V]$$

$$R1 = \text{Resistencia del sensor}$$

$R2 = \text{Resistencia Desconocida} \quad [\Omega]$

Despejando R2 de Ecuación 1.

$$V_{out}(R1 + R2) = V_{in}(R2)$$

$$V_{out}(R1) + V_{out}(R2) = V_{in}(R2)$$

$$V_{out}(R1) = V_{in}(R2) - V_{out}(R2)$$

$$V_{out}(R1) = R2(V_{in} - V_{out})$$

$$R2 = \frac{V_{out}(R1)}{V_{in} - V_{out}}$$

**(Ecuación 2)**

Reemplazando valores en ecuación 2.

$$R2 = \frac{(3.3 [V])(10 [K\Omega])}{5 [V] - 3.3 [V]}$$

$$R2 \approx 20 [K\Omega]$$

Con el cálculo de esta resistencia se pudo avanzar con el siguiente paso en la construcción del prototipo.

### **2.3.2.3 Sensores de Contacto**

Son considerados los dispositivos más simples que se puede encontrar en la familia de los sensores, actúan como interruptores que se activan o desactivan cuando se encuentran en contacto o no con un objeto.

### **2.3.2.4 Pulsadores**

Existen dos tipos de pulsadores, normalmente abiertos y normalmente cerrados. El funcionamiento de los pulsadores, interruptores o switches básicamente se

trata en dejar pasar u obstaculizar el flujo de corriente eléctrica al ser presionados.



Figura 20. Pulsadores

### 2.3.2.5 Resistencia Pull – Up

En la figura 21, se indica el circuito de conexión Pull-Up, cuando se usa este tipo de conexión el pulsador en estado de reposo envía un 1 lógico a la entrada del arduino y cuando es presionado envía un 0 lógico.

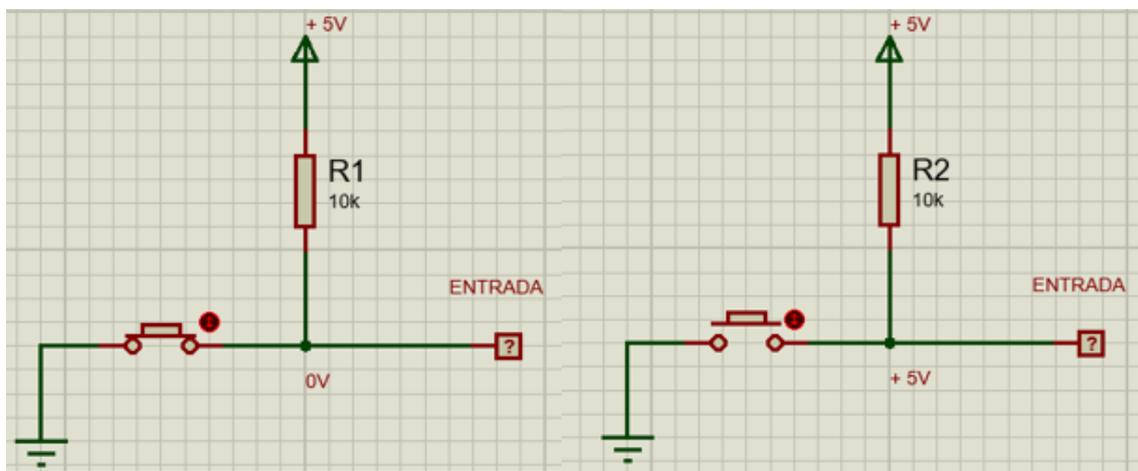


Figura 21. Resistencia Pull-Up

### 2.3.2.6 Resistencia Pull – Down

En la figura 22, se indica el circuito de conexión Pull-Down, cuando se usa este tipo de conexión el pulsador en estado de reposo envía un 0 lógico a la entrada del arduino y cuando es presionado envía un 1 lógico.

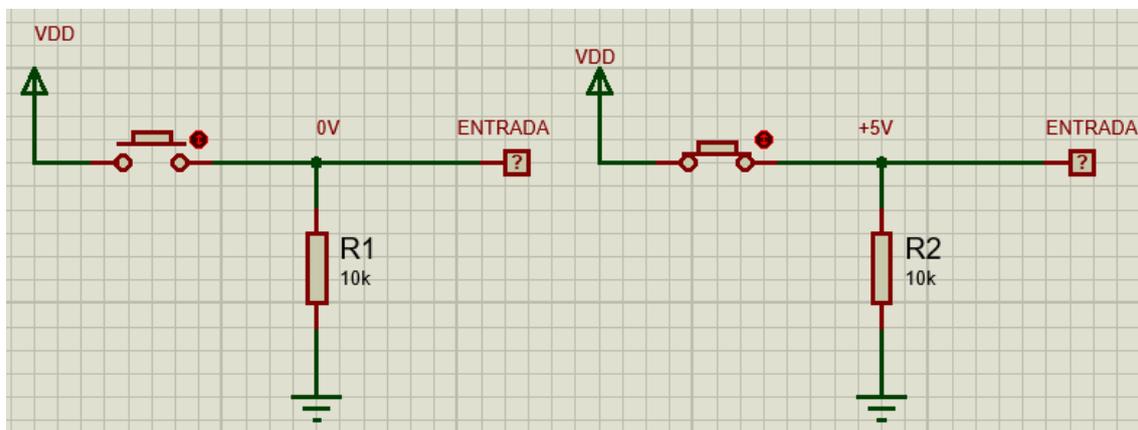


Figura 22. Resistencia Pull-Down

### 2.3.3 Tarjeta electrónica

En la Tabla 3 y 4. se evaluó entre diferentes tipos de tarjetas electrónicas para seleccionar la más adecuada para el prototipo propuesto.

Tabla 3.

*Comparativa de tarjeta electrónica*

	<b>ARDUINO UNO</b>	<b>ARDUINO MEGA2560</b>	<b>ARDUINO NANO</b>	<b>ARDUINO YUN</b>	<b>ARDUINO LEONARDO</b>
<b>Microcontrolador</b>	Atmega328	Atmega2560	Atmega328	Atmega 32u4	Atmega 32u4
<b>Tensión de funcionamiento</b>	5 voltios	5 voltios	5 voltios	5 voltios	5 voltios
<b>Voltaje de entrada recomendando</b>	7-12 voltios	7-12 voltios	7-12 voltios	5 voltios	7-12 voltios
<b>Voltaje de entrada límite</b>	20 voltios	6-20 voltios	6-20 voltios	5 voltios	6-20 voltios
<b>Pines de entrada/salida digitales</b>	14 de los cuales 6 proporcionan salida PWM	54 de los cuales 15 proporcionan salida PWM	14 de los cuales 6 proporcionan salida PWM	20 de los cuales 7 proporcionan salida PWM	20 de los cuales 7 proporcionan salida PWM
<b>Pines de entrada analógicos</b>	6	16	8	12	12
<b>Corriente DC por pin de entrada/salida</b>	40Ma	40mA	40mA	40mA	40 mA
<b>Corriente DC del pin de 3.3 Voltios</b>	50mA	50mA	50mA	50mA	50mA
<b>SRAM</b>	2 KB de memoria flash	256 KB de memoria flash	32 KB de memoria flash	2,5 KB	2,5 KB
<b>EEPROM</b>	1 KB	4 KB	1 KB	1 KB	1 KB
<b>Velocidad de reloj</b>	16 MHz	16MHz	16MHz	16 MHz	16 MHz

Tabla 4.

*Comparativa de tarjeta electrónica*

CARACTERÍSTICAS	ARDUINO MICRO	ARDUINO ETHERNET	ARDUINO FIO	ARDUINO ROBOT	ARDUINO LILYPAD
<b>Microcontrolador</b>	Atmega32u4	Atmega328	Atmega328P	Atmega 32u4	Atmega 128V-328V
<b>Tensión de funcionamiento</b>	5 voltios	5 voltios	3.3 voltios	5 voltios	2.7 a 5.5 voltios
<b>Voltaje de entrada recomendando</b>	7-12 voltios	7-12 voltios	3,7-7 voltios	5 voltios	2.7 a 5.5 voltios
<b>Voltaje de entrada límite</b>	6-20 voltios	6-20 voltios	3,35-12 voltios	5 voltios	2.7 a 5.5 voltios
<b>Pines de entrada/salida digitales</b>	12 y 5 proporcionan salida PWM	14 y 4 proporcionan salida PWM	14 y 6 proporciona salida PWM	5 y 6 proporcionan salida PWM	14 de los cuales 6 son salida PWM
<b>Pines de entrada Analógicos</b>	4	6	16	4 de los pines de E/S	6
<b>Memoria Flash</b>	32 KB	32 KB	32 KB (2KB arranque)	32 KB ( 4Kb arranque)	16 KB (2 KB arranque)
<b>SRAM</b>	2,5 KB	2 KB	2 KB	2,5 KB	1 KB
<b>EEPROM</b>	1 KB	4 KB	1 KB	1 KB	512 bytes
<b>Velocidad de reloj</b>	16 MHz	16 MHz	8 MHz	16 MHz	8 MHz

### 2.3.3.1 Selección de la tarjeta electrónica

En vista de la cantidad de tarjetas electrónicas existentes se ha realizado la debida comparación. Para este proyecto se seleccionó la tarjeta Arduino Mega 2560 basándose en:

**Alimentación:** los métodos de alimentación de esta tarjeta son dos: mediante USB o conexión externa de 5 [V].

**Memoria:** da la posibilidad de almacenar código en su memoria flash de 256 KB.

**Compatibilidad:** es compatible con la mayoría de módulos y librerías disponibles.

**Entradas y Salidas:** esta tarjeta cuenta con 54 entradas/salidas digitales, además de 16 entradas analógicas con una resolución de 1024 bits.

**Utilidad:** esta tarjeta es usada en proyectos de domótica lo que nos indica que se puede llegar a dar mucha más utilidad de la de este proyecto ayudando así al aumento del alcance para futuros cambios o propuestas sobre el diseño.

**Dimensiones:** por sus medidas es fácil de adaptar esta placa al circuito propuesto ya que ayudará para el diseño estético del proyecto.

En la Tabla 5. Se describen la asignación de pines de la tarjeta electrónica.

Tabla 5.

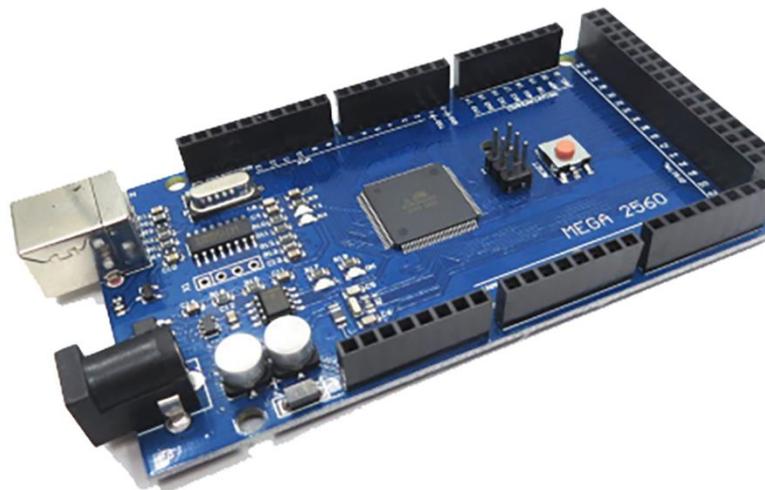
*Asignación de pines tarjeta Electrónica*

ASIGNACIÓN DE PINES		
DISPOSITIVO	ARDUINO MEGA 2560	
	TIPO DE PIN	PIN
<b>Sensores Flexibles</b>	Analógico	A0-A4

<b>Módulo MP3</b>	Digital	D18-D19
<b>Sensores de Contacto</b>	Digital	30, 32, 34 y 36

### 2.3.3.2 Arduino MEGA

Arduino Mega dispone de 54 pines digitales que trabajan como Input/Output de las cuales 15 pueden ser usadas como salida PWM (Modulación por ancho de pulso); 16 entradas análogas, una conexión USB, un pulsador de reinicio, un cristal oscilador de 16 MHz y una entrada para la alimentación de la tarjeta. Esta placa dispone de un microcontrolador ATmega2560 y puede ser compatible con la totalidad de las shields para Arduino Uno.



*Figura 23.* Arduino MEGA.

Tomado de (elarduino, 2019).

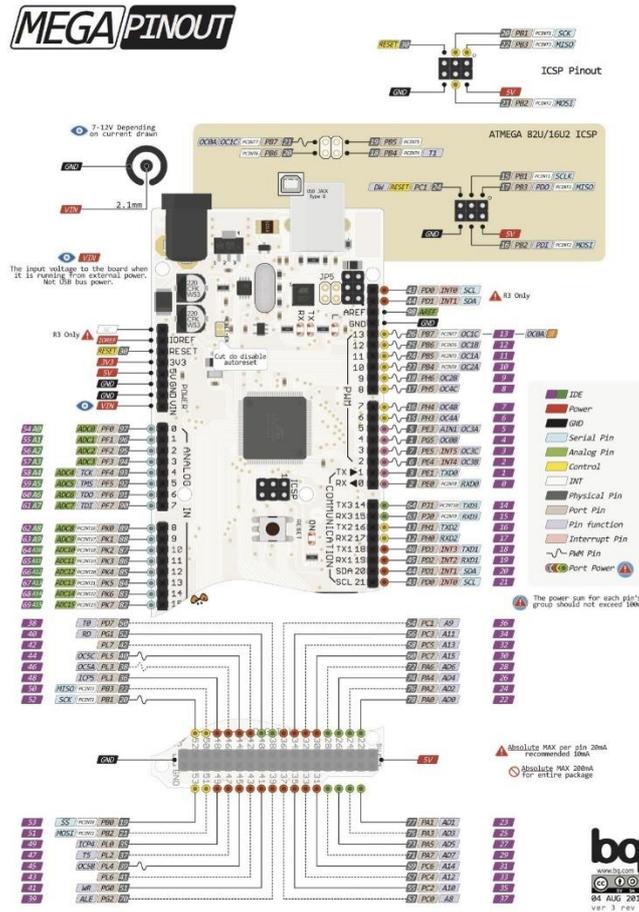


Figura 24. Distribución de pines Arduino MEGA 2560. Tomado de (elarduino, 2019).

En la figura 24. Se indica la distribución de pines disponibles en la placa seleccionada, la misma que sirvió de guía para la elección de puertos del prototipo.

### 2.3.4 Módulo sintetizador

En la Tabla 6. Se indican ciertas características de algunas opciones de módulos sintetizadores de voz para presentar los resultados a los usuarios.

Tabla 6.

#### Selección de Módulo Sintetizador

<b>MODULOS:</b>	<b>TTS256</b>	<b>EMIC2 SHIELD</b>	<b>Módulo MP3</b>
<b>Voltaje de operación</b>	5 [V]	5 [V]	5 [V]
<b>Dimensiones</b>	10 mm x 35 mm	32 mm x 40mm	10 mm x 35 mm
<b>Voces Configurables</b>	No	Si	-
<b>Idiomas</b>	Ingles	Inglés y Español	-
<b>Jack de 3.4 mm</b>	No	Si	No
<b>Comunicación</b>	<b>Serial</b>	<b>Serial</b>	Digital

#### 2.3.4.1. Selección de sintetizador

Se ha seleccionado para este prototipo trabajar con el módulo MP3 bajo las siguientes consideraciones:

**Dimensiones:** es un módulo cuyas dimensiones permiten acoplarlo al diseño del guante de manera sencilla.

**Idioma:** al ser un módulo MP3 podemos usar cualquier idioma ya que este reproducirá el mensaje sin importar cuál sea.

**Voces Configurables:** es posible configurar las voces deseadas ya que este módulo permite realizar grabaciones configurables.

**Comunicación:** la comunicación es serial por tal motivo se podrá acoplar sin ningún problema en los pines destinados en la tarjeta electrónica.

#### 2.3.4.2. Módulo MP3 - TF - 16P

Se le conoce con los nombres de DS Player Mini o DFPlayer Mini, es un módulo de tamaño reducido que permite con la ayuda de otros dispositivos construir un MP3 pequeño.

Este módulo necesita de una tarjeta micro SD para poder reproducir archivos de audio. Es necesario que la memoria tenga un formato FAT32 para que sea compatible con el módulo y tiene capacidad de manejar 100 carpetas con hasta 255 pistas.

Este módulo es capaz de brindar al usuario varias características, entre las cuales se destacan: pausar, adelantar, atrasar o cambiar de canciones, así como también controlar el volumen, esto cuando se combina con un arduino.

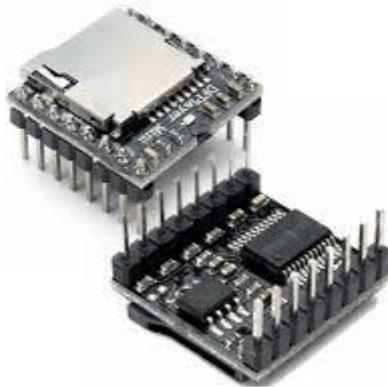


Figura 25. Módulo MP3.

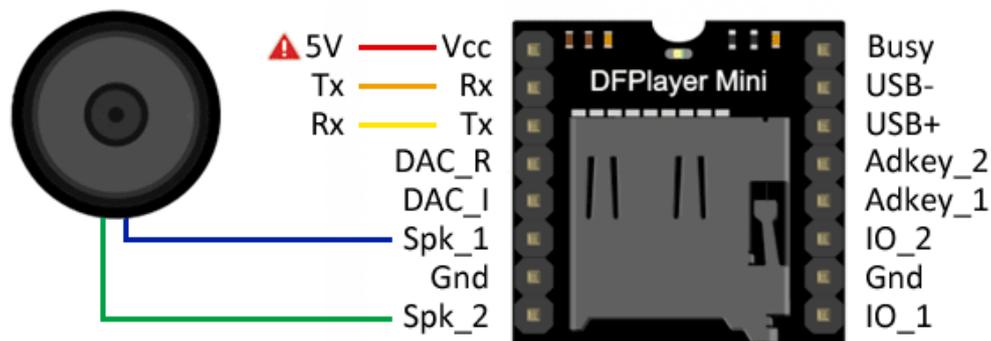


Figura 26. Distribución de pines Módulo MP3.

Adaptado de (electronoobs, sf).

## 2.4. Circuito Electrónico

Durante el desarrollo del prototipo se diseñaron algunos circuitos con la finalidad de llegar al resultado deseado y cumplir los objetivos del prototipo.

## 2.4.1 Circuito I

En la figura 27, se observa el primer circuito fue pensado para trabajar con un Arduino Mega 2560 ya que esta tarjeta electrónica contaba con todas las características de hardware necesarias para el prototipo, sin embargo, en el transcurso del diseño se presentaron inconvenientes con el tamaño del circuito.

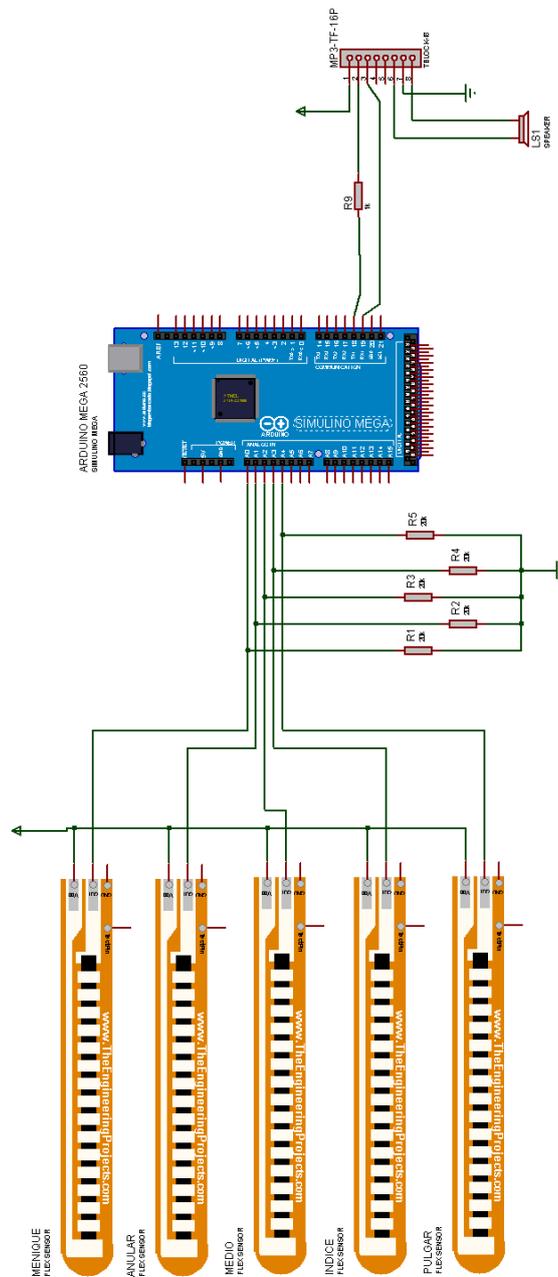


Figura 27. Circuito 1.

## 2.4.2 Circuito II

Este circuito a diferencia del primer se destaca por el uso de una cantidad mayor de sensores, esta variación se realizó para poder obtener mucha más información para ser procesada (Figura 28).

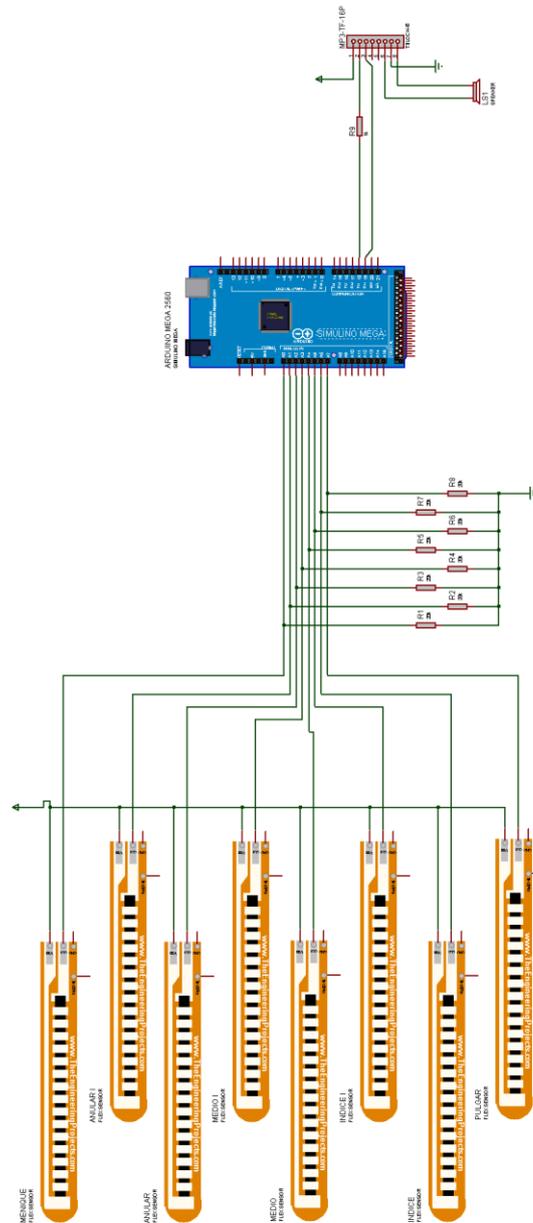


Figura 28. Circuito II.

### 2.4.3 Circuito III

En la Figura 29. se observa la colocación de un sensor de contacto entre los dedos índice y medio para impedir la confusión entre algunas vocales y permitir que el prototipo sea más efectivo al momento de traducir.

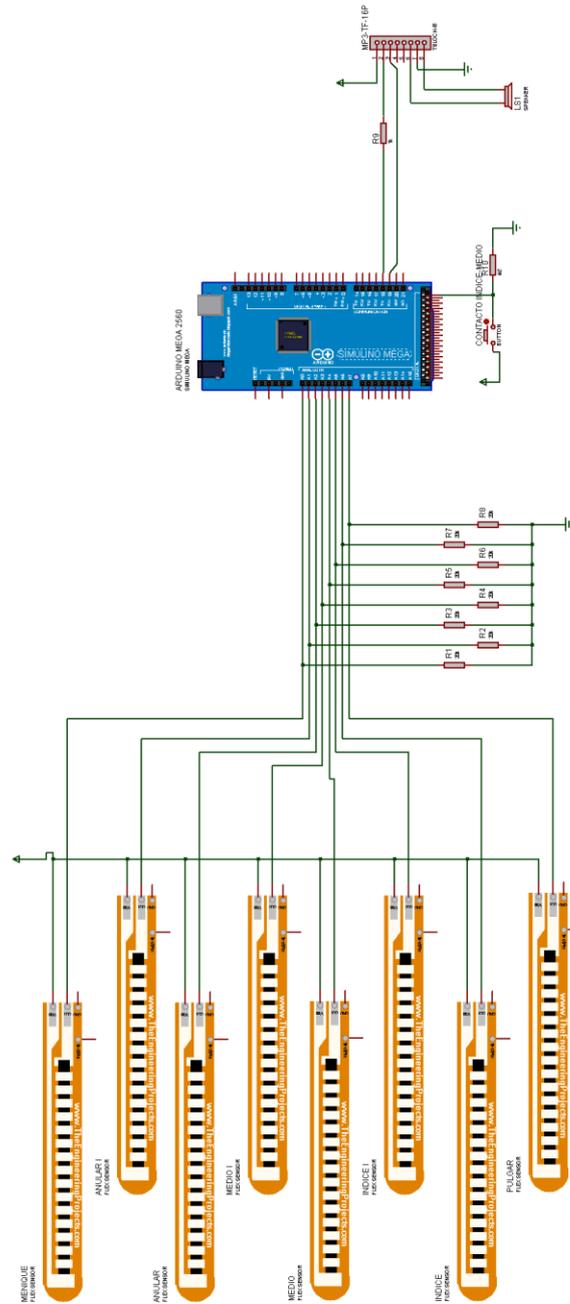


Figura 29. Circuito III.

## 2.4.4 Circuito IV

Este circuito dispone de 4 sensores de contacto y 5 sensores flex a diferencia de los anteriores, este circuito demostró ser más eficiente. (Figura 30).

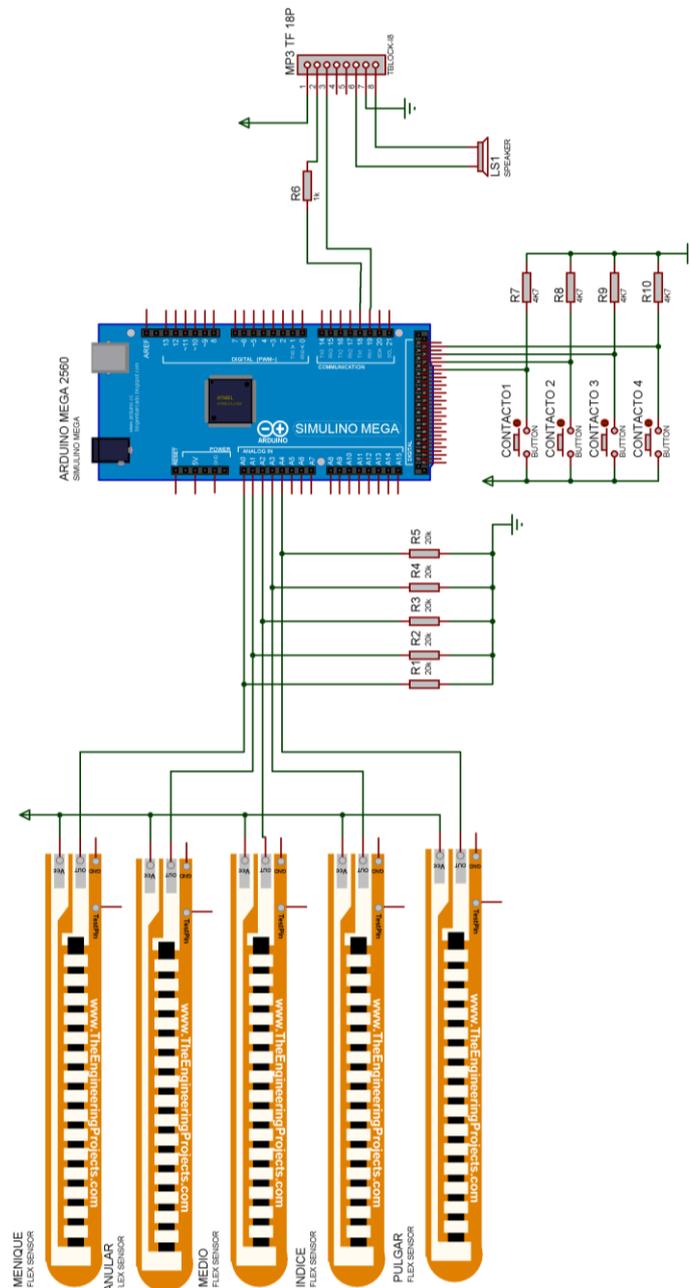


Figura 30. Circuito IV – Circuito Final.

## 2.5. Alimentación del circuito

En el mercado existen variedad de baterías, fuentes y dispositivos que permiten alimentar un circuito electrónico, la elección dependerá del tipo de circuito a alimentar y de la cantidad de dispositivos que este circuito tenga, ya que cada dispositivo activo en el circuito consumirá una cantidad de corriente.

Para la elección de la batería que se usará en el proyecto se ha tomado en cuenta un aspecto primordial:

**Tamaño:** al ser un circuito que se colocará en una manilla unida a un guante, es primordial usar una batería cuyas medidas permitan su fácil instalación en el prototipo. Es así que se ha escogido usar una batería de litio de 3,7 v – 800 mAh. Para determinar el tiempo de alimentación del prototipo es necesario realizar una tabla 7, con el consumo de energía de cada uno de los dispositivos activos que forman parte del circuito y que representan un consumo de corriente.

En el datasheet de la tarjeta electrónica (Anexo 1) se puede encontrar el consumo máximo por pin así como algunas otras características de interés. El mismo que es 40 mAh. En el caso del prototipo propuesto se usarán 11 pines.

De ahí, se obtiene que:

$$\text{Consumo total pines Arduino Mega} = 40 \text{ mAh} * 11 \text{ pines}$$

$$\text{Consumo total pines Arduino Mega} = 440 \text{ mAh}$$

Tabla 7.

*Corriente Circuito*

Dispositivo	Corriente	Total
Arduino MEGA	40 mAh x 11 pines	440 mAh
Módulo MP3	20 mA	20 mAh
<b>Consumo Total</b>		460 mAh

Se calculará el tiempo de uso del circuito otorgado por la batería a utilizar.

$$\text{Tiempo de funcionamiento} = \frac{\text{Corriente Bateria}}{\text{Consumo Total Circuito}}$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} = \frac{800 \text{ mAh}}{460 \text{ mAh}}$$

Tiempo de funcionamiento  $\approx$  2 horas

### 2.5.1 Circuito Serie de Baterías

El circuito debe ser alimentado con 5 [V] es por esto que es necesario usar un arreglo de baterías para poder alcanzar el voltaje necesario que requiere el prototipo.

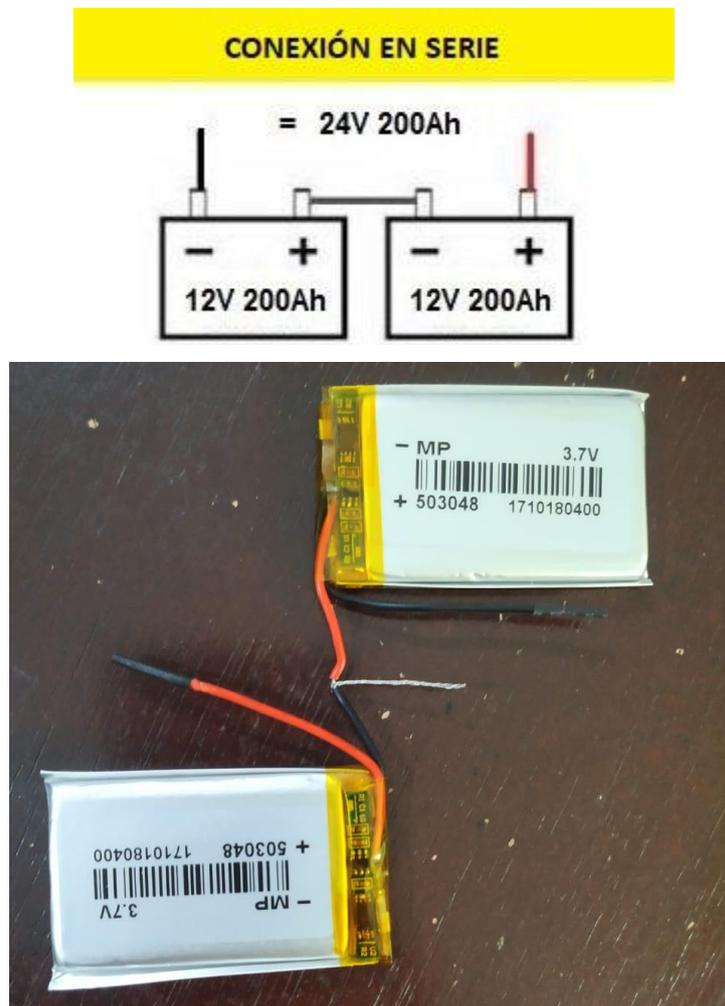


Figura 31. Conexión en serie baterías.

Adaptado de (mpptsolar, sf).

En la Figura 31 se indica la forma de conexión de las baterías a usar para aumentar el voltaje y así poder alimentar sin problema al circuito.

Gracias al circuito podremos alcanzar el voltaje de 7,4 [V] sin embargo, hay que tomar en cuenta que necesitamos 5 [V]. Es por esto que se debe usar un regulador de voltaje para poder igualar la salida de voltaje de las baterías a la entrada del voltaje del circuito, la ventaja que disponemos en la tarjeta electrónica es que dispone ya de un regulador interno.

## 2.6. Esquema de conexión del circuito electrónico de prueba

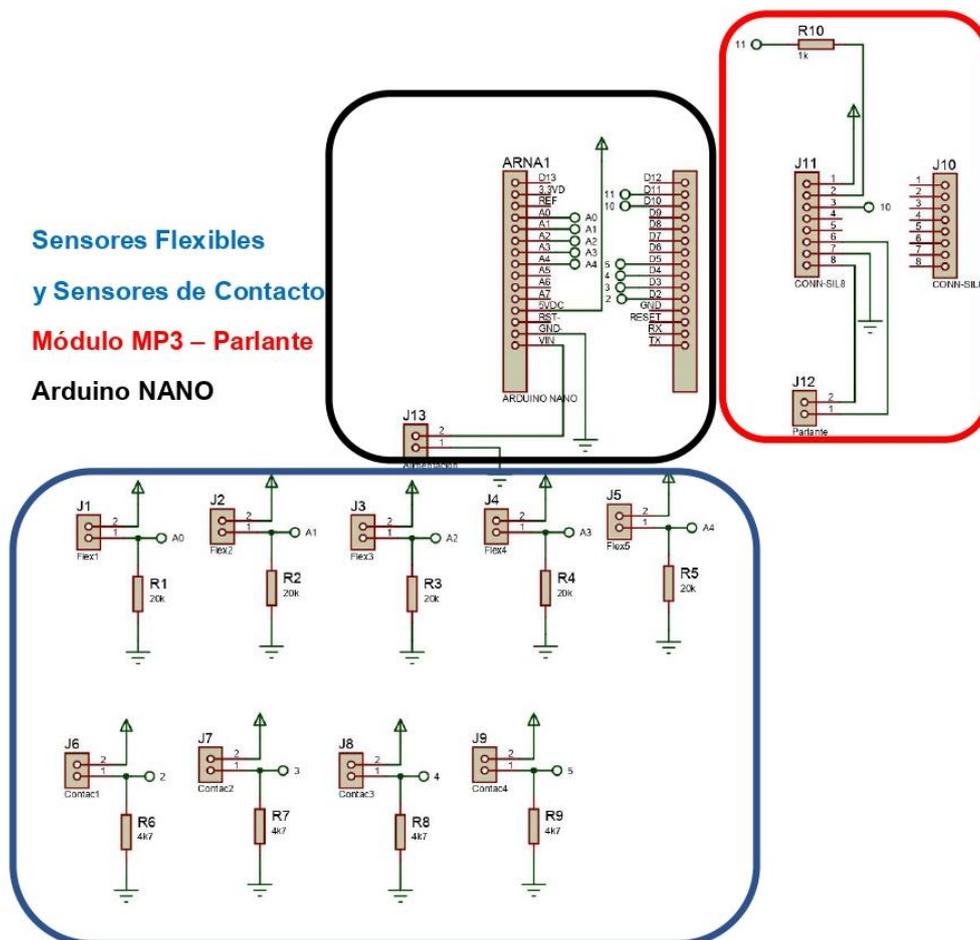


Figura 32. Esquema de conexión del circuito electrónico de prueba.





*Figura 34.* Placa de circuito impreso de prueba.

## **2.8. Esquema de conexión del circuito electrónico final**



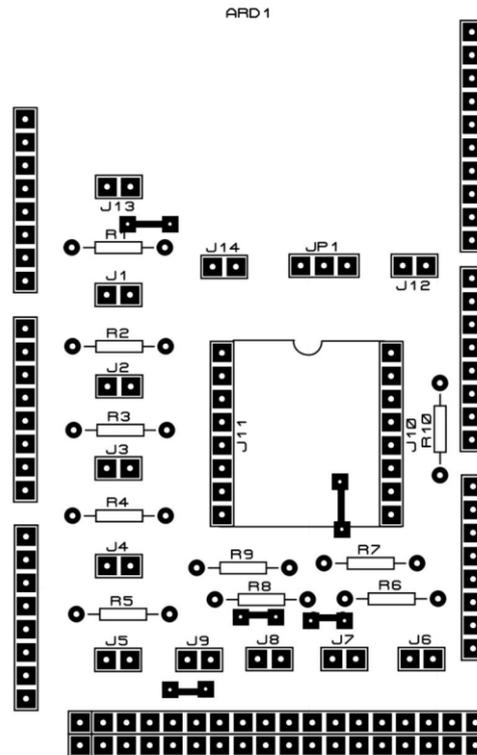


Figura 36. PCB Final.

En la figura 37, se indica la placa finalizada. Es una impresión en baquelita de 6 x 8 cm aproximadamente,

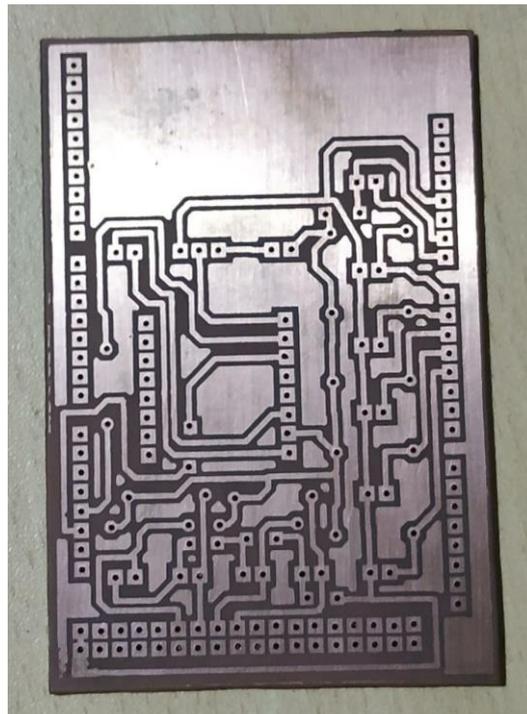


Figura 37. Placa de circuito impreso final.

### **3. Capítulo III. Obtención y Análisis de resultados**

Para el desarrollo del siguiente capítulo se han obtenido datos de cada uno de los circuitos propuestos en el anterior capítulo, esto con la finalidad de analizar las mismas y dar su respectiva representación.

Para cumplir con este propósito fue necesario implementar cada uno de estos circuitos.

En primera instancia los prototipos fueron ensamblados en protoboard con la finalidad de levantar muestras y poner en prueba el código realizado para el actual proyecto.

Las tablas que se indican a continuación contienen datos obtenidos de las señas generadas representando cada una de las vocales del lenguaje dactilológico o lenguaje de señas. Estas muestras fueron obtenidas en primera instancia a través de un multímetro conectado directamente a las salidas de los sensores, sin embargo, con la finalidad de realizar el muestreo de manera más eficiente se obtuvo un código en arduino. Este código permite enviar la información generada por la mano derecha, específicamente de cada uno de los dedos hacia la computadora, esta información es representada al usuario a través del monitor serial del software Arduino.

#### **3.1. Prototipo I**



*Figura 38.* Disposición sensores flex.

En la Figura 38, se indica la ubicación de cada uno de los sensores flexibles.

### 3.1.1 Materiales

En el prototipo I se utilizaron los siguientes materiales:

- 5 sensores flex
- Guante de nylon
- Hilo para asegurar sensores
- Cable para protoboard
- Resistencias de 330  $\Omega$
- Arduino Mega 2560
- Estaño
- Cinta termo adherible
- Protoboard

### 3.1.2 Muestras obtenidas Prototipo I

Tabla 8.

*Disposición de los sensores sin flexión*

ESTADO IDEAL	
	Rango de Resistencia (K $\Omega$ )
S I (Meñique)	(85)
S II (Anular)	(75)
S III (Medio)	(78)
S IV (Índice)	(83)
S V (Pulgar)	(75)

Tabla 9.

*Valores Vocal "A"*

VOCAL A	
	Rango de Resistencia (K $\Omega$ )
S I (Meñique)	(25-35)
S II (Anular)	(23-33)
S III (Medio)	(27-34)
S IV (Índice)	(30-36)
S V (Pulgar)	(65-72)

Tabla 10.

*Valores Vocal "E"*

VOCAL E	
	Rango de Resistencia (K $\Omega$ )
S I (Meñique)	(50-55)
S II (Anular)	(47-54)
S III (Medio)	(45-52)
S IV (Índice)	(42-45)
S V (Pulgar)	(50-55)

Tabla 11.

*Valores Vocal "I"*

VOCAL I	
---------	--

	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(80-85)</b>
S II (Anular)	<b>(25-30)</b>
S III (Medio)	<b>(27-32)</b>
S IV (Índice)	<b>(30-36)</b>
S V (Pulgar)	<b>(50-56)</b>

Tabla 12.

*Valores Vocal "O"*

<b>VOCAL O</b>	
	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(27-33)</b>
S II (Anular)	<b>(32-36)</b>
S III (Medio)	<b>(33-27)</b>
S IV (Índice)	<b>(38-42)</b>
S V (Pulgar)	<b>(49-54)</b>

Tabla 13.

*Valores Vocal "U"*

<b>VOCAL U</b>	
	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(23-30)</b>
S II (Anular)	<b>(25-33)</b>
S III (Medio)	<b>(75-80)</b>
S IV (Índice)	<b>(79-85)</b>
S V (Pulgar)	<b>(64-70)</b>

### 3.2. Prototipo II



*Figura 39.* Disposición Sensores Flex

En la Figura 39. Se indica la disposición de los sensores usados en este prototipo.

### **3.2.1 Materiales**

Los materiales usados en este prototipo son:

- 8 sensores flex
- Guante de nitril
- Hilo para asegurar sensores
- Cable para protoboard
- Resistencias de 330  $\Omega$
- Arduino Mega 2560
- Estaño
- Cinta termo adherible
- Protoboard

### 3.2.2 Muestras obtenidas Prototipo II

Tabla 14.

*Disposición de los sensores sin flexión*

ESTADO IDEAL	
	Rango de Resistencia (K $\Omega$ )
S I (Meñique)	(45)
S II (Anular)	(47)
S III (Anular1)	(45)
S IV (Medio)	(44)
S V (Medio1)	(45)
S VI (Índice)	(47)
S VII (Índice1)	(45)
S VIII (Pulgar)	(48)

Tabla 15.

*Valores Vocal "A"*

VOCAL A	
	Rango de Resistencia (K $\Omega$ )
S I (Meñique)	(25-29)
S II (Anular)	(23-28)
S III (Anular1)	(24-28)
S IV (Medio)	(25-30)
S V (Medio1)	(24-29)
S VI (Índice)	(25-28)
S VII (Índice1)	(26-30)
S VIII (Pulgar)	(45-50)

Tabla 16.

*Valores Vocal "E"*

VOCAL E	
	Rango de Resistencia (K $\Omega$ )
S I (Meñique)	(30-34)

S II (Anular)	<b>(28-31)</b>
S III (Anular1)	<b>(27-30)</b>
S IV (Medio)	<b>(31-34)</b>
S V (Medio1)	<b>(32-34)</b>
S VI (Índice)	<b>(35-38)</b>
S VII (Índice1)	<b>(30-35)</b>
S VIII (Pulgar)	<b>(33-35)</b>

Tabla 17.

*Valores Vocal "I"*

VOCAL I	
	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(42-46)</b>
S II (Anular)	<b>(23-29)</b>
S III (Anular1)	<b>(24-28)</b>
S IV (Medio)	<b>(24-30)</b>
S V (Medio1)	<b>(25-29)</b>
S VI (Índice)	<b>(25-28)</b>
S VII (Índice1)	<b>(24-28)</b>
S VIII (Pulgar)	<b>(21-25)</b>

Tabla 18.

*Valores Vocal "O"*

VOCAL O	
	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(32-36)</b>
S II (Anular)	<b>(31-35)</b>
S III (Anular1)	<b>(30-33)</b>
S IV (Medio)	<b>(33-36)</b>
S V (Medio1)	<b>(34-38)</b>
S VI (Índice)	<b>(37-40)</b>
S VII (Índice1)	<b>(32-36)</b>

S VIII (Pulgar)	(35-40)
-----------------	---------

Tabla 19.

Valores Vocal "U"

VOCAL U	
	Rango de Resistencia (K $\Omega$ )
S I (Meñique)	(25-29)
S II (Anular)	(22-27)
S III (Anular1)	(23-28)
S IV (Medio)	(42-46)
S V (Medio1)	(43-46)
S VI (Índice)	(45-49)
S VII (Índice1)	(44-49)
S VIII (Pulgar)	(22-26)

### 3.3. Prototipo III



Figura 40. Disposición sensores Prototipo III

En la Figura 40. Se indica la disposición de los sensores usados en el prototipo III.

### 3.3.1 Materiales

Los materiales usados en el prototipo III son listados a continuación:

- 8 sensores flex
- 1 sensor de contactos
- Guante de nylon
- Hilo para asegurar sensores
- Cable para protoboard
- Resistencias de 330  $\Omega$
- Resistencia 4,7 K $\Omega$
- Arduino Mega 2560
- Estaño
- Cinta termo adherible
- Protoboard

### 3.3.2 Muestras obtenidas Prototipo III

Tabla 20.

*Disposición de los sensores sin flexión*

ESTADO IDEAL	
	Rango de Resistencia (K $\Omega$ )
S I (Meñique)	(45)
S II (Anular)	(47)
S III (Anular1)	(45)
S IV (Medio)	(44)
S V (Medio1)	(45)
S VI (Índice)	(47)
S VII (Índice1)	(45)
S VIII (Pulgar)	(48)
Sensor Contacto	-

Tabla 21.

*Valores Vocal "A"*

VOCAL A	
	Rango de Resistencia (kΩ)
S I (Meñique)	(24-27)
S II (Anular)	(21-26)
S III (Anular1)	(23-28)
S IV (Medio)	(26-30)
S V (Medio1)	(23-28)
S VI (Índice)	(24-29)
S VII (Índice1)	(24-38)
S VIII (Pulgar)	(44-48)
Sensor Contacto	-

Tabla 22.

*Valores Vocal "E"*

VOCAL E	
	Rango de Resistencia (kΩ)
S I (Meñique)	(29-32)
S II (Anular)	(27-31)
S III (Anular1)	(28-30)
S IV (Medio)	(32-35)
S V (Medio1)	(30-34)
S VI (Índice)	(35-38)
S VII (Índice1)	(30-35)
S VIII (Pulgar)	(33-35)
Sensor Contacto	-

Tabla 23.

*Valores Vocal "I"*

VOCAL I
---------

	<b>Rango de Resistencia (kΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(41-46)</b>
S II (Anular)	<b>(22-26)</b>
S III (Anular1)	<b>(22-25)</b>
S IV (Medio)	<b>(23-26)</b>
S V (Medio1)	<b>(25-30)</b>
S VI (Índice)	<b>(23-26)</b>
S VII (Índice1)	<b>(25-28)</b>
S VIII (Pulgar)	<b>(22-27)</b>
Sensor Contacto	<b>-</b>

Tabla 24.

*Valores Vocal "O"*

<b>VOCAL O</b>	
	<b>Rango de Resistencia (kΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(31-37)</b>
S II (Anular)	<b>(30-35)</b>
S III (Anular1)	<b>(30-35)</b>
S IV (Medio)	<b>(33-37)</b>
S V (Medio1)	<b>(32-36)</b>
S VI (Índice)	<b>(35-38)</b>
S VII (Índice1)	<b>(34-37)</b>
S VIII (Pulgar)	<b>(35-40)</b>
Sensor Contacto	<b>-</b>

Tabla 25.

*Valores Vocal "U"*

<b>VOCAL U</b>	
	<b>Rango de Resistencia (kΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(26-29)</b>
S II (Anular)	<b>(22-25)</b>
S III (Anular1)	<b>(24-29)</b>

S IV (Medio)	(41-47)
S V (Medio1)	(43-49)
S VI (Índice)	(43-49)
S VII (Índice1)	(42-47)
S VIII (Pulgar)	(24-28)
Sensor Contacto	1 lógico

En este circuito se ha añadido un sensor de contacto, el mismo que se colocó con el objetivo de ayudar a evaluar y reconocer de mejor manera la letra “U”. Además de realizar una comparación de los valores máximos y mínimos de resistencia presentados por los sensores flexibles se realizó una comparación con el 1 lógico resultado de la activación del sensor de contacto entre los dedos índice y medio.

### 3.4. Prototipo IV



Figura 41. Disposición de sensores Prototipo IV

En la Figura 41, se indica la disposición de los 5 sensores flex y de los 4 sensores de contacto o pulsadores.

### 3.4.1 Materiales IV

A continuación, se listará la lista de materiales usados en la construcción del prototipo IV.

- 5 sensores flex
- 4 pulsadores
- Guante de nylon
- Cinta elástica para asegurar sensores
- Cable para parlante
- Resistencias de 1 K $\Omega$
- Resistencia 4,7 K $\Omega$
- Arduino Mega 2560
- Estaño
- Cinta termo adherible
- Molex de dos pines
- Baterías lipo 3,7 v 800 mAh
- PCB
- Cinta Velcro
- Módulo MP3
- Parlante 7  $\Omega$
- Tarjeta micro sd
- Caja a la medida

### 3.4.2 Muestras obtenidas Prototipo IV

Tabla 26.

*Disposición de los sensores sin flexión*

ESTADO IDEAL
--------------

	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(85)</b>
S II (Anular)	<b>(75)</b>
S III (Medio)	<b>(78)</b>
S IV (Índice)	<b>(83)</b>
S V (Pulgar)	<b>(75)</b>
S. Contacto I	-
S. Contacto II	-
S. Contacto III	-
S. Contacto IV	-

Tabla 27.

*Valores Vocal "A"*

<b>VOCAL A</b>	
	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(12-17)</b>
S II (Anular)	<b>(16-24)</b>
S III (Medio)	<b>(20-26)</b>
S IV (Índice)	<b>(30-36)</b>
S V (Pulgar)	<b>(30-35)</b>
S. Contacto I	<b>1 lógico</b>
S. Contacto II	<b>1 lógico</b>
S. Contacto III	<b>1 lógico</b>
S. Contacto IV	<b>0 lógico</b>

Tabla 28.

*Valores Vocal "E"*

<b>VOCAL E</b>	
	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(15-21)</b>
S II (Anular)	<b>(21-27)</b>
S III (Medio)	<b>(21-27)</b>

S IV (Índice)	<b>(38-46)</b>
S V (Pulgar)	<b>(15-22)</b>
S. Contacto I	<b>1 lógico</b>
S. Contacto II	<b>1 lógico</b>
S. Contacto III	<b>1 lógico</b>
S. Contacto IV	<b>0 lógico</b>

Tabla 29.

*Valores Vocal "I"*

VOCAL I	
	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(24-32)</b>
S II (Anular)	<b>(26-32)</b>
S III (Medio)	<b>(25-33)</b>
S IV (Índice)	<b>(31-36)</b>
S V (Pulgar)	<b>(20-28)</b>
S. Contacto I	<b>1 lógico</b>
S. Contacto II	<b>1 lógico</b>
S. Contacto III	<b>0 lógico</b>
S. Contacto IV	<b>1 lógico</b>

Tabla 30.

*Valores Vocal "O"*

VOCAL O	
	<b>Rango de Resistencia (KΩ)</b>
S I (Meñique)	<b>(14-19)</b>
S II (Anular)	<b>(22-27)</b>
S III (Medio)	<b>(22-27)</b>
S IV (Índice)	<b>(33-38)</b>
S V (Pulgar)	<b>(19-25)</b>
S. Contacto I	<b>1 lógico</b>
S. Contacto II	<b>1 lógico</b>

S. Contacto III	<b>1 lógico</b>
S. Contacto IV	<b>1 lógico</b>

Tabla 31.

*Valores Vocal "U"*

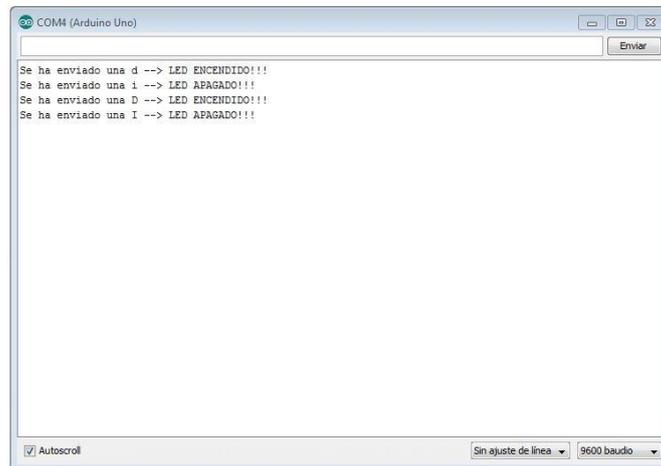
VOCAL U	
	<b>Rango de Resistencia (K<math>\Omega</math>)</b>
S I (Meñique)	<b>(14-19)</b>
S II (Anular)	<b>(19-25)</b>
S III (Medio)	<b>(47-55)</b>
S IV (Índice)	<b>(64-73)</b>
S V (Pulgar)	<b>(22-28)</b>
S. Contacto I	<b>1 lógico</b>
S. Contacto II	<b>0 lógico</b>
S. Contacto III	<b>1 lógico</b>
S. Contacto IV	<b>1 lógico</b>

**4. Capítulo IV. Periféricos de Salida**

Una vez obtenidas las muestras de las diferentes posiciones de los dedos al realizar los gestos para representar las vocales es necesario presentarlas al usuario de una manera precisa para su clara interpretación.

Para ello el proyecto usará únicamente voz para representar los resultados al usuario final, sin embargo, existe otras formas de representar las mismas. Algunas de ellas han sido utilizadas en este proyecto con la finalidad de realizar pruebas de los diferentes prototipos descritos en capítulos anteriores.

## 4.1 Monitor Serial

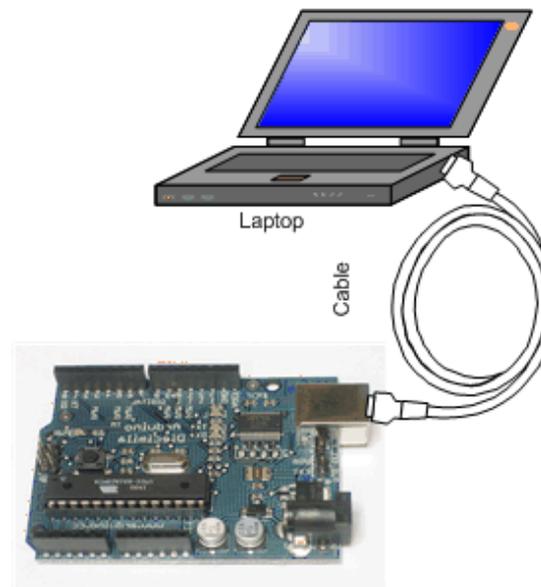


*Figura 42.* Monitor serie Arduino

El monitor serial es una característica entregada por el IDE a los usuarios, el cual tiene como objetivo establecer un canal de comunicación entre el arduino y el usuario a través del computador.

Este monitor permite al usuario enviar y recibir información hacia o desde el arduino. Esto con la finalidad de ayudar con la depuración y control del arduino, la información se la envía y recibe a través del puerto serie.

A pesar de que este monitor es sencillo, si el usuario necesitará de un monitor más avanzado en el mercado existen muchas alternativas. Una de las más potentes en cuanto a utilidades es: Terminal, Advanced Serial Port Terminal y Real Term. Cada uno de ellos dispone de características diferentes, sin embargo, todos cumplen con la principal, la cual es establecer una vía de comunicación serial entre el IDE y el usuario.



*Figura 43.* Conexión arduino – PC.

Adaptado de (panamahitek, sf).

Para que el monitor permita el envío y la recepción de información es necesario realizar la conexión indicada en la Figura 43.

Esta conexión es primordial para poder establecer la conexión serial y poder obtener y enviar información ya que dicha conexión se establece mediante usb hacia la computadora. No está demás mencionar que previamente debe existir un sketch cargado en la tarjeta electrónica cualquiera que esta sea.

## 4.2 LCD 16x2

Al iniciar este proyecto se estableció una comunicación entre la tarjeta electrónica y una pantalla LCD 16x2 con la finalidad de obtener información de los resultados obtenidos.

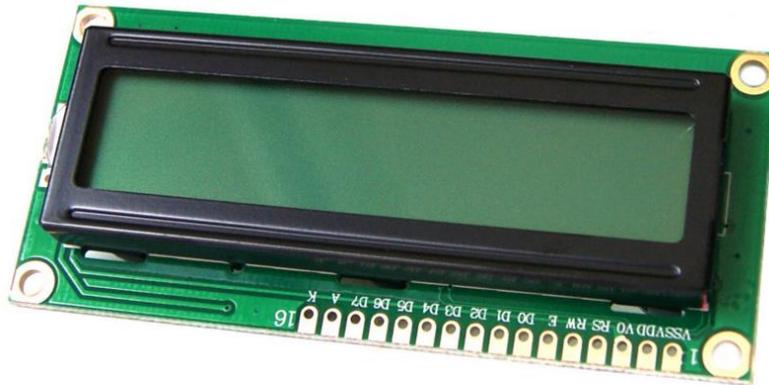


Figura 44. Lcd 16x2.

Es un dispositivo con pantalla de cristal líquido de dos filas y 16 caracteres posibles en cada una de ellas, comúnmente caracteres alfanuméricos.

Una de las desventajas de este tipo de pantalla es exactamente la limitación en cuanto a cantidad de caracteres se refiere, así como la resolución de los mismos, así como los colores que está es posible usar, sin embargo, dependerá del tipo de proyecto a realizar, así como de los resultados o información que se emitirán a través de ella.

#### 4.2.1 Disposición de pines LCD 16x2

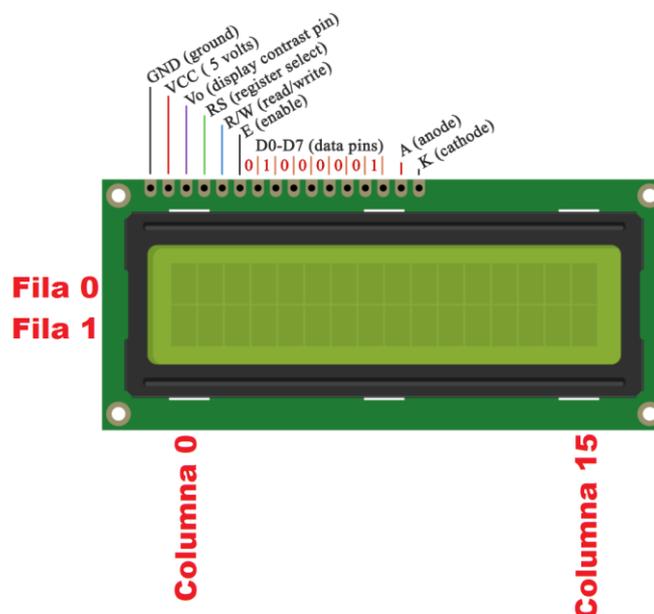


Figura 45. Disposición de pines LCD 16x2.

Tomado de (pygmalion.tech, sf).

- Pin 1: Tierra.
- Pin 2: 5V.
- Pin 3: Contraste.
- Pin 4: Selector de registro.
- Pin 5: Lectura/Escritura.
- Pin 6: Habilitar.
- Pin 7 – 14: Datos (pueden usarse los 8 pines / 8 bits o solo 4 pines / 4 bits para ahorra espacio).
- Pin 15 y 16: Iluminación led (ánodo y cátodo respectivamente).

Esta información fue obtenida del datasheet del dispositivo, el mismo que estará disponible en el Anexo 2 del presente documento.

#### 4.2.2 Conexión LCD – Tarjeta electrónica

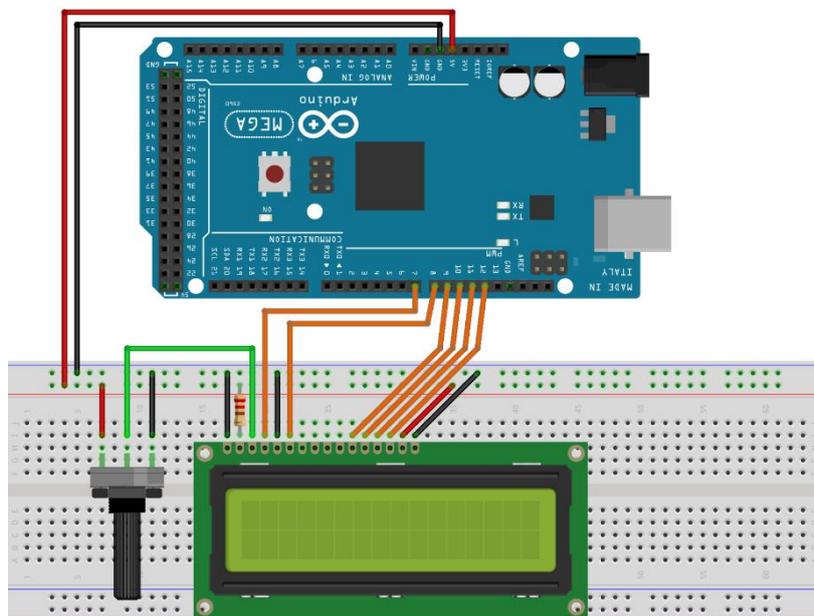


Figura 46. Conexión LCD.

En la Figura 46. Se indica la manera de realizar la conexión de la tarjeta arduino con la pantalla LCD, esta es la conexión típica que se establece entre los dos dispositivos para poder enviar información y representarla a través del LCD.

Como se indica en la Figura 46. No es necesario utilizar los 8 bits disponibles de la pantalla, basta con usar 4 bits para representar cualquier mensaje. Así también el circuito dispone de un potenciómetro conectado al pin V0, lo que permite controlar el contraste de la pantalla.

Los pines RS, controla las ordenes que se le envía a la pantalla tales como borrar la pantalla, escribir la pantalla entre otros. El pin E (Enable) es el que permite que la pantalla reciba información y a su vez está la escriba y se la represente. Por último, el pin Read/Write que permite controlar el modo escritura y lectura de la pantalla, usualmente se lo conecta a tierra.

### 4.3 Speaker

El Speaker es el dispositivo que se ha propuesto para representar los resultados finales al usuario, esto con la finalidad de llegar a tener un prototipo portátil y de un tamaño moderado.



*Figura 47. Speaker 8W.*

Uno de los desafíos en este proyecto es el de realizar un prototipo cómodo para el usuario, es por esto que se ha optado por conseguir y usar un speaker que se acople perfectamente al diseño del prototipo.

Sin embargo, para lograrlo se ha debido sacrificar potencia al momento de expresar los resultados al usuario.

#### 4.3.1 Conexión speaker

El dispositivo de salida por sí solo no tendría ningún sentido colocarlo, necesita de algo delante de él que le envíe información para que este pueda expresarla en modo audible, es así que, previo a este dispositivo se encuentra un circuito básico (Figura 48). que se encarga de dar la operatividad al speaker.

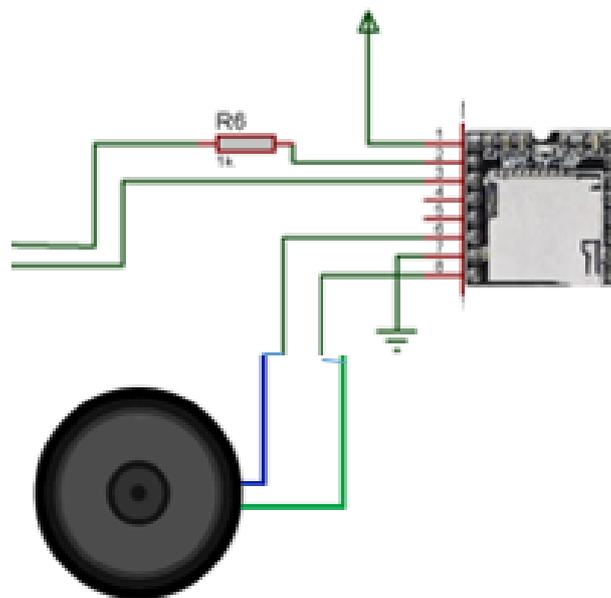


Figura 48. Circuito salida de audio.

## 5. Capítulo V. Implementación del Prototipo

En este capítulo se describirá de manera detallada la evolución del prototipo desde su etapa de pruebas hasta llegar al prototipo final, así como también los procesos para la construcción del mismo.

### 5.1 Dimensiones del guante

Este es un aspecto importante dentro de la construcción del prototipo ya que, las pruebas y construcción se basaron en una medida específica del guante.

Las dimensiones del guante son 18 cm x 8,5 cm, según la Figura 49, la talla correspondiente a estas medidas es la Talla S.

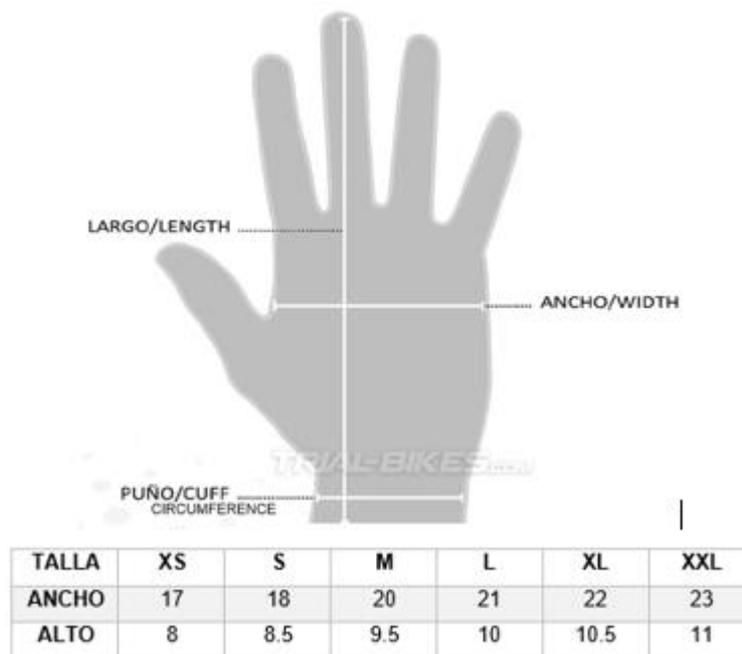


Figura 49. Talla de guantes.

Adaptado de (trial-bikes, sf).

El problema principal que se presenta con este aspecto es que usuarios que no dispongan de esta talla de guante no podrán hacer uso del mismo, es tema limitante el que no existiese un material que sea totalmente ajustable a cada una de las tallas de mano de cada usuario. Algunos problemas presentados con el prototipo es que a pesar de las medidas tomadas para ajustar sensores cuando el prototipo se lo colocaba un usuario con una mano más grande, la ubicación de los sensores se veía afectada por ende el prototipo no efectuaba su trabajo, ya que recibía valores incorrectos.

## 5.2 Tipos de guantes

La elección del guante es un punto esencial para el desarrollo del prototipo ya que en este irán colocados los sensores los mismos que se encargan de recoger y enviar la información a la tarjeta electrónica.

Al iniciar este proyecto y como etapas de pruebas se elaboró un circuito básico en protoboard para ver la eficiencia de los sensores y del material sobre el que estos se van a colocar, es así que se evaluaron tres tipos de guantes para la selección del más adecuado.

### 5.2.1. Guante de cuero grueso



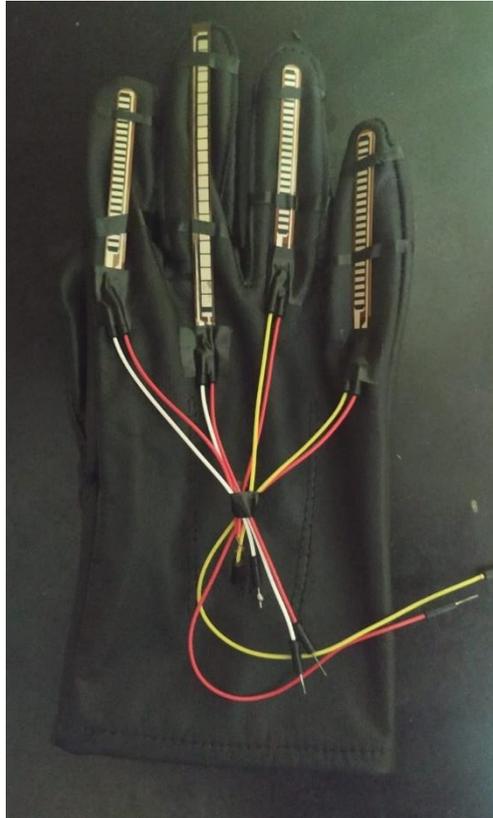
*Figura 50.* Prototipo Guante Grueso.

#### 5.2.1.1 Desventajas Guante cuero grueso

Este tipo de guante internamente viene forrado con esponja lo que provocó que el usuario no disponga de la comodidad necesaria para representar las vocales, es así como las muestras tomadas variaban en un rango de más menos 30 K $\Omega$ , esto provocó una gran variación entre muestras.

Otro de los problemas presentados con este tipo de guantes, es la sujeción de los sensores al mismo. Al ser de cuero es muy complicado buscar la manera de sujetar los sensores al guante ya que, si se lo hace a través de hilo, después de varios movimientos el cuero se daña y empieza a presentar roturas.

### 5.2.2. Guante de cuero fino



*Figura 51.* Prototipo Guante fino.

#### 5.2.2.1 Desventajas guante cuero fino

Este tipo de guante presenta cierta comodidad al usuario para representar las vocales del lenguaje dactilológico, sin embargo, al momento de realizarlas existen pliegues que se generan en el guante lo que produce variación en las muestras obtenidas por los sensores, esto da como resultado que el tipo de material no es el adecuado para el prototipo.

### 5.2.3. Guante de Nylon

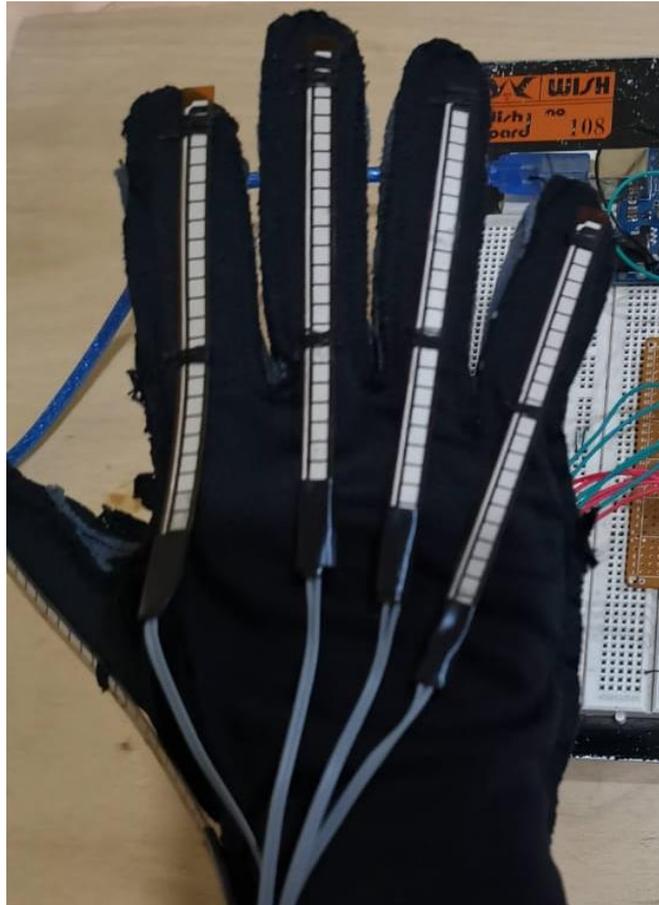


Figura 52. Prototipo guante nylon.

#### 5.2.3.1. Desventajas guante nylon

La principal desventaja que presenta este tipo de guante es su tamaño, al no ser un material maleable limita de cierta manera el uso a cierto tipo de mano y por ende de usuario.

#### 5.2.3.2. Ventajas guante nylon

Este tipo de guante presenta varias ventajas en comparación a las otras opciones de guante, la primera y más importante es la comodidad que otorga al usuario a representar las vocales del lenguaje dactilológico ya que es un material cómodo y ergonómico.

Por otro lado, presenta facilidad de colocar los sensores y ajustar los mismo al guante, se los puede cocer por un extremo al guante o colocar un material externo para ajustarlos a los dedos.

### **5.3 Prototipo Final**

El prototipo final consta de 5 sensores flexibles colocados en cada uno de los dedos de la mano derecha, estos sensores están sujetos al guante a través de cinta elástica.

De igual manera consta de 4 pulsadores los mismos que ayudarán al reconocimiento de las vocales del lenguaje dactilológico.

En la etapa de recepción de datos el prototipo contará con un arduino Mega 2560 el mismo que se encargará de procesar la información y enviarla a la etapa de salida que consta de un módulo MP3 que presenta los resultados a través de un parlante conectado directamente a dicho módulo.

### **5.4 Evolución prototipo final**

Durante el desarrollo de este proyecto, el prototipo ha ido sufriendo cambios. Esto debido a ciertos aspectos que se han ido presentando durante su desarrollo. A continuación, se indicará algunos de ellos considerados como importantes.

#### **5.4.1. Problemas de sujeción de sensores**



*Figura 53.* Sujeción sensores con hilo.

En la Figura 53, se indica una de las opciones para sujetar los sensores al guante, la misma se la realizó cociendo los sensores por la parte superior y media de los mismos hacía el guante procurando no deteriorar la integridad de los sensores.

El problema que se presentaba en este tipo de sujeción fue que después de algunos movimientos realizados los hilos tendían a aflojarse y por ende las muestras obtenidas variaban.



*Figura 54.* Sujeción sensores tejidos.

En la Figura 54, se fijaron los sensores a través de un tejido realizado con hilo alrededor de cada uno de los sensores. Esta manera de fijar los sensores resultó ser más eficaz que la anterior, sin embargo, al usar hilo se presentan con el uso el mismo inconveniente antes mencionado. Las costuras tendían a aflojarse y por ende los sensores quedaban sueltos enviando falsas muestras.



*Figura 55.* Sujeción sensores cinta elástica.

En la Figura 55, se procedió a fijar los sensores al guante utilizando trozos de cinta elástica, esta manera de fijación resultó ser la más efectiva ya que los

sensores no sufren movimientos no deseados por ende las muestras son más efectivas, así como la traducción de las mismas.

Así mismo, fue conveniente ajustar los sensores en el extremo superior con cinta doble faz, esto para evitar que los mismos se desplacen hacia afuera del dedo.

#### 5.4.2. Conexión sensores – tarjeta electrónica

Otros de los problemas presentados durante el desarrollo del prototipo fue la manera de conectar los sensores.

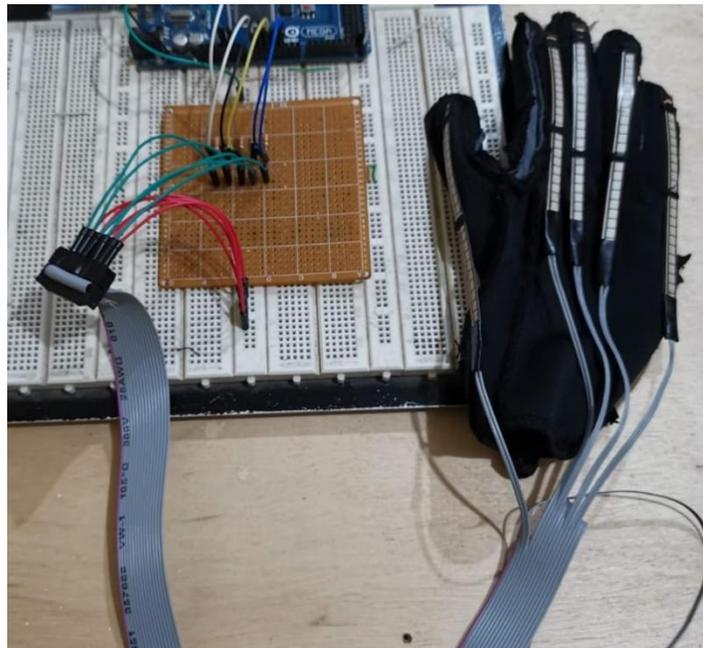
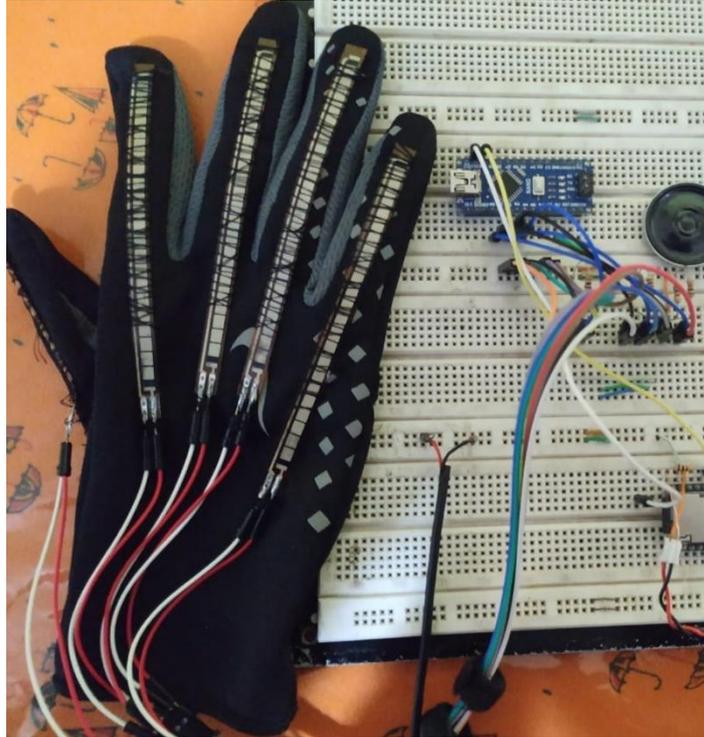


Figura 56. Conexión bus de datos 16 pines.

En la Figura 56, se indica la conexión de los sensores con la tarjeta electrónica a través de un bus de datos de 16 puertos. El problema que se presentaba con esta manera de conexión es que si no se hace buen uso del conector este tiende a romperse o ceder lo que implica lecturas erróneas de los valores entregados por los sensores.



*Figura 57.* Conexión cables para protoboard.

Esta forma de conexión resultó ser más adecuada, sin embargo, se presentó nuevos inconvenientes. La soldadura entre los sensores y los cables después de cierto tiempo de uso, tienden a desoldarse. Por lo que se propuso utilizar cinta termo fundente las misma que protegerás la soldadura y dará más libertad al usuario al momento de realizar los movimientos con la mano.



*Figura 58.* Conexión hilo conductor.

En la Figura 58, se realizó la conexión de los sensores con el arduino Mega a través de hilo conductor. Esta forma de conexión fue a primera vista la más adecuada para el prototipo, sin embargo, mientras se obtenían las muestras realizando diferentes movimientos con la mano las costuras empezaron a ceder y a romperse por tanto esfuerzo.

## 5.5 Construcción prototipo final

Una vez elegidos los materiales adecuados para la fabricación final del prototipo se procedió a la construcción del mismo.

### 5.5.1. Materiales

Se presenta un listado de los materiales finales utilizados para la elaboración del prototipo.

- 5 sensores flex
- 4 pulsadores

- Guante de nylon
- Cinta elástica para asegurar sensores
- Cable para parlante
- Resistencias de 1 K $\Omega$
- Resistencia 4,7 K $\Omega$
- Arduino Mega 2560
- Estaño
- Cinta termo adherible
- Molex de dos pines
- Baterías lipo 3,7 v 800 mAh
- PCB
- Cinta Velcro
- Módulo MP3
- Parlante 7  $\Omega$
- Tarjeta micro sd
- Caja a la medida

### 5.5.2. Circuito impreso

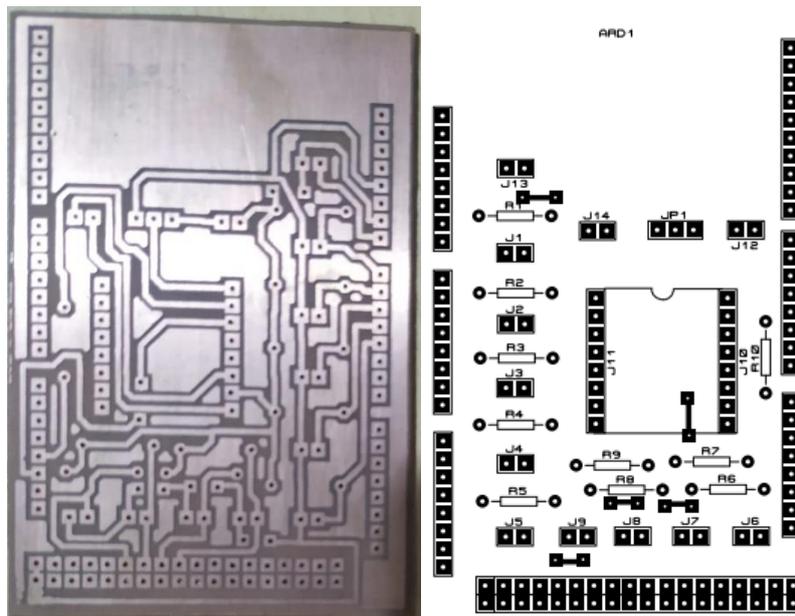


Figura 59. PCB diseño final.

En la Figura 59, se muestra la placa impresa. La misma está diseñada en ARES. Esta placa en comparación a la de los demás circuitos propuestos varía en ciertas cosas.

Se ha cambiado las borneras comunes y se ha diseñado el mismo para colocar molex de dos pines para entradas de los sensores y alimentación.

Se ha diseñado el circuito de tal manera que, el mismo se alimente con una sola fuente en este caso las baterías lipo en serie. Y si es caso lo amerita el circuito puede alimentar independientemente al módulo MP3. Esto con la finalidad de poder probar por separado el funcionamiento de cada etapa.

### **5.5.3. Construcción prototipo**

#### **Fijación sensores y pulsadores**

Este proceso se realizó con trozos de cinta elástica colocados cubriendo ciertas partes de los sensores, ajustando de esta manera los mismos al guante, adicional se colocó un pedazo de cinta doble faz en el extremo superior de los sensores para evitar que los mismos se desplacen hacia el tope de los dedos. Los pulsadores se colocaron sobre los dedos medio, anular e índice cosidos al costado de los mismos.

#### **Construcción brazaletes**

El brazaletes donde se colocará la caja del circuito fue construido con cinta velcro la misma que cubrirá la muñeca del usuario y que esta cosida al guante por la parte inferior. La caja a la medida fue cosida por la parte inferior hacia el brazaletes con la finalidad de brindar una mayor seguridad al momento de mover la mano derecha del usuario.

#### **Adecuación del guante**

El guante sufrió algunos cambios para brindar al usuario una manera más simple de colocárselo.

Fue abierto por la parte izquierda de la palma y cosido cinta velcro para poder abrir y cerrar de manera sencilla el guante tal y como se muestra en las Figuras 60 y 61 respectivamente.



*Figura 60.* Guante abierto.

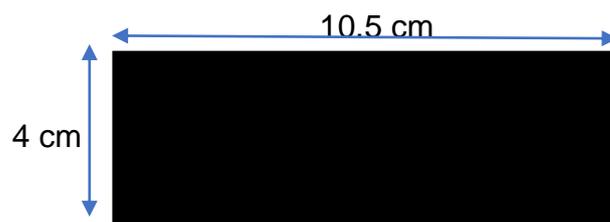


Figura 60. Guante cerrado.

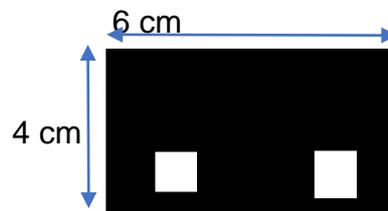
### Caja circuito

Para ocultar el circuito y los cables que ingresan a la tarjeta electrónica se ha diseñado una caja a la medida, la misma será impresa en 3D lo que facilita la colocación del circuito y la ubicación de los orificios que se necesitan. La caja será construida bajo los siguientes parámetros:

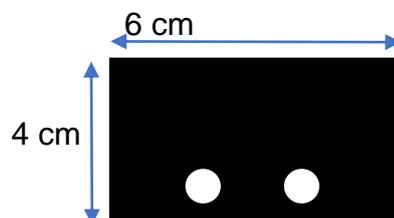
#### Tapas laterales:



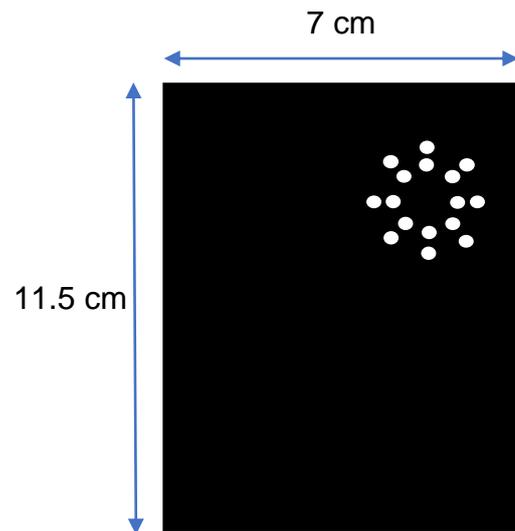
#### Tapa posterior:



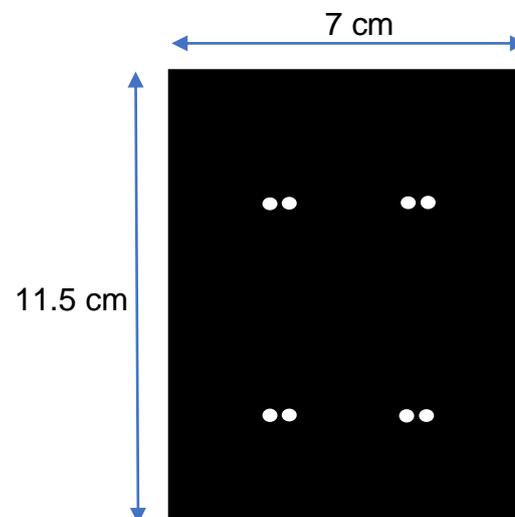
#### Tapa frontal:



#### Tapa superior:



**Tapa inferior:**



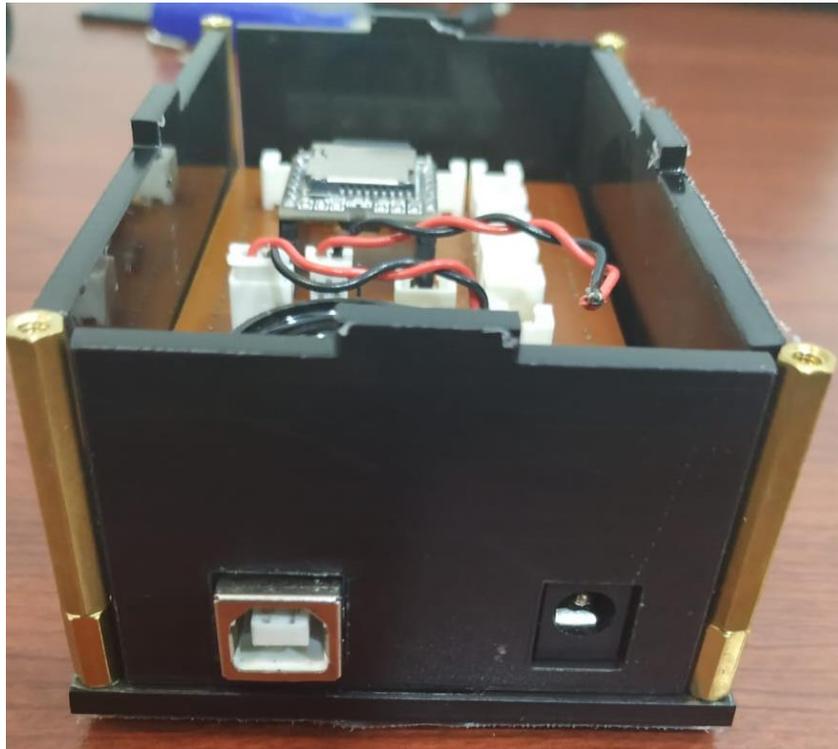


Figura 61. Caja terminada vista posterior.



Figura 62. Caja terminada vista superior.



*Figura 63.* Caja terminada tapa superior.

En las Figuras 62, 63 y 64 respectivamente se observa la caja impresa en 3D terminada. El circuito se la asegura a la misma con la ayuda de tornillos por la parte inferior, así como también la tapa superior es asegurada de la misma forma. Esto evita que el circuito se encuentre inestable en la parte interna de la caja y ayuda al usuario a realizar movimientos sin dañar el mismo.

## **6. Capítulo VI. Pruebas y Resultados**

En este capítulo se describen las pruebas realizadas a los circuitos propuestos, así como los resultados obtenidos de las mismas.

Con el fin de realizar pruebas y evaluar el estado de los sensores en cada uno de los circuitos propuestos se hizo uso de un código elaborado en arduino. Este código permite al usuario obtener los valores de resistencia en  $K\Omega$  de cada uno de los sensores en estado natural y cuando este sufre alguna deformación.

Es así que no fue necesario obtener los valores de manera manual con la ayuda de un multímetro.

En cada uno de los prototipos se levantaron muestras con la ayuda de dos personas, a continuación, se indicarán los datos obtenidos y los resultados del funcionamiento de cada prototipo gracias a las muestras tomadas. Las figuras a continuación indican la relación entre la variación de las resistencias en  $K\Omega$  de los sensores flexibles cuando los usuarios representan las vocales en lenguaje dactilológico. Estos datos fueron obtenidos de tres usuarios diferentes.

En el apartado de Anexos se indicarán las tablas obtenidas de las pruebas realizadas, así como también el código final del prototipo.

### 6.1. Pruebas y Resultados Prototipo I

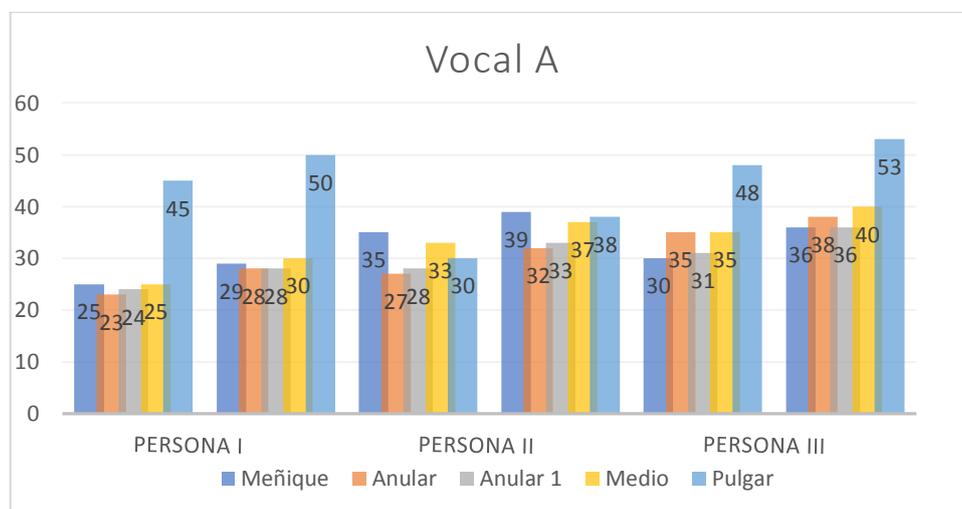


Figura 64. Variación entre muestras vocal A.

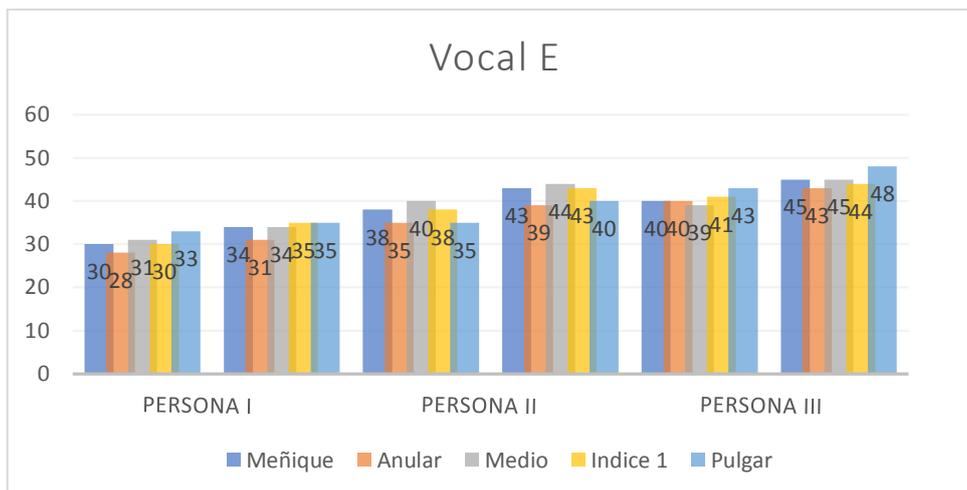


Figura 65. Variación entre muestras vocal E.

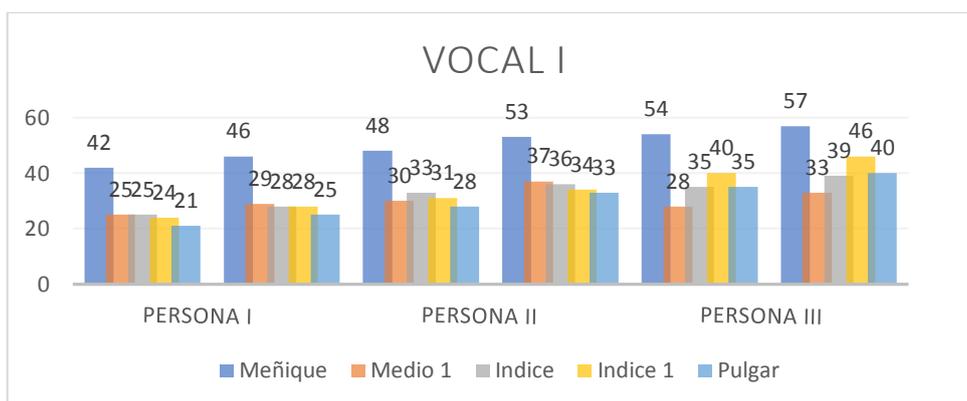


Figura 66. Variación entre muestras vocal I.

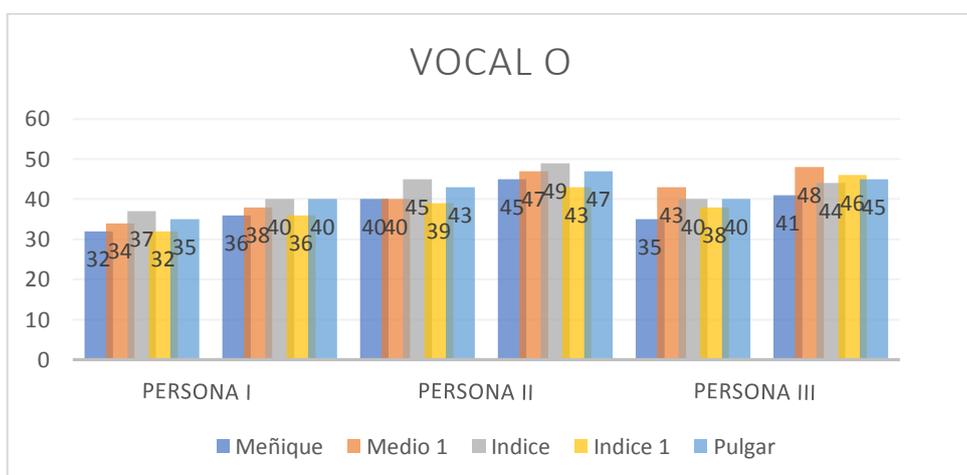


Figura 67. Variación entre muestras vocal O.

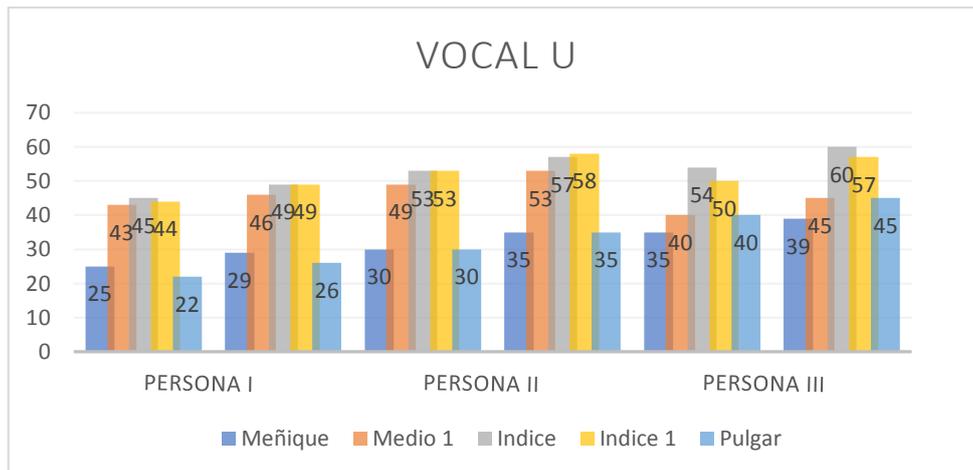


Figura 68. Variación entre muestras vocal U.

De los datos obtenidos gracias a las muestras, se ha podido determinar que este prototipo no es eficaz al momento de identificar las vocales que cada persona representa con su mano derecha.

Los individuos tienen diferentes tallas de mano por ende el prototipo no entrega valores adecuados. Los sensores son ineficaces por tal motivo.

La información indica que las muestras obtenidas del movimiento de cada dedo al representar las vocales varían en gran medida por ende el prototipo no arroja ningún resultado para el usuario final, es decir, no reconoce el gesto realizado y no envía el resultado mediante voz.

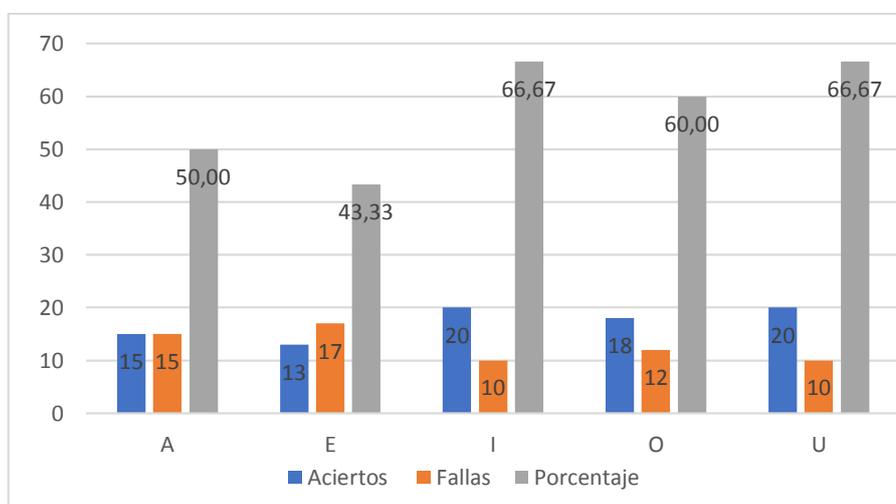


Figura 69. Precisión Prototipo I.

En la Figura 70, se indica la precisión del prototipo I, para obtener este indicador se realizaron 30 muestras por persona y por vocal tomando en cuenta los aciertos y las fallas al momento de identificar y traducir las mismas.

La precisión está dada por el valor porcentual de aciertos. Nuevamente las pruebas indican que el prototipo no es eficaz ya que tiene una precisión de 66,67% de aciertos en el mejor de los casos.

## 6.2. Pruebas y Resultados Prototipo II

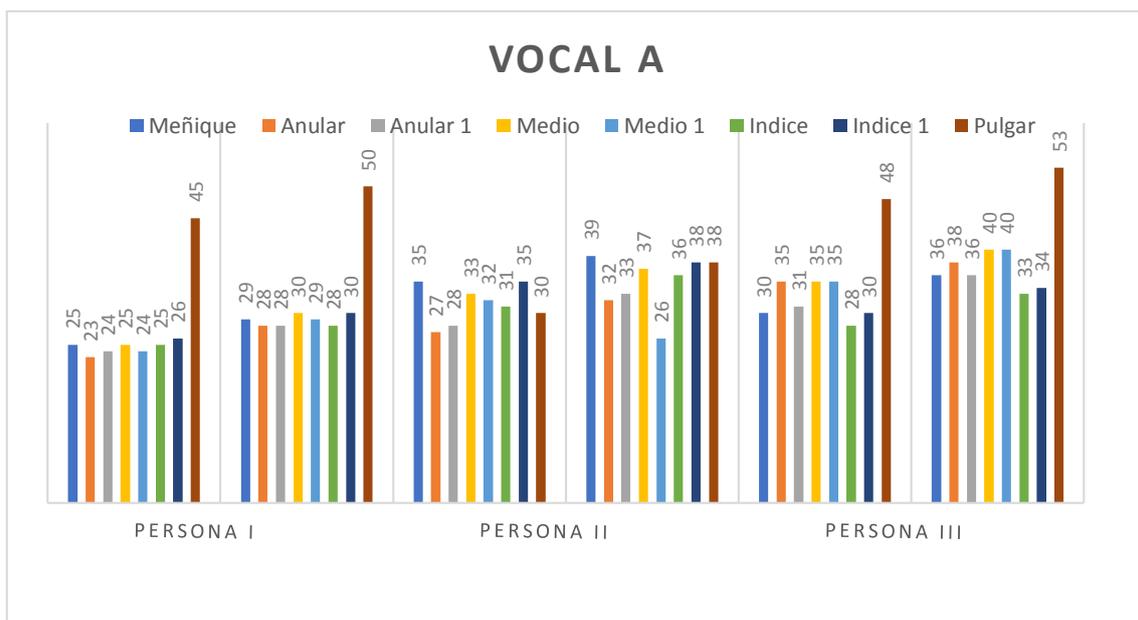


Figura 70. Variación entre muestras vocal A.

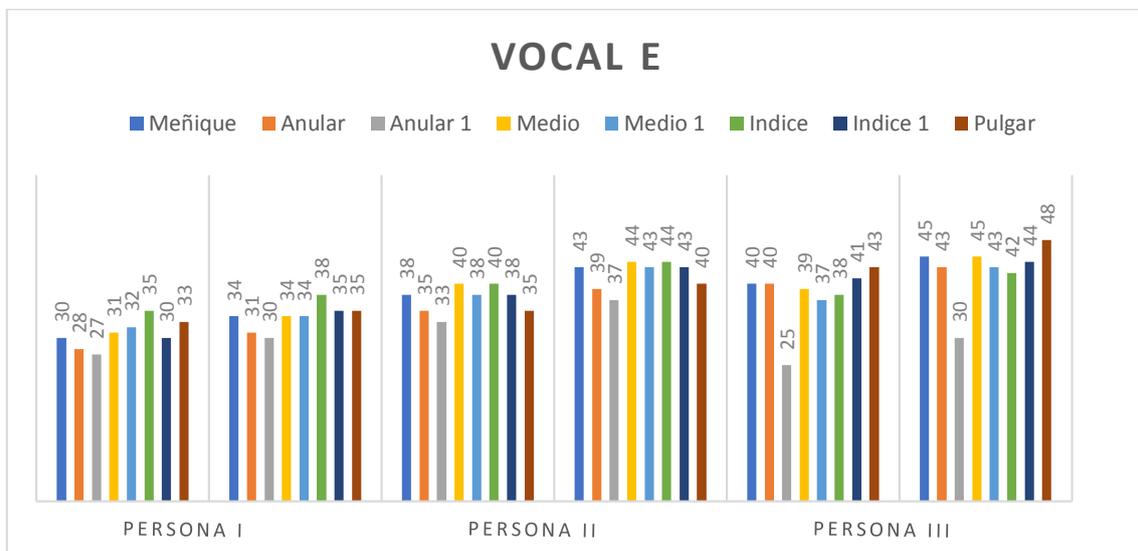


Figura 71. Variación entre muestras vocal E.

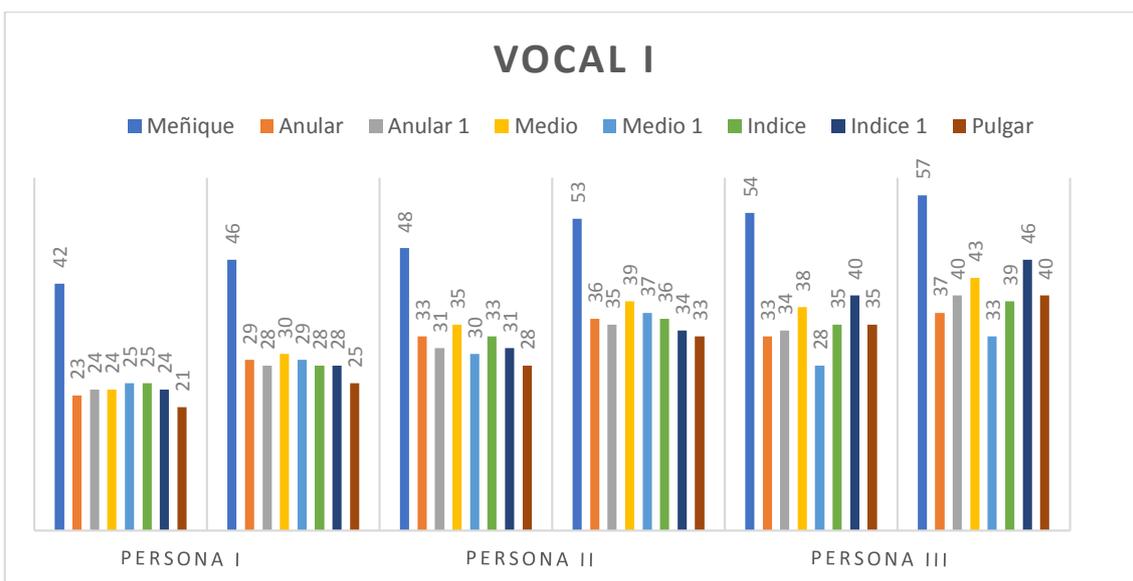


Figura 72. Variación entre muestras vocal I.

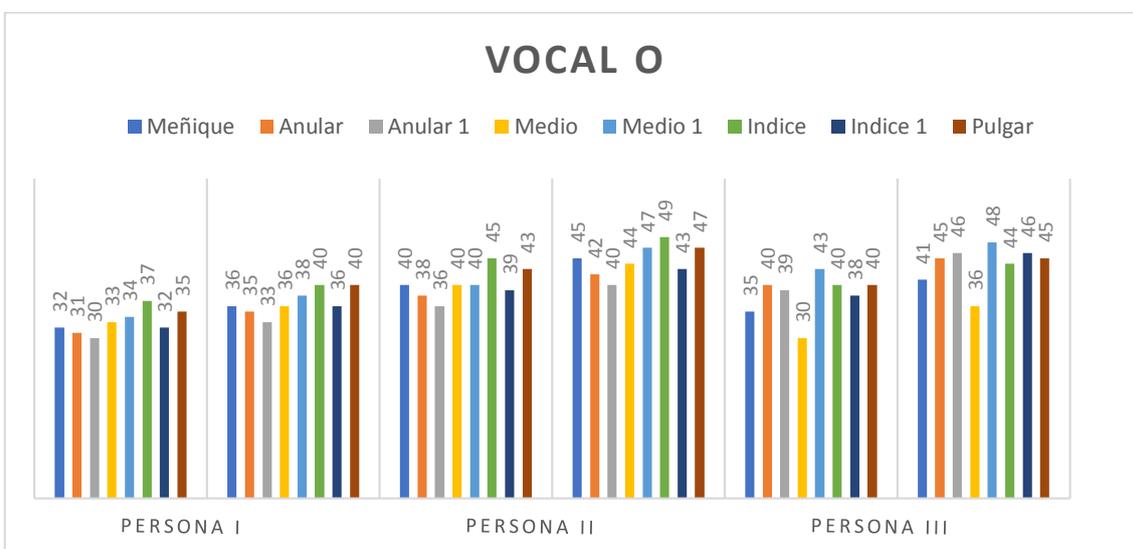
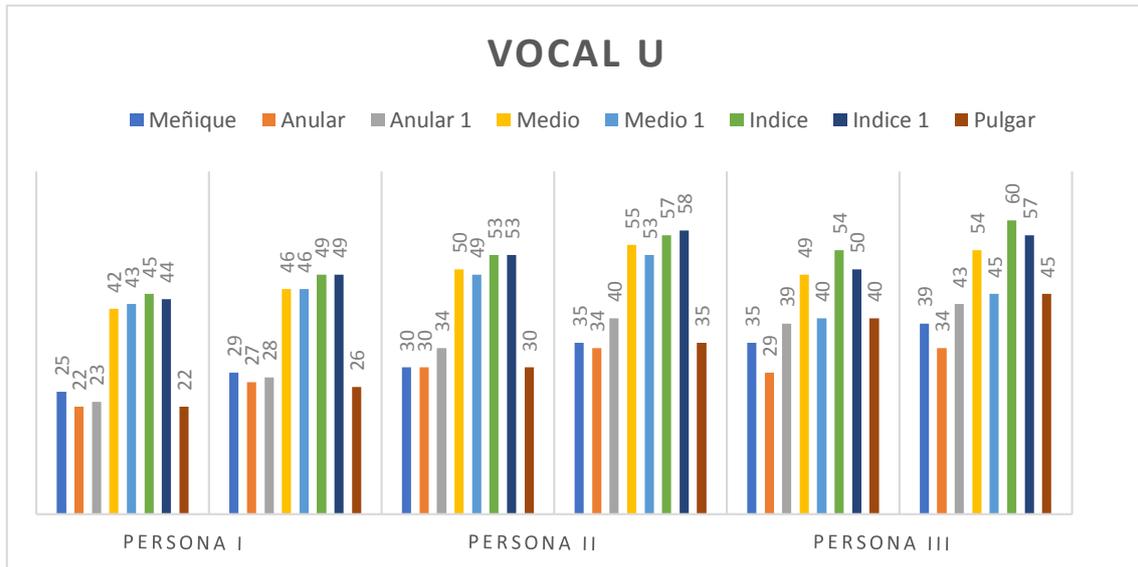
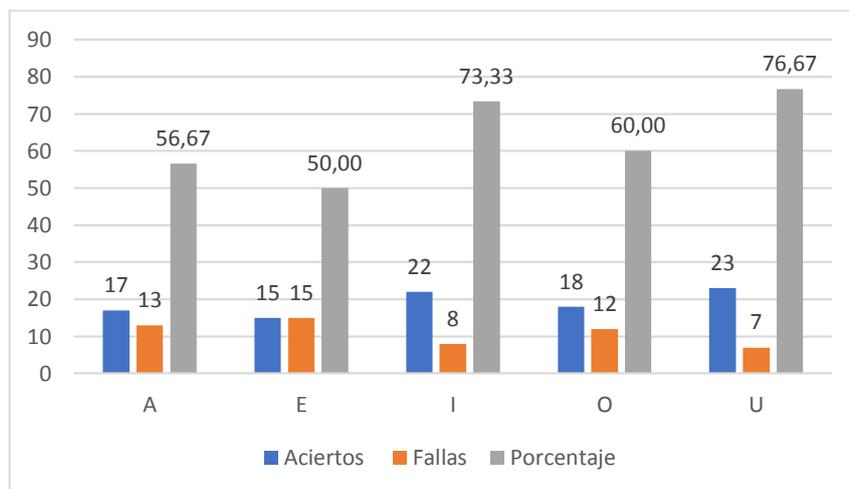


Figura 73. Variación entre muestras vocal O.



*Figura 74. Variación entre muestras vocal U.*

De igual manera se identifica el problema anterior, es un aspecto importante la talla de la mano del usuario final ya que si no coincide para la cual se diseñó el prototipo falla.



*Figura 75. Precisión Prototipo II.*

En la Figura 76, se observa la precisión del prototipo II, la misma que indica que pese al cambio del circuito y aunque se añadieron más sensores el prototipo solo tiene el 76,67% de precisión en la identificación y traducción de las vocales en el mejor de los casos.

### 6.3. Pruebas y Resultados Prototipo III

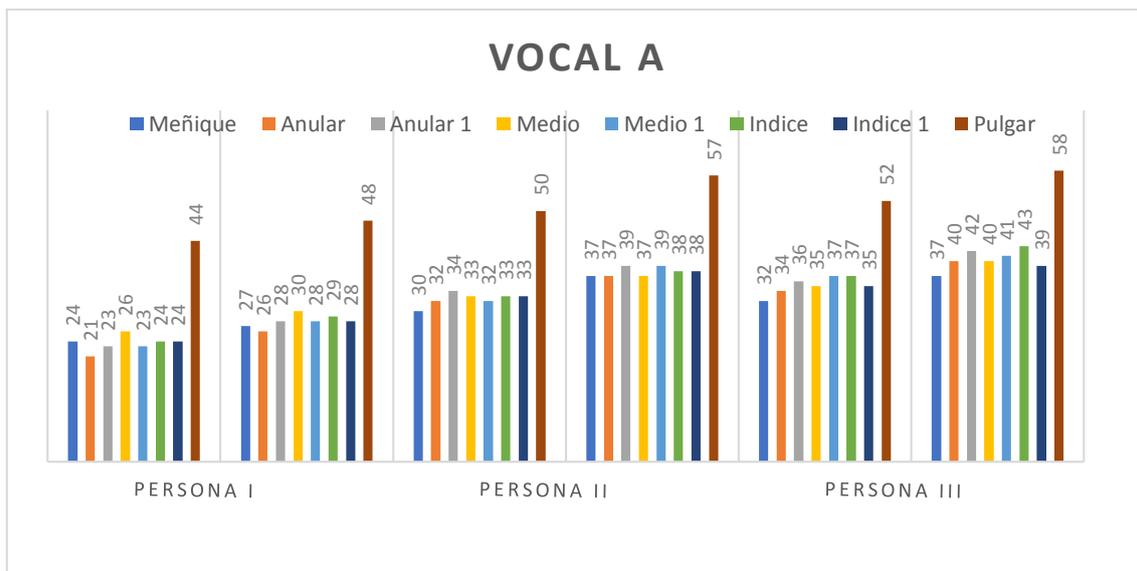


Figura 76. Variación entre muestras vocal A.

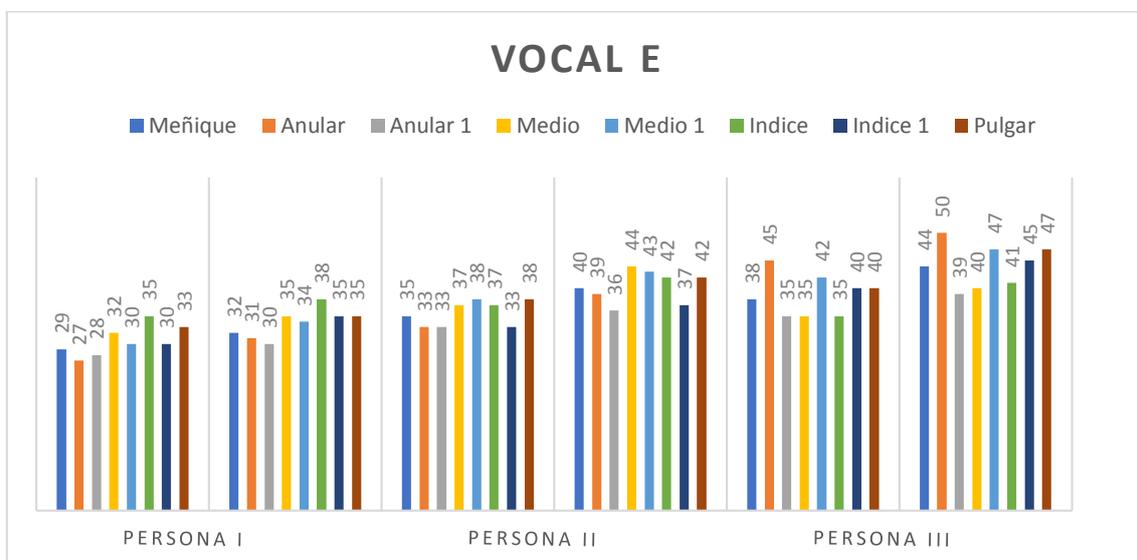


Figura 77. Variación entre muestras vocal E.

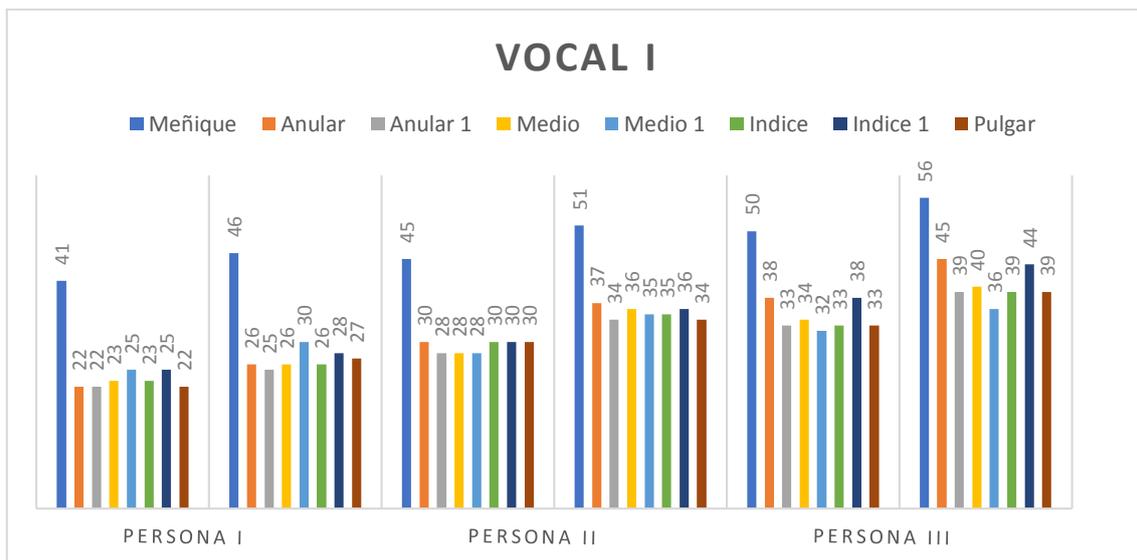


Figura 78. Variación entre muestras vocal I.

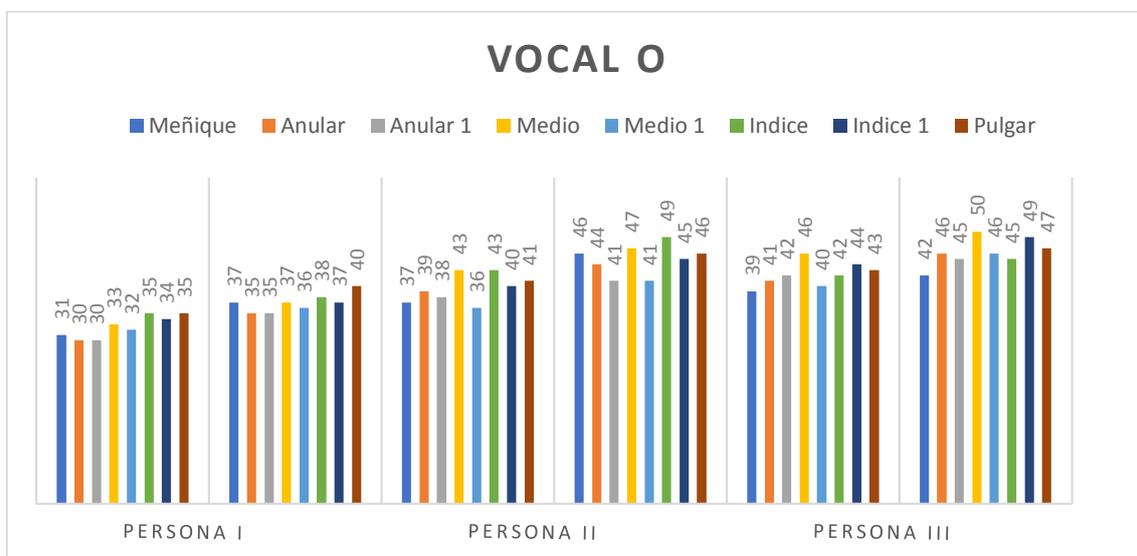


Figura 79. Variación entre muestras vocal O.

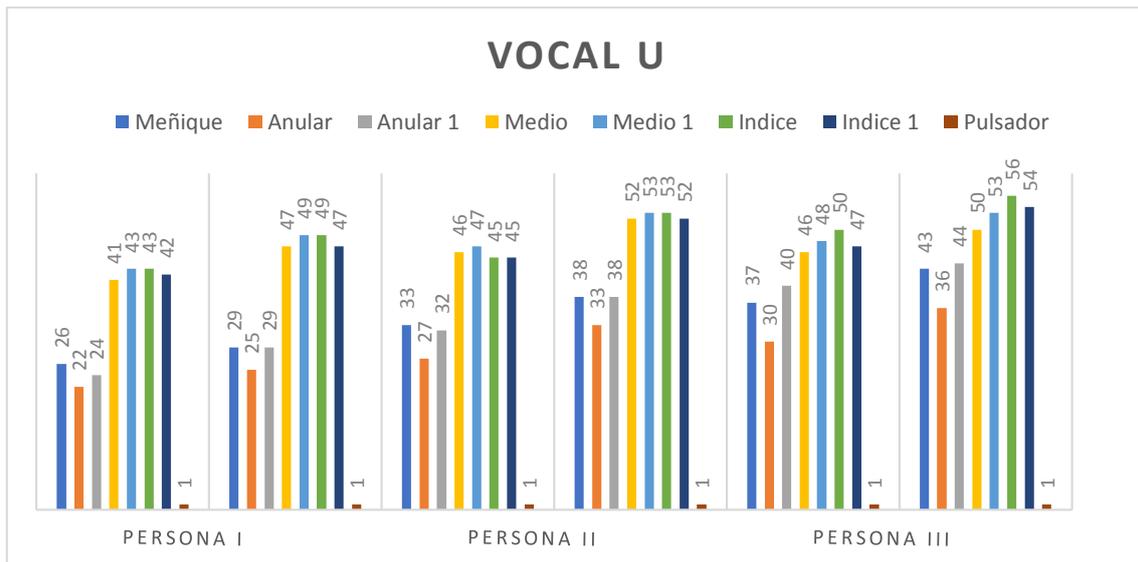


Figura 80. Variación entre muestras vocal U.

A pesar de las variaciones presentadas en cada una de las muestras de los usuarios debido al tamaño y la estructura de estas, se ha tomado en cuenta el usuario con talla S en su mano derecha. Estas muestras se han visto más precisas debido a las modificaciones realizadas al circuito y a la debida sujeción de los sensores al guante.

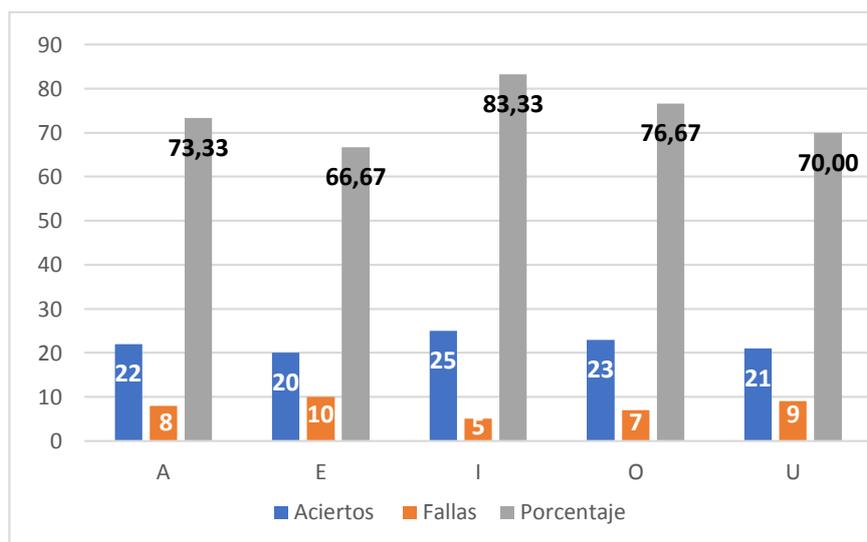


Figura 81. Precisión Prototipo III.

En la Figura 82, se muestra la precisión del prototipo III. El porcentaje de aciertos ha aumentado en cada uno de los casos al representar las vocales. En el mejor

de los casos se llega a tener un porcentaje de 83,33% de aciertos, lo que indica que el prototipo está siendo cada vez más eficaz y preciso.

#### 6.4. Pruebas y Resultados Prototipo IV

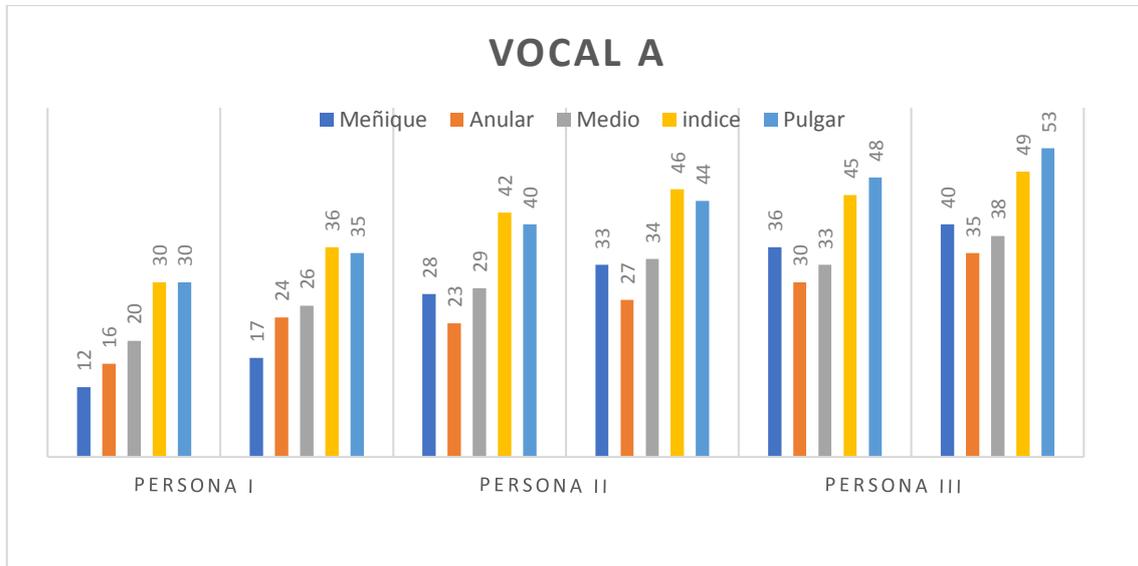


Figura 82. Variación entre muestras vocal A.

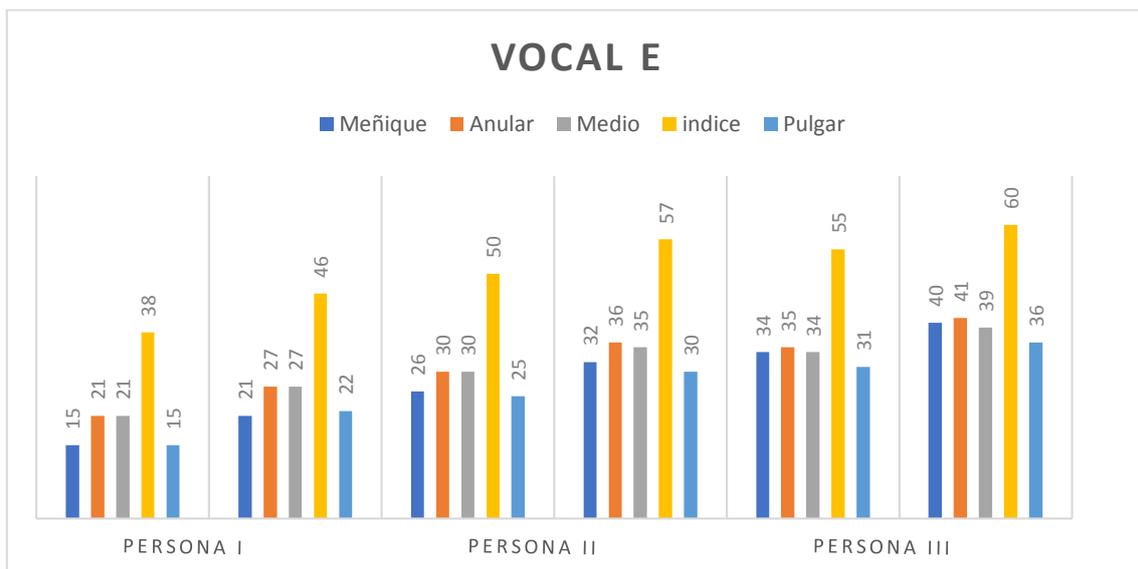


Figura 83. Variación entre muestras vocal E.

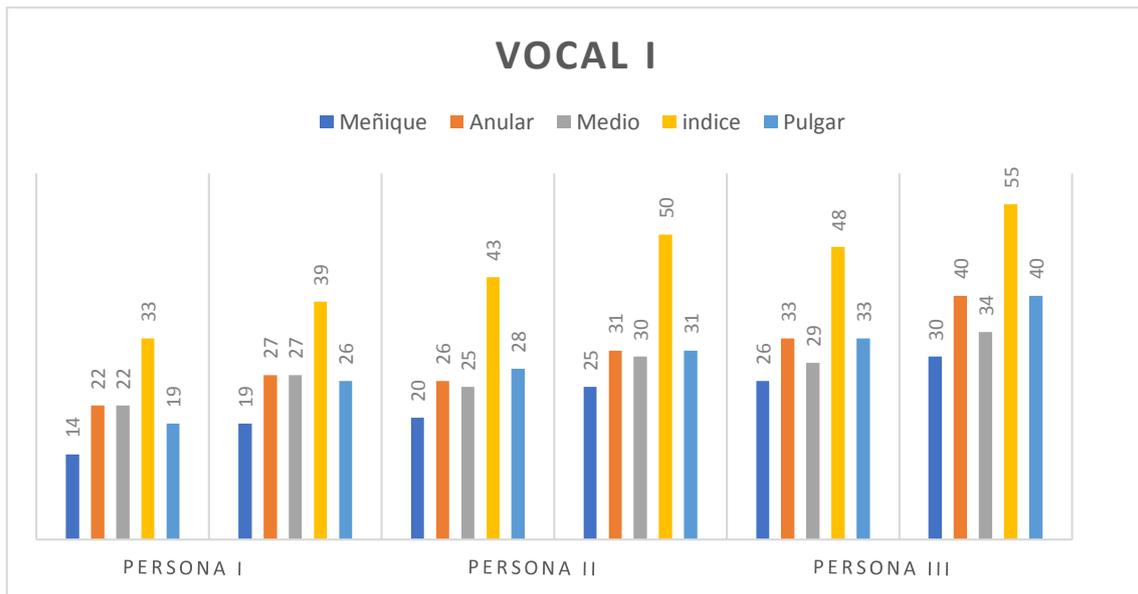


Figura 84. Variación entre muestras vocal I.

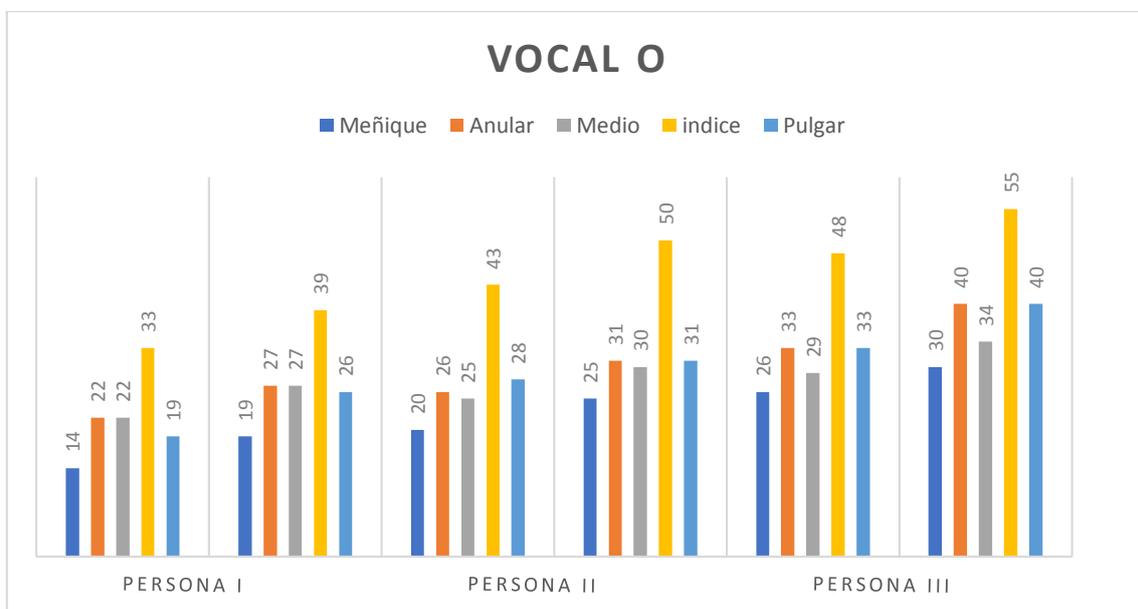


Figura 85. Variación entre muestras vocal O.

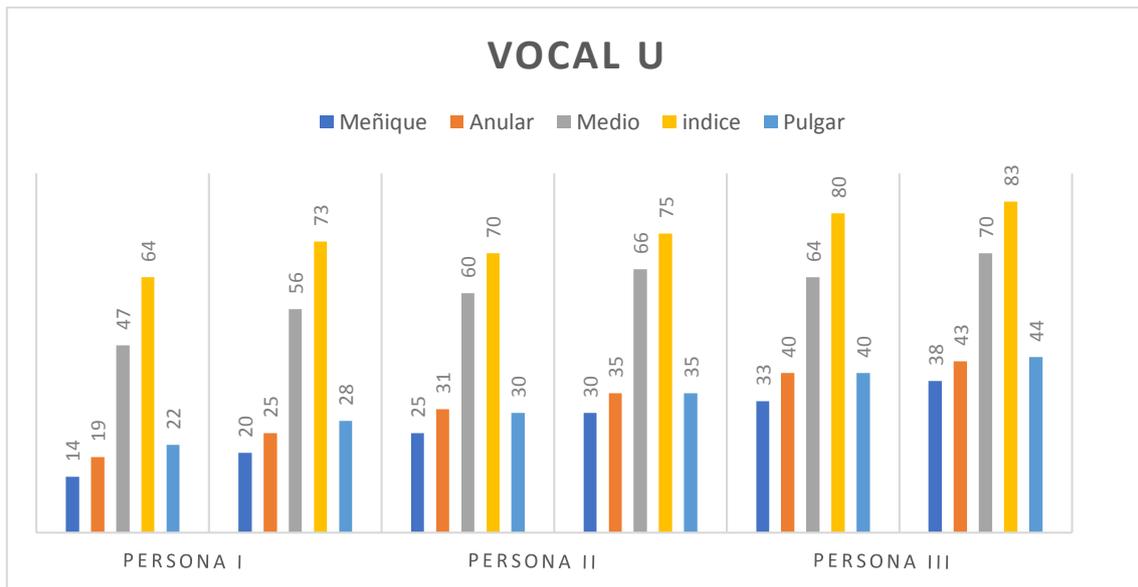


Figura 86. Variación entre muestras vocal U.

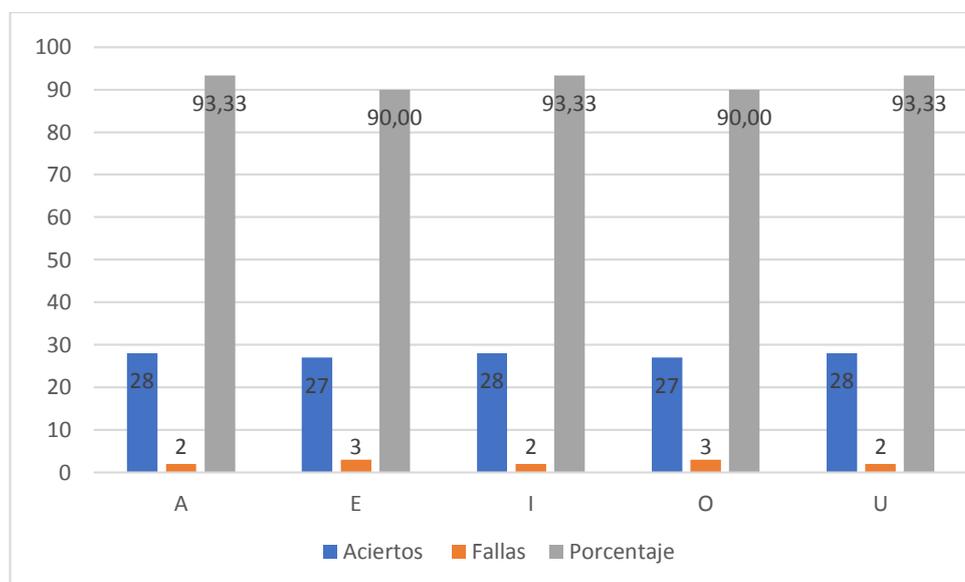


Figura 87. Precisión Prototipo IV.

El prototipo final ha dado resultados satisfactorios al momento de realizar las validaciones e interpretaciones de las vocales representadas en el lenguaje dactilológico. El uso de los sensores y pulsadores ha ayudado para la identificación de las vocales haciendo que el prototipo sea eficaz al momento de realizar su trabajo.

Siendo así, en la Figura 88, se indica la precisión del prototipo final. Ya que el porcentaje de precisión de las muestras tomadas sobrepasan el 90%.

## 7. Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1. Conclusiones

Tan solo en la provincia de Pichincha existen 12.293 personas con discapacidad auditiva y verbal según estadísticas del CONADIS en el año 2019, el presente prototipo ayudará de cierta manera a mejorar la calidad de vida de dichas personas facilitando su inclusión en la sociedad.

El lenguaje dactilológico es un lenguaje universal, sin embargo, hay que tomar en cuenta que existen señas que son creadas y propias de cada grupo de personas discapacitadas, para mayor facilidad, por ejemplo, se crean señas para identificar a cada uno de los miembros de sus asociaciones lo que permite una mejor comunicación entre dichas personas. Casos como estos suceden incluso en la diferencia entre ciertas palabras dependiendo del País.

Teniendo en cuenta la construcción y funcionamiento de los sensores flexibles, es necesario seleccionar y aplicar un método acondicionador o actuador sobre las señales que resultan de la variación de un parámetro no eléctrico de los mismos, en el caso de los sensores flexibles, lo que varía es su forma ya que esta resulta en una variación de un parámetro eléctrico (Resistencia). En la mayoría de los casos la información entregada es muy pequeña y podría llegar a ser despreciable.

Las características que presentaba la tarjeta electrónica seleccionada son las adecuadas para el desarrollo del prototipo, así como también para su funcionamiento, Hay que tomar en cuenta que, la velocidad de respuesta del sistema depende en gran parte de la tarjeta electrónica ya que es esta la encargada de receptar y procesar la información recibida para expresar los resultados de manera fluida.

El IDE Arduino es de gran ayuda al momento de realizar proyectos de electrónica. Arduino permite crear programas que controlen y procesen señales o datos que ingresen a cualquier tarjeta electrónica, además pone en manos del

programador una herramienta que ayuda a interactuar entre el computador, el usuario y la tarjeta electrónica dando así una opción ideal al momento de realizar el monitoreo del funcionamiento de cualquier proyecto.

Es importante tener claro qué tipo de información vamos a manejar a la entrada del prototipo, ya que solamente de esta manera se podrá analizar e interpretar con exactitud las muestras tomadas en el desarrollo de la etapa de muestreo.

Al momento de realizar la interconexión del periférico de salida, hay que tomar en cuenta las posibles etapas anteriores a la final. En el caso de usar parlantes o bocinas es posible que se requiera usar una etapa de amplificación para que los resultados sean expresados de la mejor manera posible, todo dependerá del tipo de aplicación creada, así como también del tipo de parlante utilizado.

El presente proyecto no necesito el diseño de este tipo de etapas intermedias, ya que el módulo utilizado para traducir los valores resultantes de la etapa de procesamiento dispone internamente de una etapa de amplificación, lo que permitió la interconexión transparente de la bocina con el módulo.

Es sumamente necesario e importante la correcta selección de los materiales a usar, en la actualidad existen una gama extensa de sensores para adquirir información y dispositivos electrónicos que permiten procesarla. En este caso fue sumamente complicada la selección de los materiales, ya que, para llegar al prototipo final, el mismo sufrió diferentes cambios tomando en cuenta las ventajas y desventajas que cada uno de ellos presentaban.

Por otro lado, ISIS PROTEUS 8 ayuda a simular el circuito y probar el código antes creado con la finalidad de depurar posibles fallas en el mismo. En otras palabras, permite validar si el hardware y software propuestas coexisten entre sí, sin dar problemas.

La eficiencia y la precisión de este tipo de prototipos radica específicamente en la correcta forma de sujeción de los sensores a utilizar, así como también en el material donde estos se colocan.

En el caso del guante traductor uno de los mayores problemas presentados fue el tipo de material elegido, ya que en la actualidad no existe aún un material tan dúctil que se ajuste a cada talla de mano. Lo que implica un desajuste de los sensores y por ende la lectura errónea de las señales entregadas por los mismos.

Fue necesario y prescindible la creación de varios prototipos ya que gracias a estos se tornó más sencillo la elaboración de pruebas y el levantamiento de la información necesaria para determinar que prototipo es el adecuado para cumplir con los objetivos propuestos.

Con los materiales y herramientas en el prototipo IV, como podemos apreciar en la figura 88, dio un resultado de aciertos del 90%, posiblemente con otro tipo de elementos como: acelerómetros, sensores de presión entre otros se podría subir este porcentaje.

## **7.2. Recomendaciones**

Sería importante, realizar una etapa de aprendizaje automático de los sensores, esto a través de algún algoritmo que permita que el prototipo identifique los cambios en las lecturas obtenidas y que procese las mismas para obtener respuestas correctas al momento de entregar los resultados.

Se recomienda que para efectivizar el prototipo y que este tenga un alcance mucho mayor y así ayudar de mejor manera al público discapacitado, trabajar en un prototipo que conste de dos guantes los mismos que permitan a los usuarios interpretar de mejor manera su lenguaje.

Se debe considerar el uso de otra clase de sensores, incluso buscar las alternativas de tipo inalámbrico, los mismos que ayudaran con los problemas de conexión física.

## REFERENCIAS

- 5DT. (s,f). *5DT Data Glove Series*, Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <http://www.5dt.com/downloads/dataglove/old/5DTDataGloveSeries.pdf>.
- 5DT. (s,f). *5DT Data Glove Ultra Series*, Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <http://www.5dt.com/downloads/dataglove/ultra/5DTDataGloveUltraDatashheet.pdf>.
- Ahmed, F., Ali, S. M. B., y Qureshi, S. S. M. (2010). *Electronic Speaking Glove for speechless patients, a tongue to a dumb, in 2010 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology*.
- Arduino, (s,f). ¿Arduino como reproductor de MP3? Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=336007.0>
- Arduino. (s,f). Arduino Mega 2560. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- Berghs School of Communication. (2014). *Google Gesture*. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <https://vimeo.com/98134714>.
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. (2019). Estadística personas con discapacidad. Ecuador.
- CyberGloveSystems, (s,f). *CyberGlove II*, Recuperado el 20 de noviembre de 2019 de <http://www.cyberglovesystems.com/cyberglove-ii/>.
- CyberGloveSystems, (s,f). *CyberGlove III*, Recuperado el 20 de noviembre de 2019 de <http://www.cyberglovesystems.com/cyberglove-iii/>.
- ElArduino, (s,f). Arduino Mega. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <https://www.elarduino.com/mega/>
- ElArduino, (s,f). Arduino Nano. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <https://www.elarduino.com/nano/>

- Electronicoscaldas, (s,f). DFPlayer Mini. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/DFR0299-DFPlayer-Mini-Manual.pdf>
- Hayek, H., Nacouzi, J., Kassem, A., Hamad, M., and El-Murr, S. (2014). *Sign to letter translator system using a hand glove*, in *The Third International Conference on e-Technologies and Networks for Development*.
- Maila F, (2018). Diseño y construcción de un prototipo para captura del movimiento con un grado de libertad de los dedos de una mano y visualización en una Pc en tiempo real. Quito, Ecuador. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1037/1/CD-1486%282008-05-26-02-53-08%29.pdf>.
- Naranjo Villacis Amanda Elizabeth. (2014). Aplicación de DSP's para la Transcripción de Lenguaje de Señas a Texto, Ambato, Ecuador. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7793/1/Tesis\\_t902ec.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7793/1/Tesis_t902ec.pdf)
- Openhacks. (s,f). *Specification for LCD Module 1602A-1*. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <https://www.openhacks.com/uploadsproductos/eone-1602a1.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Sordera y pérdida de la audición. Recuperado el 10 de Octubre de 2019 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/es/>
- Pallas, R. (2003). Sensores y Acondicionadores de señal. (4ta. Ed.). Barcelona, España: Marcocombo. S.A.
- Román, G. (s.f). Diccionario de Lengua de Señas Ecuatoriana. Pichincha:Quito.
- SENSORES INDUSTRIALES. (s,f), Sensores de Presión, Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <http://crsitian-sensoresindustriales.blogspot.com/2009/04/sensores-de-presión.html>.

Showleap. (s,f). Un traductor de lengua de signos a voz. España. Recuperado el 10 de octubre 2019 de <https://www.showleap.com/>.

SPECTRA SYMBOL, (s,f). *Flex Sensor*, Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <http://www.dfrobot.com/image/data/SEN0086/flex22.pdf>.

Tongrod, N., Lokavee, S., Kerdcharoen, T., Watthanawisuth, N., and Tuantranont, A. (2011). *Gestural system based on multi-functional sensors and ZigBee networks for squad communication, in 2011 Defense Science Research Conference and Expo (DSR)*.

**ANEXOS**

## Anexo 1. Datasheet Arduino Mega 2560 (Pag 2, 3)

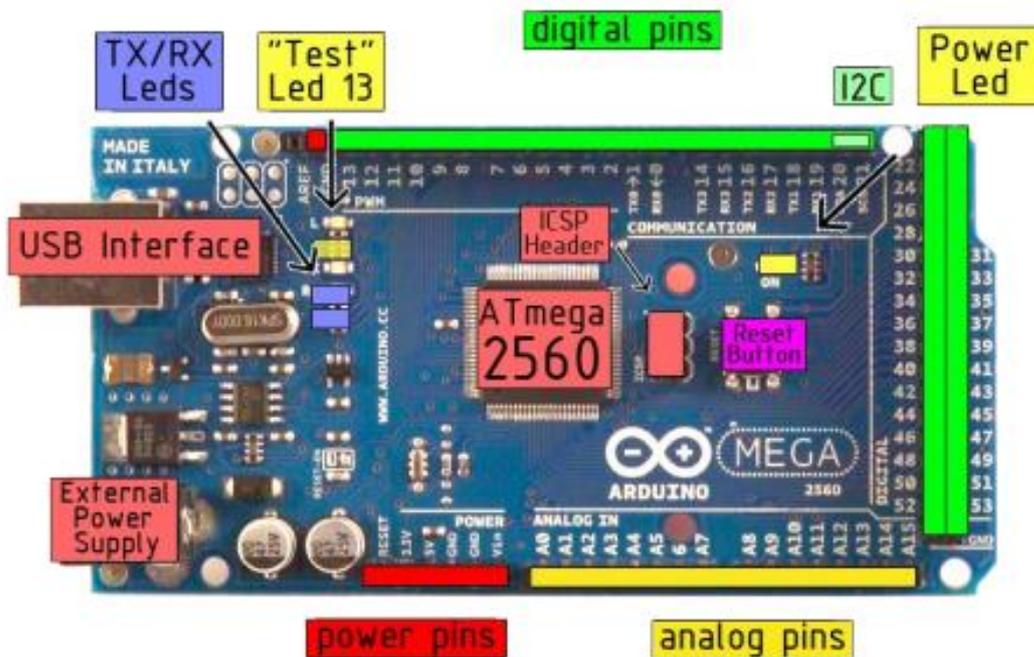
## Technical Specification

EAGLE files: [\\_arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

### Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

### the board



*radiospares* **RADIONICS**



## Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I<sup>2</sup>C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I<sup>2</sup>C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

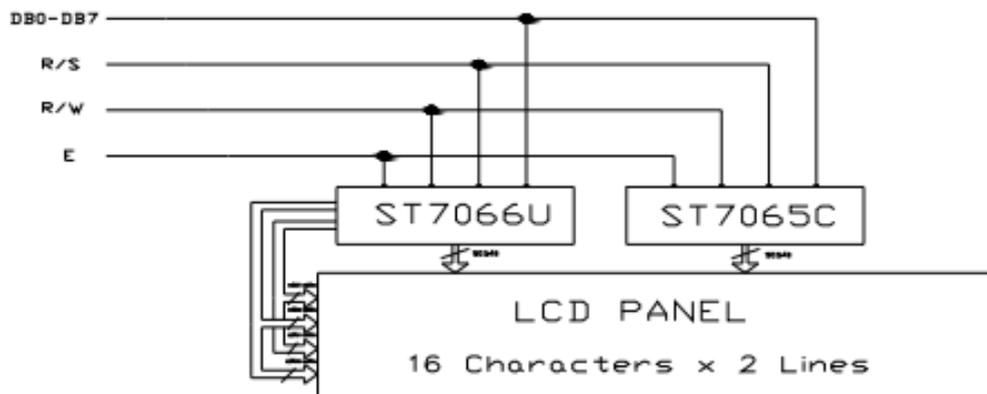
## Anexo 2. Disposición de Pines LCD 16x2

*SHENZHEN EONE ELECTRONICS CO., LTD*

### 5.0 PIN ASSIGNMENT

No.	Symbol	Level	Function	
1	Vss	--	0V	Power Supply
2	Vdd	--	+5V	
3	V0	--	for LCD	
4	RS	H/L	Register Select: H:Data Input L:Instruction Input	
5	R/W	H/L	H--Read L--Write	
6	E	H,H-L	Enable Signal	
7	DB0	H/L	Data bus used in 8 bit transfer	
8	DB1	H/L		
9	DB2	H/L		
10	DB3	H/L		
11	DB4	H/L	Data bus for both 4 and 8 bit transfer	
12	DB5	H/L		
13	DB6	H/L		
14	DB7	H/L		
15	BLA	--	BLACKLIGHT +5V	
16	BLK	--	BLACKLIGHT 0V-	

### 6.0 BLOCK DIAGRAM



### 7.0 POWER SUPPLY BLOCK DIAGRAM

### Anexo 3. Pruebas funcionamiento Prototipo I

Tabla 32.

*Pruebas funcionamiento Prototipo I*

<b>VOCAL</b>	<b>SENSOR</b>	<b>USUARIO I</b>		<b>USUARIO II</b>		<b>USUARIO III</b>	
<b>A</b>	Meñique	25	35	40	47	25	31
	Anular	23	33	30	36	25	33
	Medio	27	34	28	33	30	36
	Índice	30	36	38	45	28	33
	Pulgar	65	72	30	38	60	68
<b>E</b>	Meñique	50	55	60	76	62	67
	Anular	47	54	55	63	50	57
	Medio	45	52	48	54	50	55
	Índice	42	45	55	60	52	57
	Pulgar	50	55	35	42	43	49
<b>I</b>	Meñique	80	85	93	99	86	94
	Anular	25	30	30	35	33	39
	Medio	27	32	33	40	32	36
	Índice	30	36	37	45	31	38
	Pulgar	50	56	35	40	57	63
<b>O</b>	Meñique	27	33	35	41	34	41
	Anular	32	36	40	45	37	43
	Medio	33	37	40	48	38	45
	Índice	38	42	52	57	41	46
	Pulgar	49	54	25	29	52	56
<b>U</b>	Meñique	23	30	30	34	28	33
	Anular	25	33	33	38	30	37
	Medio	75	80	85	91	80	85
	Índice	79	85	83	87	81	88
	Pulgar	64	70	45	52	70	75

## Anexo 4. Pruebas funcionamiento Prototipo II

Tabla 33.

*Pruebas funcionamiento Prototipo II.*

<b>VOCAL</b>	<b>SENSOR</b>	<b>USUARIO I</b>		<b>USUARIO II</b>		<b>USUARIO III</b>	
<b>A</b>	Meñique	25	29	35	39	30	36
	Anular	23	28	27	32	35	38
	Anular 1	24	28	28	33	31	36
	Medio	25	30	33	37	35	40
	Medio 1	24	29	32	26	35	40
	Índice	25	28	31	36	28	33
	Índice 1	26	30	35	38	30	34
	Pulgar	45	50	30	38	48	53
<b>E</b>	Meñique	30	34	38	43	40	45
	Anular	28	31	35	39	40	43
	Anular 1	27	30	33	37	25	30
	Medio	31	34	40	44	39	45
	Medio 1	32	34	38	43	37	43
	Índice	35	38	40	44	38	42
	Índice 1	30	35	38	43	41	44
	Pulgar	33	35	35	40	43	48
<b>I</b>	Meñique	42	46	48	53	54	57
	Anular	23	29	33	36	33	37
	Anular 1	24	28	31	35	34	40
	Medio	24	30	35	39	38	43
	Medio 1	25	29	30	37	28	33
	Índice	25	28	33	36	35	39
	Índice 1	24	28	31	34	40	46
	Pulgar	21	25	28	33	35	40
<b>O</b>	Meñique	32	36	40	45	35	41
	Anular	31	35	38	42	40	45

	Anular 1	30	33	36	40	39	46
	Medio	33	36	40	44	30	36
	Medio 1	34	38	40	47	43	48
	Índice	37	40	45	49	40	44
	Índice 1	32	36	39	43	38	46
	Pulgar	35	40	43	47	40	45
<b>U</b>	Meñique	25	29	30	35	35	39
	Anular	22	27	30	34	29	34
	Anular 1	23	28	34	40	39	43
	Medio	42	46	50	55	49	54
	Medio 1	43	46	49	53	40	45
	Índice	45	49	53	57	54	60
	Índice 1	44	49	53	58	50	57
	Pulgar	22	26	30	35	40	45

## Anexo 5. Pruebas funcionamiento Prototipo III

Tabla 34.

*Pruebas funcionamiento Prototipo III.*

<b>VOCAL</b>	<b>SENSOR</b>	<b>USUARIO I</b>		<b>USUARIO II</b>		<b>USUARIO III</b>	
<b>A</b>	Meñique	24	27	30	37	32	37
	Anular	21	26	32	37	34	40
	Anular 1	23	28	34	39	36	42
	Medio	26	30	33	37	35	40
	Medio 1	23	28	32	39	37	41
	Índice	24	29	33	38	37	43
	Índice 1	24	28	33	38	35	39
	Pulgar	44	48	50	57	52	58
<b>E</b>	Meñique	29	32	35	40	38	44
	Anular	27	31	33	39	45	50
	Anular 1	28	30	33	36	35	39
	Medio	32	35	37	44	35	40
	Medio 1	30	34	38	43	42	47
	Índice	35	38	37	42	35	41
	Índice 1	30	35	33	37	40	45
	Pulgar	33	35	38	42	40	47
<b>I</b>	Meñique	41	46	45	51	50	56
	Anular	22	26	30	37	38	45
	Anular 1	22	25	28	34	33	39
	Medio	23	26	28	36	34	40
	Medio 1	25	30	28	35	32	36
	Índice	23	26	30	35	33	39
	Índice 1	25	28	30	36	38	44
	Pulgar	22	27	30	34	33	39
<b>O</b>	Meñique	31	37	37	46	39	42
	Anular	30	35	39	44	41	46
	Anular 1	30	35	38	41	42	45
	Medio	33	37	43	47	46	50

	Medio 1	32	36	36	41	40	46
	Índice	35	38	43	49	42	45
	Índice 1	34	37	40	45	44	49
	Pulgar	35	40	41	46	43	47
<b>U</b>	Meñique	26	29	33	38	37	43
	Anular	22	25	27	33	30	36
	Anular 1	24	29	32	38	40	44
	Medio	41	47	46	52	46	50
	Medio 1	43	49	47	53	48	53
	Índice	43	49	45	53	50	56
	Índice 1	42	47	45	52	47	54
	Pulgar	24	28	30	35	34	41
	Pulsador	1	1	1	1	1	1

## Anexo 6. Pruebas funcionamiento Prototipo IV

Tabla 35.

*Pruebas funcionamiento Prototipo IV.*

VOCAL	DEDO	USUARIO I		USUARIO II		USUARIO III	
<b>A</b>	Meñique	12	17	28	33	36	40
	Anular	16	24	23	27	30	35
	Medio	20	26	29	34	33	38
	índice	30	36	42	46	45	49
	Pulgar	30	35	40	44	48	53
	Pulsador I	1	1	1	1	1	1
	Pulsador II	1	1	1	1	1	1
	Pulsador III	1	1	1	1	1	1
	Pulsador IV	0	0	0	0	0	0
<b>E</b>	Meñique	15	21	26	32	34	40
	Anular	21	27	30	36	35	41
	Medio	21	27	30	35	34	39
	índice	38	46	50	57	55	60
	Pulgar	15	22	25	30	31	36
	Pulsador I	1	1	1	1	1	1
	Pulsador II	1	1	1	1	1	1
	Pulsador III	1	1	1	1	1	1
	Pulsador IV	0	0	0	0	0	0
<b>I</b>	Meñique	24	32	40	45	44	50
	Anular	25	32	35	39	41	44
	Medio	25	33	40	44	44	50
	índice	31	36	37	40	42	48
	Pulgar	20	28	30	35	34	40
	Pulsador I	0	0	0	0	0	0
	Pulsador II	1	1	1	1	1	1
	Pulsador III	1	1	1	1	1	1
	Pulsador IV	1	1	1	1	1	1
<b>O</b>	Meñique	14	19	20	25	26	30
	Anular	22	27	26	31	33	40
	Medio	22	27	25	30	29	34
	índice	33	39	43	50	48	55
	Pulgar	19	26	28	31	33	40
	Pulsador I	1	1	1	1	1	1
	Pulsador II	1	1	1	1	1	1
	Pulsador III	1	1	1	1	1	1
	Pulsador IV	1	1	1	1	1	1
<b>U</b>	Meñique	14	20	25	30	33	38
	Anular	19	25	31	35	40	43

	Medio	47	56	60	66	64	70
	índice	64	73	70	75	80	83
	Pulgar	22	28	30	35	40	44
	Pulsador I	1	1	1	1	1	1
	Pulsador II	0	0	0	0	0	0
	Pulsador III	1	1	1	1	1	1
	Pulsador IV	0	0	0	0	0	0

## Anexo 7. Código Arduino Mega 2560

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#include "Arduino.h"
```

```
#include "SoftwareSerial.h"
```

```
#include "DFRobotDFPlayerMini.h"
```

```
SoftwareSerial mySoftwareSerial(18,19); // PINES DE RX, TX ARDUINO MEGA
```

```
DFRobotDFPlayerMini myMP3;
```

```
int contacto = 0; // SENSOR CONTACTO1
```

```
int contacto1 = 0; // SENSOR CONTACTO2
```

```
int contacto2 = 0; // SENSOR CONTACTO3
```

```
int contacto3 = 0; // SENSOR CONTACTO4
```

```
int pulgar = A0; // SENSOR FLEX DEDO PULGAR
```

```
int dedo1;
```

```
int indice = A1; // SENSOR FLEX DEDO INDICE
```

```
int dedo2;
```

```
int medio = A2; // SENSOR FLEX DEDO MEDIO
```

```
int dedo3;
```

```
int anular = A3; // SENSOR FLEX DEDO ANULAR
```

```
int dedo4;
```

```
int menique = A5; // SENSOR FLEX DEDO MEÑIQUE
```

```
int dedo5;

void setup() {
  //DECLARACION DE PINES DIGITALES
  pinMode (30, INPUT);
  pinMode (32, INPUT);
  pinMode (34, INPUT);
  pinMode (36, INPUT);

  Serial.begin(9600);
  //delay(200);
  mySoftwareSerial.begin(9600);

  myMP3.begin(mySoftwareSerial);

  myMP3.setTimeout(500);
  myMP3.volume(20);
  myMP3.EQ(DFPLAYER_EQ_NORMAL);
  myMP3.outputDevice(DFPLAYER_DEVICE_SD);
}

void loop() {
  // REPRESENTACIÓN VOCALES
```

```
{

contacto = digitalRead(30);

contacto1 = digitalRead(32);

contacto2 = digitalRead(34);

contacto3 = digitalRead(36);

dedo1 = analogRead(pulgar);

dedo2 = analogRead(indice);

dedo3 = analogRead(medio);

dedo4 = analogRead(anular);

dedo5 = analogRead(menique);

delay(1000);

//VALORES DE CADA SENSOR

if ((dedo5 >=13 && dedo5 <=17) && (dedo4 >=15 && dedo4 <=21) && (dedo3
>=20 && dedo3 <=25) && (dedo2 >=29 && dedo2 <=34) && (dedo1 >=31 &&
dedo1 <=36) && (contacto == HIGH && contacto1 == HIGH && contacto2 ==
HIGH && contacto3 == LOW) )

{

    delay(1000);

    Serial.println("A");

    //REPRODUCCION MP3

    myMP3.playMp3Folder(1);

    delay(1000);
```

```
    }

else {

    dedo1 = analogRead(pulgar);
    dedo2 = analogRead(indice);
    dedo3 = analogRead(medio);
    dedo4 = analogRead(anular);
    dedo5 = analogRead(menique);
    delay(1000);

    //VALORES DE CADA SENSOR

    if ((dedo1 >=15 && dedo1 <=22) && (dedo2 >=40 && dedo2 <=45) && (dedo3
    >=20 && dedo3 <=27) && (dedo4 >=22 && dedo4 <=27) && (dedo5 >=13 &&
    dedo5 <=19) && (contacto == HIGH && contacto1 == HIGH && contacto2 ==
    HIGH && contacto3 == LOW))

    {
        delay(1000);

        Serial.println("E");

        //REPRODUCCION MP3

        myMP3.playMp3Folder(2);

        delay(1000);
    }

else {
```

```
dedo1 = analogRead(pulgar);
dedo2 = analogRead(indice);
dedo3 = analogRead(medio);
dedo4 = analogRead(anular);
dedo5 = analogRead(menique);
delay(1000);

//VALORES DE CADA SENSOR

if ((dedo1 >=18 && dedo1 <=24) && (dedo2 >=29 && dedo2 <=34) && (dedo3
>=21 && dedo3 <=26) && (dedo4 >=23 && dedo4 <=27) && (dedo5 >=25 &&
dedo5 <=30) && (contacto == LOW && contacto1 == HIGH && contacto2 ==
HIGH && contacto3 == HIGH) )
{
    delay(1000);
    Serial.println(" I");
    //REPRODUCCION MP3
    myMP3.playMp3Folder(3);
    delay(1000);
}

else {

    dedo1 = analogRead(pulgar);
    dedo2 = analogRead(indice);
    dedo3 = analogRead(medio);
```

```
dedo4 = analogRead(anular);

dedo5 = analogRead(menique);

delay(1000);

//VALORES DE CADA SENSOR

if ((dedo1 >=16 && dedo1 <=21) && (dedo2 >=35 && dedo2 <=40) && (dedo3
>=20 && dedo3 <=26) && (dedo4 >=23 && dedo4 <=30) && (dedo5 >=13 &&
dedo5 <=20) && (contacto == HIGH && contacto1 == LOW && contacto2 ==
HIGH && contacto3 == LOW) )

{

    delay(1000);

    Serial.println("O");

    //REPRODUCCION MP3

    myMP3.playMp3Folder(4);

    delay(1000);

}

else {

    dedo1 = analogRead(pulgar);

    dedo2 = analogRead(indice);

    dedo3 = analogRead(medio);

    dedo4 = analogRead(anular);

    dedo5 = analogRead(menique);

    delay(1000);

    //VALORES DE CADA SENSOR
```

```
if ((dedo1 >=22 && dedo1 <=27) && (dedo2 >=69 && dedo2 <=73) &&
(dedo3 >=41 && dedo3 <=47) && (dedo4 >=20 && dedo4 <=26) && (dedo5 >=12
&& dedo5 <=19) && (contacto == HIGH && contacto1 == HIGH && contacto2 ==
HIGH && contacto3 == LOW))
```

```
{
    delay(1000);
    Serial.println("U");
    //REPRODUCCION MP3
    myMP3.playMp3Folder(5);
    delay(1000);
}
}
}
}
}
}
```

